RODOLPHO
CANIATO

CEDOC
Ciências
FE - UNICAMP

UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FISICA

A N E X O S

Anexo I: UNIDADE I
"O CÉU"

Anexo II: UNIDADE II
("MECÂNICA")

Anexo III: DOCUMENTÁRIO
FOTOGRÁFICO

TESE apresentada junto à Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro para obtenção do Grau de DOUTOR EM CIÊNCIA.

CEDOC
Ciências
FE - UNICAMP

À minha mãe
e à
memória de
meu pai

1973

PREFÁCIO

O trabalho que aqui vai apresentado é apenas uma síntese de um grande número de observações e ensaios feitos ao longo de alguns anos e que resultaram no oferecimento de uma opção, em ensino de Física, exeqüível de imediato em qualquer região brasileira. Não teria sido possível apresentar todos os passos feitos, ainda mais se se considerar que sob um enfoque também formativo entram ingredientes e variáveis difíceis de um tratamento estritamente estatístico ou quantificável.

Preferiu o autor oferecer aqui mais os grandes indícios que levam à justificação do trabalho, seus traços característicos e já muitos resultados obtidos, sem pretender que estes resultados se constituam em prova definitiva do acerto da hipótese principal.

A materialização da parte principal do trabalho se iniciou em fins de 1970 e só foi possível graças à compreensão e apoio de algumas pessoas e entidades a que, por justiça, o autor reitera seu reconhecimento.

Entre as pessoas, há que destacar o Prof. Dr. José Goldenberg, Diretor do Instituto de Física da USP cujo apoio se traduziu concretamente na sua disposição como orientador do presente trabalho e no oferecimento das condições necessárias à primeira Edição para Ensaio, realizada em dezembro de 1970 e utilizada nesse mesmo ano em um ensaio realizado no Nordeste. Tanto na crítica severa quanto no estímulo encorajador, a atuação do Prof. Goldenberg tem sido de grande valia.

Cumpre ainda o autor o dever de salientar a compreensão e o apoio do Prof. A.S. Teixeira Jr., diretor da FUNBEC, pela troca de idéias e pela participação daquela entidade no projeto aqui proposto.

Há ainda que destacar o apoio financeiro dado ao autor, em forma de bolsa, pela FAPESP, através de seu Diretor, Prof. Oscar Sala. O autor reitera seus agradecimentos ao Prof. Sala por essa ajuda efetiva e especialmente pelo seu significado, levado em conta ser esta a primeira ajuda da entidade a um projeto de Ensino.

Cumpre ainda o autor o dever de agradecer aos seus dedicados auxiliares Sonia Krapas Teixeira e Antonio Amaral, físicos cuja dedicação excedeu de muito seus deveres estritamente funcionais e cujas contribuições se fizeram importantes em diferentes frentes deste trabalho.

Aos colegas, professores e funcionários, da Faculdade de Educação da UNICAMP, os agradecimentos do autor pela ajuda que em tantos momentos foi tão importante.

Í N D I C E

1. INTRODUÇÃO 3

2. LEVANTAMENTO DO PROBLEMA 6

2.1 - Pós-vestibulandos 6

2.1.1 - Primeiros Ensaios 6

2.1.2 - Ensaios recentes 8

2.2 - Uma experiência pessoal 11

2.3 - Cursos para professores 12

2.3.1 - Rio de Janeiro 1963 12

2.3.2 - São Paulo 1967 14

2.3.3 - Presidente Prudente 1968 15

2.4 - Formandos e pós-graduandos 16

2.5 - O problema 17

3. OS PROJETOS IMPORTADOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NO BRASIL 19

4. CARACTERÍSTICAS DE UM PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA APLICÁVEL ÀS CONDIÇÕES BRASILEIRAS 22

4.1 - Características objetivas 22

4.2 - CAracterísticas não objetivas 23

5. UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DA FÍSICA 25

5.1 - Uma estrutura em paralelo 27

5.2 - Uma abordagem em três níveis 30

5.3 - Atividades 32

5.3.1 - Conteúdo das Atividades 32

5.3.2 - Material empregado 33

5.4 - Estroboscopia 33
5.4.1 - Propósito 34
5.4.2 - Fonte de Luz estroboscópica 34
5.4.3 - Preparo do pessoal 35
5.4.4 - Equipamento fotográfico 35
5.4.5 - Montagem de Acessórios 36
5.5 - Um enfoque histórico 37
5.6 - Astronomia - Por que? 39
5.7 - Meios auxiliares 40
5.7.1 - Diafilme 40
5.7.2 - Cinemá didático 41

6. EXCERTOS DO PROJETO 43

7. ENSAIOS REALIZADOS 112
7.1 - Com alunos 112
7.2 - Com professores 115

8. PERSPECTIVAS 126
8.1 - Uma contribuição ja feita 127
8.2 - Término das partes projetadas 128
8.3 - Abertura de novas frentes 129
8.3.1 - Assistência aos professores 129
8.3.2 - Produção de mais material 130
8.3.3 - Retroalimentação de todo o processo .. 131
8.3.4 - Novos campos de pesquisa 132

9. CONCLUSÃO 133

10. BIBLIOGRAFIA 135

APÊNDICE 137

1. INTRODUÇÃO

É fato bastante conhecido que o ensino da Física no Brasil, a nível do 2º ciclo, sempre se fez com grande predominância de métodos expositivos. Esse método que tem contado quase que exclusivamente com giz, quadro negro e a fala do professor não sofreu, até há poucos anos (1962), qualquer alteração que pudesse ser considerada importante ou que se tornasse evidente por seus resultados. Mesmo as demonstrações, feitas raramente e assistidas por todos os alunos, dificilmente poderiam oferecer ao aluno, ocasião de uma participação ativa. A introdução ao estudo da Física através de definições e formalismo algébrico tem servido para impedir ou dificultar o entendimento dessa ciência que não é só, mas, eminentemente experimental.

Outro grave inconveniente dos métodos somente expositivos e algébricos, em nível de iniciação, tem sido o de contribuir para que a cultura do professor se "esclerose" e até mesmo se "fossilize" devido à ausência de estímulos à discussão por parte dos alunos que se foram habituando simplesmente a ouvir e anotar. Certamente a gênese desse problema é complexa e deve ter suas raízes mais fundas nos hábitos culturais de nossa sociedade de origem colonial.

O estudo dessa gênese, embora muito interessante, está fora do âmbito deste trabalho.

O contato do autor com alunos recém-passados em exames vestibulares de Física revelou, desde há muito tempo, que, mesmo no caso dos alunos "bem preparados" para o vestibular, seu desconhecimento dos fenômenos, mesmo os mais simples e ligados às coisas mais fundamentais que haviam estudado, representava um problema sério. Outras experiências e entrevistas revelaram que o problema é muito mais grave do que se poderia imaginar. Isso porque essa constatação se estendeu a professores e a alunos até o nível de pós-graduação.

A experiência mostrou que, mesmo no caso de alunos submetidos a cursos de grande complexidade, estes tiveram grandes dificuldades e freqüentemente não conseguiram resolver problemas em situações concretas que envolviam somente conhecimentos elementares.

Esse fato já tem sido detectado em países adiantados e nos quais se criaram grandes projetos para o ensino elementar das ciências. Esses projetos, sem exceção, incluem desde o início, um grande número de atividades que proporcionam um contato direto do educando ou aprendiz com situações concretas em que os conceitos são aplicados e vivenciadas as experiências.

Alguns desses projetos chegaram ao Brasil e têm proporcionado uma contribuição apreciável para o estudo mais objetivo das ciências. Entretanto, foram criados para contextos diferentes, em muitos aspectos, daquele em que vivemos. Essas diferenças tornam a aplicação de tais projetos difícil nas condições brasileiras além de representarem importação de experiência ("know how") que pode e deve ser desenvolvida no país.

A experiência do contato com tais projetos e uma intensa vivência dos problemas do ensino deram ao autor o ensejo de um trabalho que não pretendeu nunca ser a única solução de problema do ensino da Física. Pretende, isto sim, ser uma contribuição pioneira em muitos aspectos e aplicável a quase todas as condições brasileiras.

O trabalho iniciado na realização de um projeto brasileiro mostrou um grande espectro de atividades colaterais a serem desenvolvidas. Tal é o caso da produção de um protótipo de diafilme ou do desenvolvimento da fotografia estroboscópica tanto pela sua produção como pela sua utilização.

Além desses aspectos, os ensaios com o material produzido levaram o autor a uma intensa interação com os professores aplicadores dos ensaios e a criar, de forma incipiente, uma

espécie de centro de atendimento aos professores.

A interação constante com os professores e os resultados dos ensaios mostrou uma outra grande série de aspectos a serem desenvolvidos e que abrem novas perspectivas tanto para o desenvolvimento do projeto como para novos campos de pesquisa em ensino de Física e das primeiras ciências em geral.

Mostrar a gênese e o desenvolvimento de "UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA", explicitar e justificar sua orientação geral e seus movimentos colaterais é o que essencialmente busca o presente trabalho. Levando o projeto plena e constantemente a marca experiencial do autor, quer esta exposição manter-se fielmente ao nível dessa presença, no intuito de preservar rigorosamente a sua significação. Explicam-se assim, a ausência de referências bibliográficas e a preocupação por uma fundamentação didático-pedagógica de modo mais sistemático.

2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Sob este título geral, pretende o autor evidenciar o problema do ensino da Física, ao nível de iniciação, através da apresentação, senão estatística, de situações concretas. As circunstâncias ou fatos aqui arrolados são exclusivamente os que tiveram a participação direta e pessoal do autor, ora como observador ora como "paciente".

A maior parte das observações aqui relatadas não teve um tratamento estatístico. Se por um lado as primeiras observações foram quase acidentais, a partir da "experiência pessoal", as seguintes foram realizadas com uma intencionalidade já bem dirigida sobre os problemas de "ensinar" e de "aprender", em Física, ao nível dos conceitos e operações mais simples.

2.1 - PÓS-VESTIBULANDOS

2.1.1 - Primeiros Ensaios

A partir de 1956 o autor entrou em contato direto e profissional com o ensino da Física ao nível do curso então chamado *científico*, quando assumia a docência dessa disciplina em grande colégio da região de Campinas. Aí se apresentou a primeira ocasião de um confronto com as duas principais faces do problema: *ensinar* ou "preparar" para o exame vestibular (É curioso que tantas vezes essas duas opções sejam mutuamente exclusivas).

Já no ano seguinte, contratado por Faculdade de Filosofia, o autor assumia a docência de Física a alunos do Curso de Matemática. Nesse período havia grande demanda de professores de Física, sendo estes muito raros. Grande parte dos professores de Física da região era constituída por licenciados

e alunos de Matemática, que estavam também legalmente credenciados para o magistério da Física. Esse fato foi gerador de uma grande preocupação do autor em dar aos licenciados em Matemática um contato com os fenômenos (experimentos), o que não se fazia até então, nessa escola.

A primeira preocupação foi a de realizar entrevistas individuais e coletivas, com os alunos recém-admitidos, a fim de auscultar suas dificuldades e limitações no campo do que deles se esperava e que dificilmente poderia ser avaliado por meio do vestibular.

As dificuldades dos alunos logo se tornaram evidentes, mesmo nos assuntos que haviam sido e eram sempre objeto de exames vestibulares. Esse fato sugeriu ao autor a tomada de algumas informações para amostrar os conhecimentos e dificuldades dos alunos recém passados pelos exames vestibulares.

Foram então organizadas séries de perguntas sobre assuntos considerados importantes nos programas e de grande freqüência de ocorrência nos vestibulares da época.

Por exemplo, entre 1961 e 1964, o autor fez entrevistas com cerca de 120 alunos que haviam passado no exame vestibular de Física para ingresso no Curso de Matemática. Entre outros assuntos, esses alunos foram entrevistados com base na equação dos focos conjugados, cuja ocorrência era freqüente nos exames da época.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Os resultados dessas entrevistas estão resumidos como segue:

	Natureza da resposta	Nº de Respostas
1.	*Nunca ouviram falar nisso*	5
2.	*Reconheceram a equação, mas não sabem "para que serve".*	50

Natureza da resposta	Nº de respostas
3. *Sabiam aplicar a problemas.*	65
4. *Sabiam deduzir a equação.*	15
5. *Sabia que relação existe entre essa equação e a focalização de uma máquina fotográfica.*	1
6. *Sabia qualquer aplicação prática da equação.*	1
7. *Sabia reconhecer os elementos dessa equação quando se lhes apresentava uma lente.*	1

Obs.: As respostas 5, 6 e 7 foram dadas pelo mesmo indivíduo.

Esses resultados mostravam que, mesmo entre alunos capazes de deduzir a equação, um só conseguiu perceber o significado dela e sua relação com fatos ou fenômenos reais. Outros assuntos de importância considerada fundamental, tanto pelo seu significado quanto pela freqüência com que ocorrem nos vestibulares, foram incluídos nas entrevistas, tais como as leis da mecânica e a lei de Ohm.

Os resultados foram sempre muito parecidos e poderiam ser resumidos, levando-se ainda em conta que da amostra constavam alunos vindos de diferentes regiões do Estado de São Paulo.

APENAS UMA PARTE INSIGNIFICANTE DOS ALUNOS FOI CAPAZ DE RECONHECER FENÔMENOS QUE FORAM OBJETO DE ESTUDOS ATRAVÉS DAS AULAS QUE RECEBERAM DURANTE O CURSO MÉDIO (ATUAL 2º CICLO).

Esse tipo de sondagem pode ser ampliado através do maior contato com os alunos nas aulas, dando ao autor mais probabilidades de acerto quanto aos resultados das primeiras entrevistas.

2.1.2 - Ensaios Recentes

Mais recentemente (maio de 1973), o autor realizou outra amostragem orientada para o mesmo propósito: veri

ficar a eficácia do processo ensino-aprendizagem na área de Física, em termos operacionais e formativos.

Enquanto os resultados anteriores foram obtidos a partir de entrevistas pessoais, aqui eles foram colhidos através de perguntas escritas abertas. Esta forma, embora menos rica em alguns aspectos, tem a vantagem de permitir o exame das distribuições dos diferentes tipos de respostas de maneira quantificável.

Para efeitos deste trabalho, no entanto não pretende este ensaio um rigor de métodos estatísticos. Ele pretende mais ser um indício, por sinal alarmante, do Problema que deveria ser objeto de trabalho específico (ver "Perspectivas").

A amostra aqui tomada foi constituída de 86 alunos recentemente submetidos a exames vestibulares em que foram aprovados para os cursos de Física e de Matemática de instituição oficial de ensino superior. As pessoas incluídas procedem, na sua grande maioria, de pontos situados na região de Campinas, num raio de aproximadamente 150 km dessa cidade.

Os assuntos abordados no questionário são todos fundamentais ou freqüentes pela sua inclusão em exames e programas de Física ao nível do segundo ciclo.

A formulação das perguntas ou situações foi propositalmente diferente da usual em problemas e exames. A diferença foi no sentido do mais simples, porém, mais operacional.

Resumo dos Resultados

Julga o autor que, mesmo sem um tratamento feito com rigor estatístico, os resultados aqui relatados são altamente eloqüentes quanto alarmantes, especialmente se se consi

derar a constituição da amostra: estudantes de Física e Matemática provenientes de uma região das mais desenvolvidas do país.

Tanto as perguntas quanto as respostas e suas distribuições em forma quantificada estão no APÊNDICE, à página 137.

Considerando que o estudo desse aspecto do problema não é o principal objeto deste trabalho, são dados a seguir e resumidamente, alguns aspectos principais evidenciados pelos tipos de respostas e pela sua ocorrência.

1. A grande maioria mostrou não ter entendido conceitos fundamentais, mesmo ao nível elementar da Física.

2. A grande maioria não conseguiu reconhecer situações em que são aplicáveis os conceitos mais elementares da Física.

3. A grande maioria não conseguiu resolver uma situação-problema muito simples que demandava alguma iniciativa.

4. A grande maioria mostrou não conhecer qualquer aplicação mesmo de uma idéia ou equação especificamente estudada e empregada na solução de muitos problemas em Física, ao nível do curso médio.

5. A grande maioria não teve ocasião de realizar trabalhos práticos de Física.

2.2 - UMA EXPERIÊNCIA PESSOAL

Em janeiro/fevereiro de 1962, realizou-se pela primeira vez no Brasil, o curso conhecido pela sigla P.S.S.C. (Physical Science Study Committee). O corpo docente incluía um dos autores desse projeto americano que é, senão o maior, um dos maiores esforços feitos no mundo ocidental no campo do ensino da Física.

Desse curso participou o autor, na qualidade de aluno.

O Curso

Iniciativa : I.B.E.C.C. - São Paulo / Ford Foundation.

Data : 8 de janeiro de 1962.

Duração : 6 semanas de
5 dias em regime de
8 horas por dia.
Total: 240 horas

Diretor do curso: URI HABER-SCHAIM (phd MIT).

Conteúdo do curso: Todo o projeto P.S.S.C.

Tipo de Trabalho: aulas (Lectures)
discussão em grupos
trabalho de laboratório em grupos
cinema

Participantes : 42 professores de Física procedentes de
10 países latino-americanos dos quais
19 brasileiros de
7 estados diferentes.

Embora não pretendesse introduzir assuntos inéditos, o curso produziu um grande impacto, pelo seu enfoque, no autor e nos demais participantes, em sua maioria professores assis

tentes de Física de cursos superiores de toda América Latina.

As observações do autor sobre si mesmo e sobre os demais participantes podem ser resumidas como segue:

1. As atividades de laboratório feitas com material não-usual mostraram a dificuldade de quase todos em tornar operantes os conceitos, que todos pretendiam ter, sobre fenômenos que estavam sendo defrontados, mesmo em nível elementar.

2. As discussões revelaram que muitos conceitos, mesmo em nível básico, levantaram grandes dúvidas que não haviam ocorrido antes a quase todos.

3. Grande dificuldade que quase todos tiveram em resolver problemas, mesmo elementares, porém apresentados de forma até então não-usual.

2.3 - CURSOS PARA PROFESSORES

Uma série importante de observações se tornou possível através de cursos destinados a professores de Física em serviço e nos quais o autor tomou parte como docente.

2.3.1 - Rio de Janeiro, 1963

En janeiro/fevereiro de 1963, realizou-se o primeiro curso sobre o projeto P.S.S.C., dado exclusivamente para professores brasileiros vindos de diferentes estados e ministrado por um corpo docente que incluía professores brasileiros, e entre estes, o autor.

O Curso

Iniciativa:	IBECC / PUC / RJ / FUNDAÇÃO FORD
Local:	PUC Rio de Janeiro
Data:	Janeiro/fevereiro de 1963

Duração: 6 semanas de
5 dias, em regime de
8 horas por dia
Total 240 horas

Conteúdo do curso: Todo o P.S.S.C.

Participantes : 38 professores de
10 estados

Tipo de Trabalho: aulas expositivas
discussão em grupo
laboratório em grupo.

Grupo orientado pelo autor: 12 professores, dos quais,
8 professores de "científico" e
4 assistentes de Física em cursos superiores.

Tipos de Observações feitas

a) desempenho nas discussões em grupo.
b) desempenho no trabalho de laboratório em grupo.

Observações feitas:

1. Quase todos conheciam as definições e equações envolvidas nos assuntos que estavam sendo tratados.

2. Quase todos tiveram dificuldades em reconhecer situações e como deveriam usar fórmulas e conceitos, quando diante de experimentos elementares, apresentados no laboratório, porém, em situação não usual.

3. Quase todos tiveram dificuldades em resolver problemas "médios" do projeto P.S.S.C.

4. As discussões mostraram que quase todos foram surpreendidos por dúvidas que não lhes haviam ocorrido antes, em nível elementar e que foram suscitadas pelas discussões.

2.3.2 - São Paulo, 1967

Em janeiro e fevereiro de 1967, realizou-se em São Paulo um curso de Física, ministrado pelo autor, para professores secundários e assistentes do ensino superior de âmbito nacional.

O Curso

Iniciativa: Centro de Treinamento para Professores de Ciências de São Paulo (CECISP).

Local: Instituto de Química (USP)

Data : janeiro/fevereiro de 1967

Duração: 3 semanas de
5 dias em regime de
8 horas por dia
Total 120 horas

Conteúdo do curso: Luz e Ondas (P.S.S.C.)
Mecânica (P.S.S.C.)

Participantes: 30 professores, vindos de todo o Brasil.

Tipos de Observações feitas

a) desempenho nas discussões em grupo

b) desempenho nos trabalhos de laboratório em grupos.

Observações feitas

1. Raras vezes os alunos tiveram que ser socorridos em matéria de fórmulas ou definições.

2. Quase todos tiveram dificuldades em aplicar os conceitos que já eram "sabidos" às situações concretas que lhes foram apresentadas.

3. A maioria teve dificuldade em resolver problemas "médios" do P.S.S.C.

4. A grande maioria teve grande dificuldade em verbalizar argu

mentos muito simples e em nível elementar também em assuntos tidos como sabidos.

5. A grande maioria se manifestou como tendo aprendido não só um novo método, mas muito conteúdo.

2.3.3 - Presidente Prudente, 1968

Em janeiro de 1968 realizou-se um curso de Física para os professores de Física, matemática e Ciências da região de Presidente Prudente, ministrado, em parte, pelo autor.

O curso

Iniciativa: Centro de Treinamento para Professores de Ciências de São Paulo (CECISP).

Local: Colégio Estadual de Presidente Prudente.

Data: de 15 a 28 de janeiro de 1968

Duração: 80 horas.

Conteúdo do curso: Mecânica (P.S.S.C.)

Participantes: 20 professores da região, quase todos licenciados em Matemática com direito ao Magistério em Física.

Tipos de Observações feitas:

a) desempenho nas discussões em grupo

b) desempenho nos trabalhos de laboratório em grupos.

Observações feitas:

1. Poucas vezes os professores tiveram que ser ajudados quanto a definições ou fórmulas algébricas.

2. Todos tiveram grande dificuldade em manipular experimentos, mesmo os mais simples.

3. Quase todos tiveram grande dificuldade em verbalizar argumentos, mesmo sobre os assuntos mais simples.

4. Todos tiveram dificuldades em aplicar os conceitos "sabidos" a situações oferecidas pelos experimentos.

2.4 - FORMANDOS E PÓS-GRADUANDOS

Nos últimos três anos, o autor tem observado e orientado cerca de 120 alunos em fins de seus respectivos cursos de Física. Essa amostra compreende licenciandos, bacharelandos e alguns alunos já em nível de pós-graduação.

Este trabalho que se desenvolveu dentro das disciplinas de "Instrumentação para o Ensino da Física" e "Prática do Ensino da Física", consistiu em observar o desempenho dos alunos diante de situações concretas em que deveriam entender para explicar conceitos e fenômenos simples.

As dificuldades se tornaram logo evidentes, mesmo em relação aos assuntos que todos julgavam sabidos desde o curso médio.

Tipos de Observações feitas:

a) desempenho nas discussões em grupos.
b) desempenho nos trabalhos de laboratórios em grupo.

Observações feitas:

1. Não se evidenciou nenhum caso em que os alunos desconhecessem as fórmulas algébricas ou definições envolvidas.
2. Houve uma dificuldade grande e generalizada em reconhecer situações ou fenômenos, mesmo elementares, quando diante de uma situação concreta. Essa dificuldade se manifestou em diferentes assuntos ou conceitos , entre os quais tiveram destaque os seguintes:

   a) medidas de ângulos
   b) velocidade angular

c) coeficiente angular em um gráfico.

d) movimento harmônico simples.

e) principais movimentos da Terra.

f) fases da Lua.

g) triangulação para medir distâncias.

3. Freqüentemente os problemas que eram simples se complicaram pela aplicação da linguagem algébrica mais rebuscada que a exigida pelo caso.

4. Houve um número considerável de ocasiões em que, mesmo diante de situações simples, houve surpresa, não só pelo enfoque de um problema mas pelo seu próprio conteúdo ou resultado obtido.

5. Houve uma nítida vantagem por parte de alunos que haviam tido em seus cursos algum tipo de trabalho envolvendo experimentos e discussões simultâneas.

6. Houve uma generalizada dificuldade por parte dos alunos em tomar iniciativas tanto verbais quanto motoras diante de situações que demandavam uma AÇÃO.

2.5 - O PROBLEMA

De todos os ensaios realizados se evidencia um problema que apresenta dois aspectos principais.

1. Em todos os níveis amostrados, desde os pós-vestibulandos até professores de Física do 2º ciclo e pós-graduandos, houve uma grande e generalizada dificuldade em reconhecer fenômenos, mesmo em situações reais muito simples.

2. Em todos os níveis amostrados, desde pós-vestibulandos até professores de Física do 2º ciclo e pós-graduandos, houve uma grande e generalizada dificuldade em aplicar conceitos fí

sicos simples a situações concretas e também simples.

Esses resultados foram a princípio chocantes, especialmente se levado em conta o fato de que todas as amostras foram constituídas por pessoas que fizeram da Física sua opção profissional.

Esses resultados fizeram com que o autor adotasse como idéia central da opção adiante oferecida, a importância das ATIVIDADES em que o educando deve defrontar-se, desde o início, com situações concretas e sua manipulação.

3. OS PROJETOS IMPORTADOS PARA O ENSINO DA FÍSICA

Durante muito tempo o ensino de Física no Brasil parece não ter sofrido modificações importantes ou capazes de se tornarem evidentes.

Em 1962 chegava ao Brasil uma equipe de professores para ministrar um curso sobre um projeto americano conhecido pela sigla P.S.S.C. (Physical Science Study Committee). Essa equipe, constituída por professores predominantemente americanos, co-autores do projeto, ministrou o curso para quarenta professores latino-americanos, dos quais dezenove eram brasileiros. Dentre os participantes, o autor teve ocasião de passar imediatamente a fazer ensaios com a aplicação desse novo método com alunos do curso superior e, por meio destes, no nível secundário .

Já no ano seguinte (1963), esse mesmo projeto foi ministrado por um corpo docente que incluía brasileiros (compreendendo o autor), a quarenta professores vindos de diferentes regiões do Brasil. Depois desse, muitos outros cursos sobre o mesmo projeto também foram ministrados, pelo autor deste trabalho, em âmbito regional e também nacional.

Embora raríssimas vezes o referido curso tenha sido aplicável em sua totalidade a alunos tanto do ensino médio quanto do superior, sua introdução representou uma contribuição apreciável e que serviu de elemento motivador de alguma renovação no ensino da Física no Brasil em ambos os níveis, médio e superior. Por muitas razões no entanto, esse projeto não teve o êxito que se poderia esperar, nem teve sua adoção possível em escala nacional.

Já em 1970, em São Paulo, pela primeira vez no Brasil e com o corpo docente constituído por dois professores americanos e dois brasileiros (entre estes o autor), era ministra

do outro grande projeto americano para o ensino da Física em nível médio. Tratava-se do curso conhecido pela sigla H.P.P.(HARVARD PROJECT PHYSICS), e que foi dado a quarenta professores latino-americanos de Física, dos quais vinte brasileiros.

Ambos os projetos, P.S.S.C. e HARVARD, representaram grandes esforços de renovação no ensino de Física nos Estados Unidos. Ambos empenharam grandes somas em dinheiro e grandes recursos humanos em professores, cientistas e técnicos. Especialmente o primeiro deles, o P.S.S.C., prestou grande serviço à renovação do ensino de Física no Brasil. Sua influência tem sido considerável e pode ser notada em um grande número de publicações, tanto nacionais quanto estrangeiras e, em diferentes aspectos do ensino nessa área do conhecimento.

Apesar de sua contribuição,esse projeto, como outros, não se mostrou aplicável em escala nacional. É curioso que, mesmo em seu país de origem (Estados Unidos), esses projetos não tiveram o efeito que deles esperavam seus autores.

A série de razões que tornam esses projetos pouco adequados ou pouco aplicáveis às condições brasileiras poderia ser longamente estudada.

Não é esse, porém, o objetivo deste trabalho. Entretanto, existem algumas razões simples bem evidentes e suficientes para inibir a aplicação de tais projetos em escala nacional.

Entre estas, as seguintes:

1. Dificuldade de isolar partes que sejam praticáveis em pequena disponibilidade de tempo e que mantenham um sentido de terminalidade.

2. Adoção de experimentos que frequentemente exigem material de difícil obtenção em termos brasileiros.

3. Exigência freqüente de instalações especiais (laboratórios)

que, no mais das vezes, não existem nas escolas brasileiras.

4. Exigência de treinamento especial para os professores que pretendem ministrar o curso.

5. Alto preço do material empregado nos experimentos. Nem tudo que é barato para os Estados Unidos, é barato para o Brasil.

6. Dificuldade no atendimento das grandes diferenças, tanto de aptidões como de interesses dos alunos de uma mesma classe.

7. Esses projetos foram elaborados com vistas aos problemas existentes nos contextos de seu país de origem, portanto, sem levar em conta as grandes diferenças no que se refere a hábitos, peculiaridades escolares, necessidades e mesmo nível econômico, especialmente se consideradas as regiões menos desenvolvidas do país.

8. A aplicação de projetos estrangeiros implica a importação de uma tecnologia (know how) em termos autorais e editoriais.

Apesar do grande número de fatores limitadores, é inegável que a introdução desses projetos tem prestado uma contribuição não só pela aplicação direta aos alunos como pelo seu papel motivador sobre a problemática do ensino, especialmente das ciências da Natureza no Brasil.

Não nega o autor que alguns dos ingredientes presentes nesses projetos tenham entrado na gênese do presente trabalho. Há, no entanto, nesta contribuição, uma preocupação de utilizar uma experiência intensamente vivida em termos brasileiros, com seus fatores característicos, ainda que aproveitando a experiência também vivida em relação aos êxitos e às dificuldades inerentes à aplicação daqueles projetos estrangeiros.

4. CARACTERÍSTICAS DE UM PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA APLICÁVEL ÀS CONDIÇÕES BRASILEIRAS

Levando em conta os resultados abordados em "Levantamento do problema", qualquer método, que pretenda ensinar Física ou outra ciência da Natureza, pelo menos ao nível elementar como é o caso do 2º ciclo, deverá levar em conta uma condição fundamental que se evidencia como CONDIÇÃO NECESSÁRIA, embora NÃO SUFICIENTE.

O EDUCANDO OU APRENDIZ DEVE TER OPORTUNIDADE DE OPERACIONALIZAR PESSOALMENTE OS CONCEITOS. APLICANDO-OS EM SITUAÇÕES CONCRETAS QUE IMPLIQUEM SUA INICIATIVA.

Satisfeita essa condição que é entendida pelo autor como necessária, embora não suficiente, seguem-se algumas, que dela decorrem como corolários, e outras que são ditadas pelas condições brasileiras, sendo todas aqui chamadas de CARACTERÍSTICAS OBJETIVAS.

As demais características peculiares a este enfoque ou abordagem poderiam ser diferentes e, por esta razão, são aqui chamadas CARACTERÍSTICAS NÃO OBJETIVAS.

4.1 - CARACTERÍSTICAS OBJETIVAS

Para ser aplicável em termos brasileiros e atender à condição essencial há pouco enunciado, um projeto brasileiro deverá ainda ter as seguintes características objetivas:

1. Possibilidade de realização de ATIVIDADES que não exijam ambientes especiais (laboratórios). As atividades devem ser possíveis de serem realizadas em salas de aula ou ao ar livre.

2. Oferecimento de ATIVIDADES cujo material seja de baixo custo e fácil obtenção em termos brasileiros, compreendidas as regiões menos desenvolvidas.

3. Possibilidade de desmembramento de partes, sem que estas percam seu sentido, para atender a diferentes disponibilidades de tempo destinado ao ensino da Física.

4. Possibilidade de atender a diferentes graus de aptidões. Isso significa acessibilidade simples por um lado e, por outro, o oferecimento de mais oportunidades aos educandos que reunem maiores habilidades para as ciências.

5. Possibilidade de atender a uma grande diversidade de interesses.

4.2 - CARACTERÍSTICAS NÃO - OBJETIVAS

Essas características são entendidas como não obrigatórias e típicas de uma determinada abordagem. As que vão sugeridas a seguir são resultantes de ponto de vista do autor e aqui consideradas, portanto, não-objetivas.

1. Inclusão dos conceitos a serem aprendidos dentro de contextos que sejam motivadores para os jovens.

2. Enfoque que inclua abordagens históricas que evidenciam a interação entre ciência, sociedade e cientista.

3. Enfoque que dê à ciência um tratamento humanista, isto é, voltado para a solução dos problemas da humanidade como um todo.

4. Inclusão de ATIVIDADES que envolvam áreas diferentes da Física.

5. Inclusão de temas ensejadores de discussões que dêem ao edu

cando ocasião de dimensionar a capacidade de raciocínio e verbalização.

6. Inclusão de oportunidades para o educando evidenciar seu valor através de ações e de sua interação com professor e colegas. Essas ações e interação devem ser elementos importantes na avaliação, não excluídos outros (Formulário, pg.160).

7. Ensejo de um trabalho cooperativo em lugar de situações simplesmente competitivas.

5. UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DA FÍSICA

O principal objetivo do autor está centrado no oferecimento de uma opção concreta em que, levadas em conta as condições brasileiras, é proposto um modelo de educação científica e uma metodologia que se realizam através de um conteúdo já em grande parte utilizável.

O projeto propõe que o ensino das ciências, pelo menos ao nível básico (2º grau), inclua como condição necessária o contato com situações concretas de conteúdo utilizável e sob um ângulo humanista. Não só por economia, mas também em decorrência dessa orientação, o autor inclui principalmente situações observáveis sem uso de equipamento de custo e complexidade elevados.

O material e os textos estão agrupados em 5 unidades, cujos conteúdos não estão colocados em uma ordem obrigatória ("em série"), podendo o professor ou o aluno usar o material na ordem que mais atender às suas necessidades.

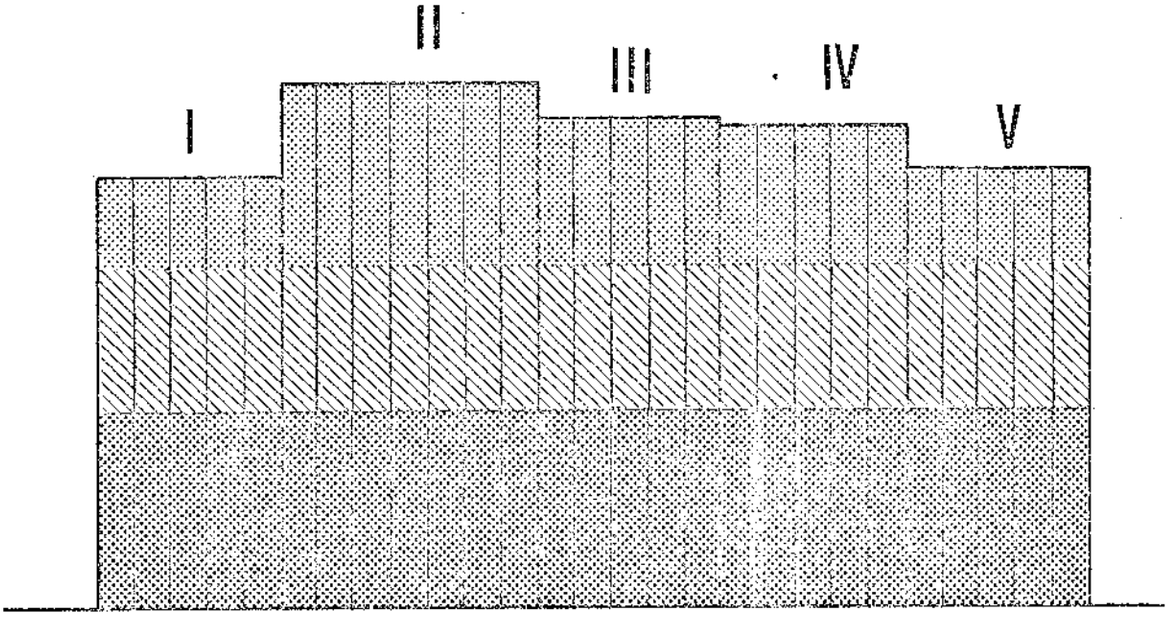
Outra característica consiste em que cada uma das unidades tem um enfoque peculiar, embora todas tenham em comum a importância central dada às ATIVIDADES que são desenvolvidas pelo aluno, orientado pelo professor.

A primeira Unidade, "O CÉU" utiliza a Astronomia como meio para desenvolvimento de idéias utilizáveis de modo geral em ciência e tem uma abordagem predominantemente histórica e humanista.

A segunda Unidade, "MECÂNICA" que começa pelas "Linguagens da Física" procura ir diretamente aos assuntos considerados de importância central, não pretendendo esgotar os assuntos dessa área, mas oferecer os elementos e conceitos mais importantes sobre as leis mais importantes e utilizáveis da Física.

PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA

UNIDADES



1º NÍVEL ("Leitura")

2º NÍVEL ("Se Você quiser saber um pouco mais")

3º NÍVEL ("Um pouco mais ainda")

I - "O Céu"

II - "Mecânica"

III - "O Trabalho dos Elétrons"

IV - Luz e Ondas

V - Átomo e Estrut. da Matéria

De todo o material até aqui elaborado, apenas uma seção não é acompanhada de ATIVIDADE e tem um enfoque peculiar (ver em "Excertos", "Conservação da massa").

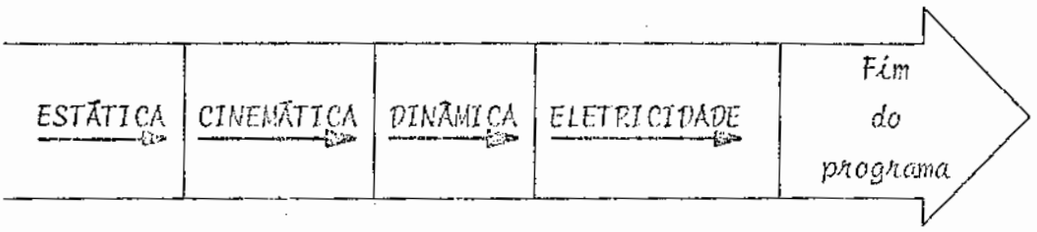
A terceira Unidade, "ELETRICIDADE" - (o trabalho dos elétrons) deverá desenvolver, desde o início, o entendimento básico de circuito elétrico, desenvolvendo portanto um aspecto eminentemente prático e operacional. Simultaneamente, deverá ser desenvolvida a idéia de modelo em Física, para explicar os fenômenos elétricos.

Unidade IV - "LUZ E ONDAS" - ainda não iniciada, deverá começar pela manipulação de lentes e sistemas óticos simples.

Unidade V - "ÁTOMOS E ESTRUTURA DA MATÉRIA" - também ainda não iniciada, deverá conduzir às evidências da estrutura atômica da matéria e de como a aplicação da idéia de modelo pode conduzir a previsões que se verificam como também aos pontos de impasse da ciência.

5.1 - UMA ESTRUTURA "EM PARALELO"

Os currículos e a maior parte dos livros didáticos de Física empregados no Brasil para atender ao ensino de segundo grau têm uma estrutura que aqui convencionamos chamar de "em série". Chamamos de estrutura "em série" às estruturas em que os assuntos são dispostos numa determinada ordem pré-estabelecida e que deve ser percorrida ao longo de todo o seu comprimento. Numa estrutura desse tipo, pelo menos se pressupõe que cada unidade ou parte seja pré-requisito para a seguinte. As partes estariam como que engatadas, uma ao longo da outra, como procuramos esquematizar a seguir.

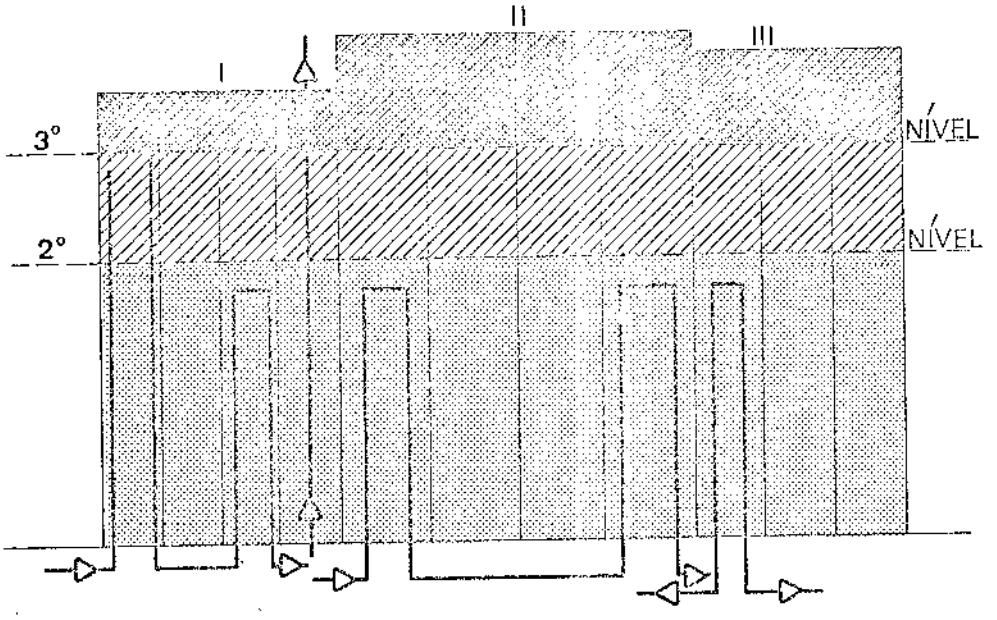


Uma estrutura desse tipo pode ser defendida e em muitos casos pode até ser desejável (o projeto americano PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE, conhecido pela sigla P.S.S.C., é uma estrutura desse tipo.).

A estrutura que aqui é proposta não pretende ser a única alternativa viável. Ela pretende ser uma alternativa que oferece algumas vantagens e decorre de um tipo de enfoque e de circunstâncias vigentes.

A esta alternativa chamamos "em paralelo". As unidades, capítulos ou mesmo seções não pressupõem uma ordem obrigatória. Cada uma não pretente a anterior como pré-requisito embora possa haver uma disposição preferível. A abordagem ou entrada pode ser feita pelo assunto que mais interessar ou aprouver ao Professor ou aos alunos. Para tanto, os assuntos são apresentados inicialmente por uma leitura que não apresenta necessidades em termos de pré-requisitos, mas introduz à discussão do assunto.

O enfoque "em paralelo" aqui proposto decorre de uma visão em que não só o objetivo instrucional pode ser o importante. Julgou-se que, em termos de EDUCAÇÃO CIENTÍFICA pode o Processo ser mais importante que o objetivo instrucional. Com essa perspectiva, pretendeu-se oferecer uma grande variedade de entradas possíveis, como esquematizamos a seguir.



O início do estudo pode ser feito tanto pela Unidade I ("O CÉU"), como pela Unidade II ("MECÂNICA") ou pela "ELETRICIDADE".

Cada uma das Unidades tem um enfoque particular e não pressupõe a anterior como pré-requisito. Todas elas têm uma certa terminalidade, isto é, oferecem meios para que o aluno tenha seu interesse voltado para um assunto que faz sentido por si só e simultaneamente realize uma ATIVIDADE que implica ação MOTORA. Essa terminalidade se encontra também nos capítulos e mesmo nas seções.

Para exemplificar, basta citar uma entrada que poderia efetuar-se pela 1a. seção da Unidade " O CÉU". Além da leitura, aí se oferece uma atividade externa (Gnomon) envolvendo conhecimentos úteis (medidas de ângulos), além de despertar o espírito de observação.

Outra entrada poderia se efetuar pelo último capítulo dessa mesma unidade: "Distâncias astronômicas: as estrelas". Aí, além das idéias gerais suscitadas, encontra-se uma ATIVIDADE que pode ser considerada de utilidade; a medida de distâncias de todos os tamanhos, desde o observador até um ponto ina

cessível.

Outra entrada possível poderia ser pela seção número 4 (capítulo 4) da Unidade II: "Conservação da Energia".

Desta maneira pretendeu-se uma maior adaptabilidade às condições e interesses diferentes.

5.2 - ABORDAGEM EM TRÊS NÍVEIS

Na elaboração dos textos e das ATIVIDADES, esteve presente a preocupação de atender às grandes diferenças, tanto de interesses como de aptidões, existentes em qualquer amostra (classe) de alunos. Procurou-se atender a esse aspecto, fazendo com que os capítulos sejam apresentados em três níveis.

O primeiro nível é aquele pelo qual o assunto é sempre introduzido e em cuja elaboração foi posto o esforço para alcançar uma linguagem clara e ao mesmo tempo ensejadora de discussões. Esse nível não recebeu qualquer denominação explícita. Apenas para uso neste trabalho o designamos de nível de leitura.

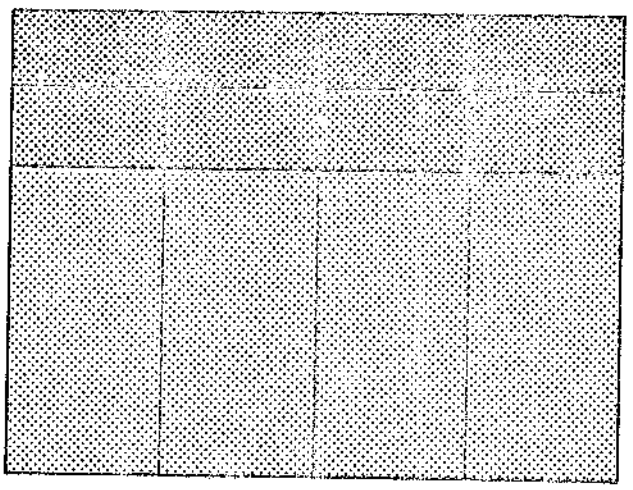
É por esse nível que todos começam e não se oferece ensejo para que o aluno comece por outro.

O segundo nível aparece sob o título de "Se você quiser saber um pouco mais". Neste nível se retomam alguns aspectos do assunto e se os tratam com detalhes mais finos em relação ao modo como foram abordados no nível fundamental. Esses detalhes são oferecidos aos alunos que transpuseram o que já lhes foi atribuído no trabalho geral da classe, evitando sua ociosidade.

Um terceiro nível é apresentado sob o título "Um

pouco mais ainda". Nele foram tomados aspectos ainda mais delicados ou detalhes mais finos em relação aos dois níveis precedentes, utilizando uma linguagem algébrica também mais exigente, comparada com as anteriores.

U N I D A D E



NÍVEL 1° - "DE LEITURA"

NÍVEL 2° - "SE VOCE QUISER SABER UM POUCO MAIS"

NÍVEL 3° - "UM POUCO MAIS AINDA"

O conteúdo específico das UNIDADES não pretende nunca constituir-se em simples reprodução de um experimento para comprovação de uma dedução algébrica feita anteriormente. As ATIVIDADES aparecem inseridas no texto de cada seção e no momento em que o experimento é sugerido pelo desenrolar das idéias contidas no texto. ATIVIDADES e texto não se superpõem em um mesmo assunto nem se excluem; são complementares um do outro.

Os níveis "SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS" e

os alunos tenham ocasião de exercitar seus argumentos e os tenham que externar através de uma iniciativa verbal.

5.3.2 - Material empregado

A elaboração e escolha do material a ser utilizado nas ATIVIDADES foram orientadas pelos seguintes critérios:

1. Baixo Custo

   Procurou-se utilizar material sempre de baixo custo em termos brasileiros, isto é, accessibilidade em qualquer região do Brasil. Levou-se em conta as limitações dos bairros pobres, com colégios de poucos recursos por todo o país. Dessa maneira, visa-se a que o baixo custo permita não só ao Colégio obter o material mas também o próprio aluno, que poderá fazer a maioria das ATIVIDADES também em sua própria casa.

2. Fácil Obtenção

   Não basta que o custo seja baixo. Também a aquisição do material deve ser fácil em todas as regiões do Brasil, razão por que o material é quase só de consumo geral.

Listas do material por grupo de 5 alunos encontram-se nas respectivas Unidades (Anexos).

5.4 - ESTROBOSCOPIA

Este título compreende um grande número de atividades desenvolvidas em um setor para o qual pretendemos contribuir, se não em termos absolutamente originais, pelo menos de modo como ainda não se fez no Brasil. Esse trabalho se desdobrou em várias frentes, abrangendo um grande número de tarefas.

Para maior clareza, separamos algumas dessas áreas de trabalho que passamos a descrever.

5.4.1 - Propósito

O propósito orientador foi o de oferecer uma coleção de fotografias estroboscópicas de objetos em movimento ou de interações entre dois corpos. A intenção é de dar ao educando ocasião para observar e medir aspectos de movimentos que dificilmente poderiam ser verificados de outra maneira. Essas fotografias têm a vantagem de fixar os aspectos mais interessantes e quantitativos dos movimentos. Diante de fotografias desse tipo, o educando pode melhor perceber o significado da linguagem algébrica que sintetiza a descrição de um fato real. As experiências feitas com fotografias desse tipo se mostraram de grande efeito provocador em diferentes níveis e tipos de interesses. Em grande número de casos, mesmo ao nível universitário, houve verdadeira surpresa diante de certos aspectos que jamais haviam sido vistos embora houvessem sido estudados.

5.4.2 - Fonte de luz estroboscópica

A primeira dificuldade a ser superada foi a não existência de equipamento de iluminação estroboscópica com as características exigidas. O equipamento existente é importado, se destina a outras finalidades e em geral não pode ser utilizado para os propósitos deste trabalho.

A primeira série de fotografias foi conseguida usando-se "equipamento de baile" (luz estroboscópica). Com a experiência adquirida, tratou-se de conseguir um pulsador de luz com maior potência, maior variedade e estabilidade de freqüências. O circuito foi mandado montar especialmente e as lâmpadas especiais encomendadas especialmente à FRATA (SP.).

5.4.3 - Preparo do Pessoal

A realização de um trabalho dessa natureza exigiu sempre a presença de uma equipe que foi constituída no mínimo por quatro pessoas. O trabalho da equipe constou não só da tomada das fotografias, mas principalmente do preparo prévio e sumariamente dos experimentos a serem fotografados.

A primeira equipe foi constituída por quatro alunos quartanistas do curso de Física da Faculdade de Filosofia de Rio Claro, orientados pelo autor. O trabalho dessa equipe durou todo o ano letivo de 1972, em regime de 5 horas por semana e consta de um relatório em que estão seus nomes e os resultados obtidos.

A segunda equipe criada pelo autor foi constituída na Universidade Estadual de Campinas por físicos em nível de graduação, de pós-graduação, auxiliares permanentes do autor e por alunos do curso de Física, muitos dos quais participaram em caráter não permanente.

Ambas as equipes participaram também do trabalho de montagem dos acessórios que envolveu também pessoal técnico de cada escola, sempre orientados pelo autor.

Todas as fotografias estroboscópicas empregadas no projeto são resultado dessas duas equipes orientadas e treinadas pelo autor. Ambas atingiram nesse trabalho um nível suficiente para produzir trabalho com autonomia.

5.4.4 - Equipamento Fotográfico

A primeira equipe no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia de Rio Claro, utilizou máquina fotográfica LEICA com objetiva SUMILUX e obturador de cortina de propriedade da própria escola.

A segunda equipe utilizou máquina fotográfica ASAHI-Pentax com objetiva TAKUMAR e obturador de cortina.

Em ambos os casos o processamento do material fotográfico foi feito nas respectivas escolas.

5.4.5 - Montagem de Acessórios

Logo que as primeiras fotografias mais simples foram feitas, evidenciou-se a necessidade de uma série de acessórios indispensáveis à realização de muitos experimentos e que foram especialmente montados. Os principais estão enumerados a seguir.

1. Dispositivo para lançamento simultâneo de esferas, uma vertical e outra horizontalmente.

2. Sistema de coordenadas constituído por um quadro de madeira de 1,5 x 1,5 m com fios de nylon esticados a uma distância de 5 cm um do outro e dispostos em duas direções perpendiculares entre si.

3. Rampas em forma de "montanha russa" para movimento não retilíneo e não uniforme com guias para lançamento de carrinhos.

4. Acelerômetro de rampas constituído por perfil circular e graduado em m/seg^2.

5. Acelerômetro de pêndulo simples com escala graduada em m/s^2.

6. Acelerômetro de nível d'água graduado em m/seg^2

7. Acelerômetro de haste flexível com escala variável em m/seg^2

8. Várias gerações de "pucs" constituídas de lata de cerveja e anel de cano para funcionar com nitrogênio líquido.

9. Réguas graduadas para serem fotografadas com o experimento e

dar-lhes a escala.

10. Carrinhos simples com massas variáveis munidos de rodas de baixo atrito e parachoques para colisões elásticas e não elásticas.

11. Grande relógio elétrico para permitir o registro fotográfico de intervalos de tempo muito pequenos (centésimos de segundos).

12. Grande mesa (1,5 m x 2 m) de superfície negra e lisa para servir de plano em que são fotografados movimentos e interações.

13. Grande armação de madeira, móvel horizontal e verticalmente para fotografias de eixo horizontal e vertical.

14. Montagem de sala a prova de luz com forro não reflexivo.

15. Grande superfície cônica de chapa de ferro para fotografia de "órbitas" ao redor de um eixo.

16. Grande número de outros pequenos acessórios indispensáveis , como calhas, canaletas, suportes etc.

Observação: Todos os acessórios aqui mencionados constam de documentação fotográfica.

5.5 - UM ENFOQUE HISTÓRICO

Uma preocupação constante foi a de proporcionar um enfoque também histórico, sempre que possível. Não se pretendeu nunca que o projeto se tornasse uma história da ciência e muito menos um rol de dados biográficos. Procurou-se situar fatos científicos, dentro de um contexto histórico em que o educando tenha oportunidades de perceber mais que as descobertas: a interação meio-ciência. Esse aspecto pode ser percebido em dife

rentes trechos da parte pronta do projeto, mas principalmente no capítulo "Assim no Céu como na Terra". Esse capítulo tem sob este aspecto uma característica um pouco diferente das demais. Aí está sintetizada a evolução das idéias do homem sobre o Universo que o rodeia desde o surgimento da cultura helênica até o advento da ciência moderna, com a "Revolução de Galileu" e "Aí apareceu Newton". Nesse mesmo capítulo se tratou de alguns aspectos do Renascimento com suas manifestações científicas em "A Troca da Terra pelo Sol: Copérnico". Ainda nesse capítulo tratou-se da importância dos dois aspectos, teórico e experimental da ciência em "Uma grande dupla: Brahe e Kepler". Procurou-se aí, com o exemplo histórico, evidenciar a importância da conjugação de esforços nos dois tipos de atividade científica: teórica e experimental.

Embora fiel à idéia de que cada parte possa manter seu significado mesmo quando destacada do conjunto, há nesse capítulo um encadeamento das seções que dá um sentido maior às partes justapostas.

Ainda sob um ângulo que chamaríamos de histórico-humanista, introduziu-se frequentemente um ingrediente de indagação quanto ao papel da ciência diante dos grandes problemas que se constituem em verdadeiro desafio à humanidade contemporânea: demanda de energia, de alimentos e a poluição. Esse aspecto pode ser notado desde o prólogo da primeira unidade ("O Céu"), no seu epílogo e na seção "O planeta sobre o qual viajamos, a Terra".

Mesmo na segunda unidade ("MECÂNICA") essa idéia está presente em seções como "A Conservação da Massa". Em alguns lugares procurou-se ligar, em termos de épocas, alguns acontecimentos científicos com algum evento importante da história do Brasil. Isso pode ser notado, por exemplo, em "A Troca da Terra pelo Sol", "De que são feitas as Estrelas" no último capítulo da Unidade I ("O CÉU").

5.6 - ASTRONOMIA, UM DOS MEIOS

Um aspecto de como o projeto pretende fazer uma contribuição é incluir a Astronomia no rol dos assuntos regularmente apresentáveis ao educando do 2º ciclo, no Brasil.

Não pretendeu o autor fazer da Astronomia um fim. Ela é aqui considerada um meio, por muitas razões favoráveis, tanto ao desenvolvimento de atitudes, de indagação como de habilidades aplicáveis a situações concretas para o cidadão do mundo contemporâneo.

Entre as razões que justificam a introdução da Astronomia como um dos meios para o processo ensino-aprendizagem passa o autor a enumerar as principais e que estão resumidas para o educando no prólogo da Unidade "O CÉU", (Anexo I).

1. A Astronomia, pela diversidade dos problemas que propõe e dos meios que utiliza, oferece o ensejo de contato com atividades e desenvolvimento de habilidades úteis em todos os ramos do saber e do quotidiano da ciência.

2. A Astronomia oferece ao educando, como nenhum outro ramo da ciência, a oportunidade de uma visão global do desenvolvimento do conhecimento humano em relação ao Universo que o cerca.

3. A Astronomia oferece ao educando a oportunidade de observar o surgimento de um modelo sobre o funcionamento do Universo, bem como a crise do modelo e sua substituição por outro (Ver capítulo 2 da Unidade I).

4. A Astronomia oferece oportunidade para ATIVIDADES que envolvam também trabalho ao ar livre e que não exigem material ou laboratórios custosos.

5. A Astronomia oferece grande ensejo para que o homem perceba

sua pequenez diante do Universo e ao mesmo tempo perceba como pode penetrá-lo com sua inteligência.

6. O estudo do Céu sempre se tem mostrado de grande efeito motivador, como também dá ao educando a ocasião de sentir um grande prazer estético ligado à ciência: o prazer de entender um pouco do Universo em que vivemos.

5.7 - MEIOS AUXILIARES

Entende o autor que, no processo ensino-aprendizagem, muitos meios podem ensejar condutas consideradas desejáveis e enriquecedoras do processo. O autor trabalhou em dois tipos de material áudio-visual: o cinema didático em Física e o diafilme, também sobre Física.

Ambos oferecem, tanto na sua elaboração como na utilização, oportunidades para atitudes de reflexão e indagação. Não pretendeu nunca o autor que qualquer desses meios audio-visuais tivesse papel essencial ou insubstituível dentro deste projeto. Eles foram sempre considerados como meios auxiliares.

5.7.1 - Diafilme

Entende-se aqui por diafilme uma coleção que compreende de 20 a 40 diapositivos, cuja seqüência ordenada forma uma idéia global que flui através da seqüência e que é acompanhada por um texto gravado em fita ou simplesmente lido. Este parece ser um recurso de grandes possibilidades e especialmente indicado em regiões onde o cinema didático é impraticável.

Para ensaiar tanto a produção quanto a utilização desse tipo de recurso, o autor produziu um protótipo sob o nome "A energia que recebemos do Sol".

1. Roteiro

O primeiro trabalho e também o mais difícil foi a elaboração de um roteiro em que são dispostas as idéias e as imagens capazes de transmitir a idéia principal. A ênfase foi dada em um enfoque capaz de despertar a atenção do educando mais para os processos envolvidos que para simples informações. Procurou-se dar o conceito de energia e de algumas de suas transformações sem defini-las formalmente.

2. O texto do Diafilme

O texto procurou ser de linguagem clara sobre o processo que está sendo tratado, suscitando idéias sem descrever a imagem que está sendo projetada. O texto foi apresentado em forma gravada, como também para simples leitura que pode ser feita pelo professor ou por um aluno, até mesmo sem o professor.

3. As imagens

As imagens foram pensadas como apoio da idéia que está sendo veiculada pelo texto e procuraram evitar detalhes não utilizados na idéia principal, dando lugar à imaginação. A execução dos desenhos coube ao Sr. Orlando Lucano, desenhista do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia de Rio Claro, sob orientação direta do autor.

4. Ensaios

Os ensaios sobre a utilização do protótipo de Diafilme compreendeu a aplicação de questionários antes e depois da exibição da película acompanhada do texto. Esses estudos constam de relatórios aqui omitidos, por brevidade e por se constituirem em estudo paralelo a este.

5.7.2 - Cinema Didático

No período 1971/1972 o autor realizou roteiros e textos para a primeira série de fitas cinematográficas para o

ensino de Física feitas no Brasil. Embora esse trabalho não tivesse uma relação direta com o P.B.E.F., a abordagem e a estrutura das idéias deste foram utilizadas intencionalmente naqueles . Esse trabalho ensejou oportunidades para ensaios e pesquisa, não só na elaboração como na utilização daquele material pronto. Os ensaios com o material pronto foram realizados com professores e alunos de diversos níveis e então registrados em relatórios, aqui omitidos por brevidade e pos se constituirem em estudo paralelo a este.

6. EXCERTOS DO PROJETO

(UNIDADES I E II)

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.2 - A TROCA DA TERRA PELO SOL: COPÉRNICO

No ano de 1.500, as naus de Cabral chegavam às praias virgens do Brasil. Nessa mesma época, o jovem Nicolau Copérnico estava na Itália vindo de sua terra, a Polônia, para estudar. Da Itália se irradiava uma onda de renovação da cultura, conhecida como Renascimento. Aí, Copérnico tomou contato, entre outras coisas, com as idéias de Aristarco, o grego que havia sugerido o Sol como centro dos movimentos dos planetas. Já há quase 13 séculos se usava o sistema geocêntrico de Ptolomeu. O Homem era considerado como a coisa mais importante da criação e, portanto, devia estar no centro do Universo. Por isso a Terra, sobre a qual estava o Homem, deveria ser o centro do Universo.

É curioso notar que todas as grandes navegações se fizeram usando-se os conhecimentos de astronomia geocêntrica. Mesmo estando errado, esse sistema permitia previsões que se confirmavam. Com o passar dos séculos, no entanto, os erros do sistema de Ptolomeu iam-se acumulando, exigindo correções cada vez mais complicadas.

Copérnico achava que os movimentos do céu podiam ser explicados de forma mais simples se se imaginasse o Sol, em vez da Terra, no centro do Universo. Isso era trocar a Terra pelo Sol como centro do Universo. Significava também tirar o Homem do centro do Universo. Essa idéia era considerada uma heresia. O livro "De Revolutionibus Oribium Coelestium" (Sobre as Revoluções das Esferas Celestes) em que Copérnico expunha o sistema heliocêntrico (com o Sol no centro) só foi publicado depois de sua morte. Mesmo assim foi colocado no INDEX, como obra herética.

Em seu livro, Copérnico mostrava que todos os movimentos do Sol e os estranhos movimentos retrógrados dos planetas podiam ser explicados de forma mais simples admitindo-se o movimento da Terra ao redor do Sol.

Em resumo, Copérnico propunha:

2.2.1

1. O Sol estaria no centro de todas as esferas que contêm os planetas e portanto no centro do Universo.
2. A Terra seria o centro apenas da esfera da Lua.
3. A distância da Terra ao Sol (o raio da esfera que contém a Terra) é muito pequena em relação ao tamanho da esfera das "estrelas fixas".
4. Tanto o movimento diário do céu como o movimento anual do Sol sobre o céu são aparentes e resultam dos movimentos da Terra.

Essas idéias foram imediatamente atacadas como "sem fundamento" e contrárias às escrituras. Por essa razão, o livro de Copérnico foi colocado no INDEX, como heresia. Apesar das grandes imperfeições, o trabalho de Copérnico abria a possibilidade de uma explicação muito mais simples para os movimentos dos planetas.

A primeira grande coisa que se tornava possível era a determinação dos raios das órbitas dos planetas usando como unidade a distância Terra-Sol. Isso você entenderá fazendo a próxima atividade.

ATIVIDADE: DETERMINAÇÃO DO RAIO DA ÓRBITA DE VÊNUS

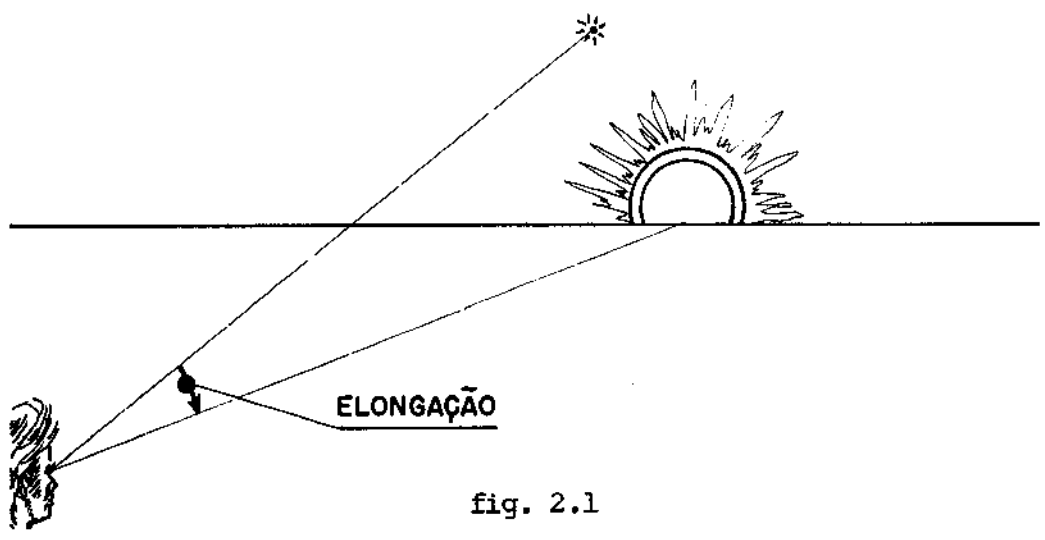


fig. 2.1

A tabela abaixo contém as medidas das ELONGAÇÕES do planeta Vênus, tomadas durante cerca de dois anos. Faça com esses dados um gráfico tendo o eixo vertical para as elongações e o eixo horizontal para os dias. Tenha o cuidado de escolher escalas em que caibam os valores da tabela.

DIA	ELONGAÇÃO	DIA	ELONGAÇÃO
0	20°	400	-27°
40	43°	440	-35°
60	47°	480	-43°
80	45°	520	-47°
120	37°	560	-32°
160	30°	600	21°
200	19°	640	45°
240	8°	650	47°
280	0°	680	45°
320	-11°	720	37°
360	-21°		

OBSERVAÇÃO: O sinal negativo significa que o planeta passou de OESTE para LESTE do Sol. Realmente não há elongação negativa.

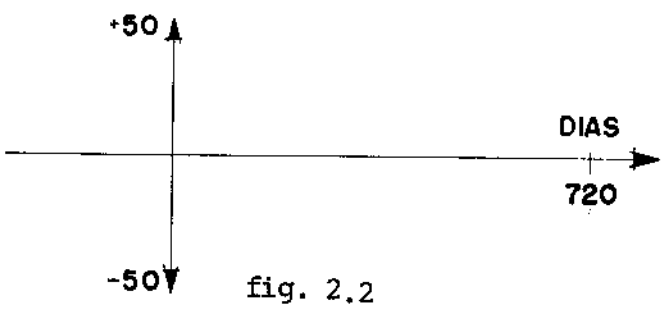


fig. 2.2

Depois de fazer o gráfico, analisando-o, responda às seguintes perguntas:

2.2.3

1. Quanto tempo leva Vênus para voltar a ocupar a mesma posição em relação à Terra, isto é, em relação à reta Terra-Sol?

2. Você acha que esse tempo é realmente o que o planeta leva para dar uma volta ao redor do Sol? Ou é o tempo de uma volta aparente? Lembre-se de que a Terra esteve se deslocando durante as medidas.

3. Qual a máxima elongação que Vênus teve para Oeste e para Leste?

Faça agora uma circunferência de raio qualquer. Esse raio representará a distância Terra-Sol que é usada com unidade astronômica (UA), pois com ela são medidos os raios das órbitas dos planetas. O centro da circunferência é ocupado pelo Sol.

Marque um ponto sobre a circunferência: esse ponto representa uma posição da Terra. A partir desse ponto, e contando o ângulo em relação à reta Terra-Sol, marque o ângulo da maior elongação de Vênus. Com o centro sobre o Sol, trace uma circunferência que seja tangente à direção da máxima elongação.

O raio desta circunferência representa o raio da órbita de Vênus em relação à unidade que você escolheu.

Lembre-se que em um triângulo retângulo o seno de um de seus ângulos é igual à divisão do cateto oposto pela hipotenusa.

Portanto, sendo A o ângulo de maior elongação:

$$\text{sen } A = \frac{\text{raio da órbita de Vênus (ROV)}}{\text{unidade astronômica (UA)}}$$

Logo:

$$ROV = UA \text{ sen } A$$

Verifique agora quanto vale o seno, numa tabela de valores trigonométricos. Quantas unidades astronômicas tem o raio de Vênus?

Outra grande vantagem do sistema sugerido por Copérnico, foi tornar possível a determinação dos períodos verdadeiros dos planetas. Até Copérnico, não era possível determinar o tempo que um planeta leva para completar sua volta. Os tempos medidos eram aparentes. Imagine a seguinte situação: o ponteiro das horas de um relógio vê que o ponteiro maior passa por ele regularmente. Quanto tempo decorre entre cada encontro? Pare de ler e pense nisso. Como poderia o ponteiro das horas medir o tempo que o ponteiro dos minutos leva para fazer uma volta completa? Enquanto o ponteiro das horas "pensar" que é imóvel, ele "pensará" também que o outro, dos minutos, completa uma volta quando eles se encontram, o que não é verdade. Só quando o ponteiro das horas "admitir" que ele também gira é que ele poderá medir o período verdadeiro do outro. Antes, porém, ele terá que medir o próprio período.

Enquanto o Homem não sabia que ele (com a Terra) também dava voltas, só podia medir o período aparente (período sinódico) dos outros planetas. Quando admitiu-se que a Terra dava voltas, tornou-se possível determinar o período verdadeiro (período sideral) dos outros planetas depois, é claro, de determinar o período verdadeiro da Terra.

É interessante lembrar que em muitas coisas o sistema de Copérnico era semelhante ao de Ptolomeu. O sistema geocêntrico admitia que os planetas estavam presos a esferas transparentes. Também para Copérnico, os movimentos dos planetas deviam ser explicados usando circunferências ou esferas. Para explicar as pequenas irregularidades do movimento dos planetas, Copérnico admitia a necessidade de que o centro da órbita circular de Marte, por exemplo, não estava sobre o Sol. Além disso havia necessidade de admitir epiciclos, como Ptolomeu fizera.

Muitos anos se passaram até que o heliocentrismo fosse aceito e depois aperfeiçoado. Mesmo assim, se iniciara um processo em que não só a Terra, mas também o Homem era tirado do centro do Universo

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

RELAÇÃO ENTRE O PERÍODO (O TEMPO) APARENTE, PERÍODO VERDADEIRO E A UNIDADE DE TEMPO.

O raciocínio que vamos desenvolver foi feito pela primeira vez por Copérnico e lhe permitiu conhecer os períodos verdadeiros dos planetas (períodos siderais), medindo os tempos aparentes (períodos sinódicos), tendo como unidade ou termo de comparação o período de revolução da Terra, que é o ano. Este mesmo raciocínio se aplica a outras coisas, como o tempo que levam os ponteiros do relógio para se encontrarem.

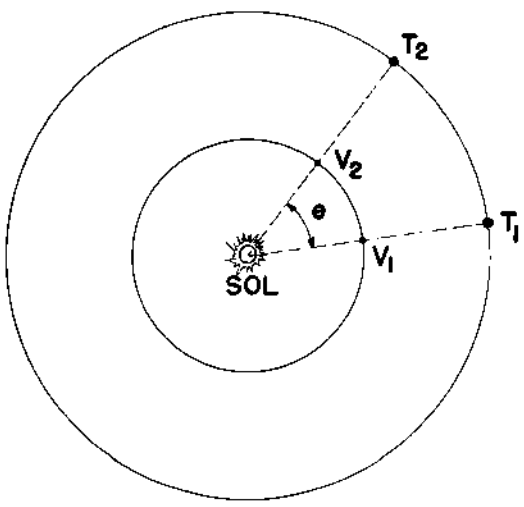


fig. 2.3

Suponha que vamos medir o tempo quando o planeta está passando entre a Terra e o Sol (no caso de Vênus ou Mercúrio). A Terra está na posição T_1 e Vênus na posição V_1. Acontece, que quando Vênus voltar à sua posição inicial (V_1), nós (na Terra) já não estaremos aí para assinalar o tempo verdadeiro da

volta. A Terra estará numa outra posição: T_2. O que medimos é, portanto, um período aparente (o tempo de uma volta em relação à Terra, que está se deslocando). O que nos interessa saber, no entanto, é o período verdadeiro, isto é, o tempo para uma volta contada a partir de um ponto fixo.

UM POUCO MAIS AINDA

Isso, que seria muito difícil fazer só com palavras, fica muito mais simples na linguagem precisa e sintética da matemática. Vamos ver a seguir o que os símbolos significam na linguagem matemática que vamos usar:

T - período de revolução da Terra: unidade de tempo (um ano).

T_{vV} - período verdadeiro (sideral) de Vênus.

T_{aV} - período aparente (sinódico) de Vênus.

t_V - tempo para Vênus descrever o arco V_1V_2 de sua órbita,ou o ângulo Θ .

t_T tempo para a Terra descrever o arco $T_1\ T_2$ de sua órbita ou o ângulo Θ .

Podemos dizer que no tempo em que Vênus completa uma volta e ainda percorre o arco $V_1\ V_2$, a Terra percorre o arco $T_1\ T_2$ ou $T_{vV} + t_V = t_T$ (1)

Lembre-se de que a Terra caminha muito mais devagar que Vênus. Se o movimento é circular uniforme, o tempo para o planeta percorrer um certo ângulo é proporcional ao ângulo, isto é,

$$\frac{t_V}{T_{vV}} = \frac{\Theta}{360^o}$$

e

$$\frac{t_T}{T} = \frac{\Theta}{360^o}$$

Dessas duas equações podemos tirar que:

$$\frac{t_V}{T_{vV}} = \frac{t_T}{T} \quad \text{ou} \quad t_V = \frac{t_{vV}\, t_T}{T} \qquad (2)$$

Substituindo a expressão (2) de t_V na equação (1) fica

$$T_{vV} + \frac{T_{vV}\, t_T}{T} = t_T \qquad (3)$$

Acontece que o tempo para a Terra fazer o ângulo θ (t_T), é igual ao período aparente de Vênus (T_{aV}) ou

$$t_T = T_{aV}$$

Então a equação (3) fica

$$T_{vV} + \frac{T_{vV}\, t_{aV}}{T} = T_{aV}$$

ou

$$T\, T_{vV} + T_{vV}\, T_{aV} = T_{aV}\, T$$

Dividindo essa equação por $T\, T_{vV}\, T_{aV}$ fica:

$$\frac{1}{T_{aV}} + \frac{1}{T} = \frac{1}{T_{vV}}$$

Essa equação exprime como estão relacionadas T_{aV}, T e T_{vV} . Isso também poderia ser escrito de outra forma :

$$\frac{1}{T_{vV}} = \frac{T + T_{aV}}{T_{aV}\, T} \quad \text{ou} \quad T_{vV} = \frac{T_{aV}\, T}{T_{aV} + T}$$

ou ainda: $$T_{vV} = \frac{T}{1 + T/T_{aV}}$$

2.2.8

Na atividade sobre o raio da órbita de Vênus, você mediu o período aparente de Vênus. Use aquele valor para calcular o período verdadeiro daquele planeta. Dessa maneira, torna-se possível então calcular os períodos verdadeiros também dos planetas exteriores, isto é, daqueles que têm órbita maior que a órbita terrestre. Todo raciocínio é exatamente o mesmo, com uma diferença : os perídos dos planetas exteriores (T_{vP}) são maiores do que o da Terra. Daí resulta

$$T_{vP} = \frac{T}{1 - T / T_{aP}}$$

Use a equação encontrada para medir o tempo que levam, por exemplo, os ponteiros do relógio para se encontrarem.

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.4 - A REVOLUÇÃO DE GALILEU

Apesar de muito importante, o trabalho de Kepler era conhecido apenas por uma pequena roda de amigos e intelectuais.

Nesse mesmo tempo viveu Galileu Galilei, o introdutor do método científico que viria revolucionar o mundo da Ciência. Galileu se destacou por muitas razões que são, resumidamente:

1. Introdução do método da experimentação como meio de estudar um fenômeno ou verificar uma hipótese.

2. Tratamento dos assuntos começando por conceitos objetivos como velocidade, aceleração, força. Até então, os fenômenos da natureza eram tratados de maneira filosófica como forma, essência etc., que haviam sido introduzidos por Aristóteles no século IV a.C.

3. As preleções ou discussões feitas por Galileu, eram assistidas por muita gente devido às suas grandes qualidades de comunicação.

4. Muitos dos assuntos por ele estudados e discutidos, eram por ele mesmo publicados e na língua de seu povo (italiano). Nessa época, todos os livros eram escritos na linguagem de uma elite, o latim. Além disso, a linguagem de Galileu era vibrante, e em estilo panfletário.

Em 1.600 Giordano Bruno fora queimado vivo por suas idéias a favor do heliocentrismo, consideradas heréticas.

Galileu era francamente favorável ao heliocentrismo mas, até então, não havia nenhuma prova da verdade dessas idéias, nem uma prova evidente de que o sistema geocêntrico estivesse errado. Tendo ouvido falar de um holandês (Lipershei) que havia construído um "aparelho que aproximava os objetos distantes", Galileu, por sua conta, estudou como deveria ser

e ela mesmo passou a construi-lo.

Essa primeira luneta foi logo apontada para o céu em busca de novos conhecimentos. Com ela foram feitas as descobertas que abalaram seu tempo: a Lua não era uma esfera geometricamente perfeita como se pensava. Lá existiam vales, montanhas e outros acidentes, como na Terra.

Júpiter tinha ao seu redor várias pequenas luas. Isso era uma grande prova, pois segundo o pensamento dominante, todos os objetos celestes deviam girar ao redor da Terra, centro do Universo.

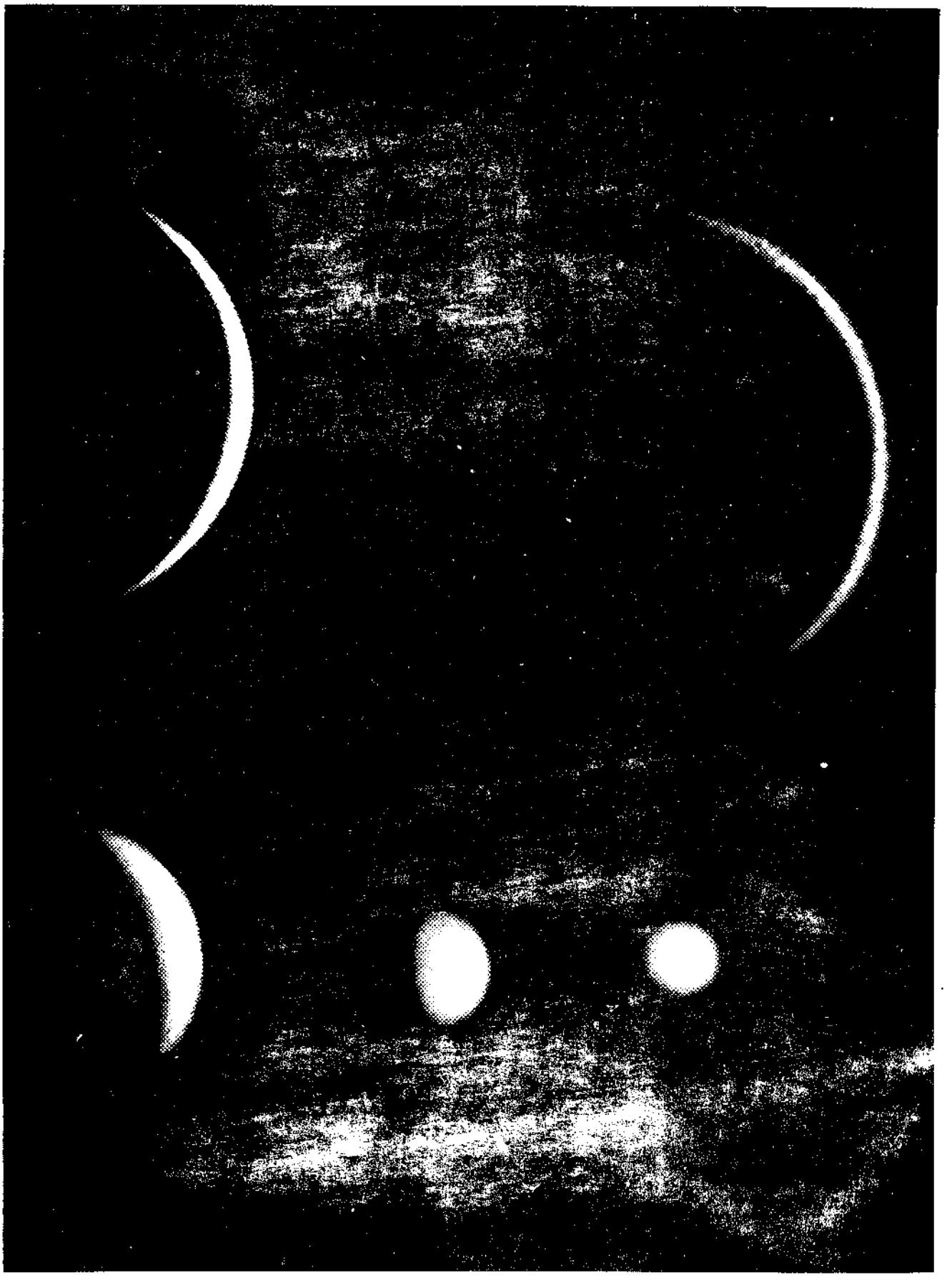
Achava-se que o Sol, como todas as coisas do céu deviam ser perfeitas e portanto sem manchas. Mas as manchas do Sol apareceram na luneta de Galileu.

E a mais importante descoberta dessa série - as fases de Vênus. Esse planeta, apresentava fases semelhantes às fases da Lua, e mais, seu tamanho, visto com a mesma luneta, apresentava variações que evidenciavam seu movimento ao redor do Sol, e não da Terra.

As várias observações feitas com a mesma luneta, portanto com o mesmo aumento, mostravam Vênus com diferente iluminação e diferentes tamanhos.

ATIVIDADE: AS FASES DE VÊNUS

Numa atividade anterior você verificou como, a partir da hipótese heliocêntrica de Copérnico, era possível determinar o raio da órbita de Vênus. Você deve ter encontrado um valor ao redor de 0,7 UA para o raio da órbita de Vênus. Isso no entanto era o resultado de uma hipótese, a hipótese de que aquele planeta gira ao redor do Sol, e não da Terra. Nada ha



2.4.3

via, no entanto, que provasse ser verdadeira essa hipótese. A olho desarmado, Vênus aparece como uma estrela ora mais, ora menos brilhante.

Admitindo-se que Vênus gira ao redor do Sol numa órbita quase circular, deve-se esperar que aquele planeta se apresente com fases e tamanhos diferentes.

Faça um esquema com os dados obtidos na atividade da seção 2 e responda às perguntas:

1. Por que Vênus não se apresenta mais brilhante quando está mais longe de nós ? (Terra)

2. Por que Vênus não se apresenta mais brilhante quando está mais perto de nós (Terra)?

3. Em que posição Vênus aparece menor?

4. Em que posição Vênus se apresenta maior?

5. Represente Vênus sobre sua órbita como um pequeno disco. Esse disco subtende um certo ângulo visto da Terra que é tanto maior quanto menor é a distância da Terra. Quantas vezes maior é o ângulo subtendido quando o planeta está mais próximo em relação ao ângulo subtendido quando o planeta está mais longe?

6. Confronte essa sua resposta com as diferentes imagens obtidas através de uma mesma luneta. Isso equivale a dizer, com o mesmo aumento.

7. A descoberta de Galileu (imagens de Vênus) confirma ou não a hipótese de Copérnico?

Para Galileu, parecia evidente que depois dessas provas, o heliocentrismo seria aceito como verdade científica. Isso entretanto não aconteceu. Ele foi chamado pela Inquisição e advertido para que não voltasse a pregar o "erro" e a "heresia". Em 1638 ele publicou os seus "Diálogos" com argumentos ainda mais claros em defesa das novas idéias. Pouco depois, para escapar às torturas, ele teve que, em público diante do tribunal da Inquisição, abjurar, isto é, "confessar" e reconhecer o "mal" que faziam suas idéias. Galileu teve que ler a "confissão" que lhe haviam preparado e assiná-la.

"Eu, *Galileu Galilei, filho do falecido Vincenzio Galileu de Florença, com a idade de setenta anos, sendo trazido pessoalmente a julgamento, e ajoelhado diante de vós, Eminentíssimos e Reverendíssimos Lordes Cardeais, Inquisidores Gerais da Comunidade Cristã universal contra a depravação heretica tendo diante de meus olhos o Sagrado Evangelho que toco com as minhas próprias mãos, juro que sempre acreditei, e, com a ajuda de Deus, acreditarei no futuro, em todo artigo que a Santa Igreja Católica Apostólica Romana mantém, ensina e prega. Mas por ter sido ordenado, por este Conselho, a abandonar completamente a falsa opinião que mantém que o Sol é o Centro e imóvel, e proibido de manter, defender ou ensinar a referida falsa doutrina de qualquer maneira ... Estou desejoso de remover das mentes de Vossas Eminências, e de todo Cristão Católico essa veemente suspeita acertadamente mantida a meu respeito, portanto, com sinceridade de coração e fé genuína, eu abjuro, maldigo e detesto os referidos erros e heresias, e, de modo geral todos os outros erros e seitas contrários à referida Santa Igreja; e juro que jamais no futuro direi ou asseverarei seja o que for, verbalmente ou por escrito, que possa motivar uma suspeita similar de mim; mas que se eu souber de algum herético, ou de alguém suspeito de heresia, denunciá-lo-ei a este Santo Conselho ou ao Inquisidor ou Ordinário do lugar em que eu esteja. Juro, mais ainda, e prometo que cumprirei e observarei plenamente todas as penitências que a mim tenham sido ou venham a ser impostas por este Santo Conselho. Mas caso aconteça que eu viole qualquer de*

minhas promessas, juramentos e protestos citados (que Deus evite !), eu me sujeito a todas as dores e punições decretadas e promulgadas pelos sagrados cânones e outras constituições gerais e particulares contra delinquentes dessa descrição. Assim, que Deus me ajude, e Seu Sagrado Evangelho, que eu toco com as minhas próprias mãos: eu o acima citado Galileu Galilei, abjurei, jurei, prometi e me comprometo como acima; e, em testemunho do que, com a minha própria mão subscrevi o presente escrito de minha abjuração, que eu recitei palavra por palavra".

Já com 70 anos, Galileu, o homem que maior número de descobertas havia feito, foi confinado pelo resto de sua vida. Ao morrer, já cego, pelo grande número de observações do Sol, Galileu prestara o maior serviço ao desenvolvimento do conhecimento científico.

Aqueles que o prenderam e fizeram "confessar" conseguiram retardar, mas não impedir que as idéias se espalhassem e frutificassem. Galileu é um patrimônio da humanidade.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

OUTRO ASPECTO DA REVOLUÇÃO DE GALILEU

Outra grande contribuição de Galileu foi feita no estudo dos movimentos. Desde o tempo de Aristóteles se achava, sem discutir, que os corpos se moviam com uma velocidade que dependia da força que estivesse agindo sobre eles. Quer dizer : velocidades maiores exigiriam forças maiores. Como consequência disso se achava também que os corpos mais pesados deveriam cair mais depressa. O interessante é que durante tantos séculos se acreditou nisso e não se experimentou para verificar se realmen

te as coisas aconteciam assim.

Galileu foi o primeiro a experimentar. Você sabe qual foi o resultado?

ATIVIDADE: QUEDA DE DOIS CORPOS DE PESOS DIFERENTES

Deixe cair juntos, uma "pedrinha" e uma "pedrona". Qual delas chega ao chão primeiro?

Será que isso acontece para qualquer par de corpos? Faça algumas tentativas. Um pedaço de papel e uma pedrinha caem juntos? Responda e depois experimente para comprovar,ou não, suas respostas.

Você deve ter percebido que em corpos muito leves ou de baixa densidade, a influência do ar é bastante importante a ponto de fazê-los atrasar na queda. Por isso, alguns anos depois de Galileu, Newton imaginou um tubo de cujo interior o ar fosse retirado. Não havendo ar, podemos ver a pena e a pedrinha cairem juntos. Isso acontece também na Lua onde não existe atmosfera: uma pena e uma pedra caem exatamente da mesma maneira. Essa maneira (aceleração com que os corpos caem) caracteriza o campo gravitacional. Nos lugares em que os corpos caem mais depressa, isto é, com maior aceleração, dizemos que o campo gravitacional é mais intenso.

PRINCÍPIO DA INDEPENDÊNCIA DOS MOVIMENTOS

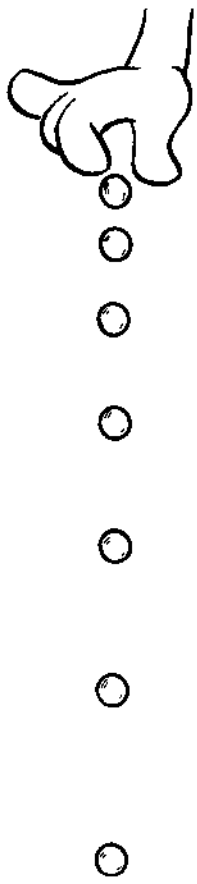


fig. 4.1

Outra contribuição de Galileu é a relativa à independência dos movimentos.

Em vez de explicar com palavras, você irá entender o que estamos querendo dizer através de um exemplo.

Você já sabe que quando se deixa cair um corpo qualquer, a partir do repouso, ele cai aumentando sua velocidade de maneira constante, isto é, ele cai com aceleração constante. Se fotografarmos o corpo durante sua queda e as fotografias forem separadas por tempos iguais, obtemos uma sucessão de posições como a da figura 4.1.

Agora a mesma bolinha (corpo)será lançada horizontalmente sobre uma tábua bem plana e lisa.

Como você acha que será seu movimento?

Experimente você mesmo.

fig. 4.2

O movimento da bolinha será retilíneo (em linha reta) e com velocidade constante. Neste caso, uma fotografia tirada com intervalos de tempos iguais mostrará a bolinha em pos

sições separadas por espaços iguais. A bolinha está percorrendo espaços iguais em tempos iguais; sua velocidade é,portanto, constante (sempre a mesma).

Agora você fará a bolinha realizar os dois movimentos simultaneamente. Isso será possível se você deixá-la cair depois de atirá-la sobre a mesa. Enquanto estiver sobre a mesa ela fará um movimento retilíneo e uniforme. Quando a mesa "acabar" ela vai "cair", entretanto conservará a velocidade que tinha sobre a mesa. (Fig. 4.4).

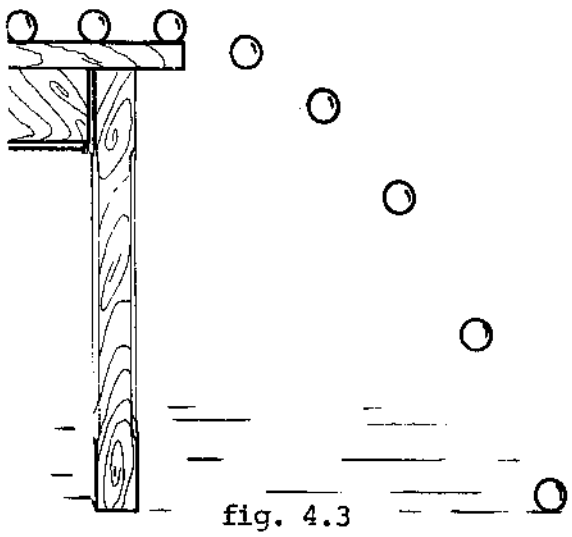


fig. 4.3

A bolinha seguirá cada um dos movimentos independentemente do outro. O movimento de queda vai ser igual ao da bolinha simplesmente deixada cair. O movimento horizontal da bolinha também vai se conservar como se não existisse queda.

O movimento da bolinha será feito segundo uma curva que se chama PARÁBOLA, mas isto não é o mais importante aqui.

O que interessa é que você perceba como são feitos os movimentos <u>independentemente</u>.

Nas figuras 4.4 e 4.5 mostramos duas fotografias estroboscópicas da bola, feitas durante a mesma queda da bolinha. A primeira fotografia foi feita <u>de cima</u>. A segunda foi tomada <u>de frente</u>.

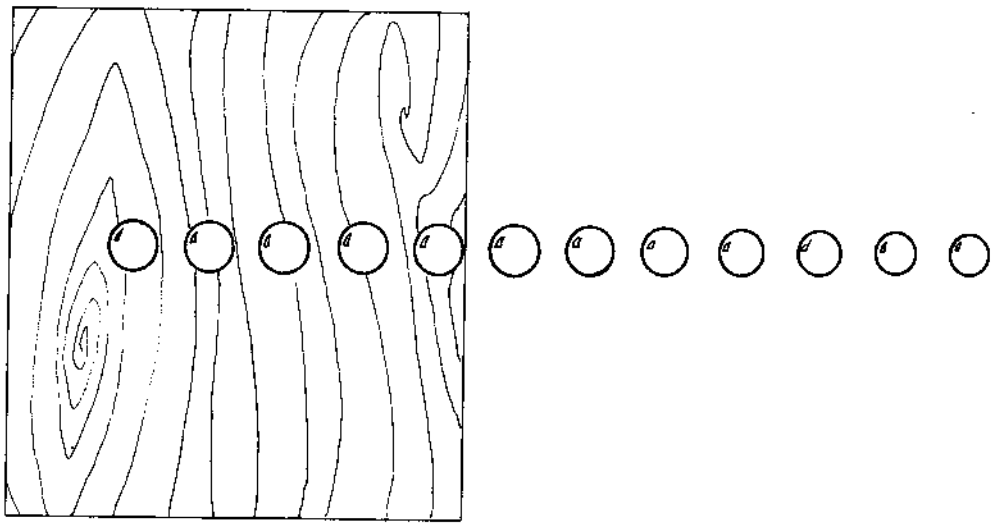


fig. 4.4

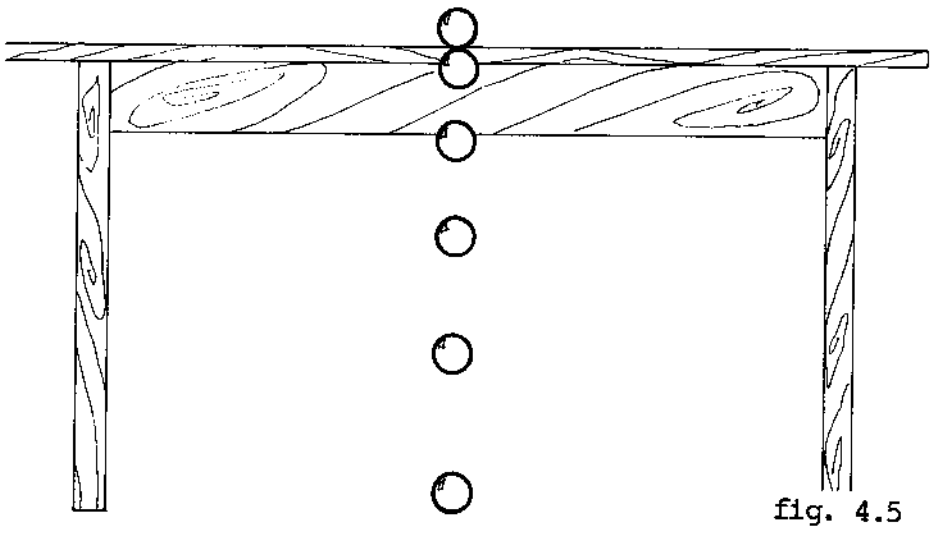


fig. 4.5

Examine cada um desses aspectos de um mesmo movimento de queda. O movimento de queda aqui é composto de dois movimentos: o movimento horizontal de velocidade constante e o movimento de queda livre. Você acha que, mesmo durante a queda, cada um desses movimentos se mantém como se o outro não existisse? São mesmo independentes?

Responda às perguntas seguintes:

1. Os espaços percorridos pela bolinha enquanto está em cima da mesa são iguais ou diferentes entre si?
2. Os espaços horizontais percorridos pela bola caindo são iguais entre si? São iguais ou diferentes dos percorridos sobre a mesa?
3. A componente horizontal do movimento foi modificada pela queda?
4. A componente vertical do movimento se manteve constante ou variou?
5. Essa componente vertical do movimento variou de maneira igual ou diferente da queda a partir do repouso (fig.4.2)?
6. Essa componente foi alterada pela existên cia da componente horizontal?
7. Você percebeu que cada uma das componentes se comportou como se a outra não existisse?
8. O tempo que a bolinha leva para cair da mesa ao chão é alterado se ela é lançada horizontalmente? Se ela é lançada com grande velocidade horizontal ela demora mais para chegar ao chão?

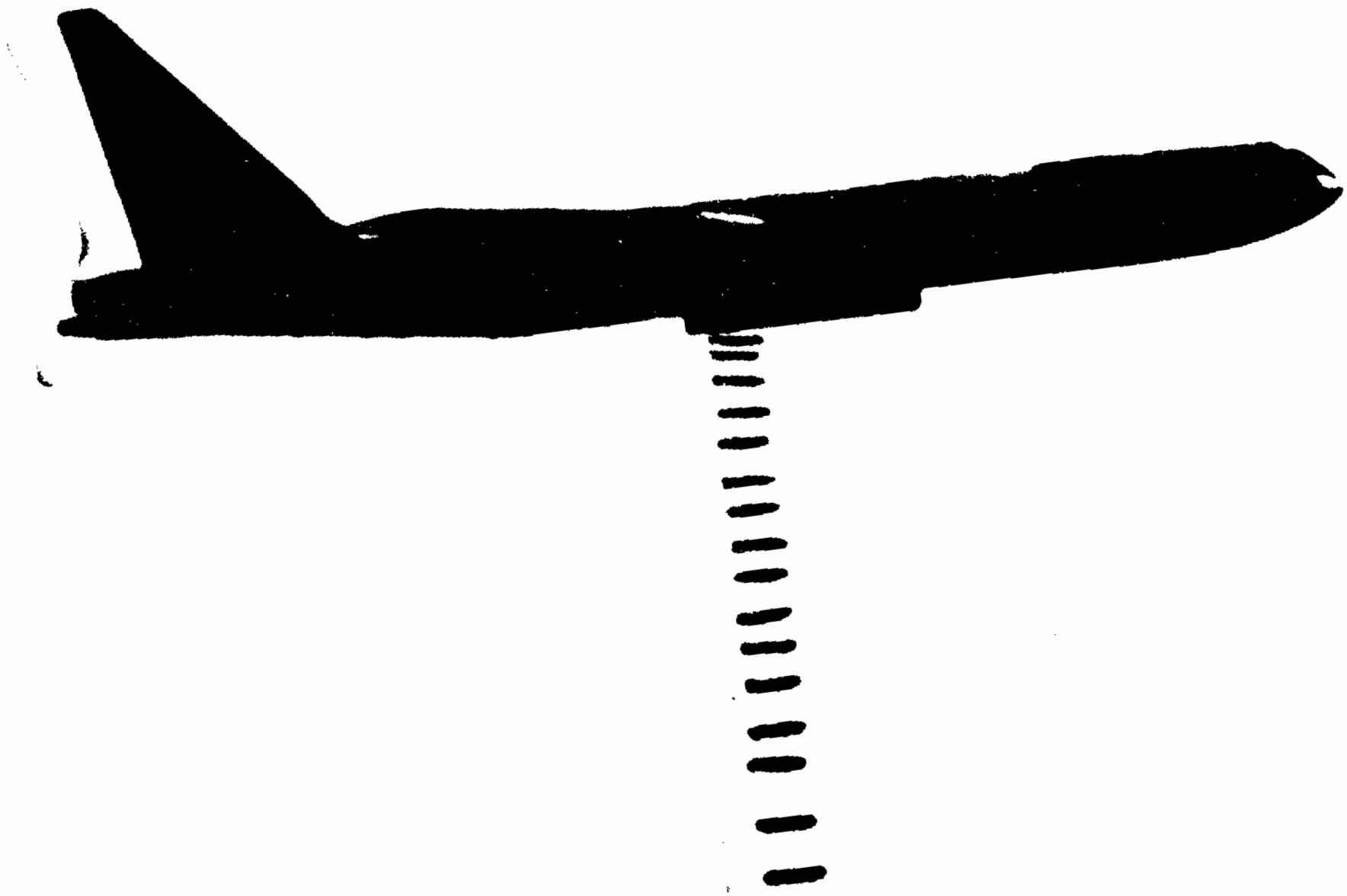
Se você percebeu o que é o **princípio de independência dos movimentos** e que foi descoberto por Galileu Galilei, você entenderá facilmente uma série de outras coisas sobre movimentos.

ATIVIDADE: COMPOSIÇAO DE MOVIMENTOS

Observe essa fotografia de uma missão de bombardeio. O instantâneo foi tomado por outro avião que se encontrava ao lado do bombardeiro. É importante saber que as bombas foram apenas deixadas cair. Elas não foram empurradas nem para frente, nem para trás, nem para baixo.

Responda então às perguntas, baseado no que você acaba de ler sobre independência dos movimentos.

1. O movimento das bombas é composto de que movimentos?
2. A componente horizontal da velocidade é constante ou está mudando?
3. E a componente vertical?
4. As bombas estão caindo verticalmente?
5. As bombas foram soltas ao mesmo tempo?
6. Por que estão elas alinhadas verticalmente?
7. Um observador em avião que voa paralelo, com a mesma direção e o mesmo sentido do bombardeiro vê as bombas caindo verticalmente?
8. Que trajetória cada bomba está fazendo?
9. As bombas vão cair em um mesmo lugar?



2.4.13

UM POUCO MAIS AINDA

VELOCIDADE ORBITAL

Você já sabe que a Terra e a Lua se atraem. Por que, então, a Lua não cai? Você pensou nisso?

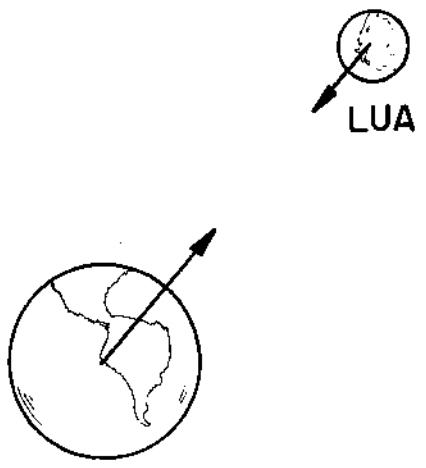


fig. 4.6

A verdade é que ela está caindo. Felizmente ela não "acerta" na Terra.

Este raciocínio foi feito pela primeira vez por Newton quando descobriu a lei da gravitação, depois de conhecer o princípio da independência dos movimentos que fora descrito por Galileu.

Com que velocidade deve você lançar uma pedra, horizontalmente para que ela não caia ? Ou melhor: para que ela caia mas não acerte a Terra e continue caindo sempre?

Você começaria tendo que medir quanto cai um objeto qualquer, a pedra, por exemplo, em um segundo. Sem dificuldade você acharia que em 1 segundo, um objeto cai 5 metros (4,9 m mais precisamente). Você sabe também que os movimentos, neste caso vertical e horizontal, se fazem de maneira independente e simultânea.

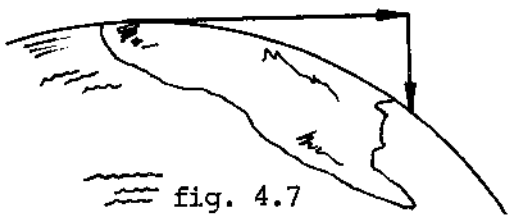


fig. 4.7

Precisamos então saber com que velocidade devemos largar a pedra horizontalmente. Esse movimento combinado com o movimento de queda deverá produzir um movimento circular paralelo e próximo à superfície

da Terra.

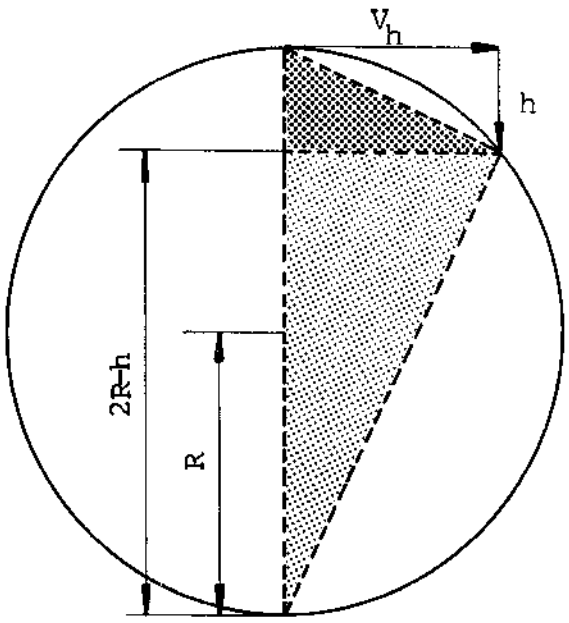


fig. 4.8

Esse trabalho será mais fácil se considerarmos a fig. 4.9 em que está representada a Terra cortada ao longo de um meridiano.

Vamos então calcular o valor da distância que a pedra deve percorrer em um segundo (V_h).

Os dois triângulos achureados são semelhantes (dois ângulos iguais).

Então podemos escrever a proporção

$$\frac{V_h}{h} = \frac{2\,R - h}{V_h}$$

Como h (5 m) é muito pequeno, comparado com 2 R (12.800 km) $2\,R - h \cong 2\,R$. Então:

$$\frac{V_h}{h} = \frac{2R}{V_h} \quad \text{ou} \quad V_h^2 = 2\,Rh$$

$$V_h = \sqrt{2\,Rh}$$

$$V_h = \sqrt{64 \times 10^6}$$

$$V_h = 8 \times 10^3 m$$

A pedra, enquanto cai 5 m (1 segundo) deverá também se deslocar de 8.000 metros. Logo ela deverá ser lançada com a velocidade de 8.000 m/seg.

2.4.15

A pedra lançada com essa velocidade cairá sempre ao redor da Terra, sem, no entanto, acertá-la. Isso significa que a pedra entrou em órbita ao redor da Terra. Já o próprio Newton sabia disso, o que ele não tinha é meios para lançar qualquer objeto com essa velocidade. Isso só foi possível com os poderosos foguetes produzidos desde o SPUTNIK I.

Se um corpo for lançado horizontalmente com velocidade maior que 8.000 m/seg., ele entrará também em órbita; uma órbita que se afastará mais da Terra. Por essa razão, a velocidade de 8.000 m/seg. chama-se primeira velocidade astronáutica.

Que acha você da velocidade horizontal da Lua? Deve ser igual, maior ou menor que a primeira velocidade astronáutica?

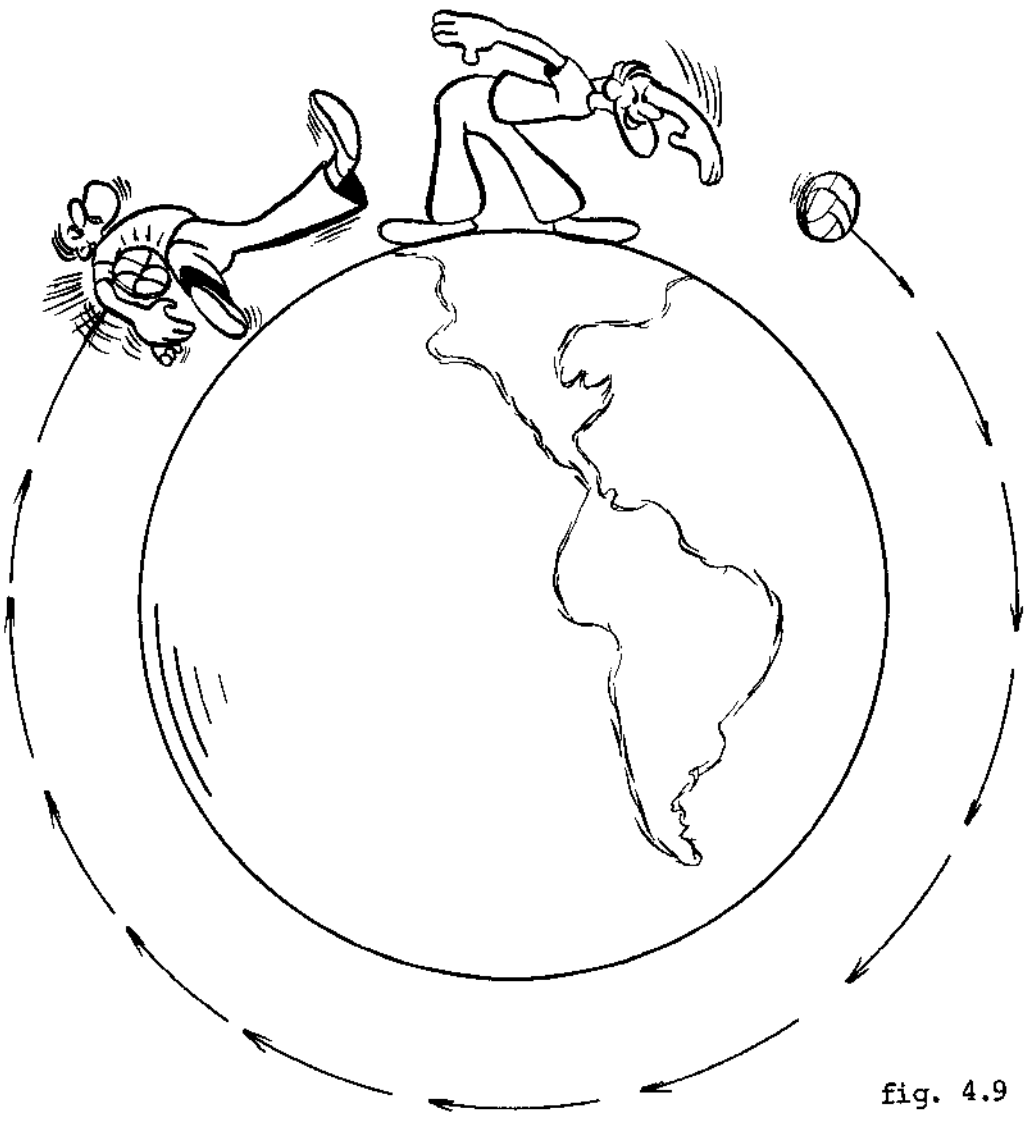


fig. 4.9

CAPÍTULO 3 - NOSSO LUGAR NO UNIVERSO

3.2 - NOSSA FONTE DE ENERGIA: O SOL

O Sol é a estrela ao redor da qual gira a Terra e os demais planetas. O Sol é um corpo esférico que tem uma densidade média de 1,4 g/cm^3. As manchas solares que aparecem frequentemente nos permitem medir a velocidade angular desse astro do qual depende inteiramente nossa vida por muitas razões. Quando acompanhamos por alguns dias uma mancha ou grupo de manchas, podemos verificar que o Sol possui diferentes velocidades em diferentes latitudes. Isso significa que diferentes pontos do Sol levam tempos diferentes para completar uma volta. Os pontos mais próximos ao equador solar levam menos tempo para completar uma volta. Responda então: Acha você que o Sol é um corpo rígido, ou não? A velociadade angular do Sol próximo ao seu Equador é maior ou menor?

O Sol é o centro gravitacional de todo o sistema solar. Isto quer dizer que tanto a Terra como os demais planetas e muitos outros corpos estão "presos" pela atração do Sol.

Mesmo povos muito antigos, como os egípcios, reconheceram a importância do Sol para todas as formas de vida. Tanto assim que o Sol era a principal divindade, origem de todas as coisas.

Você já se deu conta de que quase toda energia que move todas as nossas coisas, é energia vinda do Sol? As indústrias, os trens, automóveis, aviões e navios, com raríssimas exceções , são também movidos por energia vinda do Sol. Em quase todos os casos, a energia do Sol ficou armazenada durante milhões de anos. Isso acontece no caso do carvão e do petróleo. A energia solar foi absorvida por vegetais e animais de outras eras. Essa matéria orgânica foi submetida a grande temperatura e pressão, quando soterrada nas dobras da crosta terrestre em transformação.

A energia que emana do Sol provém de sua parte

mais central onde reinam temperaturas da ordem dos 14.000.000°C. Essa tremenda quantidade de energia é liberada pela reação termo-nuclear em que quatro átomos do elemento hidrogênio (H) se combinam para formar um átomo do elemento Hélio (He). Essa reação é de fusão, isto é, de átomos que se juntam, de maneira semelhante ao que ocorre em uma bomba H. Nessa reação uma pequena quantidade de matéria é transformada em energia. Em reações desse tipo o Sol está perdendo massa (matéria) numa razão de 4×10^6 toneladas por segundo. Essa perda, que nos parece grande, é insignificante para a massa do Sol. Durante muitos milhões de anos o Sol poderá continuar a perder massa nessa proporção sem uma alteração percentual perceptível em sua massa.

Sabemos que o Sol tem forma esférica e irradia energia igualmente em todas as direções. Toda a energia do Sol se propaga pelo espaço vazio e em todas as direções com a mesma velocidade. Como essa energia não se perde nem se acumula pelo espaço, ela se distribui numa superfície esférica cada vez maior à medida que se afasta do Sol.

Que parte da energia solar chega até nosso planeta?

Imagine que toda energia irradiada pelo Sol, num certo instante, esteja atravessando a superfície de uma esfera cujo raio é a distância Sol-Terra ($1,5 \times 10^{11}$m). Que parte dessa esfera é coberta pela Terra? Aqui você terá que interromper a leitura para fazer os cálculos.

A energia recebida pela terra é uma parte insignificante da energia solar. A energia que usamos é uma pequenina parte da energia recebida pela Terra. Você já imaginou o trabalho, que lhe custaria levar um balde d'água para o alto de um morro?... e levar toda água do Amazonas para as suas cabeceiras? Só reações do tipo termo-nuclear podem liberar tanta energia em tão pouco tempo, isto é, com tamanha potência (energia / tempo).

Quase toda a energia solar é irradiada pelo espaço vazio (vácuo) em forma de luz visível e de luz ultravioleta. Felizmente, a maior parte da luz ultravioleta do Sol é absorvida pela atmosfera. Em grandes doses, a luz ultravioleta nos

seria mortal. (Você já sabia que essa luz é empregada como germicida?). Além desse tipo de energia o Sol emite ondas de rádio que podem ser detetadas por rádio-telescópios.

As erupções solares dão uma imagem das proporções em que a energia é liberada no Sol. A energia vinda do Sol irrompe através de sua superfície provocando protuberâncias que se assemelham a labaredas ou chamas que atingem alturas equivalentes a muitas dezenas de diâmetros terrestres. Nessas erupções são também ejetadas partículas carregadas (principalmente eletrons) que chegam à Terra desviadas pelo campo magnético terrestre. Por essa razão, a atividade solar está intimamente ligada ao aparecimento das auroras polares.

ATIVIDADE: ENERGIA IRRADIADA PELO SOL

Com esta atividade, você aprenderá como medir a energia total irradiada pelo Sol. Siga o roteiro em que as idéias vão sendo desenvolvidas. Você irá aprender uma série de outras coisas.

Seu primeiro trabalho será preparar o "calorímetro solar". Este consta essencialmente de uma latinha cilíndrica que deverá ter a superfície lateral enegrecida na chama de uma vela ou lamparina. O tamanho ideal de latinha é o que é usado para cerveja.

Passe a superfície lateral da latinha sobre a chama da vela. O fundo e a tampa não devem ser enegrecidos.

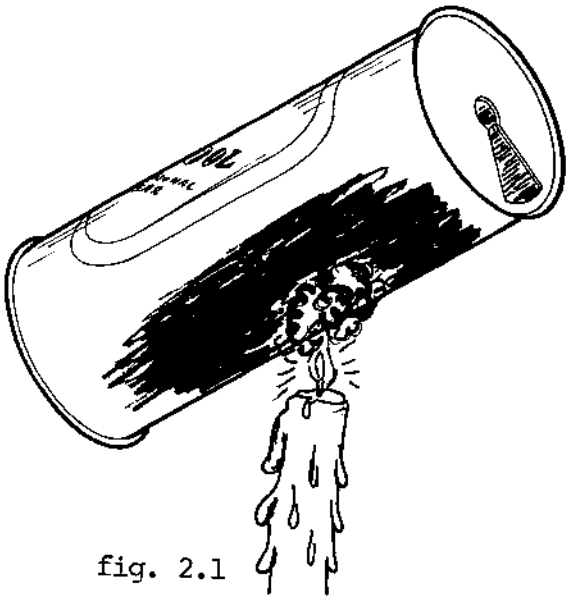
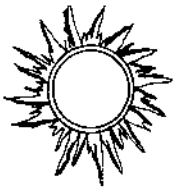


fig. 2.1

Coloque uma quantidade bem conhecida de água dentro da lata (aproximadamente 250 cc). Depois disso deverá ser introduzido, na abertura da lata, um termômetro que deve atingir a água. A adaptação do termômetro à lata pode ser feita com rolha ou bucha de papel. O termômetro pode ser um desses usados para medir febre.

Você deverá expor a lata ao sol de maneira que apenas a superfície lateral seja atingida pelos raios solares. Isso será mais fácil se você colocar a lata na direção Norte-Sul e aí procurar uma posição em que a sombra da lata se reduz a um retângulo.



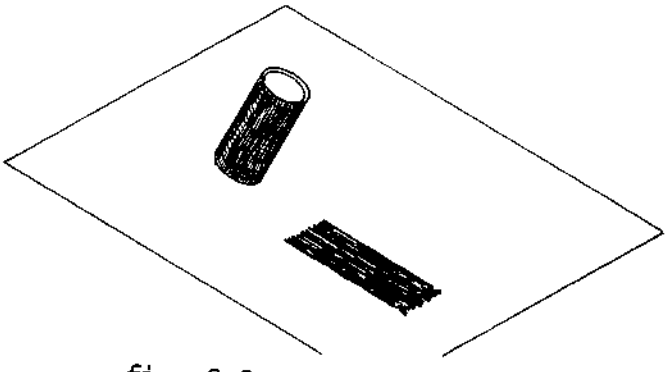


fig. 2.2

3.2.4

Antes de começar a medir o tempo de exposição do "calorímetro solar" ao Sol, meça cuidadosamente a temperatura. Esta será chamada a temperatura inicial (T_i). Deixe a lata ao Sol durante cerca de 3 a 5 minutos. Esse tempo também deve ser medido. Sua medida será melhor se durante a exposição ao sol você girar ou agitar levemente a lata. Isso ajudará a tornar mais homogênea a temperatura da água.

Passado e medido o tempo (de 3 a 5 minutos), leia a temperatura final (T_f).

A diferença de temperatura será:

$$\Delta T = T_f - T_i$$

A quantidade de calor recebida pelo sistema lata-água (1) será:

Quantidade de Calor recebida pela água	massa de água	calor específico da água	alteração ou diferença de temperatura
ΔQ =	M x	C' x	ΔT

Usando, então, os valores do seu problema, calcule a quantidade de calor recebida pela água. Se você exprimir m em gramas (ou cc), fizer c = 1 (calor específico da água) e

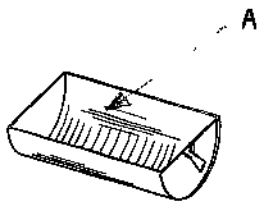
==========

(1) - Não se levou em conta o calor recebido pela lata por duas razões:
1) a massa da lata é pequena em relação à massa d'água.
2) o calor específico da lata é também pequeno comparado com o da água.

ΔT em graus centígrados, ΔQ será expresso em caloria (2).

Dividindo a quantidade de calor recebida pelo tempo de exposição, você ficará sabendo a que razão está chegando a energia do Sol (em relação ao tempo).

Você deverá agora achar a área da seção longitudinal da lata.



A = comprimento x diâmetro

fig. 2.3

Dividindo a energia (calor) pela seção longitudinal da lata, você ficará sabendo a energia que chega por cm^2.

Conhecendo essa quantidade de energia, você poderá saber quanta energia o Sol está produzindo

Sabemos que o Sol é esférico e que irradia igualmente em todas as direções. Sabemos também que a energia não se perde nem se acumula pelo espaço. Ela se espalha de maneira uniforme em todas as direções. Isso quer dizer que a energia se propaga de forma esférica.

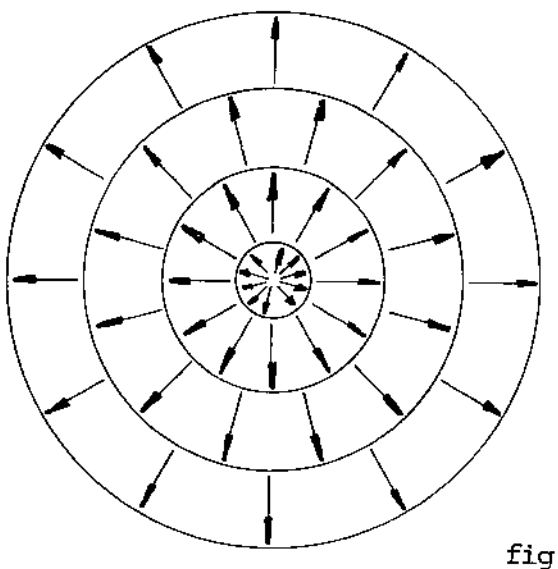


fig. 2.4

(2) - Caloria é a quantidade de calor necessária para elevar de $1^{o}C$ a temperatura de 1 grama de água.

Sendo assim, bastará termos uma medida da energia que chega em um cm^2. A energia total será a energia que chega em um cm^2 vezes o número de cm^2 contidos numa esfera cujo raio é a distância Sol-Terra.

A área de qualquer esfera é igual a $4 \Pi R^2$. Então a área da esfera cujo raio é a distância Sol-Terra (150.000.000 km) será:

$$A = 4 \Pi \quad (150.000.000 \text{ km})^2$$

$$A = 4 \Pi \quad (1,5 \times 10^{13} \text{ cm})^2$$

$$A = 3 \times 10^{27} \text{ cm}^2$$

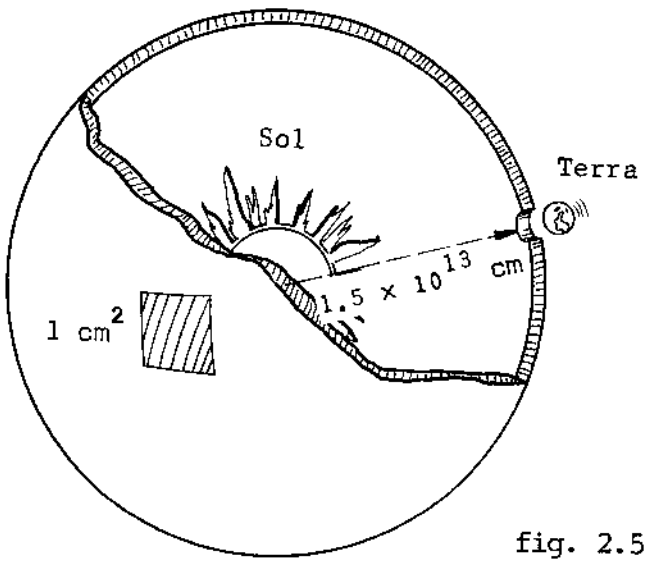


fig. 2.5

Por exemplo, se medirmos 1,5 cal/min no nosso experimento.

$$1,5 \text{ cal/min} \longrightarrow 1 \text{ cm}^2$$

$$(\text{energia total do Sol}) \longrightarrow 3 \times 10^{27} \text{ cm}^2$$

Energia total do Sol = 3×10^{27} cm^2 x 1,5 cal/min =

$$= 4,5 \times 10^{27} \text{ cal/min}$$

Sabemos que calor e energia se equivalem e que essa relação é:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ joules}$$

3.2.7

Então a energia emitida pelo Sol em joules será:

$$E = 4,5 \times 10^{27} \text{ cal/min} \times 4,18$$

$$= 1,9 \times 10^{28} \text{ j/min}$$

Que combustível estará "alimentando"a "fornalha" solar? Durante muito tempo a ciência se fez essa pergunta.

Sabemos que uma certa quantidade de combustível pode liberar uma certa quantidade de energia. Por exemplo, os combustíveis de petróleo (gasolina, querosene, diesel, etc)produzem cerca de 3.000 calorias por grama. Poderia o Sol estar consumindo-se numa combustão desse tipo?

Sabemos que a idade da Terra é de aproximadamente 3 bilhões de anos ($1,5 \times 10^{15}$ minutos) e que há indícios de que o brilho do Sol nesse tempo não se modificou muito. Se você fizer as contas verá que o Sol não teria "aguentado" essa combustão. Ele teria consumido toda sua massa, há muito tempo. Faça as contas e verifique você mesmo.

Como pode o Sol, então, manter essa fantástica irradiação de energia sem perder consideravelmente sua massa? Essa resposta foi possível quando a ciência compreendeu o mecanismo das reações termo-nucleares. A energia do Sol provém de reações nucleares, como da bomba atômica e de Hidrogênio. Nessas reações, tremendas quantidades de energia resultam da transformação de uma pequeníssima quantidade de massa.

$$E = m c^2$$

Essa célebre equação de Einstein mostra a relação de equivalência entre massa (m) e energia (E). C é a velocidade da luz (300.000 km/seg) que é um número muito grande. C^2 é muito maior.

Essa equação mostra como uma pequenina quantida-

de de massa (m) equivale (produz) uma enorme quantidade de energia.

Com essa equação podemos saber quanta energia o Sol perde. Com os dados obtidos pelo seu experimento você chegou à energia que o Sol emite em um minuto.

Deve ter sido um número próximo de $4,5 \times 10^{27}$ calorias ou $1,9 \times 10^{28}$ joules.

Que perda de massa corresponde a essa emissão de energia?

$$E = m c^2$$

$$1,9 \times 10^{28} \text{ joules} = m \times (3 \times 10^8 \text{ m/seg})^2$$

$$1,9 \times 10^{28} \text{ joules} = m \times 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{seg}^2$$

$$m = \frac{1,9 \times 10^{28} \text{ joules}}{9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{seg}^2}$$

$$m \cong 2 \times 10^{11} \text{ kg.}$$

Então em um minuto, o Sol perde "apenas" 2×10^{11} kg ou 2×10^8 ton ou 200.000.000 toneladas. Perdendo massa nessa proporção que acha você: o Sol ainda viverá muito ou pouco? - Faça as contas e fique tranquilo.O Sol ainda vai durar "um bocado". Essa "pequena" perda de massa se verifica quando 4 átomos de H se juntam (fusão) para formar um átomo de He. Um átomo de He tem massa um pouquinho menor que 4 átomos de H juntos Essa pequena diferença de massa é que é transformada em energia. O Hidrogênio é então quem alimenta a "fornalha" termo-nuclear do Sol.

CAPÍTULO 4 - PARA ALÉM DO SISTEMA SOLAR

4.2 - DISTÂNCIAS ASTRONÔMICAS: AS ESTRELAS

Durante toda a antiguidade o homem pensou estar no centro da grande esfera do céu. As estrelas seriam pontos luminosos cravados na face interna dessa grande esfera. Para além dessa esfera ficavam as coisas divinas. Como há no céu grande número de estrelas visíveis o homem com sua imaginação uniu esses pontos formando figuras de acordo com suas crenças e lendas.

Nasceram assim os nomes das constelações, os quais os astrônomos mantém, apenas, para assinalar regiões do céu. O critério das constelações não tem nenhum caráter científico. No mais das vezes, as estrelas de uma mesma constelação não têm nada a ver uma com a outra. Estrelas que parecem juntas podem estar entre si mais distantes do que estrelas que vemos em direções opostas.

Depois de ter descoberto o sistema solar, o homem tentava medir a distância das estrelas. Admitindo-se a hipótese de que a Terra faz uma órbita ao redor do Sol (heliocentrismo) esperava-se que as estrelas mais próximas se deslocassem diante do fundo constituído pelas estrelas distantes. Somente há pouco mais de um século (1837) foi possível registrar pela primeira vez esse deslocamento aparente de uma estrela em relação ao fundo constituído pelas estrelas mais distantes. Isso foi conseguido pelo astrônomo alemão Frederich Bessel em 1837.

O método usado para determinar as distâncias das estrelas mais próximas chama-se **TRIANGULAÇÃO** e o ângulo que se determina chama-se **PARALAXE ANUAL**.

ATIVIDADE: TRIANGULAÇÃO

Com esta atividade você vai aprender a medir distâncias por triangulação. Você poderá medir distâncias até pontos inacessíveis. Isso lhe pode ser muito útil. Por exemplo, você poderá medir a largura de um rio, sem ter que atravessá-lo. Entendido isto, fica entendido como se pode determinar a distância entre a Terra e uma estrela.

Você vai medir uma distância qualquer. Serão necessários apenas umas estaquinhas, se você for medir uma distância de dezenas ou centenas de metros. Se você vai medir pequenas distâncias dentro de sua classe, bastam uns alfinetes.

Escolha o ponto cuja distância vai ser determinada (C) e o ponto (A) a partir do qual vai ser determinada a distância.

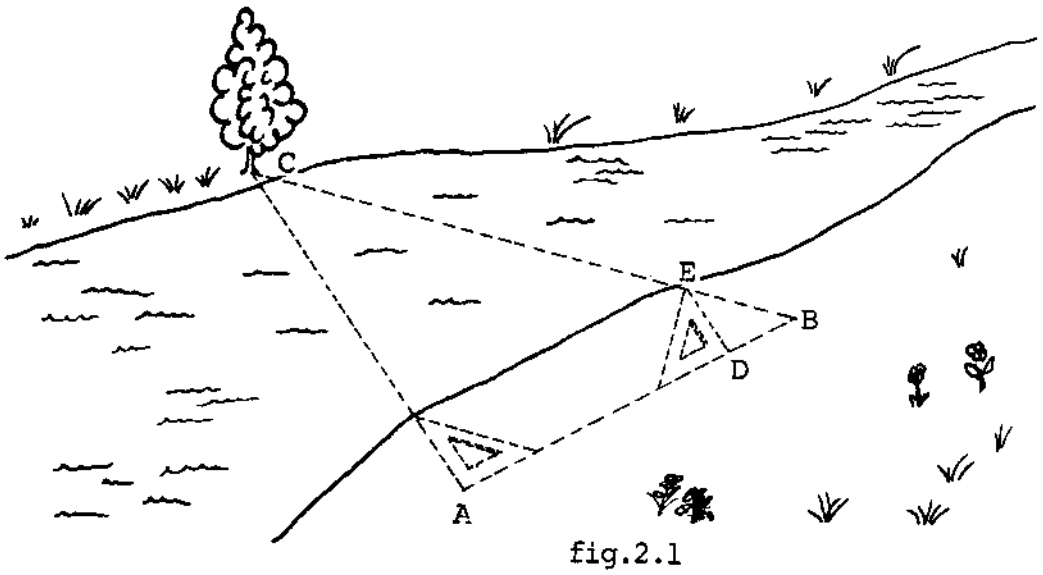


fig.2.1

Marque agora um ponto (B) numa direção perpendicular à distância (AC).

Agora olhando de (B) marque com uma estaca, um ponto (E) que esteja alinhando com (B) e (C). Não importa

a distância: basta que o ponto seja bem acessível.

O próximo passo será marcar o ponto (D) que deve estar sobre a direção (AB) e o segmento (DE)que deve ser perpendicular à reta AB.

Os triângulos ABC e DBE têm todos os lados paralelos, logo são semelhantes. Então podemos escrever

$$\frac{AC}{AB} = \frac{DE}{DB} \qquad AC = AB \frac{DE}{DB}$$

A distância (AC) é igual ao produto da linha de base (AB) vezes a relação dos dois segmentos (DE) e (DB). É preciso então que você tenha o valor da base (AB) e o valor da relação (DE / DB). A distância será dada na mesma unidade em que for expresso o comprimento da base. Os segmentos (DE) e (DB) podem ter seus comprimentos medidos em qualquer unidade, contanto que seja a mesma para os dois.

Se você quiser usar essa idéia para medir pequenas distâncias, construa seu telêmetro conforme as ilustrações.

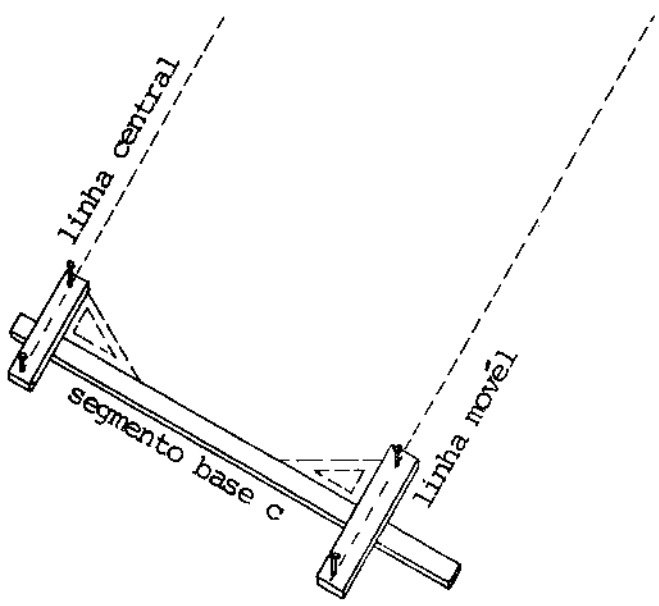


fig.2.2

Com um esquadro, você verificará se a linha central é perpendicular ao segmento base (C). Depois disso

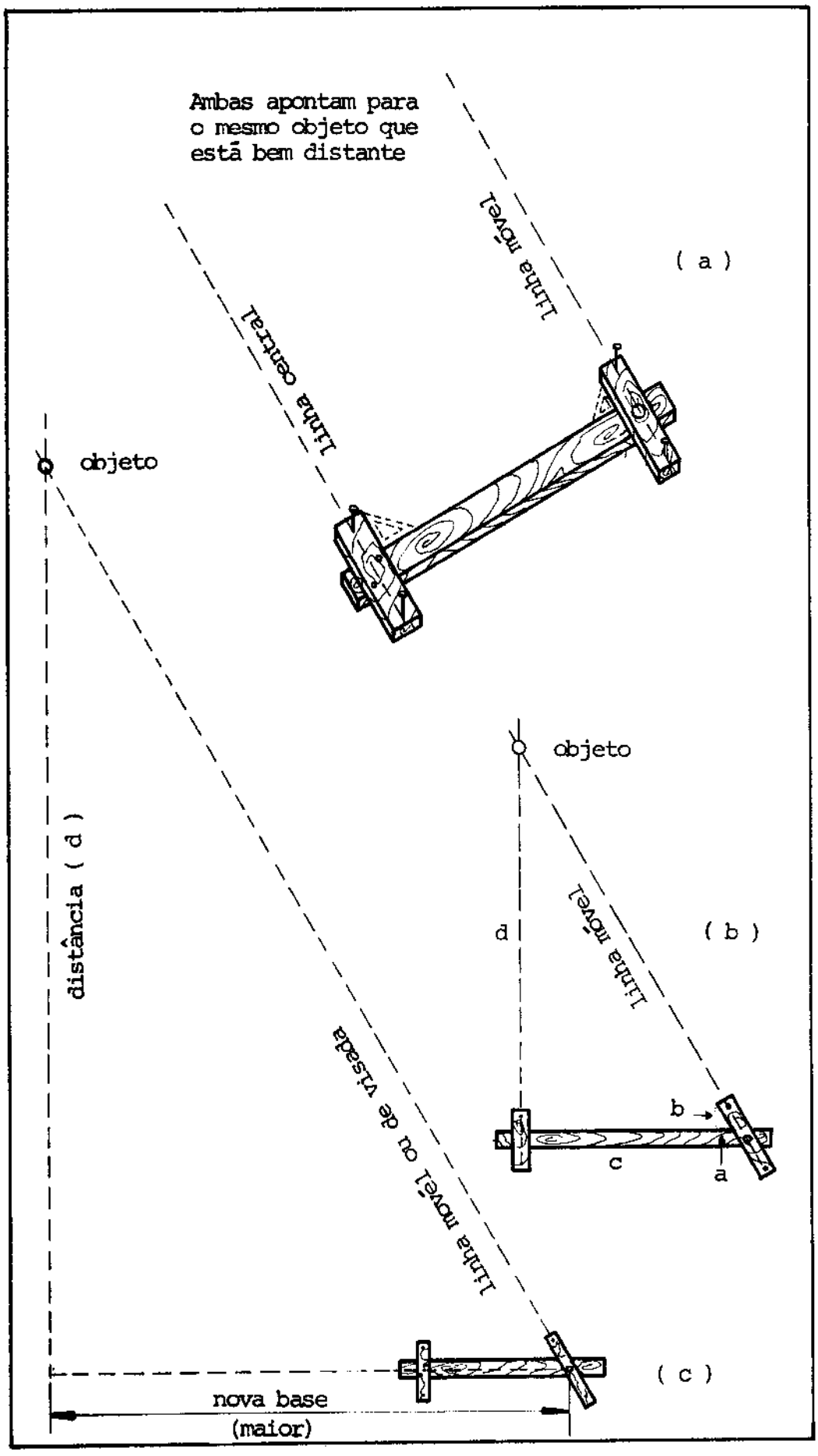

Ambas apontam para
o mesmo objeto que
está bem distante
linha móvel
(a)
linha central
objeto
objeto
d
linha móvel
(b)
b
c
a
distância (d)
linha móvel ou de visada
(c)
nova base
(maior)

fig.2.3

4.2.4

coloque o esquadro junto ao lado móvel e coloque os alfinetes ou pregos de tal maneira que estejam numa reta também perpendicular à base. Outra maneira de fazer isso, é apontar a linha central para um objeto bem distante (de muitas centenas de metros ou quilômetros) figura 2.3.a

Para medir a distância a um certo objeto, aponte para ele a linha central do aparelho (pontaria). Sem mexer o telêmetro, aponte agora a linha móvel para o objeto.

Pela figura 2.3.b você pode ver que como no caso anterior

$$\frac{d}{c} = \frac{b}{a} \quad , \text{ então } \quad d = c\,\frac{b}{a}$$

A distância (d) do objeto será o produto da constante do aparelho (c) pela relação (divisão) entre b e a

A relação entre dois comprimentos não depende da unidade em que estes forem medidos. Use qualquer unidade, porém a mesma, para ambos (a e b). Isso será fácil com um pedaço de papel quadriculado.

Determine a distância de vários objetos que estejam a alguns metros, para que você possa conferir os resultados e ganhar confiança em suas medidas.

Depois de ter entendido o método, você poderá fazer sobre o aparelho uma escala que já contenha as distâncias diretamente. Assim bastará apontar para um objeto e ler a distância indicada na escala, sem fazer mais contas.

Que acha você sobre a precisão de suas medidas ? As mais precisas são as mais próximas ou as mais distantes?

De que coisas depende a precisão de suas medidas?

Seu aparelho pode medir qualquer distância?

Experimente até que distâncias seu aparelho pode medir.

Como deveria ser seu aparelho para poder medir

distâncias maiores?

Verifique como você pode adaptar seu telêmetro para medir distâncias maiores.

Sua próxima tarefa será a de determinar a distância da máquina fotográfica até a lampadazinha que aparece nas duas fotos da figura 2.6 . As duas fotos foram batidas deslocando-se a máquina de 20 cm. As duas fotos abrangeram um campo de 5°.

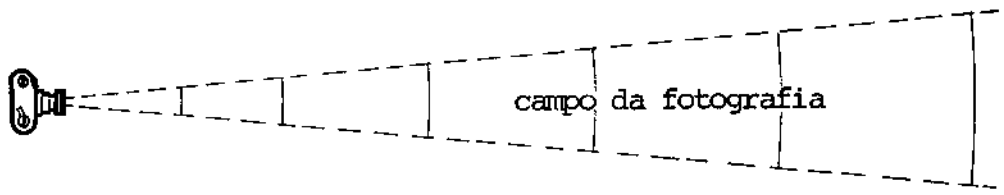


fig.2.4

As duas fotografias foram feitas conforme o esquema abaixo. Nele você pode entender bem como estão relacionadas as coisas.

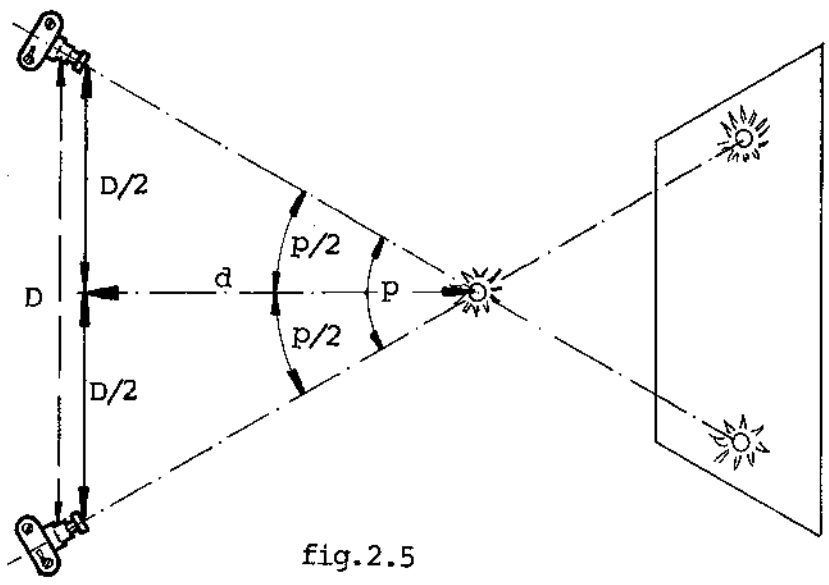


fig.2.5

Pela figura podemos ver que

$$\text{tg } p/2 = \frac{D/2}{d} \quad \text{ou} \quad d = \frac{D/2}{\text{tg } p/2}$$

D é o deslocamento do observador, neste caso, a câmara fotográfica; p/2 é a metade do ângulo total de PARALAXE. D é a linha de base que é conhecida; p ou p/2 é o que se mede, neste caso, através da fotografia.

Observe as duas fotografias adiante. Elas são uma simulação (fazer de conta) da determinação da distância de uma estrela.

Você deverá compará-las, fazer medidas e, com isso, medir a que distância está a luzinha acesa em meio à escuridão. Os outros pontos brilhantes representam "estrelinhas" que estão muito afastadas. Elas constituem o panorama de fundo.

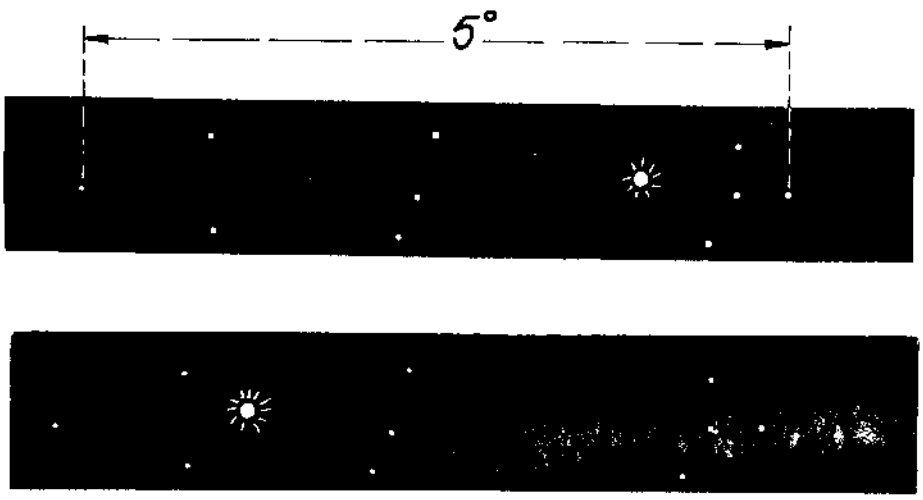


fig.2.6

Como o campo da fotografia é pequeno, aproximadamente 5°, você poderá fazer interpolações para achar o ângulo da paralaxe (p) da pequena luz. Neste caso os ângulos são proporcionais às distâncias sobre a fotografia.

Nas duas fotos seguintes tudo foi feito igual, exceto a distância da lâmpada que foi alterada. Qual a nova distância da lâmpada?

Você poderia dar um valor aproximado antes de fazer medidas?

Este é o método para se determinar a distância

das estrelas por triangulação.

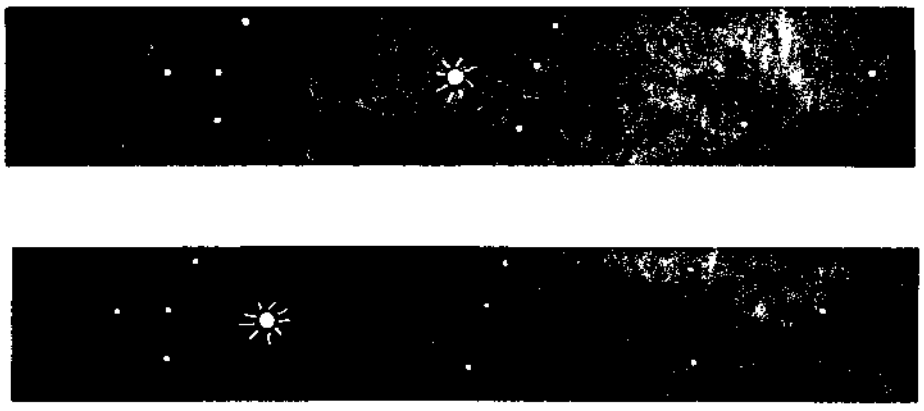


fig.2.7

Depois dessa atividade você sabe, não só como é determinada a distância das estrelas, mas sabe também usar esse método para determinação de distâncias aqui na Terra.

Você percebeu também que, quando as distâncias se tornam muito grandes, os ângulos de **PARALAXE** se tornam tão pequenos que não conseguimos medi-los. Por essa razão o número de estrelas que conseguimos triangular é muito pequeno em relação ao número de estrelas que vemos.

E as demais estrelas? Como podemos medir suas distâncias? Pense no que você já sabe sobre a diminuição da intensidade da luz com a distância.

Analisando as cores e a intensidade das estrelas mais próximas e cujas distâncias eram conhecidas por triangulação, os astrônomos obtiveram outras informações importantes. Os astrônomos já sabiam (e você também já sabe) que a intensidade da luz de uma fonte luminosa diminui com o quadrado da distância. A descoberta era de que as estrelas que tinham as mesmas cores

(espectro), tinham também a mesma MAGNITUDE REAL. Conhecida a magnitude real e medindo-se a magnitude aparente (usando fotômetro) fica-se conhecendo a distância.

Suponha que um astrônomo (você) tenha triangulado várias estrelas que têm a mesma composição de cores (o mesmo espectro). Além de analisar as cores você mediu também a intensidade da luz emitida de cada uma das estrelas. Para isso você usou um certo tipo de fotômetro que aqui não importa.

ESTRELA	DISTÂNCIA	INTENSIDADE APARENTE (MEDIDA)
(α) ALFA	1 UNIDADE	1 UNIDADE
(β) BETA	2 UNIDADES	1/4 UNIDADE
(γ) GAMA	3 UNIDADES	1/9 UNIDADE
(δ) DELTA	4 UNIDADES	1/16 UNIDADE
(Ω) OMEGA	10 UNIDADES	1/100 UNIDADE

O que você pode concluir sobre as estrelas estudadas?

Suponha que tivesse observado uma série de outras estrelas que têm a mesma composição de cores (espectro). Acontece que as estrelas da nova série não apresentavam paralaxe anual que pudesse ser medida. Entretanto você conseguiu medir a intensidade de suas luzes. Foram estes os resultados das novas medidas.

ESTRELA	DISTÂNCIA AVALIADA	INTENSIDADE MEDIDA
ZETA	?	1/900 UNIDADES
OMICROM	?	1/2500 UNIDADES
TETA	?	1/16000 UNIDADES
PSI	?	1/50000 UNIDADES

Que hipótese você fez para avaliar as distâncias na última tabela. Que acontecerá se essa hipótese não for correta?

A partir do fim do século XVIII com a introdução dos grandes telescópios iniciada por Herschel muitas outras características das estrelas começaram a ser descobertas. Por exemplo:

Existem muitos sistemas que apesar de parecerem uma só estrela são formados por duas ou mais estrelas que giram ao redor do centro de massa comum. Esses sistemas se mantém unidos pela força de atração mútua entre os componentes. Há casos em que só uma é visível e pelo seu movimento pode-se determinar a massa do componente invisível. Esse é o caso da mais brilhante estrela do céu: Sirius. Algumas dessas estrelas variam de brilho quando um dos componentes eclipsa o outro.

Existem estrelas cujo brilho pulsa com períodos (tempos) diferentes . Descobriu-se que existe uma relação entre o brilho ou **MAGNITUDE REAL** e o período da pulsação deste. Esse é o meio que permite avaliar as maiores distâncias astronômicas.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Você está familiarizado com a medida de um ângulo em graus: uma volta completa tem 360°. Existe no entanto uma outra medida unidade em que se medem os ângulos. Essa outra unidade é muitas vezes chamada de unidade natural e se chama **RADIANO**. Uma grande vantagem dessa unidade é o fato de que, quando os ângulos são pequenos, estes podem ser substituídos pelo seu **seno** (**sen** α) ou pela sua **tangente trigonométrica** (tg α).

Uma circunferência completa tem 360° e seu comprimento mede $2 \pi R$ Um radiano é um ângulo que subentende um arco cujo comprimento é igual ao comprimento do raio. Por essa razão, uma circunferência tem tantos radianos quantas vezes o seu com

primento contém R .

Então, uma circunferência tem

$$\frac{2\,\Pi\,R}{R} \text{ radianos}$$

ou seja:

$$2\,\Pi \text{ radianos.}$$

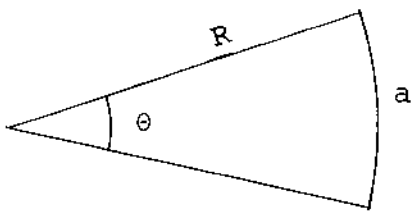
Se 360° correspondem a $2\,\Pi$ radianos então:

$$1 \text{ radiano} = \frac{360^{o}}{2\,\Pi} = \frac{360^{o}}{6{,}28} = 57^{o}\,3 \quad \text{(aproximadamente)}$$

Cada grau contém 60' e cada minuto contém 60''
Cada grau contém 3.600" . Então:

$$1 \text{ rd} = 57^{o},3 \times 3.600 = 206.265''$$

Em radianos, um ângulo pode ser expresso como a relação entre o comprimento do arco e o comprimento do raio.



$$\theta = \frac{a}{R}$$

fig.2.8

Quando o arco tiver o comprimento do raio $\theta = 1$ rd.

Conhecida essa definição, segue-se que

$$R = \frac{a}{\theta} \qquad a = \theta\,R$$

Entendido isto, podemos voltar às distâncias astronômicas

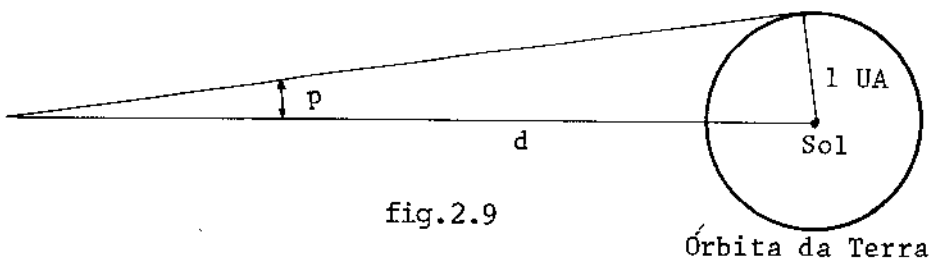


fig.2.9

4.2.11

Da figura (2.9) , temos :

$$p = \frac{1UA}{d} \qquad \text{ou}$$

$$d = \frac{1UA}{p}$$

Para que a distância (d) seja expressa em unidades astronômicas (UA), é preciso que a paralaxe anual (p) seja expressa em radianos.

Uma importante unidade de distância, quando se trata de estrelas, é o PARSEG (Paralaxe Segundo). Um PARSEG é a distância de uma estrela cuja paralaxe anual (p) é igual a 1". O nome vem justamente disso: PARalaxe de um SEGundo.

Uma estrela que tenha paralaxe anual de 1", está a uma distância de 1 PARSEG.

Vejamos quanto vale um PARSEG.

Já sabemos que

$$R = \frac{a}{\theta} \qquad\qquad a = R\,\theta$$

Seja, então, p o ângulo de paralaxe de uma estrela. Isso quer dizer que p é o ângulo subentendido pelo raio da órbita terrestre (1 unidade astronômica) visto desde a estrela. Pela definição, podemos escrever

$$p = \frac{1\ UA}{d} \quad \text{Então:} \quad d = \frac{1\ UA}{p}$$

Se exprimirmos p em radianos, a distância (d) será dada em unidades astronômicas (UA). Qual o valor do ângulo de 1" expresso em radianos?

$$1\ rd = 57^{o},3 = 57^{o},3 \times 60 \times 60 = 206.265"$$

$$1\ rd = 206.265"$$

$$? = 1"$$

$$1'' = \frac{1}{206.265} \text{ rd}$$

Então:

$$d = \frac{1 \text{ UA}}{\frac{1}{206.265}} = 206.265 \text{ UA}$$

$$1 \text{ parseg} = 206.265 \text{ UA}$$

Então, uma estrela cuja paralaxe anual vale 1" está a uma distância de 1 parseg ou 206.265 unidades astronômicas (U A). Quer isso dizer que, uma estrela que tem 1" de paralaxe ou que está a uma distância de 1 PARSEG, está, de nós, a uma distância que é 206.265 vezes maior que a distância Terra-Sol.

Acontece que, mesmo as estrelas mais próximas, têm paralaxe anual inferior a 1". Portanto, mesmo as estrelas mais próximas estão a distâncias maiores que um PARSEG.

A estrela mais próxima tem paralaxe anual de 0,761". Sua distância é então:

$$d = \frac{1 \text{ UA}}{\frac{0,761}{206.265}} = 271.000 \text{ UA}$$

ou

$$d = \frac{271.000}{206.265} = 1,3 \text{ PARSEG}$$

UM POUCO MAIS AINDA

É muito comum empregar-se em medidas das distâncias das estrelas, uma outra unidade: o ANO-LUZ (AL).

Um Ano-Luz (AL) é a distância percorrida pela

luz em um ANO. Quanto vale essa distância? Sabemos que a luz se desloca no espaço vazio com uma velocidade de 300.000 km/seg. Com essa velocidade, a luz poderia dar mais de oito voltas à Terra em apenas 1 segundo de tempo.

1 AL = 300.000 km/seg x (nº de segundos em um ano)

1 AL = 3×10^5 km/seg x (365,25 x 24 x 60 x 60)

1 AL = 3×10^5 km/seg x $3,1 \times 10^7$ seg.

1 AL = $9,3 \times 10^{12}$ km

1 AL = $9,3 \times 10^{15}$ m

Já sabemos que:

1 PARSEG = 206.265 UA mas

1 UA = 150.000.000 km

1 PARSEG = 206.265 x 150.000.000 km

1 PARSEG = $30,1 \times 10^{12}$ km

Então:

$$\frac{1 \text{ PARSEG}}{1 \text{ AL}} = \frac{30,1 \times 10^{12} \text{ km}}{9,3 \times 10^{12} \text{ km}} = 3,2$$

$$\frac{1 \text{ PARSEG}}{1 \text{ AL}} = 3,2$$

Logo: 1 PARSEG = 3,2 AL

Acima, calculamos a distância da estrela mais próxima e achamos d = 1,3 PARSEG

A distância dessa estrela mais próxima, em AL (ANOS-LUZ) será então:

d = (1,3 PARSEG x 3,2) AL d = 4,3 AL

CAPÍTULO 2 - INTERAÇÕES

2.3 - ENERGIA POTENCIAL, A ENERGIA ARMAZENADA

Você já sabe que para se realizar qualquer tarefa é preciso dispor de energia. ENERGIA é o ingrediente necessário à realização de qualquer trabalho. Quando realizamos um trabalho, estamos transferindo energia de um lugar para outro. O trabalho não é mais que a medida da transferência de energia.

A energia é uma coisa que não se cria nem se perde; apenas se transfere ou se transforma.

O que chamamos de energia POTENCIAL é a energia que fica armazenada e que PODE ser aproveitada ou transferida posteriormente.

Alguns exemplos ajudarão você a entender o que chamamos de energia potencial. Quando você eleva um certo peso a uma certa altura, o trabalho que você realiza é o produto do peso pela altura a que o peso foi levantado. Quando o peso tiver sido levantado, você poderá prendê-lo a um gancho.

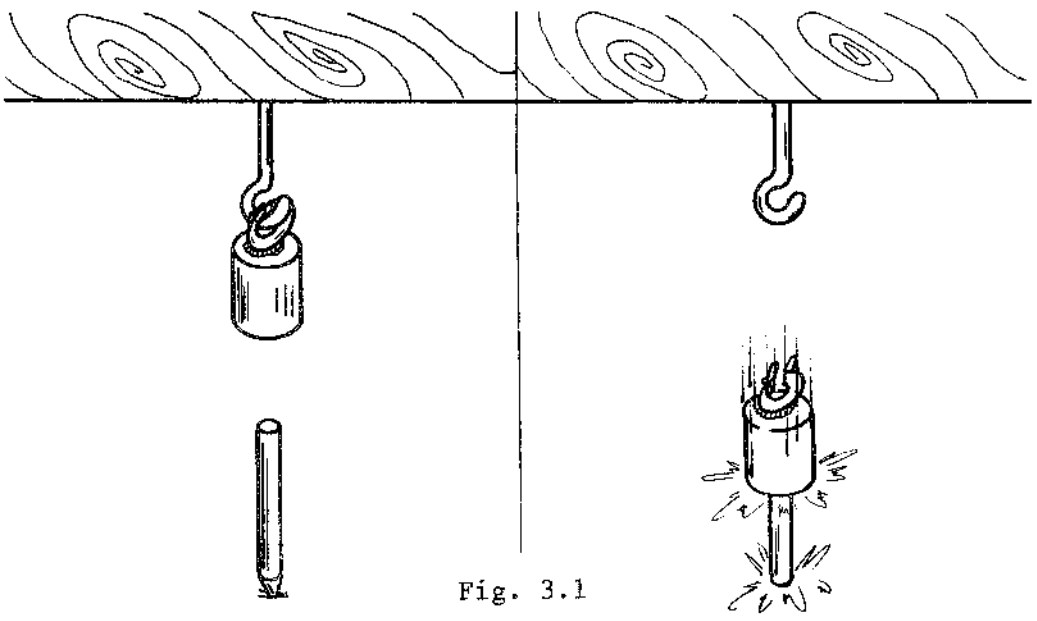


Fig. 3.1

Assim, a energia que você transferiu ou, o que é a mesma coisa, o trabalho que você realizou, fica guardado enquanto o peso ficar dependurado. Depois de muito tempo, você soltaria o peso do gancho e ele (o peso) poderia realizar um tra

balho nessa queda. Esse trabalho poderia ser o de mover um relógio (cuco), cravar uma estaca etc. Quando você eleva um balde de água a uma certa altura, a água elevada tem uma certa energia POTENCIAL, isto é, uma energia que poderá ser aproveitada. Quanto mais água e quanto mais elevada ela for, maior será sua energia potencial. Ao descer, a água poderá realizar algum trabalho, isto é, poderá transferir sua energia para algo aproveitável. É isso que fazem as usinas hidroelétricas.

Quando comprimimos ou distendemos uma mola, realizamos um trabalho. Se prendemos a mola na sua posição comprimida ou distendida, a energia que transferimos para a mola, com o trabalho de comprimi-la, ficará guardada. Essa energia pode ficar armazenada até quando você quiser. Essa energia também é potencial.

Você deve estar notando que o que caracteriza a energia potencial é o fato dela poder ser restituída ou voltar a uma forma de energia. Isso independendo do tipo de força que realizou o trabalho ou de como se criou a situação. Talvez também aqui alguns exemplos ajudem a esclarecer o que estamos querendo dizer. Ao invés de comprimirmos uma mola, forçamos dois ímãs que se repelem, um contra o outro. Depois de "obrigar" os ímãs a ficar um contra o outro, amarraríamos o conjunto. O conjunto teria agora uma energia potencial, isto é, uma energia armazenada. A energia deste modo seria guardada indefinidamente, se quiséssemos. Após algum tempo, essa energia poderia ser liberada ao cortarmos o barbante que prendia os ímãs. Uma coisa semelhante pode ser feita com corpos carregados eletricamente com cargas de igual nome, isto é, cargas que se repelem.

Isso não acontece só com corpos de tamanho comum. Essas mesmas idéias também valem nas dimensões das moléculas e dos átomos.

Tanto com as moléculas como com os átomos ocorre uma coisa semelhante ao que acontece com uma ratoeira armada. Quando você arma uma ratoeira de mola, você faz um esforço contra a mola para colocá-la para trás. Posta a mola na posição de máxima deformação, você engancha o gatilho onde está uma isca, o peda

ço de queijo. A grande quantidade de energia que você transferiu, ou o trabalho que você realizou ficará armazenado até que o rato desarme a ratoeira, fazendo a energia ser transferida toda para a cabeça do rato.

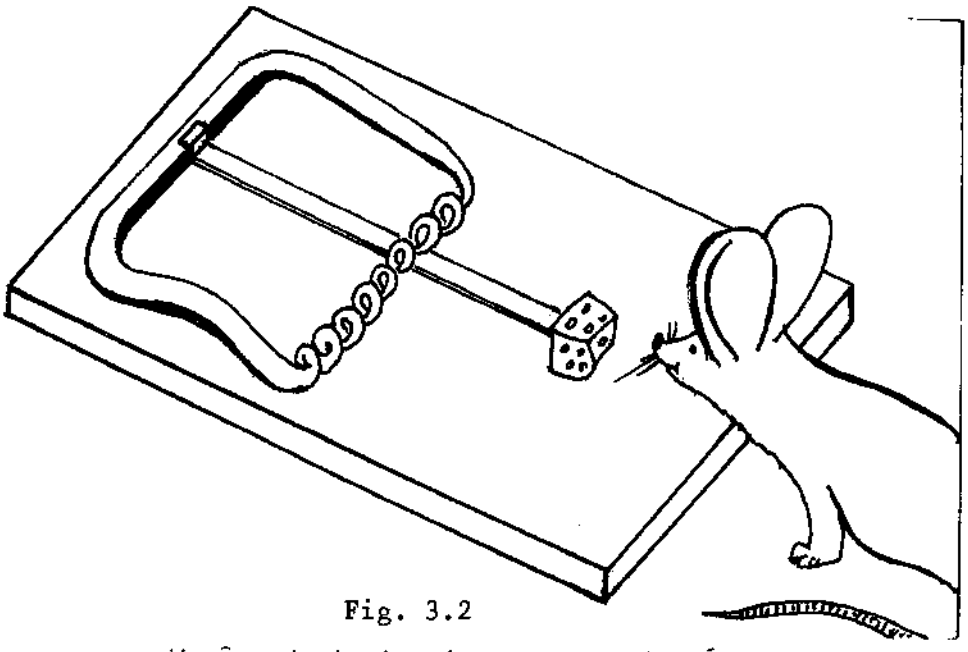


Fig. 3.2

Você poderia imaginar um grande número de ratoeiras já armadas e colocadas umas próximas das outras. Quando uma ratoeira for desarmada ela saltará e fará com que sejam desarmadas as outras. Essas outras farão outras se desarmarem e o processo se propaga fazendo com que todas as ratoeiras libertem sua energia. No entanto, será preciso que alguém forneça a energia necessária para que seja desarmada a primeira delas.

É uma coisa semelhante o que ocorre com as moléculas dos combustíveis. Essas moléculas têm grandes quantidades de energia potencial, isto é, grande quantidade da energia armazenada. Essa energia resulta das posições relativas ocupadas pelas cargas elétricas na estrutura da molécula. Quando você põe fogo no combustível, você está fornecendo um pouco de energia que é necessária para "desarmar" as primeiras moléculas. Estas liberam grande quantidade de energia que estava em forma de energia potencial, o que fará com que mais moléculas se "desarmem". E o processo se propaga. No caso ainda das moléculas dos combustíveis, a energia, na maioria das vezes, foi fornecida pelo Sol. Você já pensou que quase toda a energia que move os seres vivos, os nossos meios de transporte e as nossas indústrias é energia que veio do Sol e que estava armazenada em forma de energia potencial

hidroelétrica ou molecular? Essa energia que agora move, a nós e aos nossos engenhos neste momento, é energia que estava armazenada, às vezes por milhões de anos (carvão e petróleo). É energia potencial.

Você já deve ter ouvido falar em potencial energético de um país. O potencial energético de um país é constituído pela energia potencial que ele contém. Essa energia potencial é dada principalmente pela quantidade de energia que esse país tem e que pode ser aproveitada através de suas quedas d'água (potencial hidroelétrico) e pelas suas jazidas de combustíveis (carvão e petróleo).

Quase toda energia que utilizamos esteve armazenada durante muito tempo. Enquanto essa energia esteve armazenada, ela se chamou energia potencial.

ATIVIDADE: MEDIDA DE UMA ENERGIA POTENCIAL

Arranje uma série de pequenos pesos, como os que são usados de chumbada nas linhas de anzol, pelos pescadores. Determine a massa média em gramas de cada um. Se você não dispuser de uma balança, veja quantos pesinhos você deve usar para equilibrar o peso conhecido de um objeto qualquer, como na figura seguinte.

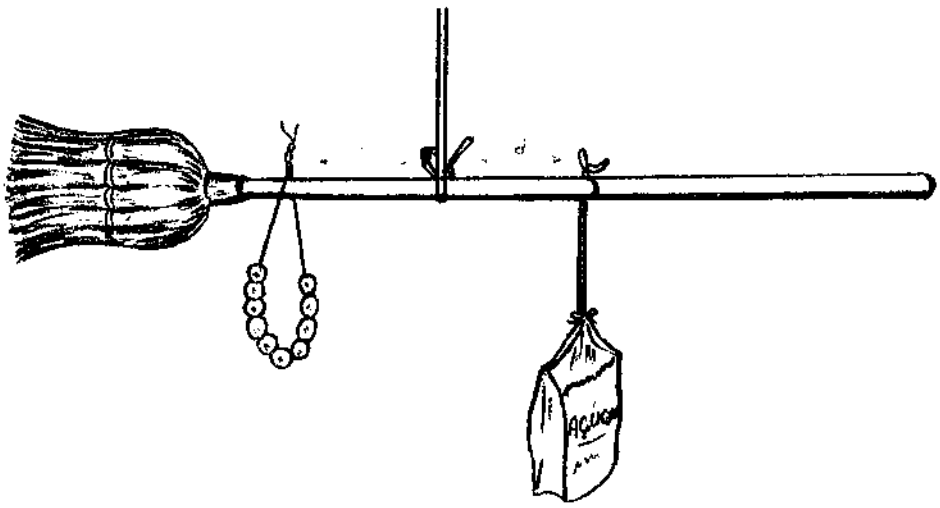


Fig. 3.3

Agora você sabe a massa de cada chumbinho em gramas.

Faça com os chumbinhos e uma linha, uma fiada que seja de comprimento igual ou menor que a altura de sua mesa ou carteira. Verifique também que a fiada toda não tenha um peso maior que a capacidade do seu dinamômetro. Se o seu dinamômetro não estiver funcionando, você poderá medir as forças, sabendo que, para sustentar um kg onde aceleração da gravidade é normal (9,81 m/seg^2), você deve fazer uma força 9,81 newtons. Isso equivale a dizer que, quando você levanta 1 kg, você está fazendo uma força de aproximadamente 10 N.

Passe a ponta da linha da fiada por uma roldana fixa na extremidade de uma haste ou régua.

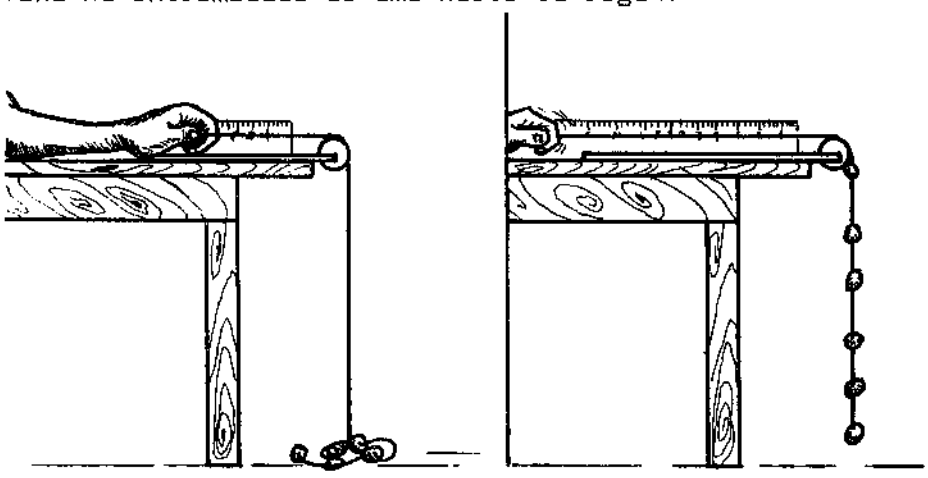


Fig. 3.4

Comece a puxar a linha da fiada. Quando o primeiro pesinho começar a ser levantado, comece a registrar os dados. Os dados importantes são: o tamanho da força, em newtons, que você está fazendo e a distância durante a qual você faz essa força.

Quando o primeiro pesinho chegar na roldana, fixe o sistema. Anote agora os valores dos pesos e as alturas de cada um ao solo.

Meça então a energia potencial de toda a fiada. A energia potencial de um corpo de massa m levantado de uma altura h, em um lugar em que a aceleração da gravidade vale g, é dada pela expressão

$$E_{pot} = m\,gh$$

Essa energia será expressa em JOULES quando m for dada em kg, a altura h em metros e g em m/seg^2.

A energia potencial do sistema será a soma das energias potenciais de cada corpo.

Faça então a soma das energias potenciais das partes que constituem o seu sistema, isto é, a fiada.

Agora você vai medir o trabalho que você realizou para que o sistema adquirisse essa energia potencial.

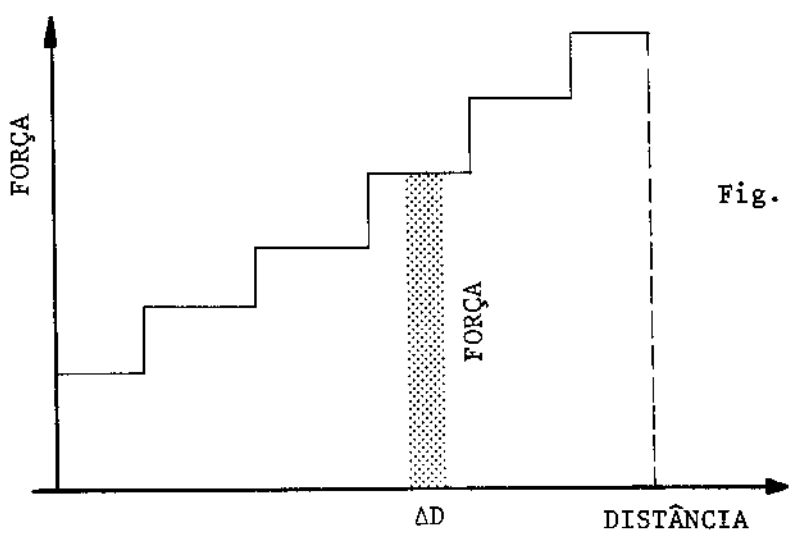


Fig. 3.5

Com os dados que você tomou e o tamanho da força, a distância em que ela agiu, faça um gráfico como o da fig. 3.5. Nesse estarão representadas as forças em função das distâncias. Você acha que as áreas, como as achureadas na figura, têm um significado especial nesse gráfico? Uma força vezes (x) um deslocamento resulta num trabalho. Nesse gráfico, então, as áreas medem o trabalho, isto é, as áreas são proporcionais aos trabalhos realizados pela força.

O trabalho que realizamos quando exercemos uma força por uma certa distância é o produto dessas duas grandezas.

$$W = f \times d$$

Nesse caso, o trabalho total que você realizou ao puxar a fiada deve ser proporcional à área debaixo da curva força x distância.

Exprimindo a força em newtons e a distância em metros, você terá medido o trabalho feito em JOULES.

Compare o valor que você obteve para o trabalho feito, com a energia potencial do sistema.

A pequena diferença corre por conta das imprecisões das medidas feitas.

Você percebeu que o trabalho que você realizou pode ficar guardado indefinidamente?

Essa energia guardada é que se chama energia potencial do sistema. Quando você quiser, você poderá dispor dessa quantidade de JOULES para realizar um trabalho. Esse trabalho poderia ser o de fazer funcionar um relógio.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Na atividade anterior, você determinou a energia potencial de um sistema em que a força é constante, pelo menos em certos intervalos. Existem, no entanto, muitos casos em que a força não é constante. É o caso de uma mola, por exemplo. Quanto mais distendida ou comprimida a mola, mais "dura" ela fica para ser deformada.

Geralmente as molas ou outros objetos elásticos exigem esforços proporcionais às deformações. Esse fato pode ser expresso por uma fórmula simples conhecida como "LEI DE HOOK".

$$\vec{f} = -k\,\vec{x}$$

O sinal menos (-) significa que a força é de restituição. Isso significa que a força é sempre contrária ao deslocamento. O k é a constante de proporcionalidade e a característica da mola (ou de outro sistema elástico).

Quanto maior o k, mais dura é a mola.

A energia com que o carrinho vai ser lançado vai depender do K da mola e de quanto ela foi comprimida.

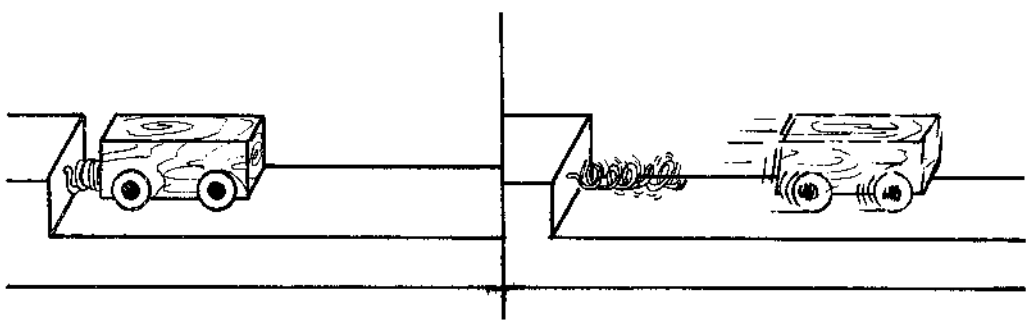


Fig. 3.6

Imagine que você comprime ou distende a mola até um certo comprimento. Assim deformada, a mola ou elástico tem uma energia potencial. Esta energia pode ficar armazenada por muito tempo ou pode ser liberada imediatamente.

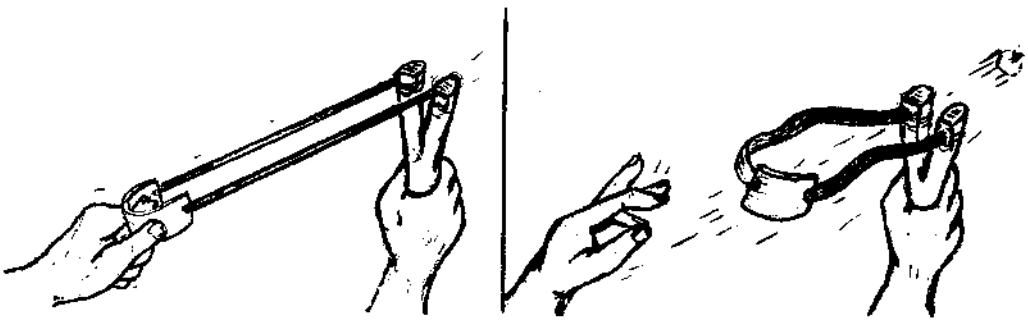


Fig. 3.7

Esta pode ser transferida para um corpo qualquer. É o caso de um estilingue ou de uma atiradeira, que transfere sua energia à pedra.

Que energia a mola (ou elástico) pode transferir, ou, qual a energia potencial do sistema da mola ou elástico comprimido?

Se a força é do tipo $\vec{f} = - k \vec{x}$, o gráfico da força ($\vec{f}$) em função do alongamento ($\vec{x}$) é uma reta.

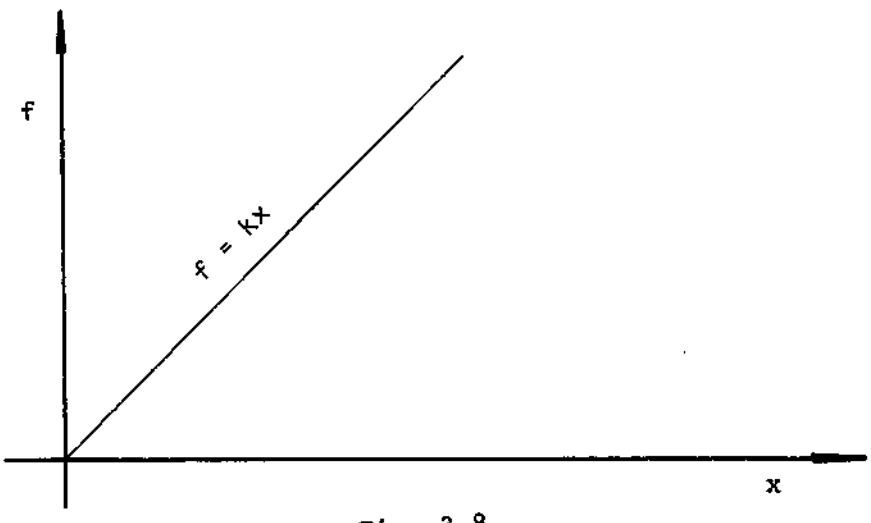


Fig. 3.8

Você já sabe que, num gráfico da força pelo alongamento, as áreas sob a curva medem as energias.

Então a área entre a reta $f = k\,x$ e o eixo dos x representará o trabalho realizado com a compressão ou distensão da mola. Essa energia transferida é que fica guardada. É a energia potencial.

Mas quanto é a área delimitada pela reta ($f = k\,x$) e pelo eixo dos x ?

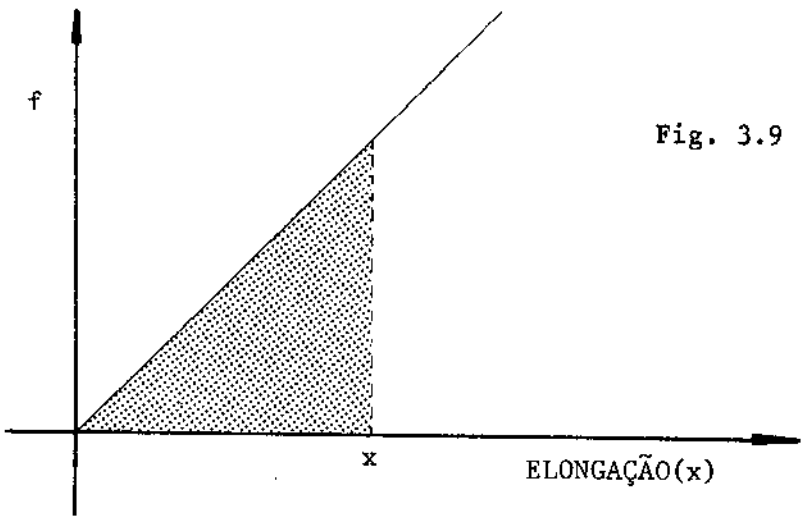


Fig. 3.9

Essa área é a área de um triângulo que vale base x altura.

Neste caso a base é x e a altura é kx. Então a energia potencial é

$$E = \frac{x \cdot kx}{2}$$

$$E = \frac{1}{2}\,k\,x^2$$

Dessa maneira, você saberá que energia você coloca em uma mola (ou elástico) quando comprime ou estica a mola (ou elástico) de um certo comprimento. É preciso também que você saiba o k da mola. Como em geral as molas têm um comporta-

mento "direito", isto é, linear, basta conhecer uma força e um alongamento.

Basta dizer que $f = k\,x$; logo $k = \frac{f}{x}$

Com isto, você pode saber quanta energia será dada à pedra que sai do estilingue (atiradeira). Você poderá também saber qual a energia com que sai um carrinho, ao ser cortado o barbante.

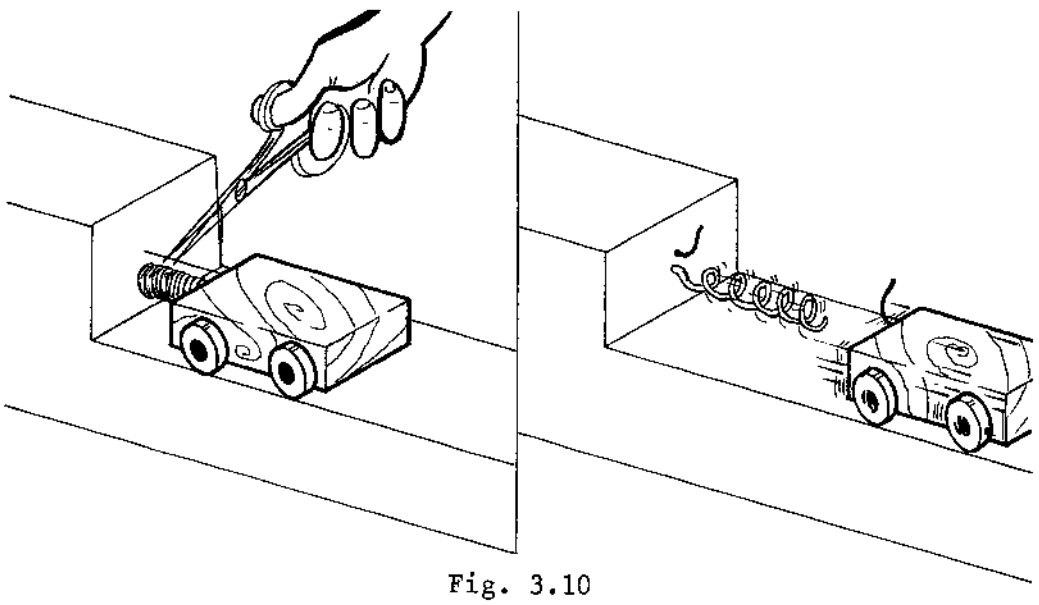


Fig. 3.10

Com que velocidade vai sair a pedra do estilingue? Você deve ter percebido que para uma mesma distensão ou compressão (energia) a velocidade varia com a massa do objeto que está sendo impulsionado.

Como você acha que estão relacionadas a energia de movimento que o corpo adquire, com sua massa (m) e sua velocidade?

A energia de movimento ou **ENERGIA CINÉTICA** de um corpo é dada pela expressão:

$$E_{cin} = \frac{1}{2}\, m\, v^2$$

2.3.11

Você já viu como pode aproveitar a energia potencial acumulada em algum lugar. Você sabe também que essa energia pode se transformar em energia de movimento ou energia CINÉTICA. Sabendo agora a expressão da energia cinética, você dispõe de uma linguagem extremamente eficiente para descrever e prever uma série de tipos de interações. E o interessante é que essas idéias se aplicam a objetos do tamanho de um estilingue, de um planeta ou de um átomo.

Quando um corpo cai, por exemplo, a energia potencial se vai transformando em energia cinética. Depois de cair uma altura h, a energia potencial dessa altura se transformou em energia cinética.

Então:

$$m\,gh = \frac{1}{2}\,m\,v^2 \qquad \text{ou}$$

$$g\,h = \frac{1}{2}\,v^2$$

$$v^2 = 2\,gh \qquad \text{ou}$$

$$v = \sqrt{2\,gh}$$

No caso de uma mola a energia potencial é:

$$E\ pot = \frac{1}{2}\,k\,x^2$$

$$\frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{1}{2}\,k\,x^2$$

$$m\,v^2 = k\,x^2$$

$$v^2 = \frac{k\,x^2}{m} \qquad v = \sqrt{\frac{k\,x^2}{m}}$$

Então a velocidade da pedrinha ao sair do estilingue vai depender da característica do elástico (k), do quadrado da deformação ou alongamento da borracha (x) e da massa da pedrinha (m).

Nos exemplos vistos até aqui, a força ou era constante ou variava de forma muito regular. Existem, no entanto, casos em que a força varia com a distância de uma maneira irregular.

Nesse caso, o único recurso é medir a área debaixo da curva. Você já sabe que num gráfico de força em função da distância, as áreas medem os trabalhos ou energia armazenada ao deformar-se o sistema.

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

4.3 - A CONSERVAÇÃO DA MASSA

Entre os objetos que os arqueólogos têm encontrado e que nos revelam o grande desenvolvimento atingido pelos antigos egípcios, figura a balança de braços iguais. Essa parece datar de aproximadamente 7.000 anos atrás.

- O que fariam os egípcios com balanças 5.000 anos antes da nossa era? - Muito provavelmente pesavam ouro. Eles devem ter percebido que a balança é o melhor meio de se medir a quantidade de ouro. A balança lhes permitia saber quanto ouro obteriam depois de fundir (derreter) as pepitas ou torná-las pó de ouro. A previsão não se alterava se as pepitas eram trituradas ou reduzidas a pó, desde que a balança ainda indicasse a mesma coisa.

Os romanos, no apogeu de seu império, usaram a balança para fins comerciais. No entanto muitos séculos se passaram antes que a balança fosse introduzida como instrumento da ciência.

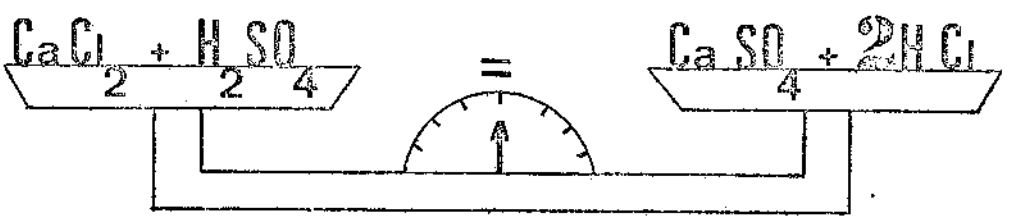
Só no início da idade moderna, depois da revolução francesa, é que a balança entrou definitivamente para o campo da ciência. A introdução da balança como importante ferramenta da ciência deve-se ao grande cientista francês Antoine Lavoisier.

Juntamente com a balança, Lavoisier introduziu o princípio da conservação da massa: "na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma". A evidência desse princípio apareceu quando Lavoisier buscava uma solução para o problema do flogisto. Flogisto era uma "substância" de propriedades misteriosas que se acreditava ser parte constituinte de todos os corpos. Pensava-se que todos os corpos fossem constituídos de flogisto e cal. Cal (cinza) era o que ficava depois que os corpos perdiam o seu flogisto, isto é, depois que eram queimados. Lavoisier percebeu que, mesmo quando queimava os corpos, a massa

não se alterava desde que todo o processo fosse mantido em um recipiente fechado. Em recipiente aberto, os metais até aumentavam de peso quando queimados. (Experimente queimar um "bom-bril". Depois de queimado ele pesa mais.) O metal se oxida, isto é, absorve o oxigênio do ar. Lavoisier descobriu que o "algo" que fazia os metais aumentarem de massa era o oxigênio.

A partir do trabalho de Lavoisier, a balança passou a ser sistematicamente usada pelos químicos. Isto forçou os químicos a uma nova atitude diante das reações químicas. Elas deviam então ser tomadas como re-combinações dos ingredientes presentes e combinados de outras maneiras. Em poucas décadas depois de Lavoisier, já era geral a crença de que a massa se conserva nas reações químicas. Essa crença fêz as receitas dos antigos alquimistas evoluirem para as equações da química.

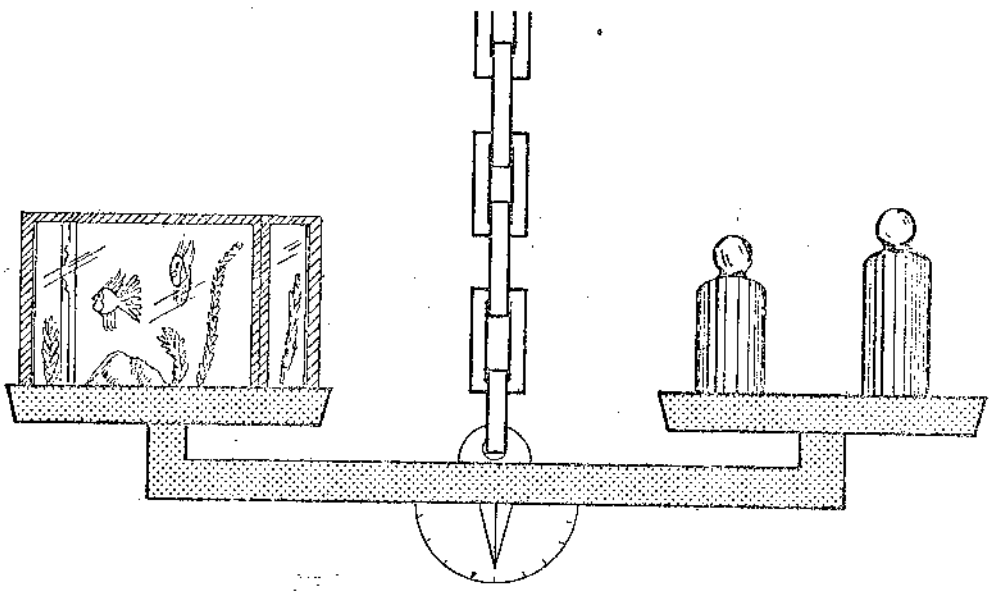
Quando você escreve uma equação química, você está realmente repetindo a Lei da Conservação da massa. Tudo o que está contido de um lado (antes) está também contido no outro lado (depois da reação). Os dois lados (membros) da equação podem representar os dois pratos da balança. O sinal de igual representa o fiel da balança.



Não é só nos processos da química que se conserva a massa. Também nos processos da vida (biológicos), que são extremamente complicados, a massa se conserva. Os processos da vida são processos também químicos e de grande complexidade. Você já imaginou a complexidade das reações químicas que estão envolvidas em processos como a nutrição ou a reprodução?

Imagine o seguinte experimento. Sobre uma balança colocamos um aquário que se possa fechar hermeticamente, isto é, fechado à prova de gás. Dentro do aquário vamos colocar

uma "família" de peixes e o suprimento de oxigênio e alimentos para algumas semanas. Durante esse tempo, os peixes vão comer os suprimentos, vão se reproduzir e vão eliminar detritos. Quando nascer uma "ninhada" de novos peixinhos, será que a massa se conserva? - Verificamos que sim. Depois de algum tempo o suprimento de oxigênio e alimentos terminou. Os peixes grandes e pequenos morreram.



- A massa ainda é a mesma? Verificamos que sim, pois a balança continua em equilíbrio. Depois de algumas semanas os peixes já se decompuseram.

- A balança continua como no início. A massa não se alterou, mesmo com as grandes transformações ocorridas com a nutrição, respiração, excreção, nascimento, morte e decomposição. Alterando-se a maneira como os diferentes tipos de átomos (elementos) estavam combinados, os átomos continuam os mesmos de antes.

À medida que se foram acumulando evidências de que a matéria não se cria nem se destrói, o homem foi entendendo que todas as coisas, vivas ou não, são constituídas de um pequeno número (92) de tipos de átomos elementares. Esse fato é semelhante a uma grande variedade de tipos e tamanho de casas de uma cidade. Apesar de diferentes, as casas podem ser feitas com um pequeno número de tipos de tijolos. Poderíamos dizer que, no

Universo que conhecemos, desde as sal.:chas até as estrelas, passando por nós e todas as coisas, tudo é constituído de uns poucos tipos de átomos. A grande diversidade das coisas podem ser explicadas pelas diferentes maneiras em que estão combinados esses poucos tipos de átomos (92 elementos). Esses tipos fundamentais de átomos é que são chamados elementos.

- Você está percebendo que toda evidência proporcionada pela balança é que nos tem levado a acreditar na conservação da massa?

- Você acha que a balança pode ser tomada como prova definitiva de que a massa não varia mesmo em nada?

- Você sabe que as balanças têm uma certa sensibilidade que varia de uma para outra. Isso quer dizer que as balanças só "tomam conhecimento" quando a variação de massa atinge um certo valor. Por exemplo, uma balança em que estão 100gramas de queijo, não se altera se sobre o queijo pousar ou levantar vôo uma mosca. No entanto,a massa total, com e sem mosca, é diferente. Isso significa que a balança não é suficientemente sensível para registrar essa variação de massa. Não podemos garantir então que não existem pequeníssimas variações !

Hoje podemos afirmar que o princípio da conservação da massa prevalece até a sensibilidade de uma parte em um milhão. Isso equivale a uma variação ou é proporcional à variação de um grama em um milhão de gramas ou uma tonelada . Se existe variação na massa,ela é menor que isso. As balanças de precisão usadas nos laboratórios de pesquisa têm sensibilidade a uma parte em um milhão ou em 10^6.

Você já deve ter lido ou ouvido falar de uma célebre equação introduzida pelo grande físico do século XX, Albert Einstein, um dos grandes gênios que a humanidade produziu. Essa equação é:

$$E = MC^2$$

Nessa equação E significa energia, M a massa e

C a velocidade da luz no vácuo (300.000 km/seg.). Essa equação estabelece uma equivalência entre massa e energia. Isso significa então que, quando um corpo irradia energia, ele está também perdendo massa. Como C é um número muito grande, e C^2 muito maior, resulta que a perda de massa nos casos comuns é pequeníssima. Tão pequena que está completamente fora do alcance das balanças mais sensíveis. Essas perdas de massa só começam a ser importantes quando a quantidade de energia é brutalmente grande. Isso acontece quando se altera a estrutura interna dos átomos.

Quando se trata de radiações nucleares, a energia emitida chega a ser tão grande que é capaz de afetar a quantidade de massa. Por exemplo, reações que se passam em uma bomba atômica. Mesmo que pudéssemos juntar todos os fragmentos e gases desprendidos, não obteríamos a massa inicial. Parte considerável de massa se transforma em energia e já não pode aparecer na balança. Essa energia se espalhou em forma de luz, calor e outras radiações eletromagnéticas. Essas coisas não podem ser colocadas nos pratos de uma balança.

Toda energia que recebemos do Sol, sob forma de luz e calor também se origina de transformações da matéria em energia. Nessas reações cada quatro átomos de Hidrogênio (H) se juntam para formar um átomo de Hélio (He). No entanto, a massa de 4 átomos de H é um pouco maior que a massa de um átomo de He. Essa pequena diferença de massa transformada em energia é responsável pela tremenda quantidade de energia que o Sol irradia. Por essa razão, o Sol pode irradiar tanta energia, perdendo pouco de sua massa. Esse mesmo processo é também o que ocorre em uma bomba H.

As reações em que ocorrem variações apreciáveis de massa são muito raras em relação à nossa vida diária.

Para efeitos práticos e no uso de nossas balanças, mesmo as de maior sensibilidade, a massa se conserva.

Mesmo sob as mais diversas transformações químicas e físicas que podemos realizar, a massa não se altera.

CONSERVAÇÃO DA MASSA E POLUIÇÃO

No exemplo que examinamos, o aquário, tanto os alimentos como os seres vivos e seus detritos estavam dentro de um sistema isolado. Aí a massa do sistema não se altera.

A Terra como planeta também pode ser considerada como um sistema isolado. Apesar da exploração das jazidas ou do aumento da população, a massa total da Terra não se altera. É da Terra que o homem tem que tirar o seu suprimento. É para a Terra que tem que voltar todos os detritos, orgânicos ou industriais. Toda atividade do homem sobre o meio ambiente, no entanto, não altera a massa total, apenas pode transformá-la. Neste caso também, o princípio da conservação da massa tem sérias implicações. Felizmente, de um lado, como a matéria (massa) não se destrói, o homem pode transformar em alimentos a matéria orgânica que já foi utilizada e se decompôs. Tal é o caso da utilização de esterco e fezes como adubos. Infelizmente, por outro lado, a massa se conserva, mas as transformações que a massa sofre às vezes são lentas, ou difíceis e dispendiosas.

Nos últimos anos o aumento explosivo da população da Terra tem provocado um aumento, também explosivo, nas necessidades de mais alimentos e bens de consumo. Ao mesmo tempo tem aumentado numa escala muito maior a quantidade de detritos resultante de um crescimento industrial e comercial.

É absolutamente necessário transformar mais coisas em alimentos e utilidades (lavoura e indústrias). É também necessário aumentar e tornar mais eficiente e completa a distribuição desses bens. Acontece que na natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma. Isso funciona também a nosso desfavor, isto é, contra o homem.

Nos últimos anos, o homem tem produzido muitas coisas que lhe podem ser altamente prejudiciais. Alguns exemplos dos agentes que começam a poluir de maneira alarmante o nosso meio ambiente são bem conhecidos de todos. A fuligem e os gases que resultam da combustão e processos industriais poluem

o ar que respiramos. Os produtos químicos resultantes de indústrias e uso doméstico (detergente) poluem os cursos d'água e acabam se concentrando no mar. O mar que poderia ser uma grande manancial de recursos já está seriamente ameaçado pela poluição. Os inseticidas, que se transformaram muito lentamente são altamente tóxicos, vão aumentando a contaminação dos cursos d'água e também chegam ao mar. Os produtos plásticos quase não se decompõem já são, em alguns países,um grande entulho que só tende a aumentar. Queimá-los polui ainda mais a atmosfera.

Tudo isso se passa sem que a massa total de planeta se altere. Se a humanidade desaparecer, fizer do seu planeta um lugar inabitável, ainda assim, a massa total se conservará. Só que aí já não estarão os homens para constatar essa trágica evidência de que a massa não se alterou, apenas se transformou.

- E qual a posição da ciência diante disso? - Poderia ficar indiferente ou neutro,o cientista ou mesmo o cidadão comum que sabe desses problemas?

Todos os problemas de maior produção de alimentos, de energia e de transportes só poderão ser resolvidos com a ciência e a tecnologia. Sabemos, entretanto, que isso não basta.Podemos também desaparecer da face da Terra por causa da ciência e da tecnologia.

É preciso que a ciência e a tecnologia sejam colocadas a serviço dos interesses da humanidade.

É da Terra, do ar e da água que deve sair a massa da qual são feitos nosso organismo e também para a terra, para o ar e para a água que têm que voltar os resíduos tanto do nosso organismo quanto de nossos objetos.

A maneira como exploramos os recursos da Terra ou a poluição que provocarmos, não modificarão a massa total do nosso planeta. Poderemos no entanto transformá-lo num lugar em que a vida, nossa ou de nossos descendentes,se torne impossível ou muito difícil.

O que podemos fazer é colocar nossa ciência e nossa tecnologia a serviço de uma transformação a favor da humanidade, mesmo mantendo constante massa de nosso "aquário",da Terra.

7. ENSAIOS REALIZADOS

Desde as primeiras páginas escritas, a maior preocupação do autor foi a de submeter todo o material de ensaios diretos com alunos e professores.

Durante muito tempo os resultados desses ensaios foram colhidos e assimilados diretamente pelo autor. Mais recentemente todo material a ser ensaiado passou a ser acompanhado por um formulário para ser preenchido pelo professor incumbido do ensaio. Tais formulários têm permitido que os resultados fiquem registrados, permitindo-se assim o acúmulo da experiência adquirida.

7.1 - ENSAIOS COM ALUNOS

A principal preocupação do autor tem sido a verificação da viabilidade operacional de todo o material em seu uso com quem é o objetivo final de todo este trabalho: o educando, ao nível do segundo ciclo.

Tanto os textos quanto as ATIVIDADES, desde o início, têm passado por diversas "edições para ensaio" em forma de apostilas, que são usadas em classe, novamente recolhidas para serem usadas em outras classes com o mesmo ou com outros professores. Em alguns casos se permitiu que os alunos levassem os textos a fim de verificar a viabilidade da execução de ATIVIDADES em tempo extra-aula.

Período 1971/1972

Durante os dois primeiros anos (1971 e 1972), as observações do autor estiveram voltadas para aspectos mais imediatos como a inteligibilidade dos textos, a exequibilidade

das ATIVIDADES e o interesse despertado por ambos. Nesse período, foram já feitas mudanças de redação aconselhadas pelas dificuldades, principalmente na execução de ATIVIDADES.

Os resultados dessa primeira fase podem ser resumidos como segue.

1. Necessidade de se tornar mais clara e objetiva a redação das perguntas que conduzem o educando através de ATIVIDADES.

2. Alterações no texto em lugares onde houve surpreendente e generalizada dificuldade por parte dos alunos.

3. Verificação surpreendente da semelhança entre as dificuldades encontradas pelos alunos com aquelas encontradas pelos professores, quando diante de situações simples, porém apresentadas de maneira não usual.

4. Verificação de um grande e generalizado entusiasmo pelos temas envolvidos e pelas discussões por eles ensejados.

Ano Letivo de 1973

Durante o ano letivo de 1973, foi possível uma observação mais próxima e, portanto, mais rica em detalhes, com mais probabilidades de acerto, uma vez que envolveu a aplicação sobre aproximadamente 1.500 alunos, através de 12 professores que estiveram em contato semanal com o autor, a fim de receber o material escrito e de relatar o andamento dos ensaios.

A interação freqüente com os professores permitiu a introdução imediata de inovações, o retorno dos resultados e a reaplicação das modificações, estabelecendo-se uma contínua retroalimentação do processo e cuja quantificação se tem mostrado difícil e talvez de menor significado.

Grande número de informações está contido nos

relatórios elaborados pelos professores através de quem foram feitos os ensaios e cujos principais resultados vão resumidos a seguir.

1. Em muitos casos houve dificuldade na implantação do método, a que os alunos não estavam habituados.

2. Em alguns casos houve por parte dos alunos uma resistência, que não chegou a desaparecer, sob a alegação de que esperavam ser "preparados" para o vestibular".

3. Mostrou-se amplamente praticável a estrutura "em paralelo". Não houve nunca uma seqüência ordenada e obrigatória das partes aplicadas.

4. Muitos alunos, de início, se mostraram descrentes da utilização de material pouco "científico" como o empregado nas ATIVIDADES (latas, barbantes etc.). Em uns poucos casos, essa descrença não desapareceu.

5. Na grande maioria dos casos, os textos foram considerados claros e de grande efeito motivador.

6. Freqüentemente, o material foi preparado e trazido para a classe pelos próprios alunos. Alguns grupos fizeram ATIVIDADES em casa e posteriormente demonstrações em classe.

7. Com poucas exceções, os textos ensejaram grande número e diversidade de discussões. Algumas vezes, o professor esteve sob forte solicitação dos grupos de alunos envolvidos na discussão.

8. Em alguns casos os alunos se manifestaram preocupados com a "pouca matéria dada" em seus cadernos, em comparação com outras disciplinas.

9. Na grande maioria das vezes, os alunos participaram ativamente tanto das discussões como das ATIVIDADES e manifestaram a

sua satisfação por isso.

10. Foram pouco freqüentes problemas de disciplina. Em alguns casos eles diminuíram. Algumas vezes se estabeleceu uma situação de confusão e ruído até que o trabalho se tornasse produtivo. Houve o caso de um aluno que teve de ser "convidado a se retirar".

11. Em alguns casos, grande parte dos alunos chegou até o nível "Se você quiser saber um pouco mais". Um número muito reduzido chegou ao "Um pouco mais ainda".

7.2 - ENSAIOS REALIZADOS COM PROFESSORES

Em janeiro de 1973 realizou-se o primeiro curso destinado especialmente para ensaiar a exequibilidade e aceitação do material do projeto por parte de um grupo representativo de professores em serviço. O ensaio foi realizado por convite e patrocínio da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de São José do Rio Preto, e teve a duração de 2 semanas em regime de tempo integral. Embora o curso tenha sido dirigido pelo autor, procurou-se observar também as possibilidades de um desenrolar quase automático, em que apenas monitores acompanharam o trabalho, garantindo o suprimento do material.

Todo o desenvolvimento do curso, bem como as medidas dos tempos dispendidos em cada ATIVIDADE, constam de extenso relatório elaborado no estabelecimento de ensino que promoveu e sediou o ensaio.

Por brevidade e pelo interesse, o autor transcreve ipsis literis apenas a parte final do referido relatório em que constam o questionário distribuídos aos 32 professores participantes, e suas respostas de maneira quantificada.

PERGUNTAS E RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS

Questionário quanto ao texto:

Pergunta 1 : Qual a sua opinião sobre:

a) Clareza do texto das diversas unidades do projeto?

Respostas : *"Regular" - 1*
"Bom" - 16
"Bastante claro" - 11
"Os textos são de fácil entendimento porém na parte das deduções o grau de entendimento diminui"-1

b) O grau de motivação do curso?

Respostas: *"Ótimo" - 6*
"Bom" - 20
"Excelente" - 1
"Bastante motivador" - 1
"Alto grau" - 1

c) O grau de entendimento do texto?

Respostas: *"Muito Bom" - 3*
"Bom" - 20
"Regular" - 2
"Ótimo" - 2
"Fácil entendimento" - 2

Pergunta 2 : *O enfoque histórico contribui para uma melhor visão do contexto em que se desenvolvem as idéias e os conhecimentos?*

Respostas: *"Sim" - 25*

Outras Respostas: *"Muito, principalmente pelo fato de mostrar como uma simples observação aliada ao raciocínio, pode trazer resultados tão importantes e aparentemente complexo".*

"Excelente pela localização no tempo e espaço dos fatos e problemas tratados".

"Isto é importante, porque os conhecimentos vão sendo transmitidos à medida que se desenrola a história".

"O enfoque histórico é tão importante quanto os conhecimentos científicos. É muito bom e necessário".

Pergunta 3 : *Você acha que o texto e as experiências se integram, permitindo o funcionamento quase automático do Curso, ficando o professor para os atendimentos ocasionais ou esclarecimentos de dúvidas ou exposição de assunto fora do contexto?*

Respostas: *"Sim" - 23*
"Perfeitamente" - 1

"Certas perguntas que estão formuladas de maneira ambígua poderão quando aplicados a uma classe colegial trazer certas confusões que exigirão maior atenção e atendimento por parte do professor".

"O curso transcorreu automaticamente, mostrando assim a originalidade do projeto brasileiro, necessário às nossas escolas. Os professores apenas fizeram o complemento, orientando".

"O funcionamento quase automático do curso é possível, pois, isto ficou evidenciado através deste curso".

"Sim e o projeto pelas suas características permite ao professor coordenar melhor os trabalhos dos grupos e auxiliar onde for necessário. O texto e as experiências permitiram o funcionamento quase automático do curso e deu ao professor a atividade que o ensino na Escola Nova propõe e escreve como sendo eficaz: professor sinônimo de orientador".

Pergunta 4 : *Você acha o curso aplicável nos colégios da região?*

Respostas : *"Sim"* - 26

"Em parte sim. Existem alguns colégios onde seria aplicável".

Somente em certas classes, principalmente pelo fato de que algumas delas são muito numerosas e a colocação das carteiras não permita um bom acomodamento para estudo em grupo".

"Não digo de um modo geral, mas pessoalmente considero aplicável pelas condições materiais do nosso Colégio".

Pergunta 5 : *Você poderia aplicar o curso parcial ou totalmente em suas classes?*

Respostas: *"Totalmente"* - 5

"Parcialmente pela falta de tempo" - 5

"Parcialmente" - 8

"Acredito que parcialmente possa ser aplicável devido à necessidade de desenvolver outros tópicos do programa oficial".

"Parcial, pois é bastante extenso e teria de ser

visto mais lentamente que no curso que fizemos, para permitir melhor aproveitamento".

"Totalmente sim, faria uma certa programação para o 1º e 2º colegial para atender a todos os alunos".

"Tanto parcial como totalmente" - 9

"Não aplicável" - 1

Pergunta 6 : *Em caso do ítem 5 ser afirmativo, para quantos alunos você poderia aplicar o curso totalmente ou parcialmente? Baseie-se em suas classes.*

Respostas : *"Para 30 a 50 alunos" - 18*

"Para 100 a 150 alunos " - 4

"Para 150 a 200 alunos " - 4

"Para 300 alunos " - 1

"Poderia aplicar para todas as classes" - 1

Pergunta 7 : *Considera as aulas (atividades) deste curso mais fáceis ou difíceis de serem desenvolvidas do que as aulas normais dadas nos colégios? Por que?*

Respostas : *"Mais fáceis" - 9*

"Mais fáceis" (com comentários) não transcritos" - 9

"Mais difíceis porque para uma atividade necessitaríamos pelo menos 2 a 3 aulas normais - problema de horário" - 1

"Mais difícil, inicialmente pois os alunos estão acostumados, principalmente em Física a terem os problemas resolvidos pelo professor em aulas expositivas e não tendo treino adequado para tra

balho em grupo" - 1

"Mais difícil de serem desenvolvidos pela necessidade de raciocínio. Porém o interesse seria bem maior" - 1

"De início acredito que seria mais difícil pelo caráter diferente e estranho aos alunos, mas após certo tempo os alunos acostumariam e o ensino tornar-se-ia mais rendoso" - 1

"Seria difícil no começo, quando nós os aplicadores, ainda não tivermos tomado prática em coordenar o curso. De ano para ano, o trabalho do professor irá tornando-se mais leve" - 1

"Mais fáceis, porque a atenção e o interesse do aluno e a aprendizagem é mais rápida por intermédio de atividades do que por aulas expositivas" - 4

"Mais fáceis, por ser motivadoras, ativas e sobretudo porque o aluno sentiria o seu próprio progresso" - 1

"Mais fáceis porque os alunos poderiam realizar ou terminar as atividades mesmo fora da classe" - 1

"Mais fáceis pois com tanto material disponível até os alunos mais fracos se sentiriam motivados" - 1

Pergunta 8 : *Qual a sua opinião sobre o rendimento da aprendizagem da matéria desenvolvida no curso?*

Respostas: *"Maior rendimento" (com comentários)* - 2

"Excelente" - 1

"Bom" - 12

"Muito bom" - 5

"Ótima, tivemos oportunidade de compreender vários conceitos experimentalmente".

"Ótima, nos diálogos com os colegas do grupo ou fora deles, todos estavam satisfeitos e eram unânimes em afirmar que nunca tinham aprendido tanto em tão curto espaço de tempo".

"Rendimento ótimo" (com comentários) - 3

"Muito bom, mas que poderia ser melhor caso fosse dado mais lentamente para permitir uma reflexão sobre o assunto e melhor fixação dos conceitos.

"Em termos de rendimento da aprendizagem foi o melhor curso de férias de que participei".

"No início houve pouco rendimento mas depois houve um rendimento automático da matéria".

"Na minha opinião, de uma maneira geral, houve 80% de auto aprendizagem da matéria desenvolvida no curso. Isto considerando as pessoas que não possuiam conhecimento nenhum do assunto antes".

Questionário - Material

Pergunta 1 *a) Qual a sua opinião sobre o custo do material utilizado?*

Respostas: *"Baixo custo", "Barato", "Custo insignificante"(com comentários) - 15*

"Fácil aquisição devido ao baixo custo" - 5

"Accessível a qualquer colégio ou a todos os professores" - 4

"Barato, de modo geral, temos materiais que podem ser obtidos gratuitamente como as latas de cerveja, em contrapartida existem materiais de custo elevado como os balões de vidro".

"Os materiais mais caros e de difícil improvisação são: os balões e os termômetros. Os demais são baratos e facilmente improvisáveis. Ainda assim, o balão e o termômetro podem ser adquiridos com relativa facilidade. O material utilizado no curso por não ser material de consumo, uma vez adquiridos ou improvisados podem ser utilizados por várias turmas. Não posso precisar em termos quantitativos, mas fica mais barato do que os materiais necessários ao desenvolvimento dos programas clássicos de ciências"

"Material barato e de fácil aquisição. Excetuando-se os suportes e tripés utilizados. Quem não teria uma latinha de cerveja, pregos, varinhas, serragem"?

"Achei que o material utilizado é ótimo, pois todo ele pode ser conseguido quase que graciosamente, apenas o balão de vidro é que causaria um pouco de gasto".

b) Quanto à originalidade das atividades realizadas?

"Bastante originais", "muito originais" - 26

"As atividades são originais quanto ao material utilizado e são práticas, contudo certas atividades já nos eram conhecidas mas com outro material. "As experiências em si não são totalmente originais mas o material usado para tal é bastante original".

Pergunta 2 : *As atividades do projeto requerem ambiente próprio? (digo, laboratório apropriado)?*

Respostas: *"Não" - 18*

"Não. Qualquer sala de aula pode ser perfeitamente adaptada para as atividades". - 2

"As atividades do projeto requerem simplesmente salas de aula providas de carteiras móveis". - 5

"Não" (*com comentários*) - 3

Pergunta 3 : *Você acha que as experiências realizadas no curso funcionam e atingem os objetivos pretendidos?*

Respostas: *"Perfeitamente"* - 3

"Atingiram em cheio" - 3

"Sim" - 23

"Embora utilizando instrumentos bem rústicos, chegamos a resultados semelhantes a dos aparelhos mais sofisticados; portanto minha resposta é afirmativa" - 1 -

Pergunta 4: *Você teria dificuldade para realizar as experiências do projeto para seus alunos no que se refere ao material e à sua montagem? Indique a experiência de maior dificuldade no que se refere ao material.*

Respostas: *"Não"* - 6

"Não - Balão de vidro" - 5

"Não - aquecimento da Terra" - 1

"Sim - Balão de vidro" - 2

"Eu não teria dificuldades para realizar as experiências do projeto porque é um material fácil de se conseguir e a montagem também não exige muito trabalho. A experiência de maior dificuldade com relação ao material foi a de aquecimento da Terra e da água, pois exige termômetros" - 1

"Não" (*com comentários*) - 14

Questionário sobre o diafilme

Pergunta 1 : *O diafilme que lhe foi mostrado representa algo de novo em matéria de ensino de ciência?*

Respostas : "Sim" - 19
"Não" - 2

"Pelo menos para mim, é único no gênero. Desconheço algo melhor".

"Pela colocação dos problemas e sequência dos mesmos é algo de novo".

"Sim. Parece-me necessário, mas com complementação. Deve ser dado após o curso, para se ter um resumo em síntese. Se dado no começo poderá prevenir o estudante, e o curso em si poderia não obter o objetivo (que teve) pretendido".

"Sim" (com comentários) - 3

Pergunta 2 : *Em caso afirmativo, qual o detalhe mais importante no seu entender, desse tipo de apresentação através do diafilme?*

Respostas: "A sequência lógica do assunto, dá uma idéia global do assunto" - 8

"Motivação através da sequência e objetividade"- 9

"A gente consegue localizar o assunto dentro de um contexto, de uma realidade" - 2

A forma e o colorido dos desenhos, assim como o texto (ótimo) que acompanha a projeção" - 1

"Por ser interessante e comunicativo, prende a atenção dos alunos, auxiliando-os a fixarem a matéria e, além disso, provocando neles a necessidade de discutirem entre si certas passagens, o que provo

caria um enfoque maior dos pontos, pontos mais interessantes e de maior importância" - 3

"A simplicidade e a maneira sugestiva com que os desenhos são feitos" - 5

Pergunta 3 : *Você acha que o diafilme apresentado transcreve idéia global a respeito da energia?*

Respostas : "Sim" - 28

"Totalmente" - 1

Pergunta 4 : *O diafilme abre a perspectiva para a discussão?*

Respostas : "Sim" - 19
"Muitas" - 2
"Sim" (com comentários) - 5
"Acho que dá muito campo para discussões e polêmicas" - 2

8. PERSPECTIVAS

Nunca pretendeu o autor que este trabalho fosse apresentado como a solução para todos os problemas do ensino da Física no segundo grau. Pretende, isto sim, ser um trabalho de vanguarda na apresentação de uma alternativa brasileira para um enfoque global e de possibilidade de aplicação imediata às condições de qualquer região do Brasil.

A exequibilidade do método e do conteúdo aqui é entendida não como hipótese que termina com sua enunciação. Essa hipótese está sendo verificada em uma grande frente de trabalho que se iniciou com os primeiros ensaios realizados pelo próprio autor no Nordeste, em dezembro de 1970. Desde essa data, todo material elaborado tem sido ensaiado de maneira cada vez mais ampla.

A aplicação dos textos e de material tem sido feita de forma limitada pelo próprio autor, por não dispor de mais recursos humanos e materiais para manter os ensaios sob controle, num âmbito maior.

Parte dos trabalhos de primeiros ensaios tem sido realizado com a ajuda de alunos do autor, licenciandos dos cursos de Física da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro e da Universidade Estadual de Campinas.

Parte dos resultados dos ensaios já tem sido assimilada na retroalimentação do processo. Isso tem feito com que as novas partes já levem a experiência adquirida e tenham sua elaboração facilitada.

A pesquisa e a elaboração do material aqui relatadas têm, além dos resultados específicos a que se propõe o autor, algumas contribuições que dele decorram como subprodutos e que devem ser levados em conta: a contribuição já feita e a

abertura de novas frentes.

8.1 - UMA CONTRIBUIÇÃO JÁ FEITA

Pretende o autor que aquilo que aqui está sendo proposto não é uma mera possibilidade. Os resultados deste trabalho já se têm materializado , embora modestamente, desde que o autor iniciou os primeiros ensaios com material feito, em um curso de 40 horas ministrado a um grupo-amostra de 15 pessoas no Recife.

Estão a seguir relacionados os cursos ou ensaios já realizados e que, se mais não fossem, se constituíram em uma visão incomum, pelo método e pelo conteúdo.

1. CURSO - ensaio com 1º capítulo de "O CÉU" realizado em dezembro de 1970, no Recife, sob o patrocínio do Centro de Treinamento para professores de Ciências.

   Participantes: 15 sendo,
   10 professores e
   5 alunos (nível colegial).

2. Estágio para professores de Física do Centro de Treinamento para professores de Ciências de São Paulo (CECISP), com a duração de 70 horas, em 1971.
   Participantes: 2

3. Curso sobre o 1º capítulo ("O CÉU") para licenciandos do curso de Física da Faculdade de Filosofia de Rio Claro, em 1971. Duração: 1 semestre.

4. Curso sobre toda a primeira Unidade para licenciandos de Física da Faculdade de Filosofia de Rio Claro, em 1972. Duração: 2 semestres.

5. Curso sobre toda a 1a. Unidade para licenciandos e pós-gra

duandos do curso de Física da Universidade Estadual de Campinas, em 1972.
Duração: 1 semestre.
Participantes: 20

6. Curso para licenciandos (graduação e pós-graduação) e pós-graduandos em Física da Universidade Estadual de Campinas em 1973.
Duração: 2 semestres
Participantes: 16

7. Curso para licenciandos do curso de Física da Faculdade de Filosofia de Rio Claro.
Duração: 2 semestres
Participantes: 31

8. Curso especial para professores de Física e Ciências da região de Rio Preto, promovido pela Faculdade Estadual de Filosofia de Rio Preto.
Duração: duas semanas em regime de tempo integral.
Participantes: 34
Total dos professores atingidos por cursos sobre o P.B.E.F.- 138.

Através dos professores já treinados nos cursos mencionados acima, já foram atingidos aproximadamente 2.150 alunos, mencionados apenas os que tiveram os ensaios acompanhados.

8.2 - TÉRMINO DAS PARTES PROJETADAS

Trabalho a ser acatado mediatamente e constituído pelas partes (unidades) projetadas e não concluídas:" Luz e Ondas" e "Átomos e Estrutura da Matéria".

Esta última Unidade prevê um grande número de

consultas e deverá ser orientada mais diretamente por físicos dessa área, será dada pelo professor Dr. José Goldenberg.

8.3 - ABERTURA DE NOVAS FRENTES

Um dos aspectos em que o presente trabalho se tem mostrado fecundo é o de ensejar outras iniciativas ricas pelas suas possibilidades de ampliações e desdobramentos.

A própria natureza do trabalho, com a necessidade de ensaios a cada passo, obrigou o autor a um permanente contato com diferentes aspectos do problema ensino-aprendizagem .

Esse contato se transformou numa intensa interação entre o autor e as pessoas com que foram feitos os ensaios, tendo por meio, para essa interação, os textos e as discussões por elas provocadas, as ATIVIDADES com o respectivo material, as películas cinematográficas produzidas e o diafilme. Dessa interação surgiram inúmeras idéias que se têm mostrado exequíveis, de longo alcance e capazes de comportar outros desdobramentos. Entre os assuntos que se poderiam constituir em novas frentes de trabalho que se poderão transformar em campos de pesquisa, o autor sugere os seguintes: assistência aos professores "em serviço", produção de material para o ensaio de ciências, retroalimentação do processo e início de novas pesquisas.

8.3.1 - Assistência aos Professores

A realização dos ensaios obriga o autor a estreito contato com os professores que estão sendo treinados e que vêm a aplicar a metodologia de que trata este trabalho. Essa atuação junto aos professores mostrou a importância de uma permanente e institucionalizada assistência a professores, pelo me

nos de uma região circunvizinha da Universidade.

Esse tipo de trabalho faz com que a sala do autor se tornesse um ponto frequentado por professores-alunos que vão em busca do material e sugestões e que ao mesmo tempo trazem valiosas experiências sobre suas necessidades e dificuldades. Dessa maneira, tem podido o autor introduzir no sistema algumas contribuições que passam a ser usadas imediatamente ("injeções na veia"), podendo em curto prazo obter informações sobre os resultados dessa introdução.

Certamente este aspecto tem sido um dos mais promissores subprodutos do trabalho principal e que sugere a criação de um centro de práticas de ensino de Ciências para atendimento dos professores em serviço e estagiários de graduação. Isso pode também se constituir na maneira mais eficaz de a Universidade prestar um serviço à coletividade em que ela se acha inserida, contribuindo para o aprimoramento do processo ensino-aprendizagem. Um trabalho dessa natureza já está sendo desenvolvido pelo grupo do autor, porém, em escala reduzida.

Os resultados já obtidos nessa interação mostram as grandes possibilidades da Universidade como centro irradiador de novos métodos, como também dão à Universidade meios de preparar seus futuros alunos, não através de"cursinhos" de resultados duvidosos, mas através de um trabalho sistemático em que podem ser empregados e observados as modernas técnicas e conceitos no processo ensino-aprendizagem.

8.3.2 - Produção de Material

É ponto de vista do autor que a aprendizagem em Ciências Naturais, como no caso da Física, impõe a necessidade de um envolvimento do educando ou aprendiz em situações concretas em que as idéias ou conceitos devem se exteriorizar em uma ATIVIDA

DE. Atividades sempre implicam algo - recurso material.

Não basta também "receitar" o material que deveria ser usado se ele não existe, ou deve ser importado, ou é de custo tão alto que sua obtenção está fora do alcance da maioria dos estabelecimentos de ensino, em termos nacionais. Nacional é aqui entendido não só como viabilidade em algum lugar do Brasil, mas sim em todo o país.

É possível e altamente interessante que se possa continuar a aproveitar a experiência parcialmente relatada neste trabalho e adquirida na feitura de protótipos e seu ensaio em experiências de campo. Isso inclui a feitura e utilização de material simples, de baixo custo e de fácil obtenção.

Outro aspecto em que foi adquirida uma experiência que deve ser aproveitada refere-se à produção de diafilme e cinema didático.

Há ainda enormes possibilidades em outros campos que aqui se omitem.

8.3.3 - Retroalimentação de todo o processo

Um resultado de grande importância tem sido a evidência e o uso de fato de RETROALIMENTAÇÃO do processo com a experiência adquirida em diferentes ensaios. Essa retroalimentação inclui os diferentes setores do trabalho feito e por fazer, como textos, material para ATIVIDADES, diafilme etc.

Quase todo o trabalho aqui apresentado foi retroalimentado pela experiência adquirida durante os ensaios.

O trabalho de recolher a experiência para utilizá-la depois, deveria ser feito com uma metodologia mais apropriada e que aumentaria o rendimento dos resultados. O desenvol

vimento desse setor se recomenda tanto pela rapidez dos seus resultados como pela economia que pode representar.

8.3.4 - Novos Campos de Pesquisa

A continuação do trabalho mostra a necessidade de se abrirem novas frentes na área do ensino da Física, a nível do 2º grau, em áreas contíguas ou afins. O autor sugere, como decorrência deste trabalho, a abertura de pesquisas nos seguintes setores:

1. Levantamento geral sobre as condições do ensino da Física, ao nível do 2º grau, em todo o Brasil.

2. Métodos de avaliação do ensino-aprendizagem na área da Física.

3. Estudo de viabilidade de programas de ensino integrado de Física, Química e Biologia.

4. Estudo sobre as necessidades e expectativas do ensino superior em relação aos conhecimentos dos candidatos na área das Ciências.

5. Estudo sobre a produção e utilização de meios audio-visuais no ensino das ciências, de acordo com as necessidades e possibilidades brasileiras.

9. CONCLUSÃO

I - Há evidências de que o rendimento do ensino da Física no Brasil, ao nível do segundo ciclo, é baixíssimo no sentido de proporcionar ao educando condições para operacionalizar conceitos e informações recebidas no período escolar.

II - Aqui se oferece um projeto brasileiro para o ensino da Física como uma opção longamente pensada e ensaiada, na qual a metodologia é baseada no trabalho do educando e se realiza sobre um conteúdo elaborado com características próprias e imediatamente utilizável, mesmo nas regiões mais pobres do país.

III - A utilização da Astronomia, pela diversidade dos problemas que apresenta e pelos meios que utiliza, oferece um campo propício em que o educando realiza tarefas úteis em qualquer campo do conhecimento, ao mesmo tempo que utiliza um laboratório a todos franqueado: o céu.

IV - Uma coleção pioneira de fotografias estroboscópicas, obtidas pela equipe do autor, com técnica própria e simples, permite o estudo de situações em que são feitas observações e medidas sobre fotografias de eventos reais .

V - A opção que aqui se oferece tem ainda como peculiaridades a possibilidade de atender à grande diversidade de aptidões (três níveis), diversidade de disponibilidade de tempo (estrutura em paralelo) e à diversidade de interesses (enfoque também histórico).

VI - Ao mesmo tempo que se oferece um clima no qual predominam o trabalho e as atividades do educando, se lhe ofere

ce uma visão humanista procurando valorizar a importância e a necessidade de que a ciência seja colocada a serviço da solução dos problemas maiores que afligem a Humanidade.

VII - A elaboração do material e os ensaios que se vêm realizando desde 1970, deram ensejo à abertura de novas frentes de trabalho que se apresentam como promissores campos para pesquisas. Essas pesquisas trariam, pelo menos, a vantagem do aprimoramento dos métodos e uma revisão nos conteúdos do ensino das ciências da Natureza, no Brasil e talvez também fora dele.

10. BIBLIOGRAFIA

ALTER, A; CLEMINSHAW, C. - Pictorial Astronomy. N. York, Thomas Y.Crowel, 1956.

ARMELINI, G. - I Fondamenti Scientifici della Astronomia, Milano, Ulrico Hoepli, 1952.

CALATAY, V - Atlas du Ciel. Paris, Gauthier-Villars, 1955.

CHAROLA, F. - Elementos de Cosmografia. Buenos Aires, Editorial Kapelusz, 1954.

EINSTEIN, A; INFELD, L. - A Evolução da Física. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1962.

FEYMANN, R.P., e outros - Lectures on Physics. Reading, Addison-Wesley, 1965.

GAMOW, G. - Biografia da Física. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1963.

GAMOW, G e outros - A NOVA ASTRONOMIA. São Paulo, IBRASA, 1959.

GOLDENBERG, J. - Física Geral e Experimental. São Paulo, Editora Nacional, 1968.

HABER-SCHAIM, U. e outros - Physics, Advanced Topics Suplement. Boston, D.C.Heath and Co., 1966.

HOYLE, F. e outros - O Imenso Universo. São Paulo, Ibrasa, 1959.

JEANS, J. - O Universo em que vivemos. Rio de Janeiro, Ibrasa, 1962.

KRAUSE, A. - Astronomia Para Todos. Barcelona, Iberia - Joaquim Gil Editor, 1944.

KUHN, T. - The Structure of Scientific Revolution, Chicago, Chicago University Press,

MOORE, P. - El Atlas del Universo. Barcelona, Editorial Labor S.A, 1970.

OHEAR, J. - Física. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA. 1971.

OSADA, J. - Evolução das Idéias da Física, São Paulo, Editora Blucher Ltda., 1972.

PUCHKIN, V.N. - Heurística, A Ciência do Pensamento Criador. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1969.

RUDAUX, L.; VAUCOULEURS, G. - Astronomie, Les Astres, L'Univers. Paris, Librairie Larousse, 1956.

SANTILLANA, G. - Processo A Galileo. Milano, Arnoldo Mondadori Editore, 1960.

SMITH, F.G. - Radio Astronomy. London, Penguin Book, 1960.

VÁRIOS - Harvard Project Physics (Motion in the Heavens). New York, Holt Reinhart and Winston, 1969.

VÁRIOS - Física P.S.S.C. (Partes I e III), Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 1963.

A P Ê N D I C E

PERGUNTA Nº01

"O que é preciso para que um corpo se mova com movimento retilíneo e uniforme? O exemplo de um pára-quedas vale? Explique:"

RESPOSTAS

TABELA 01

Respostas típicas	Ocorrência
1. Velocidade constante e aceleração nula	33
2. Velocidade constante	19
3. Aceleração constante	7
4. Trajetória retilínea e velocidade constante	7
5. Aceleração nula	6
6. Estar sob ação de uma força e aceleração constante	3
7. Resultado das forças que atuam sobre o corpo seja nula	2
8. Outras	6
9. Não responderam	3

A rigor, apenas a resposta 7 está certa.

Embora as afirmações dadas nas respostas 1 e 5 sejam certas, elas são apenas redundâncias sobre o conceito envolvido. Nada acrescentam à pergunta.

A resposta 4 é estritamente supérflua, apenas repetindo a definição de movimento retilíneo e uniforme.

As respostas agrupadas como "outras" são todas diferentes entre si, inaproveitáveis:

"Precisamos de um ponto fixo".

"Não é preciso nada".

"Não haja atrito e aceleração nula"

"O gráfico da trajetória seja uma reta".

"Inércia".

"Aplicar força no início e que não haja atrito".

A segunda parte da questão teve resultados inesperados: apenas uma resposta certa.

Senão, veja-se a tabela

TABELA 01-A

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não. É queda livre; a velocidade varia; existe aceleração.	27
2. Não. O pára-quedas está sujeito à aceleração da gravidade.	26
3. Não	4
4. Não. A resistência não anula a aceleração.	3
5. Não. Age aceleração que retarda a velocidade, já que sai com velocidade grande e chega com velocidade pequena	2
6. Não. Não é bem isso.	2
7. Sim.	3

cont. da Tabela 01-A

Respostas típicas	Ocorrência
8. Sim. O pára-quedas mantém a velocidade do avião na horizontal.	2
9. Sim. A força da gravidade pode ser equilibrada pela resistência do ar, que varia com a velocidade.	1
10. Outras.	9
11. Não responderam.	7

As respostas 1 e 2 são equivalentes. As diferenças ocorrem apenas nos enunciados. Nas respostas 3 e 7 não houve comentários, apenas "Sim" e "Não".

As respostas agrupadas como "outras" apenas indicam idéia aproximada do fenômeno, porém mal enunciadas:"quando o pára-quedas passa a ter queda livre a velocidade é constante e a aceleração é nula".

As demais respostas são inteiramente erradas e denotam confusão de conceitos simples:

"Não, porque em baixo um objeto tem mais força que num nível mais alto".

"Não, o ar resiste e o pára-quedas tem aceleração negativa".

"Sim, como g é constante, a velocidade varia com o tempo".

"Não, o pára-quedas adquire velocidade sem precisar de aceleração".

"O pára-quedas tem que ter uma densidade que equilibra a força da gravidade".

"Sim, porque é queda livre".

"Sim. desde que g seja constante, em alturas não muito grandes".

PERGUNTA Nº02

"Quando se empurra uma mesa com velocidade constante sobre o chão, você acha que é aplicável a expressão $f=m\vec{a}$? *Explique".*

RESPOSTAS

TABELA 02

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não. Porque a aceleração é nula, então $\underline{f}$ seria nula.	40
2. Não. Tem que se considerar o atrito	5
3. Não, porque está se desprezando o atrito	2
4. Sim. Porque $\vec{f}$ seria a força aplicada, $\underline{m}$ seria a massa de mesa e a aceleração para empurrar a mesa	7
5. Sim. Tem que se considerar o atrito	5
6. Sim. Porque para movimentar um corpo é preciso aplicar uma força, que causa aceleração	4
7. Sim. $\Sigma \vec{f} = m\vec{a} = 0$ $f + f$ atrito $= 0$ $f = fat$	3
8. Sim. Como a velocidade é constante, desprezа-se o atrito	2
9. Sim	2
10. Outras.	10
11. Não responderam	6

Somente três alunos responderam corretamente (resposta 7). Assim mesmo, é quase certo que o trabalho foi feito em conjunto, devido à extrema semelhança (só a letra era diferente) das respostas (como está na tabela).

O mesmo argumento nas respostas 3 e 5, serviu para justificar conclusões opostas.

As dez respostas agrupadas como "outras" foram :

"Não, porque $\vec{f} = m\,\vec{a}$ *não envolve velocidade".*

"Não, porque a força é constante e não a velocidade".

"Não, porque a fórmula só é aplicável para velocidade variável".

"Não, porque a força é só para manter a velocidade constante".

"Sim, porque ao empurrar com velocidade constante, a mesa produz aceleração que, multiplicada pela massa, dá a força".

"Sim, porque $\underline{v}$ *depende de* $\vec{f}$ *de* $\underline{m}$ *e de* $\vec{a}$*".*

"Sim, só depois de vencida a força de atrito".

"Sim, porque depois do impulso inicial, $\vec{f} = 0$ *".*

"Sim, porque houve aceleração: no início $V = 0$*, depois* $v \neq 0$*".*

"Sim, se não tiver atrito".

Fato que pode ser constatado, nesta pergunta e na anterior, é a confusão de muitos sobre o que é a força de atrito, essencialmente resistiva : referem-se a ela como sendo uma força <u>ativa</u> e <u>independente</u>.

PERGUNTA Nº 03

"Você acha que a expressão $\vec{f}=m\vec{a}$ se aplica a um movimento circular uniforme? Explique".

RESPOSTAS

TABELA 03

Respostas típicas	Ocorrência
1. Sim, porque existe aceleração centrípeta que vale $\frac{V^2}{R}$. $\vec{f}$ é a força centrípeta $\vec{f} = m\frac{V^2}{R}$	16
2. Sim, porque existe aceleração tangencial	7
3. Sim, porque existe aceleração centrípeta diferente de zero.	5
4. Sim, porque existe aceleração diferente de zero.	4
5. Sim.	3
6. Não, porque para o M.C.U. usamos $f^o = m\frac{V^2}{R}$	9
7. Não.	4
8. Não, porque existe aceleração centrípeta	3
9. Não, como a aceleração é nula, então a força seria nula.	3
10. Não, porque o movimento circular uniforme tem a aceleração centrípeta, ou centrífuga ou tangencial.	2
11. Não, porque a expressão: $\vec{f} = m\vec{a}$ não seria	

cont. da Tabela 03

Respostas típicas	Ocorrência
bem exata.	2
12. Não, porque o movimento circular depende do raio.	2
13. Não sei.	2
14. Outras.	10
15. Não responderam	14.

Entre as respostas agrupadas como "Outras", algumas foram:

"Não, porque depende de ângulo".

"Não, porque temos a aceleração da gravidade e a de atrito".

"Não, porque em um movimento circular uniforme não existe aceleração!"

"Sim, depende do problema apresentado!".

"Sim, só que a aceleração será dividida entre centrífuga e centrípeta".

"Sim, $\vec{f}$ é a força centrífuga".

PERGUNTA Nº 04

"Sabemos hoje que a Lua está em órbita ao redor da Terra devido a forças de atração gravitacional. Sabemos também que a massa da Lua (m) é 80 vezes menor que a massa da Terra (M) : M = 80 m . Exprima a força de atração da Lua sobre a Terra (f) em termos da força que a Terra exerce sobre

a Lua (F)".

RESPOSTAS

TABELA 04

Respostas típicas	Ocorrência
1. f = F / 80	31
2. Não sei.	5
3. f = F	4
4. Não me lembro da fórmula	2
5. f = F, mas não se chocam devido a diferença de massa	1
6. Não tenho idéia de como se faz. Nunca aprendi isso	1
7. f = F / 79	1
8. f = 9,8 newtons	1
9. Não responderam	40

A redação de algumas respostas, mesmo erradas, apresentava muitas semelhanças nos dizeres e na disposição, parecendo indicar uma origem comum ("cola").

É de se supor que os que não responderam não o fizeram porque realmente não sabiam, pois havia indícios de tentativas pelo uso de algumas fórmulas como $F = g\frac{Mm}{R^2}$, $f = m\,a$ ou a repetição dos dados.

PERGUNTA Nº 05

"Explique um fato que você conhece e no qual se aplica o princípio da conservação da energia".

RESPOSTAS

TABELA 05

Respostas típicas	Ocorrência
1. Pêndulo	5
2. Energia potencial em energia cinética: $mgh \quad m\frac{V^2}{2}$	5
3. Não sei	5
4. Qi = Qf	4
5. Dois vagões unidos por um fio e entre eles uma mola. Se queimarmos o fio, a mola perde energia potencial e ganha energia cinética igual, equivalente à Energia Potencial inicial	4
6. Garrafa térmica	4
7. Não lembro	3
8. Uma bola chutada vai parando com o atrito do solo. A energia recebida vai se transformando em calor.	2
9. Água que cai de uma represa e produz energia elétrica	2
10. Outras.	14
11. N.R.	38

Explicações, só houve 8.

A resposta 4 talvez seja referência à quantidade de calor inicial e final em algum evento não especificado.

A resposta 5 teve 4 respostas literalmente iguais.

Entre as "Outras" há uma que parece ser a mesma resposta nº 5 melhor enunciada. *"Duas bolinhas ligadas por uma mola. Se queimarmos o fio da mola as bolinhas adquirem energia equivalente à energia potencial da mola".*

Entre as "Outras" há apenas dois bons exemplos: *"O funcionamento do carro"* e *"O navio a vapor".*

Algumas respostas foram altamente rebuscadas quando tudo que se pedia era um exemplo de um fato conhecido. Algumas delas, tão infundadas quanto mal redigidas:

"Sabemos pelo princípio de Exclusão de Pauli que um orbital possue dois spins, que giram opostamente. A exerção de força sobre esse orbital gera um campo de ativação passando energia para um outro orbital. Outro exemplo: Um condutor metálico aplicado a uma diferença de potencial (VAB qualquer) gera em torno de si um campo magnético que é conservador".

"A difração da luz".

"A mudança de orbital de elétron (quando volta, emite luz)".

PERGUNTA Nº 06

"Dê um exemplo de um fato conhecido por você e no qual se verifica a lei da conservação da quantidade de movimento. Explique".

RESPOSTAS

TABELA 06

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não me lembro, não sei.	10
2. Explosão de uma granada.	9
3. Q = mv . A energia cinética também se conserva	5
4. Choque elástico. O que estava parado fica com a mesma energia cinética do outro, que fica no seu lugar.	4
5. Quando duas bolas de bilhar se chocam.	4
6. Choque entre dois corpos.	3
7. Um carro quando freia não para na hora, continua por alguns minutos.	2
8. Inércia. Se nenhuma força atuar sobre um corpo ele mantém seu movimento.	1
9. Uma máquina que produza 80% do produto e 20% de resto do produto.	1
10. Pêndulo. Enquanto há corda no relógio, existe conservação de movimento.	1
11. Quando freiam um carro e a pessoa é lançada pra frente.	1
12. Corpo em queda livre.	1
13. Um barco indo em uma direção e um homem, em cima, em sentido oposto.	1
14. Energia mecânica.	1
15. Um canhão de guerra.	1
16. Não responderam.	40

PERGUNTA Nº 07

"Dê um exemplo de uma força que você faz e exprima seu valor em newtons".

RESPOSTAS

T A B E L A 07

Respostas típicas	Ocorrência
1. O próprio peso.	23
2. Diversos valores de forças não especificadas.	13
3. Força para empurrar certa massa.	2
4. Outras.	12
5. Não responderam.	36

A resposta 2 constitui-se de valores de forças dados em Kgf e transformados em Newtons, por exemplo:

"força de 10 Kgf = 98 N"

Entre as "Outras" respostas, duas contém uma confusão entre força e trabalho:

"Levantar um objeto de 20 Kg a 2m de altura; f = md = 20.2 = 40 N".

"Força para movimentar uma mesa de 1 Kg, *numa distância de* 1 m, f = 1 N".

Outro aluno fez uma confusão total com as forças:

"Força para carregar uma mala de 5 kg; f-mg = mg, F = mg + mg; F = 50 + 50 = 100 N".

Outro deu como exemplo:

"força para mover um móvel".

PERGUNTA Nº 08

"Você acha que um corpo pode ter no mesmo instante uma velocidade nula e uma grande aceleração? Explique:

RESPOSTAS

TABELA 08

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não. Porque a aceleração depende da velocidade. Se o corpo está parado, não há aceleração.	10
2. Sim. Um corpo atirado para cima. No seu ponto mais alto, sua velocidade é nula e a aceleração é g	9
3. Sim. Se um carro está parado, pode-se ligar o motor em ponto morto e aplicar uma grande aceleração. O carro continua parado.	8
4. Não sei.	8
5. Sim. No momento em que um foguete vai partir ele está com uma aceleração muito grande (se não, como subiria?) e está parado.	7
6. Acho que sim.	7
7. Não	5

cont. da Tabela 08

Respostas típicas	Ocorrência
8. Sim. Elétron jogado contra um campo elétrico	3
9. Sim. Porque se, por exemplo, estivermos considerando um tempo t, pode ser que logo após o corpo comece a ter aceleração.	2
10. Respostas indecifráveis	2
11. Sim. Só no movimento não retilíneo.	1
12. Sim. Por exemplo: $v=2t - 6$, no instante $t=3s$, $v = 0$ e $a = 2\ m/s^2$.	1
13. Sim, mas no instante seguinte $v \neq 0$	1
14. Sim, porque a aceleração independe da velocidade.	1
15. Sim	1
16. Sim. Podemos aplicar uma força num corpo a qual provoca aceleração, mas se não deixarmos o corpo se deslocar, sua velocidade será nula	1
17. Não. Na fórmula $v_o + a\,t$, quanto maior a aceleração, maior a velocidade.	1
18. Sim, quando um corpo atirado para cima chega ao máximo, sua velocidade é nula e sua aceleração é máxima.	1
19. Sim, a velocidade não depende da aceleração.	1
20. Sim, quando o corpo inverte o sentido.	1
21. Sim. Frear um carro em alta velocidade.	1
22. Sim, depende do referencial.	1
23. Sim, um objeto no alto de uma plataforma pronto para descer.	1

Cont. da Tabela 08

Respostas típicas	Ocorrência
24. Sim, um choque elástico.	1
25. Sim, em queda livre; velocidade nula na horizontal e aceleração na vertical.	1
26. Não responderam.	10

Vejam-se as respostas 3, 5, 16 e 21. Elas têm o mesmo esquema de pensamento.

PERGUNTA Nº 09

"*Você dispõe de uma pilha (carregada) e de uma resistência (fio de níquel-cromo) cujas extremidades estão ligadas aos terminais da pilha. A resistência está sendo atravessada por uma corrente que é medida por um amperímetro, que está intercalado (em série) no circuito. Como você poderia aumentar a corrente que está sendo medida sem introduzir outro elemento no circuito? Sim? Não ? Como?*"

RESPOSTAS

TABELA 09

Respostas típicas	Ocorrência
1. Sim. Alterando o valor da resistência.	19
2. Sim, ligando-se o amperímetro em paralelo	12
3. Não sei.	7

cont. da tabela 09

Respostas típicas	Ocorrência
4. Não. Só introduzindo mais elementos no circuito.	3
5. Sim. Aumentando a resistência ou diminuindo o potencial.	2
6. Sim. Pela diferença de potencial.	2
7. Não. Porque a corrente vai depender da resistência da pilha e do potencial que ela suporta.	1
8. Não. Se está em série, a corrente é sempre constante	1
9. Sim. Diminuindo a resistência ou aumentando a d.d.p.	1
10. Sim. Eu posso aumentar a corrente, que aumenta a resistência	1
11. Sim. Esquentando a resistência.	1
12. Sim. Colocando outro amperímetro.	1
13. Sim. Diminuindo a resistência da pilha.	1
14. Não responderam.	33

PERGUNTA Nº 10

"Como você mediria um ângulo, em graus, dispondo apenas de um barbante, um lápis e uma régua?"

RESPOSTAS

T A B E L A 10

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não sei.	16
2. Responderam errado.	12
3. Respostas que demonstravam que o aluno tinha alguma idéia de como fazer.	8
4. Responderam certo.	7
5. Deram explicação sem sentido.	2
6. Não responderam.	41

Foram consideradas "certas" ou "erradas" as respostas que possibilitariam, ou não, o aluno medir um ângulo. Não existe um método certo de medir um ângulo.

A maioria dos que responderam errado incluiram seno, cosseno, tangente em suas respostas, o que, mesmo que estivessem certas (e não era o caso), obrigaria consultas a tabelas, ou o uso de cálculo superior etc.

PERGUNTA Nº 11

"Você conhece a equação dos focos conjugados

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad ?"$$

T A B E L A 11

Respostas	Ocorrência
1. Sim.	64
2. Não.	16

cont. da tabela 11

Respostas	Ocorrência
3. Tem alguma idéia.	2
4. Não responderam.	4

PERGUNTA Nº 12

"Você já aplicou essa equação à resolução de algum problema ou exercício de Física"?

TABELA 12

Respostas	Ocorrência
1. Sim.	64
2. Não.	16
3. Não responderam.	6

PERGUNTA Nº 13

"Você sabe o que representam os símbolos envolvidos nessa equação?

TABELA 13

Respostas típicas	Ocorrência
1. Certo.	51
2. Não.	18
3. Confundiram os símbolos.	14
4. Não responderam.	3

PERGUNTA Nº 14

"Você sabe deduzir essa equação"?

TABELA 14

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não.	79
2. Tem alguma idéia.	2
3. Sim.	1
4. Não responderam.	4

PERGUNTA Nº 15

"Você sabe que relações existe entre essa equação e a focalização de uma máquina fotográfica? Explique."

TABELA 15

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não.	41
2. Não há nenhuma relação. A imagem é sempre tirada ao inverso.	3
3. A relação seria de um melhor foco.	3
4. Sim.	2
5. Diminuindo p, aumenta p'.	1
6. O foco de uma máquina se baseia em reflexão de lentes, talvez por isso focalizamos uma pessoa de ponta-cabeça como sendo o inverso do foco.	1

cont. da Tabela 15

Respostas típicas	Ocorrência
7. É que a máquina fotográfica se comporta como se fosse um espelho.	1
8. Sei na prática, mas não teoricamente.	1
9. Sei que é usada para determinar a distância da lente ao filme, mas não sei determinar.	1
10. Não responderam.	32

PERGUNTA Nº 16

"Você conhece algum fato (não problema de livro) em que essa equação se aplica"?

TABELA 16

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não.	28
2. Imagem de objetos num espelho.	9
3. Óculos, problemas de vista.	6
4. Microscópio, telescópio, binóculo, máquina fotográfica, projetor de filmes, farol de milha.	11
5. Na fabricação de lentes.	3
6. Em lente, quando se quer determinar o tamanho do objeto visto por ela.	2
7. Não responderam.	27

PERGUNTA Nº 17

"Dispondo de uma lente, você saberia reconhecer e mostrar os elementos dessa equação?"

TABELA 17

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não.	31
2. Sim.	20
3. Não têm certeza.	5
4. Não responderam	30

PERGUNTA Nº 18

"De que coisas depende a distância focal de uma lente?"

TABELA 18

Respostas típicas	Ocorrência
1. Do raio de curvatura.	18
2. Do raio do espelho.	10
3. Do meio, do material, do índice de refração.	11
4. Não sei.	8
5. Do tipo de espelho.	5
6. Do tipo da lente.	5
7. Da concavidade.	4
8. De ser bicôncava ou biconvexa.	3
9. Da localização do objeto e sua imagem.	6

cont. da Tabela 18

Respostas típicas	Ocorrência
10. Do centro de curvatura da lente e do formato.	2
11. Do vértice.	1
12. De ser convergente ou divergente.	1
13. Da vergência.	1
14. Da quantidade de graus existentes.	1
15. Do ângulo de curvatura da lente.	1
16. Do tipo da lente e do objeto.	1
17. Não responderam.	21

Nesta tabela o número de respostas é maior que o de questionários, pois alguns alunos deram mais de uma resposta.

PERGUNTA Nº 19

Finalmente perguntou-se aos alunos se já haviam tido aulas de Física no laboratório, no curso médio. Aproximadamente três quartos dos alunos nunca viram um laboratório de Física.

T A B E L A 19

Respostas típicas	Ocorrência
1. Não tiveram aulas no laboratório.	59
2. Tiveram algumas (poucas) aulas.	13
3. Já tiveram aulas no laboratório.	10
4. Não responderam.	4

PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA

(PBEF)

FOLHA PARA REGISTRO DE DESEMPENHO

E	LEU	COMENTOU	FEZ "ATIVIDADE"	CRITICOU	CONTRI-BUIU	COOPEROU	O B S E R V A Ç Õ E

RODOLPHO
CANIATO

CEDOC
Ciências
FE - UNICAMP

UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FISICA

ANEXO I: UNIDADE I
"O CÉU"

TESE apresentada junto à Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro para obtenção do Grau de DOUTOR EM CIÊNCIA.

REVISÃO E CONTRIBUIÇÕES

Sônia Krapas Teixeira

e

Antonio Amaral

ILUSTRAÇÕES

Orlando Lucano

e

Salete B. F. Braga

MECANOGRAFIA E COMPOSIÇÃO

Gislene de Campos

ENSAIOS REALIZADOS COM MATERIAL DO PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA.

PROFESSOR	- ESTABELECIMENTO DE ENSINO
RODOLPHO CANIATO	- Centro de Treinamento para professores de Ciências do Nordeste - (FECIMP) - Recife, 1970.
	- Centro de Treinamento para professores de Ciências de São Paulo (FECIMP) - São Paulo 1971/72.
	- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro - Rio Claro 1971/72/73.
	- Universidade de São Paulo - S.P. 1971.
	- Universidade Estadual de Campinas - Campinas - 1972/73.
	- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de São José do Rio Preto - São José do Rio Preto 1973.
EIKITE TENGNON (DR.) e LUIZ CARLOS BARBOSA	- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de São José do Rio Preto - São José do Rio Preto, 1973.
SÉRGIO MANIAKAS	- Colégio Estadual Bergamino Faria - São Paulo - 1971

FERNANDO DAGNONI PRADO	- Colégio de Aplicação da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro - Rio Claro - 1971.
JOSÉ CUNHA BUENO FILHO E SEBASTIÃO ELIAS KURI E OSVALDO JOSÉ PEREIRA	- Escola Normal Rural Estadual Prof.José de Mello Morais - Piracicaba - 1971.
CICÉRO RICIARDI	- Instituto Educacional Imaculada - Campinas - 1973.
ENIVALDO BONELLI	- Colégio Divino Salvador - Jundiaí-1973
JAIR PRESENTE	- Colégio Batista de Campinas - Campinas 1973.
JOSÉ CARLOS FERRAZ DE CAMPOS	- I.E.E."Carlos Gomes" - Campinas, 1973
MARIA CLOTILDE CORREA	- Colégio São vicente de Paulo - Jundiaí 1973.
SONIA KRAPAS TEIXEIRA	- C.E.E.N."Prof. Hildebrando Siqueira" Campinas- 1973
	- Ginásio Progresso Campineiro - Campinas - 1973.
ADILSON ROBERTO HUNGARO	- Colégio Divino Salvador - Jundiaí - 1973
WANDERLEY ANTONIO TRUZZI	- Colégio Estadual "Saturnino Antonio Rosa" - Cajobi, 1973
ANTONIO WAGNER GOMES	- Colégio Estadual Profa.Ana Pinto Duarte Paes - Jundiaí, 1973

ELIANA MARIA CIOCHETTI	- Colégio Estadual "Dr. Elias Massud" Monte Mór - 1973
LUIZ ROBERTO SANNAZZARO	- Colégio Estadual "Dom José de Camargo Barros - Indaiatuba - 1973
RICCIOTI COVESI FILHO	- Colégio Sagrado Coração de Jesus - Campinas - 1973
ROSEMARY MELAZI	- Colégio Estadual "Prof. Jamil Khauan" São José do Rio Preto - 1973
LUIZ ANTONIO BERTOLO	- I.E.E. Carlos Gomes - Campinas -1973
JOSÉ RUBENS MAIORINO	- Ginásio Estadual Dr. Paulo Almeida Nogueira - Cosmópolis - 1973.
ANTONIO GERALDO BALTHAZAR	- Colégio Estadual de Nova Odessa - Nova Odessa - 1973
OLAVO DIVINO VIEIRA	- Colégio Estadual Prof. Benedito Sampaio - Campinas - 1973.

I N D I C E

UNIDADE I : "O CÉU"

AO PROFESSOR

PRÓLOGO: POR QUE O ESTUDO DO CÉU? 1.1.1

CAPÍTULO 1 - OLHANDO PARA O CÉU

1.1 - A Abóbada Celeste 1.1.5
1.2 - Medindo direções 1.1.6
1.3 - Uma Geometria para o Céu 1.1.11
1.4 - Marcando lugares no Céu 1.1.16
1.5 - Um sistema especial para a Família Solar 1.1.28

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.1 - O que os gregos pensaram e o que fizeram 2.1.1
2.2 - A Troca da Terra pelo Sol: Copérnico 2.2.1
2.3 - Uma grande dupla: Brahe e Kepler 2.3.1
2.4 - A Revolução de Galileu 2.4.1
2.5 - Aí apareceu Newton 2.5.1

CAPÍTULO 3 - NOSSO LUGAR NO UNIVERSO

3.1 - O planeta em que viajamos: a Terra ... 3.1.1
3.2 - Nossa fonte de energia: o Sol 3.2.1
3.3 - A Lua, Filha ou Irmã da Terra? 3.3.1
3.4 - Os irmãos da Terra: os Planetas 3.4.1

CAPÍTULO 4 - PARA ALÉM DO SISTEMA SOLAR

4.1 - De que são feitas as estrelas 4.1.1

4.2 - Distâncias Astronômicas:
as Estrelas 4.2.1

4.3 - Panorama do Universo 4.3.1

EPÍLUGO 4.3.6

AO PROFESSOR

Todo trabalho desenvolvido neste projeto pressupõe uma intensa participação do aluno no processo ensino-aprendizagem. Ele resulta de uma perspectiva em que nem o **PROFESSOR** é um repetidor de coisas que estão no livro nem o aluno aprende simplesmente ouvindo ou anotando. Pensou-se em proporcionar meios para uma intensa interação **PROFESSOR-ALUNO** na qual o **ALUNO** participa intensamente da **AULA** e na qual o **PROFESSOR** assume um papel parecido ao de um regente de orquestra. Caberá ao **PROFESSOR** usar sua maior experiência para **CONDUZIR** e **BALANCEAR** a participação dos **EDUCANDOS**. Dessa maneira inclusive o cabedal de experiência adquirida pelo **PROFESSOR** também crescerá rapidamente e ele não correrá tanto o risco de **"ESCLEROSAR"** ou mesmo **"FOSSILIZAR"** seus conhecimentos e seus hábitos de ensino.

Os textos foram preparados com a preocupação de se oferecer uma linguagem ao alcance do **ALUNO** e que proporciona um grande cenário de idéias, situações e "deixas" para discussões que podem ser exploradas segundo os interesses do **ALUNO** e **DISPONIBILIDADE** do **PROFESSOR**.

As **ATIVIDADES** são parte obrigatória e foram pensadas e ensaiadas para serem possíveis em **QUAISQUER CONDIÇÕES BRASILEIRAS**. Elas não exigem **NUNCA** material caro ou de difícil obtenção **EM TERMOS BRASILEIROS**. Será importante que o **PROFESSOR** consiga previamente esse **MATERIAL**. Sugerimos que haja um pequeno grupo de **ALUNOS** sempre incumbido de conseguir o material.

As coisas que aqui estão sugeridas não foram simplesmente planejadas em gabinete mas estão sendo exaustivamente ensaiadas desde 1970 ininterruptamente.

Lembramos também que uma das preocupações sempre presente foi de criar uma estrutura EM PARALELO para todo o PROJETO . Isso equivale a dizer que não existe uma ordem obrigatória entre as UNIDADES e nem mesmo entre CAPÍTULOS e SEÇÕES. Cada seção, com raras exceções não é pré-requisito para a seguinte. Isso equivale a dizer que o professor poderá começar o curso por qualquer das partes.

Damos a seguir algumas normas ditadas pela experiência vivida e que facilitarão o trabalho do PROFESSOR.

P R O C E D I M E N T O

1. Explique aos alunos que com os métodos tradicionais eles têm assistido às aulas e que agora eles irão tomar parte no jogo do ensino-aprendizagem. Neste jogo eles vão adquirir não só informações; mas também treinarão argumentação e iniciativa de raciocínio, ingredientes necessários em qualquer ramo do conhecimento.

2. Uma primeira leitura do texto deverá ser feita em voz alta e sem nenhuma interrupção. Cada pequeno trecho deverá ser lido por um diferente aluno e que será escolhido ao acaso. Durante a leitura os alunos deverão fazer um pequeno sinal ao lado da linha onde estiver um assunto ou conceito que não entenderam ou que lhes interessa discutir. Quando se trata de "classes muito boas" ou já treinadas em trabalho em grupos a leitura em voz alta pode, com vantagem, ser substituída pela leitura individual.

3. Terminada a leitura, será iniciada a discussão dos pontos escolhidos pelos alunos e pelo PROFESSOR. Aqui a atuação do PROFESSOR será indispensável tanto para ordenar a discussão

como para evitar que uns fiquem com a palavra em prejuízo dos outros. Diante das perguntas, o PROFESSOR não deve simplesmente dar as respostas, mas sim conduzir a discussão para que as respostas sejam provocadas nos alunos.

4. Sempre que um aluno manifeste uma AÇÃO considerada desejável pelo PROFESSOR este deverá manifestar ao aluno, de alguma maneira, sua aprovação e sempre que possível registrar a contribuição na folha de registro de trabalho. Essa aprovação deve ser manifestada principalmente em relação a AÇÕES de LER, CRITICAR, FAZER (atividades), FALAR, CONTRIBUIR (acrescentar idéias que não estão no texto) e COOPERAR com o grupo ou classe. Se o PROFESSOR achar oportuno poderá acrescentar outros critérios de AVALIAÇÃO. Todas estas recomendações se aplicam também e principalmente ao trabalho nas ATIVIDADES.

5. Todos os textos (seções) incluem uma ATIVIDADE que deverá ser feita sem exceção e na mesma ordem em que ela aparece no texto. Para a realização dessas ATIVIDADES o PROFESSOR deverá dividir os alunos em grupos que não devem conter mais de seis elementos.
Durante a realização das ATIVIDADES, o PROFESSOR deve passar pelos grupos para verificar e eventualmente estimular o trabalho e as discussões sobre o que está sendo feito.
Quando o PROFESSOR perceber que há dificuldades que se manifestam em vários grupos, será oportuno que ele interrompa o trabalho por uns instantes para esclarecer e evitar que o rítmo do trabalho decaia. É importante que os alunos tenham presente que o PROFESSOR está OBSERVANDO o trabalho de todos e anotando positivamente o desempenho de cada aluno e de cada grupo.

6. Desaconselha-se inteiramente que o PROFESSOR use qualquer método coercitivo ou que represente ameaça, ainda que simplesmente a de um ZERO.

7. Alunos ou grupos deverão ser incumbidos pelo professor de obter e organizar o material para a **ATIVIDADE** seguinte.

8. Os níveis **"SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS"** e **"UM POUCO MAIS AINDA"** são destinados aos alunos que puderem e quiserem. Desaconselha-se que todos os alunos sejam submetidos a uma carga que pode ser "pesada" ou indesejável para muitos.

PRÓLOGO: POR QUE O ESTUDO DO CÉU?

Ao que sabemos, esta é a primeira vez que um curso de Física se inicia pelo estudo da Astronomia. Lembramos que a estrutura deste curso não é rígida a ponto de impor que se inicie pela UNIDADE I.

Se o professor, o aluno ou o leitor, acharem preferível começar por outras unidades, nenhum inconveniente sério resultará.

Acreditamos, no entanto, que muitas razões podiam justificar o início pelo estudo da Astronomia. Entre essas, as que passamos a considerar:

1. A mais antiga das ciências.

   Parece muito provável que a observação do céu tenha estado entre as primeiras atividades de caráter especulativo do homem, ainda em seu estágio nômade.
   Existem registros históricos relativos às atividades ou idéias astronômicas que remontam a cerca de 7.000 anos. Esses mais velhos registros estão ligados à antiguidade da China, da Babilônia e do Egito. (Talvez a legendária Torre de Babel tenha sido um grande observatório da antiguidade). Esse interesse desde tempos remotos se explica por várias razões , uma das quais é a necessidade de medir tempo. Qua

se todos os povos primitivos tiveram nas fases da Lua seu primeiro calendário. Ainda hoje os relógios são controlados pela passagem meridiana das estrelas. Essa importância pode ser também evidenciada pelos nomes dos dias da semana, em diferentes idiomas.

2. A Astronomia e o pensamento humano.

Nenhum outro ramo do conhecimento tem estado, desde a antiguidade, tão ligado ao desenvolvimento do pensamento humano quanto a Astronomia. Desde o apogeu da antiga Grécia a explicação do mecanismo do Universo fez o homem reunir todo seu engenho criativo ao seu conhecimento dos fenômenos. Nenhuma outra descoberta foi tão revolucionária como as de Galileu, com sua pequenina e recém-inventada luneta. As montanhas da Lua, as fases de Vênus, as manchas do Sol, os satélites de Júpiter foram conquistas tão retumbantes que a Inquisição logo se fez sentir.

Galileu teve que abjurar ou reconhecer que suas idéias eram "maléficas" e "contrárias às Escrituras". Realmente essas conquistas "ameaçaram" aos tiranos daquela época.

Em 1642, Galileu morria confinado.

Nesse mesmo ano nascia Newton, que descobriria a Lei da Gravitação Universal. As conseqüências científicas e o efeito dessa descoberta foram também surpreendentes. Até aí dominava, mesmo entre os homens cultos, a crença de que os astros se moviam por impulso divino. Agora era possível até descobrir astros que nunca tinham nem sido vistos. Tal foi o caso do planeta Netuno descoberto em 1846 através de cálculo.

A partir da revolução científica do século XVII

a Astronomia passou a ser uma espécie de fronteira do conhecimento e permanente desafio à inteligência do homem.

3. Astronomia, síntese da Física.

Desde a antiguidade, os astrônomos em geral têm sido os homens capazes de sintetizar quase todo o conhecimento existente em sua época. Esses conhecimentos envolvem além da matemática, a habilidade de fazer observações, a interpretação dessas e uma grande dose de imaginação ou criatividade. Nem sempre os grandes nomes poderiam ser chamados exatamente de astrônomos, mas é certo que a maioria dos grandes homens de todos os tempos esteve de alguma forma envolvido ou em contato com as idéias que são objeto da Astronomia. Assim poderíamos lembrar entre os grandes vultos do pensamento científico que tiveram laços ou ligação com a "ciência do Universo": Tales de Mileto, Platão, Aristóteles, Aristarco, Hiparco, Eratóstenes, Ptolomeu, Copérnico, Képler, Galileu, Newton, Hailey, Laplace, Einstein, Gamow e Russell.

Além disso todos os grandes cosmólogos de hoje são, antes de tudo, os físicos do Grande Universo.

4. Conteúdo altamente motivador

É inegável que a Astronomia, pelos seus objetivos e indagações, exerce sobre o homem um fascínio dificilmente igualável por outra ciência. Não é por outra razão que tantas gerações têm devorado edições sucessivas de obras como as de Júlio Verne. Modernamente essa motivação ganhou nova dimensão desde que o primeiro homem (Gagarin) transpôs os umbrais da Terra. Era o início da caminhada, não só das idéias, mas

do próprio homem, pelo espaço. Feitos como esse ou o pouso da Apollo-11 na Lua, deram novo aspecto ao estudo do céu. Misturam-se aí a ciência, a técnica e a aventura.

5. Um pouco mais de compreensão.

A cada novo conhecimento adquirido, mais o homem percebe sua insignificância na imensidão em que vive sobre esse minúsculo planeta, a Terra. Esse entendimento poderá trazer mais do que a simples satisfação intelectual. Talvez os homens aprendam quanto são iguais em sua pequenez, quanto podem ser grandes pelo saber e quanto deveriam ser solidários entre si.

Estes são apenas alguns dos aspectos em que a Astronomia pode contribuir para o conhecimento ou para uma satisfação estética. Talvez até ela possa contribuir para que não se destrua a vida humana que a tanto custo se estabeleceu sobre a face da Terra.

+++ +++ +++

UNIDADE I - "O CÉU"

CAPÍTULO 1 - OLHANDO PARA O CÉU

1.1 - A ABÓBADA CELESTE

Você já olhou para o céu em uma noite estrelada e sem lua? Se não o fez deverá fazê-lo. Isso lhe valerá mais que todas as definições que aqui possam ser dadas a esse respeito.

Você terá a nítida impressão de estar no centro de uma imensa esfera escura e crivada de estrelas em sua face interna. Não é à toa que os antigos povos pensavam estar realmente no centro dessa esfera. Essa idéia até hoje permanece na mente da grande maioria das pessoas. Para os antigos, para além dessa bola estavam as coisas divinas.

Há alguns séculos, o homem percebeu que isso era apenas produto de sua imaginação. O homem medianamente instruído de nossos dias sabe que não existe uma esfera celeste, nesse sentido.

Hoje sabemos que a imensidão do espaço é povoada por uma infindável multidão de corpos celestes (estrelas, seus planetas e talvez satélites, nebulosas e outras galáxias). Esses objetos celestes podem estar tão distantes que a luz deles, que chega neste instante até nós, está viajando desde tempos em que o homem não tinha a forma atual. E lembre-se, a luz tem uma velocidade (no vácuo) de 300.000 km/segundo. Isso quer dizer que em cada segundo a luz caminha 300.000 km. Esse valor equivale, a mais de 7 voltas à Terra em apenas um segundo.

Essas grandes distâncias a que estão as estrelas, fazem com que elas, mesmo se movendo, pareçam fixas. Daí, o nome de esfera celeste ou esfera das "estrelas fixas". Você pode verificar o que estamos dizendo. Procure olhar para o céu e localizar algumas constelações. Em algumas vezes, você poderá reconhecer muitas das constelações. Durante o verão você poderá reconhecer facilmente a grande constelação de Órion, que está sobre o Equador

celeste. Durante o inverno, você poderá localizar a grande constelação de Escorpião.

A primeira tem a forma de um grande quadrilátero com as Três Marias quase em direção de uma diagonal. O Escorpião lembra um grande ponto de interrogação. Para localizar as constelações, use o planisfério ou mapa do céu.

Depois de algumas observações, você verá que as estrelas e as constelações mantêm exatamente as mesmas posições relativas.

Isto quer dizer que as estrelas e as constelações nascem e se põem, porém sem alterar as configurações formadas. Tudo se passa como se elas estivessem incrustadas na face interna de uma grande esfera. Essa esfera gira com o passar das horas, como você pode facilmente notar. No intervalo de um dia, ela terá dado uma volta completa (1 dia sideral).

1.2 - MEDINDO DIREÇÕES

Embora a esfera celeste seja uma entidade puramente geométrica e abstrata, seu estudo é muito interessante e útil.

Todo o estudo que envolve a esfera celeste com suas aplicações pode ser resumido sob o nome de Astronomia de posição, ou Astrometria. Nesse caso, a esfera celeste faz o papel de paisagem de fundo. Entre outras, aqui estão algumas das aplicações do estudo da esfera celeste:

1. determinação de todos os movimentos da Terra.
2. determinação das coordenadas de cada lugar e portanto o levantamento dos mapas terrestres.
3. medida do tempo: em quase todos os países existem observatórios que fazem o serviço da hora. Consiste basicamente em aferir o andamento dos relógios pela passagem de determinadas estrelas em frente a um telescópio especial. Esse equipamento é geralmente conhecido com o nome de Luneta meridiana. Esta se move sem

sair do Meridiano Astronômico do Lugar.

4. determinação da posição ou orientação dos navegantes. Quando o homem se tornou capaz de fazer observações astronômicas mais precisas, pôde também orientar-se em alto mar. Daí a possibilidade das grandes navegações dos portugueses e espanhóis no século XV.
5. determinação das posições dos planetas e a partir dessas, suas órbitas.
6. determinação das distâncias das estrelas mais próximas. Estas sofrem pequeníssimos deslocamentos anuais aparentes (paralaxe), em relação às mais distantes.

Essas são apenas algumas das principais aplicações do estudo da esfera celeste.

Não é realmente interessante que você possa, sem sair do lugar, por exemplo, saber em que ponto da Terra você se encontra? Ou determinar a hora local ou universal (só para a Terra) olhando para o mostrador do grande relógio celeste que gira a sua frente, nas noites estreladas?

ATIVIDADE : O GNOMON

Esse é o nome de um dispositivo já usado na antiga Grécia e que os romanos adotaram. Com eles os povos antigos marcavam as horas do dia, desde que houvesse sol.

Consiste basicamente em uma haste vertical espetada em uma superfície horizontal e lisa. Você poderá improvisar um, espetando qualquer haste em um chão bem horizontal e liso. A haste deverá ser bem reta e fincada bem "em pé". Com um fio de prumo (barbante e pedrinha) isso será fácil. Utiliza-se o GNOMON para marcar as horas do dia. Nesta atividade você vai usá-lo primeiro para outra coisa: determinar os pontos cardeais do lugar e também o Meridiano Astronômico do Lugar (M.A.L.).

Você deverá montar o seu aparelho em lugar de céu aberto, isto é, num lugar em que o sol projete a sombra da vari - nha pela manhã e à tarde.

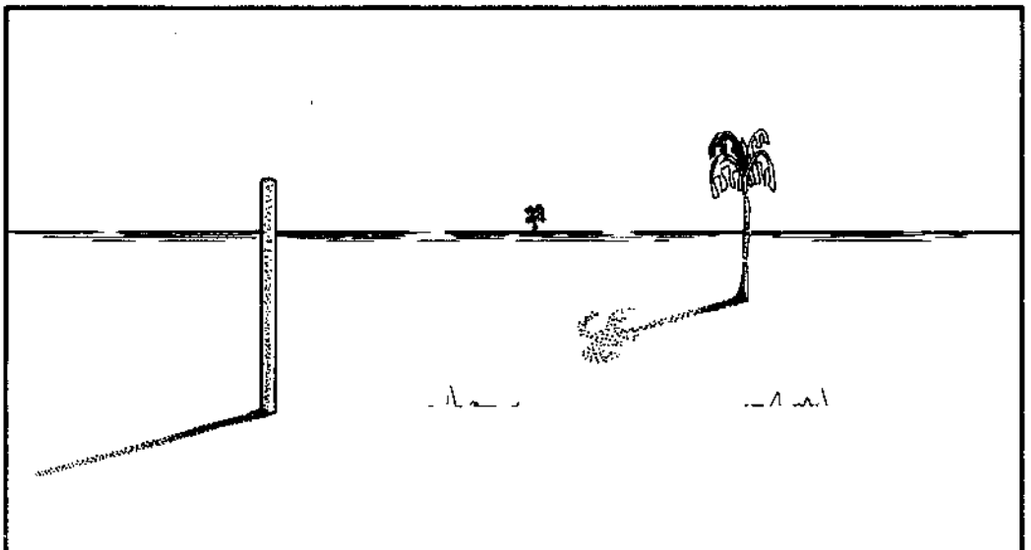


fig. 1.1

De manhã, logo depois da saída do Sol, as sombras da haste serão muito compridas. Com o passar das horas a sombra vai encurtando. Ao meio dia solar ela será mínima. Depois disso ela irá novamente aumentando até ao cair da tarde. Marque alguns pontos extremos da sombra da varinha durante a manhã.

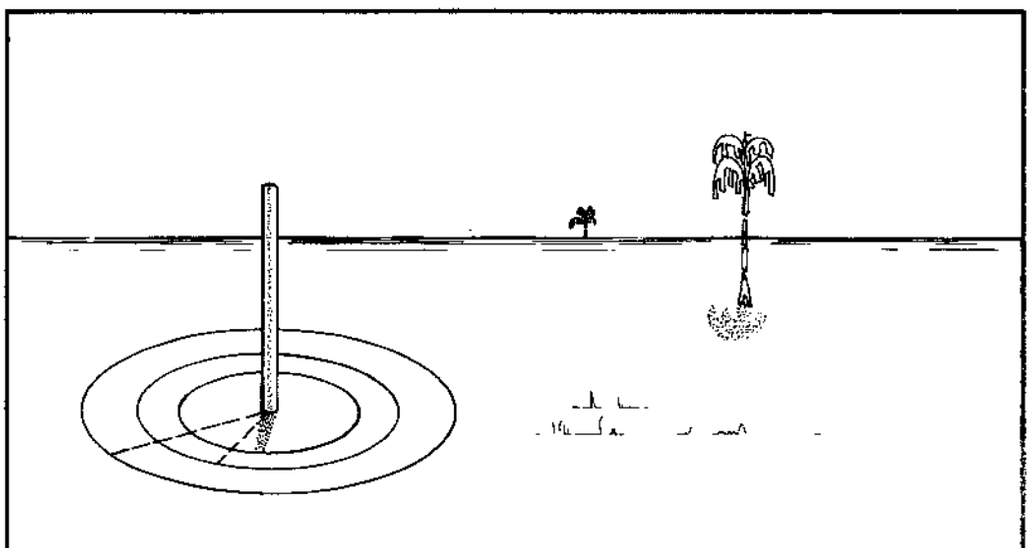


fig. 1.2

Em cada caso assinale o ponto e em seguida trace sobre o chão uma circunferência centrada no pé da haste e com raio igual ao comprimento da sombra. Isso você poderá fazer com o uso de um barbante amarrado ao pé da haste. Procure fazer pelo menos duas ou tres observações dessas pela manhã. Durante a tarde a sombra irá atingir cada uma das circunferências novamente. Assinale os pontos em que a sombra volta a tocar cada circunferência. Você deverá fazer à tarde tantas observações quantas fez pela manhã.

Agora você dispõe de pares de raios de diferentes circunferências. Cada par de raios compreende um certo ângulo. Esses ângulos são diferentes para os diferentes pares.

Determine o raio bissetor ou simplesmente bissetriz do ângulo de cada par.

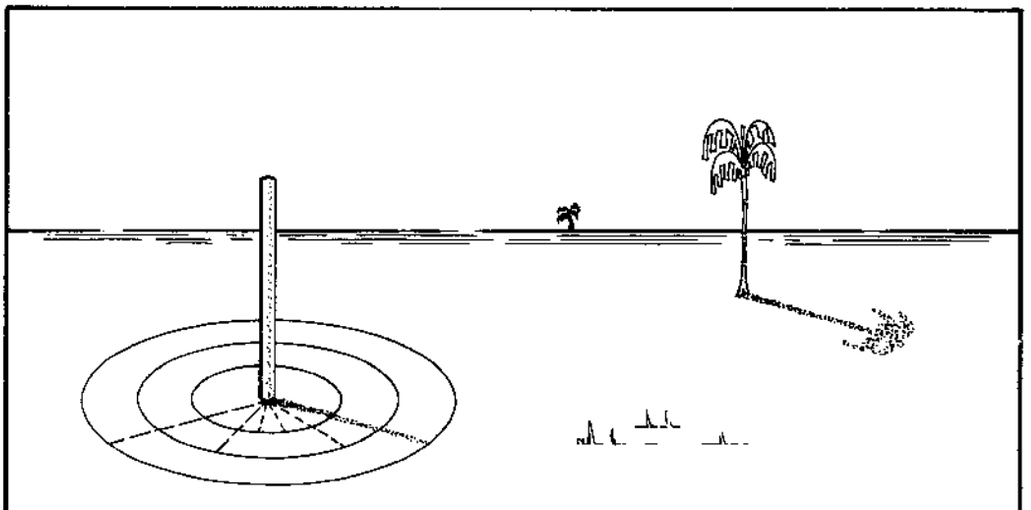


fig. 1.3

Você percebeu que todos esses ângulos têm a mesma bissetriz?

Essa bissetriz comum chama-se **LINHA MERIDIANA.** Ela indica a direção Norte-Sul. A direção perpendicular a essa é fácil de determinar: adireçãoLESTE-OESTE.

Se você quiser deixar marcada a LINHA MERIDIANA, crave sobre essa linha, no chão, uns pregos ou piquetes de madeira ou outra coisa qualquer que seja permanente.

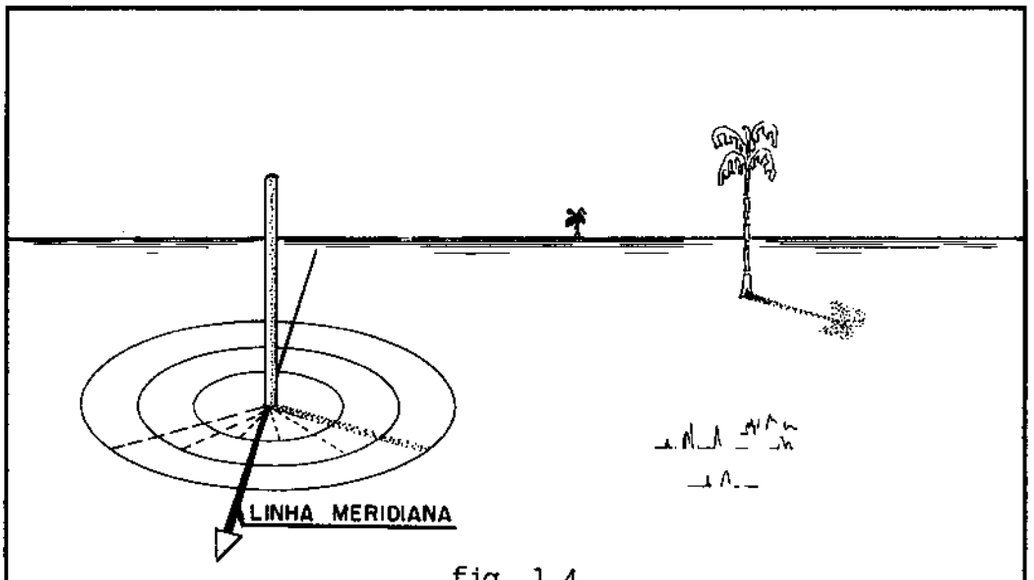


fig. 1.4

Não teria sido mais simples assinalar essas direções com a bússola? - Mais fácil, sim, mas o Norte-Sul Astronômico raras vezes coincide com o Norte-Sul Magnético.

Essa diferença entre a direção do NORTE verdadeiro (Astronômico) e o NORTE magnético é chamada **DECLINAÇÃO MAGNÉTICA DO LUGAR.** Essa direção Norte-Sul Magnético é imprecisa e está sujeita a grandes desvios. - Você perceberá que, colocando um pequeno ímã perto da bússola, esta altera sua direção.

Agora vamos estudar o que seja Meridiano Astronômico do Lugar (M.A.L.).

M.A.L. é o plano vertical que passa pela linha Meridiana. Se você quiser assinalar também o M.A.L., use dois fios de prumo que fiquem sobre dois pontos da Linha Meridiana.

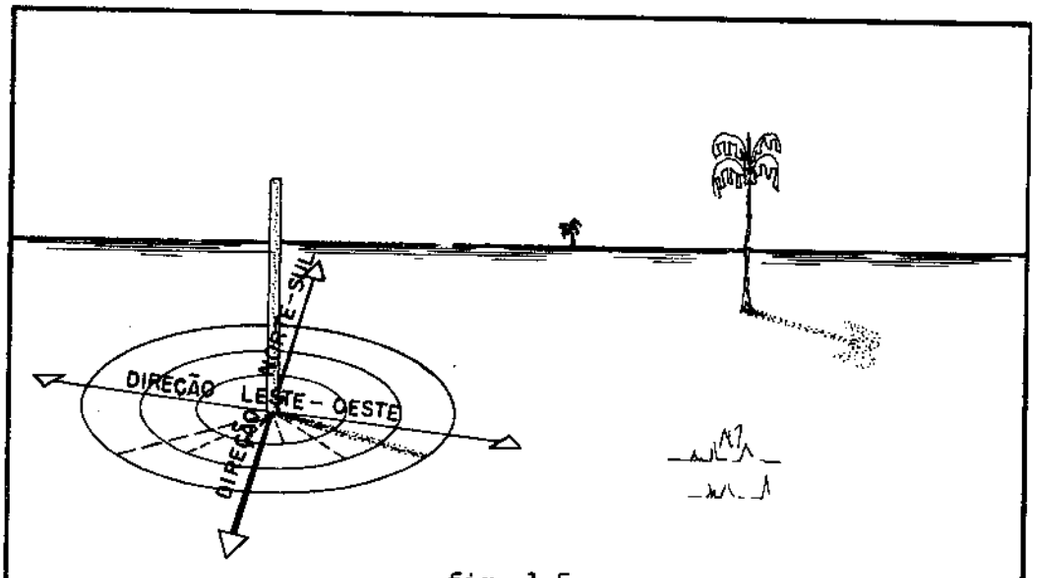


fig. 1.5

Esse plano que você acaba de determinar é funda - mental para medidas em Astronomia.

Nos observatórios existe um telescópio ou luneta instalada na direção que você acaba de determinar. Esse aparelho se move sem sair daquele plano vertical. Isto significa que estão fixos no M.A.L. O M.A.L. funciona, no caso das horas, como um grande ponteiro fixo (para nós na Terra) diante do qual gira o grande mostrador esférico, o céu.

1.3 - UMA GEOMETRIA PARA O CÉU

Na seção anterior, citamos uma série de aplicações que resulta do estudo da esfera celeste. Para realizar esse estudo é preciso, no entanto, considerar uma série de elementos geométricos que serão as referências sobre a esfera celeste.

Para que você não tenha que decorar, daremos aqui apenas os principais e mais imediatos. Se você estiver interessado, daremos mais adiante alguns outros.

Como já dissemos, e esperamos que você tenha observado, a esfera celeste gira de leste para oeste, mantendo as posições relativas das estrelas; como se você estivesse no centro de uma bola que gira e que tem as estrelas incrustados em sua superfície interna.

Você logo perceberá que as estrelas (pontos fixos na esfera celeste) descrevem arcos de circunferências de raios diferentes. É fácil perceber que há um ponto que não se move. Esse ponto é um dos polos celestes (Polo Celeste Sul, para quem está no hemisfério Sul da Terra). No polo Sul celeste não há nenhuma estrela visível a olho desarmado. Bem próximo ao polo Norte celeste encontra-se uma estrela muito brilhante, que se chama **POLARIS** (estrela do polo). Do hemisfério Sul não se pode ver essa estrela.

Em resumo: enquanto a esfera celeste gira no seu movimento diurno aparente, dois pontos permanecem fixos; os polos celestes Sul e Norte. Esses pontos são diametralmente opostos.

A reta imaginária que une esses dois pontos chama-se eixo do mundo. Talvez você já saiba que o movimento aparente da esfera celeste resulta do movimento real da Terra, em sentido contrário. Por essa razão, o eixo do mundo não é nada mais que o prolongamento do eixo da Terra. Os polos celestes são as projeções dos polos terrestres sobre a esfera do céu. O mesmo ocorre com o equador celeste e os paralelos celestes. Estes nada mais são do que as projeções do equador e dos paralelos terrestres sobre a esfera celeste.

Você vai em seguida preparar um modelo de "esfera celeste" que facilitará seu trabalho e entendimento.

Tome um balão de vidro de fundo esférico (geralmente usado em química). A primeira coisa a fazer será marcar um dos polos celestes.

Procure centrar o Polo através do pescoço ou gargalo do balão. Para marcar esse ponto você poderá usar um lápis

especial ou "baton". Depois de marcar o polo, marque o "equador". Para isso, você pode passar uma fita de papel (serpentina) ou barbante ao redor do maior diâmetro do balão. Dobre esse comprimento em quatro partes e marque agora essa distância a partir do polo.

Depois de marcar pontos, você poderá uni-los: isto é o "equador celeste".

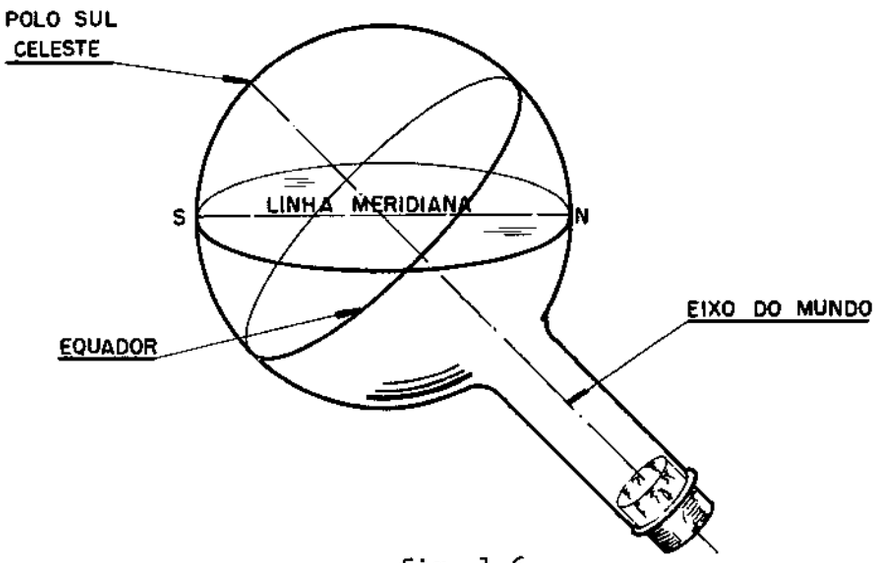


fig. 1.6

Agora você vai marcar a ECLÍTICA. A ECLÍTICA é também um círculo máximo (como o equador) porém inclinado de $23^{o}1/2$ em relação àquele.

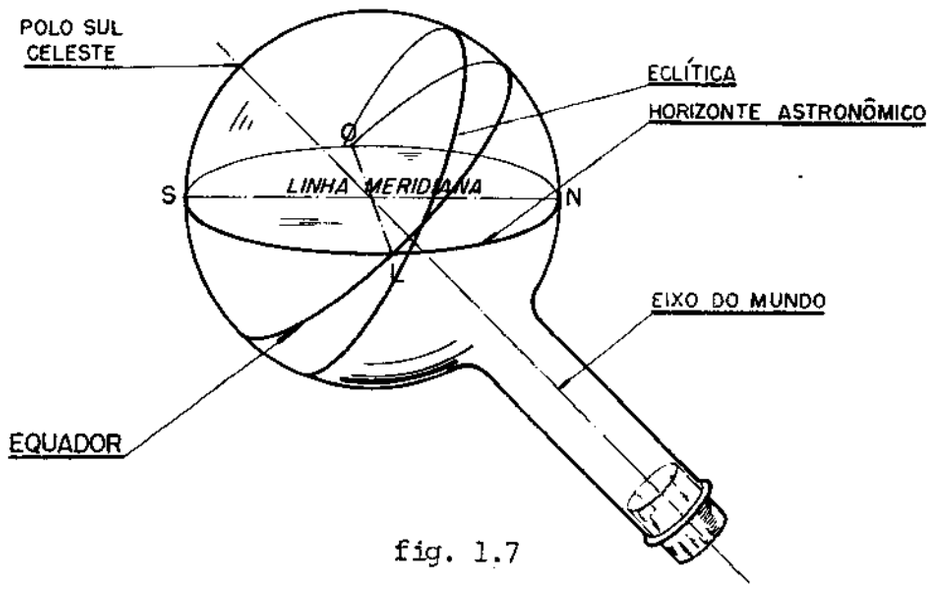


fig. 1.7

Para isso, basta lembrar-se de que em uma circunferência, os arcos são proporcionais aos ângulos.

Talvez você já saiba que a ECLÍTICA é o caminho aparente do Sol pela esfera celeste, no decorrer do ano.

Os pontos em que a Eclítica e o Equador se encontram chamam-se **pontos equinociais ou equinócios**. Aquele em que o Sol passa do hemisfério Sul para o hemisfério Norte chama-se **equinócio de primavera** ou "ponto γ" (gama). O outro que é diametralmente oposto ao primeiro chama-se **equinócio de outono** ou"ponto Ω " (omega). O primeiro deles é o ponto de partida para contagem de ângulos quando se quer determinar as posições de planetas ou estrelas no céu. Os pontos da Eclítica que estão mais afastados do Equador chamam-se **SOLSTÍCIOS** de verão e de inverno. São os pontos em que o Sol está mais para o Sul e mais para o Norte, respectivamente.

Depois de marcadas essas principais referências, você poderá colocar água no seu balão até que esta atinja o "equador", quando o balão estiver colocado verticalmente e com o pescoço para baixo.

O nível da água representará o plano do horizonte astronômico enquanto você fizer girar a "esfera celeste".

Você deverá imaginar-se no centro da superfície da água, como se estivesse no Oceano e visse o céu limitado pelo horizonte ao seu redor.

ATIVIDADE: O MOVIMENTO DIURNO APARENTE DAS ESTRELAS

Agora você já tem montada sua "esfera celeste". Com ela você poderá simular os movimentos do céu.

Para maior facilidade procure um meio ou dispositivo com o qual você possa girar o balão, mantendo fixa a direção do eixo. Pode ser algum tipo de suporte usado nos laboratórios de química.

Você já olhou para o céu em noite estrelada (se não, olhe na primeira oportunidade) e viu um grande número de estrelas, espalhadas por todo o céu.

Marque sobre sua "esfera celeste" uma série de "estrelas". Distribua essas estrelas (pontos com o lápis ou baton) por toda a superfície do balão. Não importa se os pontos correspondem a estrelas reais. O céu tem tantas estrelas que em qualquer ponto em que você faça uma mancha, haverá uma estrela.

Agora faça girar o balão ao redor do "eixo do mundo", isto é, ao redor do eixo do balão (direção do gargalo). Tenha o cuidado de manter fixa a direção desse eixo. A inclinação deste em relação ao horizonte deverá ser igual à latitude geográfica do lugar em que você está. Se você não souber, consulte qualquer mapa. Você está, assim, simulando o movimento diurno aparente do céu no lugar onde você está.

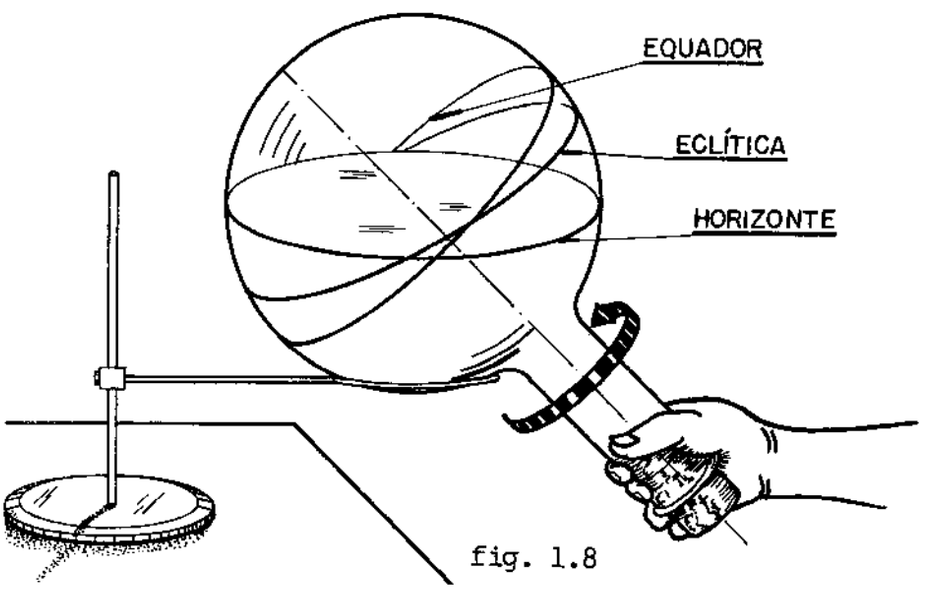


fig. 1.8

Observe atentamente o movimento de rotação de sua "esfera celeste" e procure responder às perguntas:

1. Enquanto o "céu" gira,as estrelas mantém suas posições relativas?

2. Será que as estrelas levam todas o mesmo tempo desde o nascer (aparecer no horizonte) até o ocaso (desaparecer no horizonte) ?
3. Compare os arcos diários descritos por duas estrelas. São eles iguais?
4. Todas estrelas podem ser visíveis do lugar em que você está? (não considerada a luz do Sol).
5. Existem estrelas que estão sempre visíveis, isto é, sempre acima do horizonte enquanto o céu gira?
6. Em que lugar deverá estar um observador para poder ver todas as estrelas, enquanto o céu gira?
7. Haverá um lugar em que o observador não verá nem nascimento nem ocaso das estrelas? - Qual o lugar?
8. Que região do céu esse observador terá sempre visível?
   (um hemisfério, ou mais, ou menos que um hemisfério?).
9. Haverá para esse observador, estrelas nunca visíveis? - De que região do céu?

1.4 - MARCANDO LUGARES NO CÉU

Você já reparou como são localizados os pontos sobre a superfície da Terra? - Qualquer lugar sobre a superfície do globo fica determinado por um par de números: as coordenadas do lugar. Sempre que se queira localizar qualquer ponto sobre qualquer esfera usa-se um par de coordenadas.

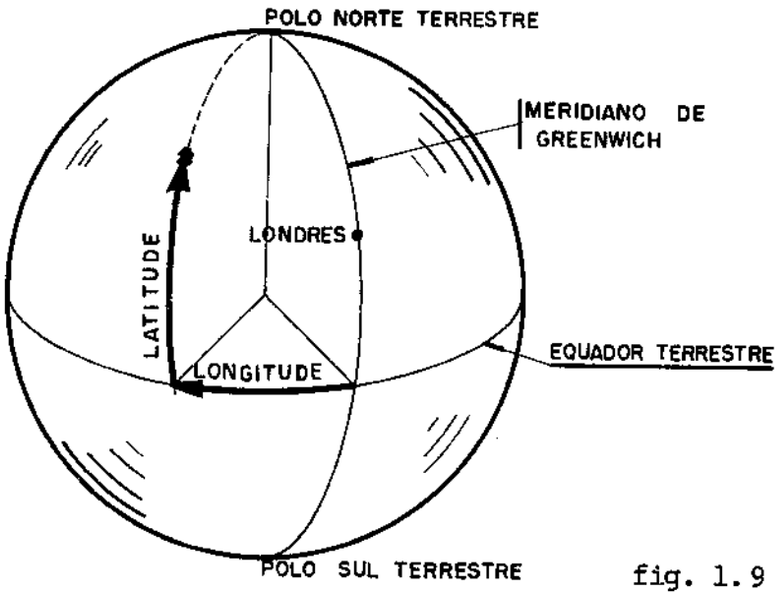


fig. 1.9

Essas coordenadas podem ser dadas em distâncias ou em ângulos. Mais comumente se empregam ângulos. No caso de pontos sobre a Terra, por exemplo, essas coordenadas chamam-se latitude e longitude terrestres. Cada uma dessas coordenadas é contada a partir de um plano chamado plano fundamental. Geralmente esses planos são perpendiculares entre si. Ainda no caso da Terra, os planos fundamentais são o Equador terrestre e o Meridiano que passa pelo observatório de Greenwich, perto de Londres.

No caso de pontos celestes, o processo é semelhante. Apenas os planos fundamentais são outros. As coordenadas também têm nomes especiais. No caso da Astronomia, não se usa sempre um só sistema. Em diferentes aplicações são empregados sistemas diferentes. Cada um deles (são quatro) é mais cômodo em cada caso.

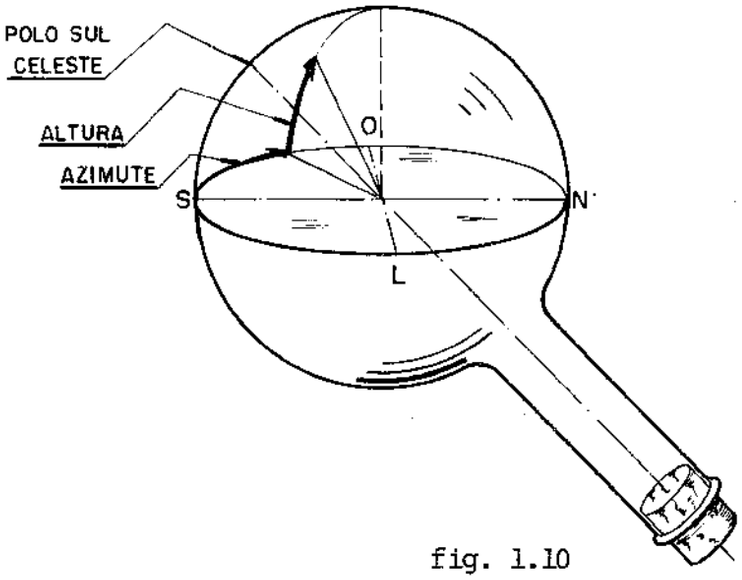


fig. 1.10

O primeiro dos sistemas chama-se horizontal ou local. Seus planos fundamentais são o do horizonte e o M.A.L. (Meridiano Astronômico do Lugar). Suas coordenadas são: AZIMUTE e ALTURA. O azimute é contado a partir do ponto Sul sobre Horizonte. Azimute é portanto um ângulo no plano do horizonte. Altura é o ângulo contado verticalmente, do horizonte até o ponto (figura 1.11). Todos os pontos que estão sobre o plano do horizonte têm altura 0° (zero). Todos os astros ao nascer e no seu ocaso têm altura 0° (zero). O Zenite que é o ponto exatamente sobre nossas cabeças tem altura 90°.

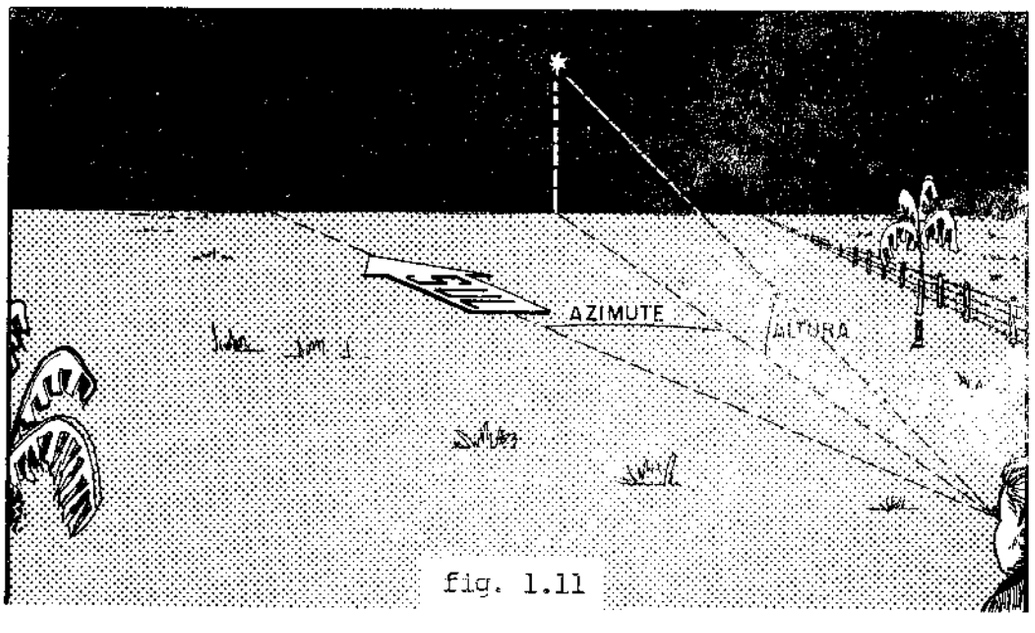


fig. 1.11

Você já dispõe de um meio de localizar um ponto no céu. Isso valerá para o lugar e o tempo em que você está.

Você poderia, por exemplo, descrever os pontos percorridos pelo sol durante o dia.

ATIVIDADE : POSIÇÕES DO SOL DURANTE UM DIA

Medir a altura e o azimute do Sol no decorrer de um dia.

Você poderá ler os ângulos correspondentes às alturas, diretamente, isto é, com um transferidor.

Outra maneira seria de espetar uma haste num chão bem horizontal. A haste deve estar bem no "prumo", isto é, bem vertical.

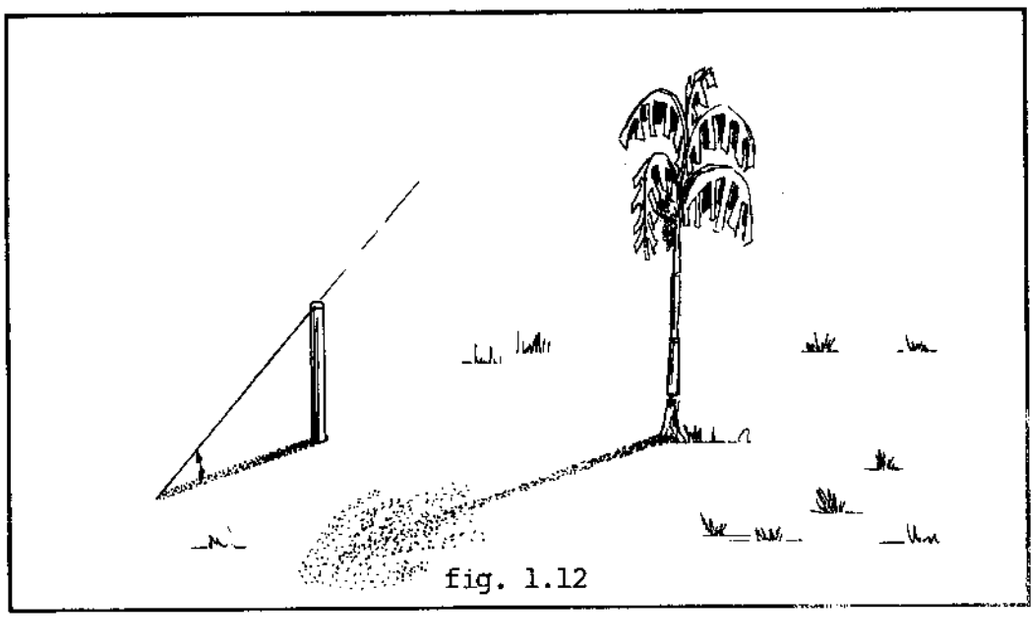


fig. 1.12

Em cada hora, por exemplo, você poderá medir o comprimento da sombra. O comprimento da haste dividido pelo compri

mento da sombra dá a tangente (tg) do ângulo h, a altura. Consulte agora uma tabela de funções trigonométricas ou régua de cálculo. Procure na coluna das tangentes os valores encontrados para cada divisão haste / sombra. Na coluna dos ângulos você estará lendo os valores diretos das alturas.

Você poderá fazer de maneira diferente. Poderá dividir a altura da haste pela distância entre a extremidade da haste e a extremidade da sombra. Esse resultado dá o seno (sen) do ângulo h. Nesse caso você terá o ângulo caracterizado pelo seno em lugar da tangente.

Outra sugestão ainda seria de transportar para um papel os valores da haste e de sua sombra em cada medida. Você poderia então ler os ângulos diretamente sobre o papel, usando o transferidor. Se você quiser poderá utilizar os dois métodos e compará-los. Você percebeu que pode caracterizar e mesmo medir ângulos (até em graus) sem usar tabela ou transferidor?

Ao realizar esta atividade , você estará não só aprendendo um pouco de ASTRONOMIA, estará também entendendo profundamente conceitos importantes sobre ângulos, suas medidas e relações trigonométricas.

Você poderia fazer uma tabela das alturas, e dos azimutes do Sol para cada hora do dia. Se você começar logo que o Sol apareça no horizonte até o seu ocaso, sua tabela será mais completa e interessante. Os dados poderão ser tomados de hora em hora, por exemplo.

Vejamos como você irá medir os azimutes. Numa das atividades anteriores você aprendeu a determinar a LINHA MERIDIANA.

Lembre-se que ela indica a direção Norte-Sul. Os azimutes são contados a partir do ponto Sul. Seria a mesma coisa dizer que o azimute do ponto Sul é 0° (zero graus). Você poderá contar a partir do ponto Sul para OESTE ou para LESTE. Será então preciso indicar em cada caso se o azimute é LESTE ou OESTE.

Ao começar a Atividade, você perceberá que o azimute do Sol, é também o ângulo formado pela linha Meridiana com a sombra da haste vertical. Então será fácil medir também os azimutes; ou diretamente, ou transportando medidas para uma folha de papel.

Ao tomar os dados coloque-os em duas tabelas como as que estão abaixo.

HORA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
AZIMUTE												
ALTURA												

A partir dessas tabelas você poderá construir gráficos. Os gráficos são também uma linguagem muito usada em Física. Eles proporcionam uma visão mais ampla e clara do fenômeno.

Tendo agora os dois gráficos, procure responder às seguintes perguntas:

1. A altura do Sol cresce durante todo o dia?
2. A que horas a altura deixou de crescer e começou a decrescer?
3. Qual foi a altura máxima atingida pelo Sol durante esse dia?
4. Quanto foi o azimute no instante em que a altura foi máxima?
5. Houve algum momento em que a altura ficou igual a 90°?
6. Você não esperava que o Sol passasse todos os dias pelo Zenite?
7. Você percebeu que os gráficos têm um eixo de simetria que passa pelo ponto máximo da altura e mínimo do azimute? Tome um ponto do eixo de simetria e compare as distâncias horizontais aos dois ramos da curva.
8. A altura levou mais tempo crescendo ou decrescendo?
9. Como se comparam os azimutes no nascer e no ocaso do Sol?
10. A que horas o Sol nasceu? A que horas se pôs?
11. O azimute, ao nascer é maior, menor ou igual a 90°? Isso significa que o Sol nasceu no ponto leste, mais para o Sul ou mais para o Norte desse ponto?
12. Você pode pelo seu gráfico, dizer quando o Sol passou pelo M.A.L.?
13. O meio dia solar coincidiu com o meio dia do relógio? Como você explica isso?

Medidas do comprimento da sombra durante um dia em Santa Rita do Passa Quatro - SP. - 3/5/72
L
O
N
S
LATITUDE S
LONGITUDE W 47° 28'
altura da haste - 6,4 cm

Você deve ter percebido que as coordenadas AZIMUTE e ALTURA são próprias de cada lugar e variam com o tempo. Isto quer dizer, estão mudando ao passar das horas. As alturas são medidas em relação ao HORIZONTE. Mas este é diferente para cada lugar. Daí você conclui que a altura varia também de lugar para lugar. Isto quer dizer que no momento em que a altura (por exemplo do Sol) é zero para você (no amanhecer e no entardecer) terá outro valor para outro observador de outro lugar. Em resumo: o azimute e a altura variam com o lugar e com o tempo.

Quando se trata de localizar estrelas sobre a esfera celeste usa-se outro sistema: o sistema EQUATORIAL.

Este sistema tem coordenadas que não variam nem com o tempo, nem com o lugar. Essas coordenadas chamam-se declinação e ascensão reta. A declinação é o ângulo ou arco do meridiano contado a partir do equador celeste. A contagem é feita para o Sul ou para o Norte dependendo do hemisfério celeste em que está a estrela. A declinação varia de 0 a 90°. Os polos celestes são pontos de declinação igual a 90°. O Equador celeste é o lugar dos pontos cuja declinação (δ) é de 0° (Zero Graus). Muitas vezes usa-se distância polar em vez de declinação. A distância polar é contada a partir dos polos celestes e é complementar da declinação. Isto quer dizer que a distância polar + declinação = 90°.

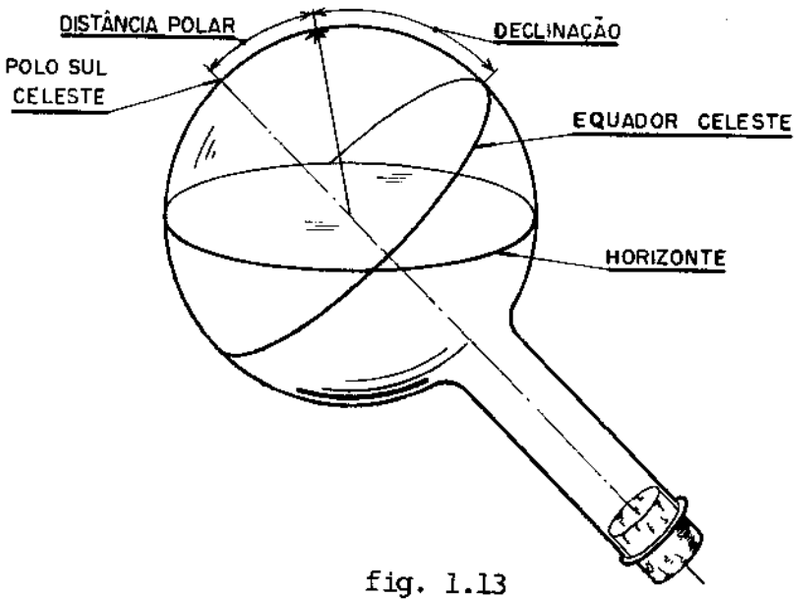


fig. 1.13

Observe a figura acima e você entenderá como estão relacionadas a declinação e a distância polar. Eu posso então definir essa posição tanto pela declinação como pela distância polar. Vejamos agora a ascensão reta; é o arco do equador compreendido entre o ponto Vernal (encontro do equador com a eclítica)e o meridiano que passa pelo ponto considerado. Pode-se dizer também que é o ângulo formado pelos dois meridianos, o que passa pelo ponto vernal e o que passa pelo ponto considerado.

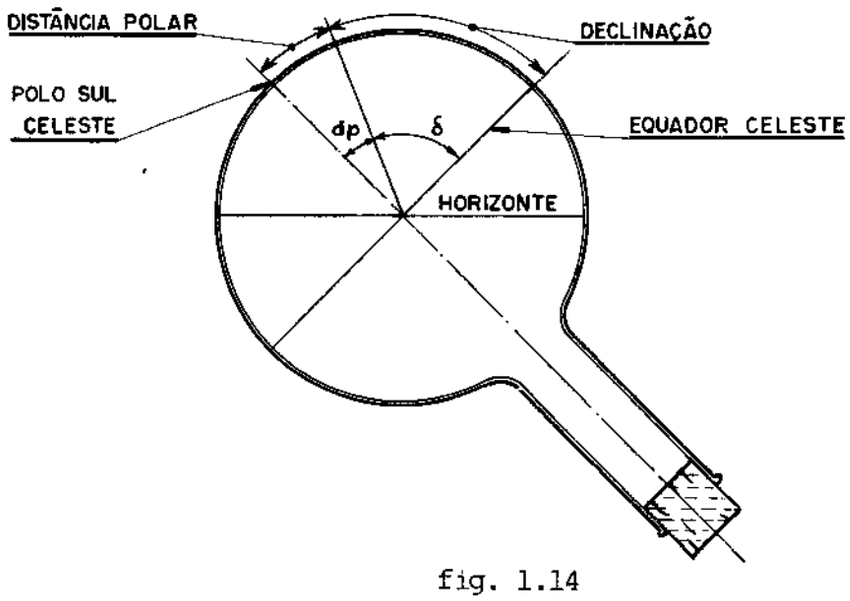


fig. 1.14

As ascensões retas são contadas então a partir do ponto vernal (γ) e no sentido contrário ao da rotação aparente da esfera celeste. Isso equivale a dizer no sentido direto ou sentido real (rotação da Terra).

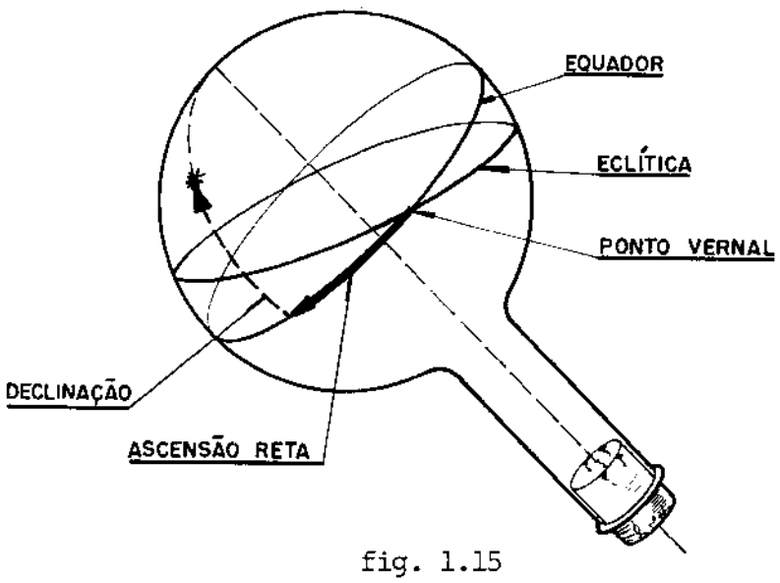


fig. 1.15

As ascensões retas geralmente são contadas em horas, minutos e segundos. Como a volta completa (360º) é feita em 24 horas, a volta toda da esfera celeste pode ser dividida em 24horas. Você pode então contar as ascensões retas em horas. Como são 24 horas, cada hora valerá um arco ($360^{o} \div 24$) de 15°.

ATIVIDADE: LOCALIZANDO "ESTRELAS NO CÉU".

Agora que você sabe como localizar pontos sobre a esfera celeste, você terá ocasião de utilizar esses conhecimentos.

Você vai representar algumas estrelas conhecidas, sobre a sua "esfera celeste".

Numa atividade anterior, você localizou alguns pontos ao acaso e que nada tinham a ver com estrelas reais.

Damos a seguir uma tabela de estrelas importantes com suas respectivas coordenadas celestes: as declinações e as ascensões retas. Você deverá localizar essas "estrelas" sobre sua "esfera celeste". As estrelas poderão ser representadas por pequeninos pedaços de papel (confetis, por exemplo), ou manchas feitas com lápis ou "baton".

Comece marcando as estrelas do Cruzeiro do Sul. Se você quiser e puder marque também outras.

O trabalho de situar as "estrelas" sobre o"céu" será facilitado se você dividir toda a volta do "equador" em 24 partes (horas). Antes de tentar fazer essa divisão sobre o balão de vidro, tente sobre uma fita de papel (como uma serpentina).

Tome uma fita e dobre-a com um comprimento exato de uma volta (o equador). Depois divida-a em 24 partes. Agora será fácil passar essas divisões para o balão. Uma vez passadas essas divisões para o "equador", você poderá dividir cada intervalo em 3 partes. Estas serão as frações de AR (ascensão reta) de 20 em 20 minutos.

Para as declinações nem será preciso marcar nada sobre o frasco. Basta você utilizar uma fita, como a empregada para as ascensões retas. Marque sobre a fita a distância do "equador" ao "polo". Divida-a em 9 partes e depois cada uma dessas ao meio. Cada traço valerá 5°. Não será preciso desenhar nada sobre o balão.

Localização das estrelas:

Faça a fita das declinações ficar distendida do polo ao equador. A declinação 0° deve coincidir com o equador e a 90° com o polo.

EXEMPLO: Suponha que você queira começar com a estrela ALFA do CRUZEIRO DO SUL. As coordenadas dela são

$\delta = -63^{o}$ e AR = 12,4 hs.

Lembre-se de que o sinal menos quer dizer declinações contadas para o lado do Polo Sul.

Aplique então o 0° da fita das declinações sobre o ponto do "equador" cuja AR é de 12,4 horas. Mantendo a fita distendida entre o equador e o polo, marque sobre a esfera o ponto que coincide com o 63°. Essa é a posição da estrela ALFA do Cruzeiro

COORDENADAS DAS ESTRELAS DO CRUZEIRO DO SUL

α (alfa)	.....	$12^h23^m,6$ - $62^o49'$
β (beta)	.....	$12^h44^m,6$ - $59^o25'$
γ (gama)	.....	$12^h28^m,4$ - $56^o50'$
δ (delta)	.....	$12^h12^m,5$ - $58^o28'$
ε (epsilon)	.....	$12^h18^m,6$ - $60^o07'$

COORDENADAS DAS 20 ESTRELAS MAIS BRILHANTES DO CÉU

Sirius (α Cão Maior)	.....	$6^h42^m,9$	-	$16^o39'$
Canopus (α Navio)	.....	6 22,8	-	52 40
α Centauro	.....	14 36,2	-	60 38
Arcturus (α Boieiro)	.....	14 13,4	+	19 27
Vega (α Lira)	.....	18 35,2	+	38 44
Capela (α Cocheiro)	.....	5 13,0	+	45 57
Rigel (Orion)	.....	5 12,1	-	08 15
Prócion (Cão Menor)	.....	7 36,7	+	05 21
Betelgeuse (Orion)	.....	5 52,5	+	07 24
Achernar (Eridano)	.....	1 35,9	-	57 29
β Centauro	.....	14 00,3	-	60 08
Altair (Águia)	.....	19 48,3	+	08 44
α Cruzeiro	.....	12 23,8	-	62 49
Aldebaran (Touro)	.....	4 33,0	+	16 25
Espiga (Virgem)	.....	13 22,6	-	10 54
Antares (Escorpião)	.....	16 26,3	-	26 19
Polux (Gêmeos)	.....	7 42,3	+	28 09
Fomalthaut (Peixe austral)	.....	22 54,9	-	29 53
Deneb (cisne)	.....	20 39,7	+	45 06
β Cruzeiro	.....	12 44,8	-	59 24

do Sul, sobre o céu.

Repita o procedimento para quantas estrelas você quiser. Quantas mais você representar, melhor você estará entendendo o que está fazendo e terá na sua esfera uma imagem mais completa das posições relativas das estrelas no céu.

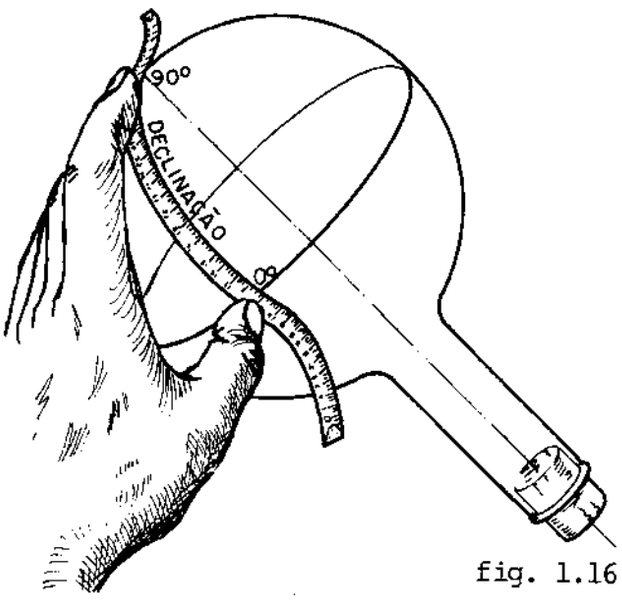


fig. 1.16

1.5 - UM SISTEMA ESPECIAL PARA A FAMÍLIA SOLAR

Qual é o seu "signo"? Talvez "Leão", ou "Touro" ou quem sabe "Sagitário". Certamente você já tem ouvido falar nos signos do ZODÍACO. Terá isto realmente a ver com as nossas qualidades ou com o nosso futuro? É claro que não. Infelizmente isso se presta muito à exploração de crendices como muitas outras, à custa do que muita gente vive. Afinal, de onde vem e o que quer dizer "o signo sob o qual nascemos"?

Já alguns povos, muitos séculos antes da antiga Grécia, haviam percebido que o Sol percorre no céu o mesmo caminho aparente durante cada ano. Todos os anos se repetia o aspecto do

céu nas mesmas ocasiões. Esses povos perceberam que havia uma relação com as estações do ano e as posições ocupadas pelo Sol, no céu. Provavelmente desse fato resultou a crença de que as posições dos astros regulassem a vida aqui na Terra.

Os babilônios, ao que parece, foram os primeiros a seguir e assinalar o caminho sempre igual que o Sol percorre no seu movimento anual. Também a Lua seguia um trajeto sobre a mesma faixa do céu. Desde muito tempo o homem já havia percebido que as constelações mantinham as posições e configurações de estrelas. Havia, no entanto, um pequeno número de "estrelas" que tinham um comportamento diferente das demais. Enquanto as outras pareciam crivadas na face interna da abóbada celeste, estas se moviam de forma estranha. Em virtude desse comportamento "misterioso", essas "estrelas" foram logo tidas como manifestações de divindades. Mais tarde os gregos chamaram a esses astros de "estrelas errantes" ou "planetas".

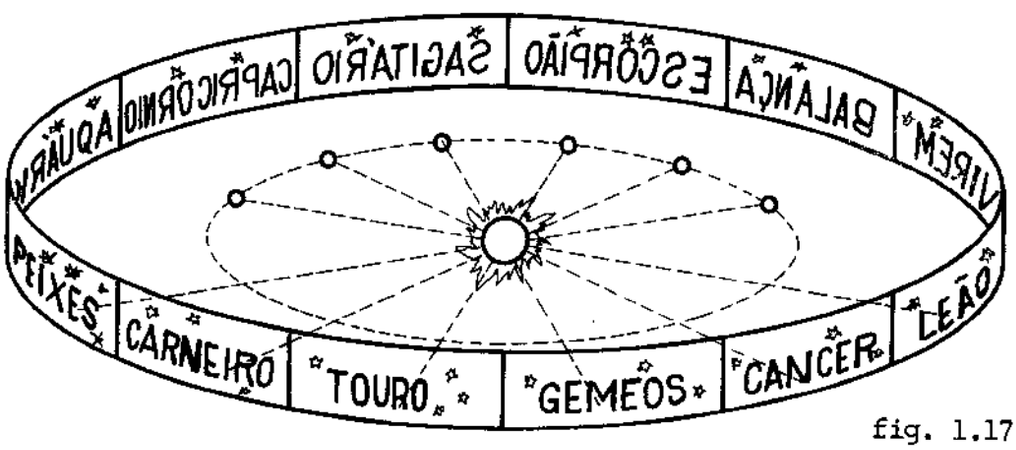


fig. 1.17

Se se observa constantemente o deslocamento dos planetas, há mesmo que reconhecer que seus movimentos parecem muito estranhos. Todos eles se movimentam sempre sobre uma mesma faixa do céu, o ZODÍADO. O Zodíaco é uma faixa de 12 constelações dispostas ao longo da ECLÍTICA. Procure se lembrar dos nomes de algumas delas. Se você não se lembrar pergunte qual o "signo" de algum de seus colegas.

Depois do advento do heliocentrismo a explicação do estranho movimento dos planetas tornou-se simples. Em resumo : toda a família solar, isto é, o Sol, a Lua e todos os planetas movem-se sempre ao longo da eclítica ou bem próximos dela.

Hoje sabemos que isto tem uma explicação muito simples: a Terra, a Lua e todos os planetas descrevem órbitas ao redor do Sol, que estão muito próximas de um mesmo plano. Para maior facilidade nossa escolheu-se como plano fundamental o plano da órbita da Terra. É claro que o movimento aparente do Sol se faz nesse mesmo plano: o plano da eclítica.

Por essa razão resolveram os astrônomos determinar as posições dos planetas, do Sol e da Lua em relação a esse plano. Nesse sistema as coordenadas são: longitude celeste e latitude celeste.

A longitude celeste é contada a partir do ponto vernal (GAMA), sobre a eclítica. Ela varia de 0° a 360° e é contada no sentido contrário ao do movimento aparente da esfera celeste.

A latitude celeste é o arco ou ângulo contado a partir da eclítica e perpendicularmente a ela. Varia de 0° a 90° para o lado Sul e para o lado Norte.

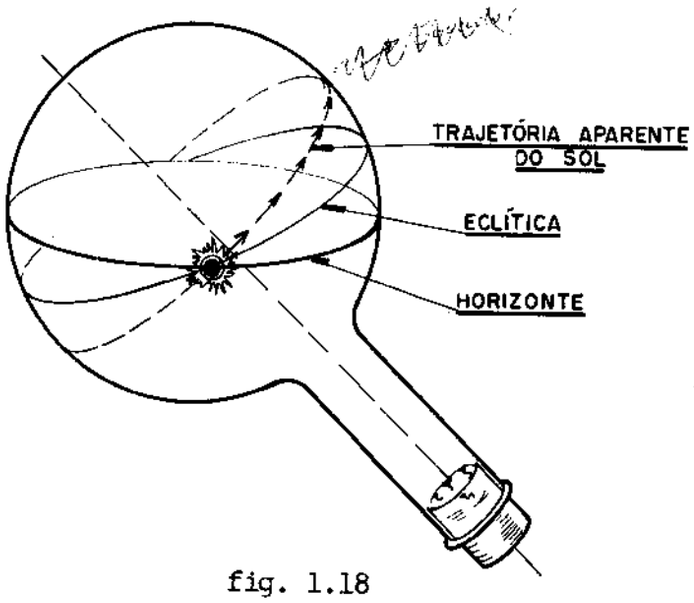


fig. 1.18

As latitudes celestes dos planetas são sempre de uns poucos graus, pois, como já dissemos, eles estão sempre próximos da eclítica.

Os pontos sobre a eclítica têm latitudes celestes de 0°.

Durante o ano, a longitude do Sol varia de 0°, em 20 de março, até 360°, no dia 20 de março, novamente.

Durante uma lunação, a <u>diferença das longitudes</u> do Sol e da Lua varia de 360°. Lunação é o período entre duas luas novas, ou entre duas luas-cheias, consecutivas.

Você já deve ter percebido que lua-nova é a fase em que a Lua está na mesma direção do Sol. Nesse momento o Sol e a Lua têm a mesma longitude celeste. Na fase da lua-cheia a diferença de longitude é de 180°. Nos "quartos", crescente e minguante, essa diferença de longitude é 90°.

Durante toda a antiguidade da astronomia, houve uma questão que sempre constituiu um grande enigma: o movimento retrógrado dos planetas. Já Heráclides, 300 anos antes de Cris-

to, descreveu as "laçadas" feitas no céu pelos planetas. Esse movimento é mesmo curioso. Enquanto toda a esfera gira uniformemente, os planetas executam suas estranhas manobras. A explicação desse fato só se tornou possível com a introdução do sistema heliocêntrico de Copérnico. Realmente, uma vez admitido o Sol no centro com os planetas a caminhar ao seu redor, a explicação se torna simples.

ATIVIDADE: "A MANOBRA" DE UM PLANETA NO CÉU

O mapa a seguir representa um pedaço do céu, ao longo da Eclítica.

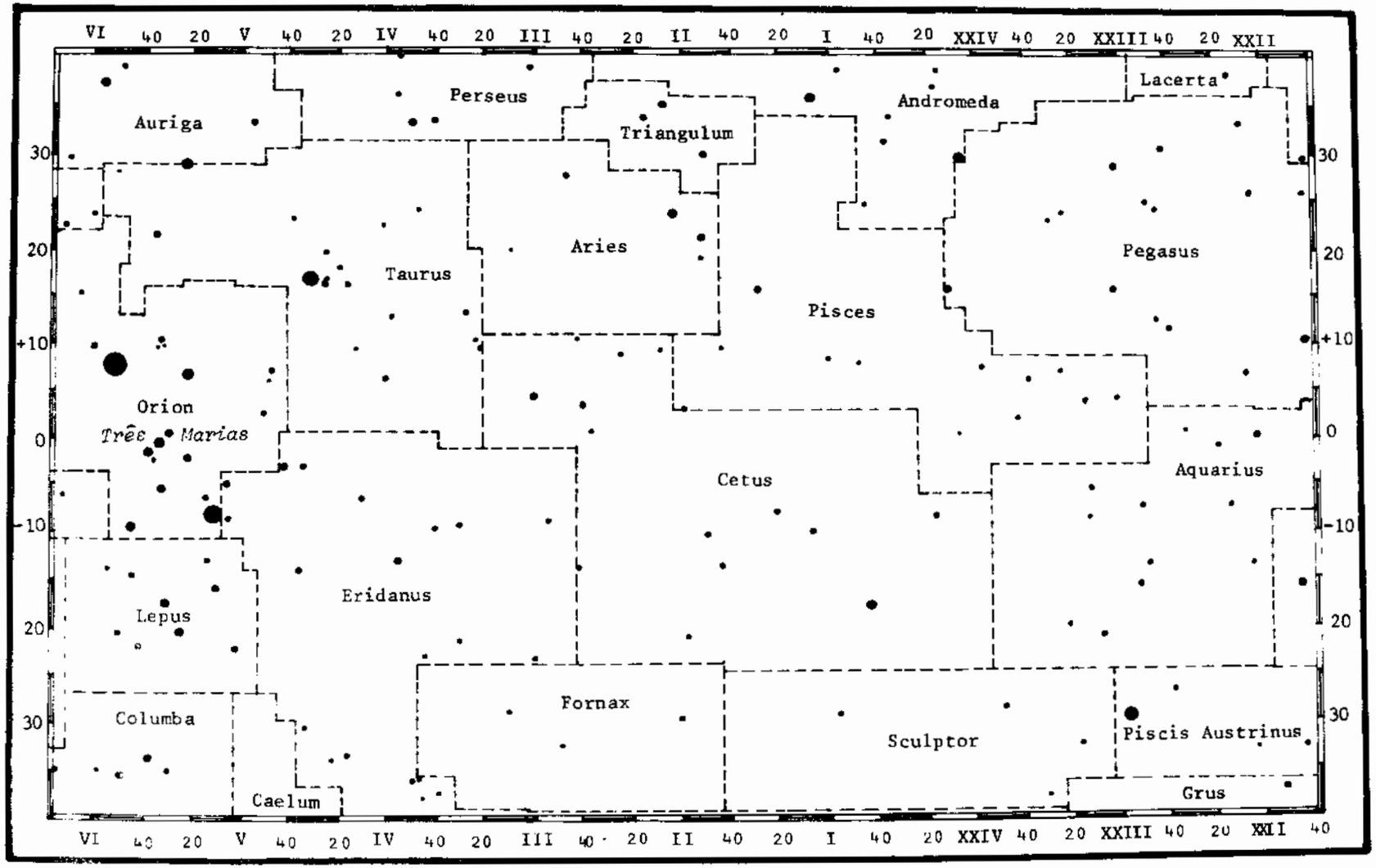
Você irá usar os dados da tabela sobre o movimento do planeta. Essas posições serão transportadas para o céu (no mapa).

Os dados da tabela foram colhidos pelo Observatório de São Paulo e representam um longo período de observações.

Assinale no mapa do céu os pontos dados pelas suas coordenadas contidas na tabela. Ponha ao lado de cada ponto um pequeno número para que os pontos fiquem numa ordem cronológica, isto é, numa ordem de tempo (data). Depois de assinalar todos os pontos, una-os em ordem cronológica por uma linha pontilhada. Essa linha representa o caminho aparente do planeta sobre o céu ou sobre o fundo de estrelas.

Você notou que durante todo o tempo, o planeta se moveu sobre as constelações da ECLÍTICA?

ASCENSÕES RETAS



ASCENÇÕES RETAS

Como você explica esse fato?

Se todos os planetas tivessem suas órbitas rigorosamente no mesmo plano, como seria a trajetória aparente do planeta?

Você notou que o planeta chegou a parar e mudar de direção no seu movimento? Como você explicaria isso? - Será que o planeta fêz realmente uma "marcha-a-ré"?

Sugestão: Faça um diagrama do sistema solar;o Sol no centro e os planetas fazendo voltas ao redor dele. Lembre-se que os planetas mais afastados têm maior período,isto é, levam mais tempo para fazer suas voltas ao redor do Sol.

"SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS"

Se você realizou todas as atividades e entendeu a leitura, você já tem umas boas idéias sobre os movimentos do céu. Se você gostou do assunto e estiver interessado em aprender um pouco mais, valerá a pena prosseguir com algumas coisas.

UM POUCO MAIS SOBRE A ESFERA CELESTE

ATIVIDADE: A CAMINHADA DO SOL PELO CÉU DURANTE O ANO

Você já notou certamente que durante o decorrer do ano os dias não têm todos a mesma duração. - Sabe por que? O que chamamos dia, em geral, não é o tempo durante o qual o Sol fica acima do horizonte? Com o auxílio do seu "céu" de vidro você poderá prever a duração do dia nas diferentes épocas do ano.Com is

so você entenderá também porque os dias são também mais quentes ou menos quentes, nas diferentes épocas do ano (estações).

A tabela a seguir fornece algumas posições do Sol durante o ano de 1970.

As variações para diferentes anos são muito pequenas e por isso você poderá usar esses dados para qualquer ano.

DATA	AR	δ	DATA	AR	δ
20/1	20,0h	- 20°	20/7	7,9h	+ 20,8°
20/2	22,2h	- 11°	20/8	10,0h	+ 12,5°
20/3	24,0h	0°	23/9	12,0h	0°
20/4	1,8h	+ 11°	20/10	13,5h	- 10°
20/5	3,8h	+ 20°	20/11	15,5	- 19,5°
20/6	6,9h	+ 23,5°	23/11	16,0h	- 23,5°

Os dados acima foram arredondados para facilitar o seu trabalho. As ascensões retas (AR) são dadas em horas e fração decimal de horas. As declinações (δ) estão dadas em graus e fração decimal do grau. Geralmente nas tabelas, essas frações de horas e de graus vêm dadas em minutos e segundos, de tempo ou de ângulo.

Se você agora passar essas posições do Sol para a sua "esfera celeste", poderá entender porque os dias têm durações diferentes, nas diferentes épocas do ano e em qualquer parte do mundo.

A primeira coisa a fazer será marcar as posições do"Sol" sobre o "céu". Depois você poderá simular o movimento diurno em qualquer lugar.

Escolha a data que você quiser. Incline o balão com ângulo igual à latitude geográfica do lugar em que você está.

Agora, mantendo essa inclinação faça girar o "céu".

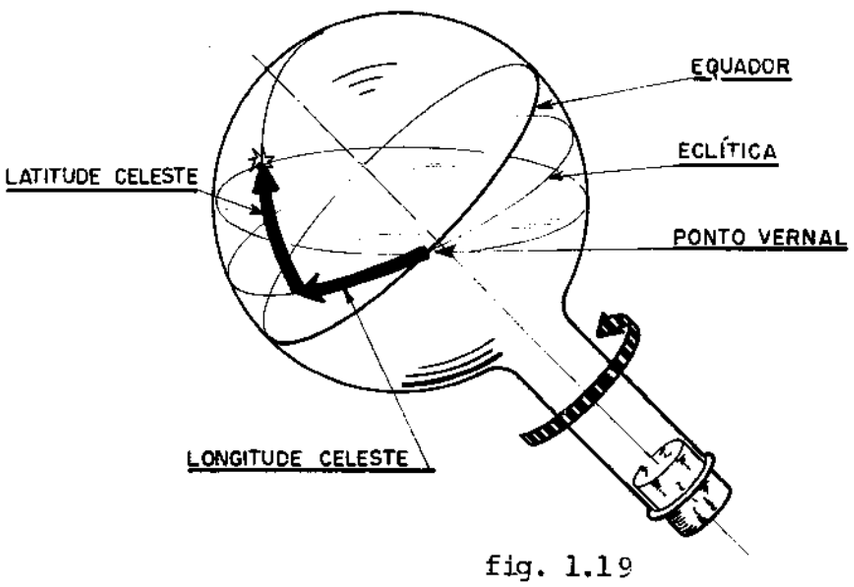


fig. 1.19

Observe o tamanho dos arcos diurnos descritos pelo Sol, em diferentes épocas do ano. Procure responder as perguntas feitas a seguir:

1. O ponto do horizonte em que o Sol nasce é sempre o mesmo?
2. Quando o Sol nasce exatamente no ponto Leste?

3. Na época em que o Sol nasce exatamente a LESTE em que ponto se dá o ocaso?
4. Em que época (ou épocas) do ano o dia e a noite têm a mesma duração?
5. Em que época do ano os dias são mais longos ? e quando são mais curtos?
6. Todos os dias ao meio dia o Sol passa pelo ZENITE?
7. Existem pontos na Terra em que o dia e a noite têm sempre a mesma duração?
8. Descreva o movimento do Sol e a duração do dia e da noite para um observador situado num dos polos da Terra. Use o seu "céu".
9. Procure responder: quantas horas têm, o dia mais longo e o dia mais curto? Sugestão: lembre-se que a duração do dia é proporcional ao tamanho do arco descrito pelo Sol acima do horizonte.
10. Você poderia fazer uma tabela com as durações do dia e da noite para as diferentes épocas do ano. Você sabe que o Sol está na sua altura máxima (culminação) ao redor de meio dia. Com essa informação e a anterior você poderá até fazer uma tabela de previsões. Você poderá prever aproximadamente os horários do aparecimento do Sol no seu horizonte e no de qualquer outro lugar.

UM POUCO MAIS AINDA : LATITUDE E ALTURA DO POLO CELESTE

Quando você começou a simular o movimento diurno , foi-lhe dito que mantivesse o "eixo do mundo " (do frasco) com uma inclinação em relação à água. Dissemos ainda que essa inclinação ou esse ângulo devia ser igual à latitude geográfica do lugar.

Vejamos então: A vertical, direção do fio de prumo, é perpendicular à superfície (ao plano) da água (do horizonte).

A vertical "fura" o céu em dois lugares: O ZENITE (acima) e o NADIR (para baixo).

O eixo do mundo e o equador também são perpendiculares entre si, por definição.

Observe agora a figura abaixo que representa um corte meridiano da esfera celeste.

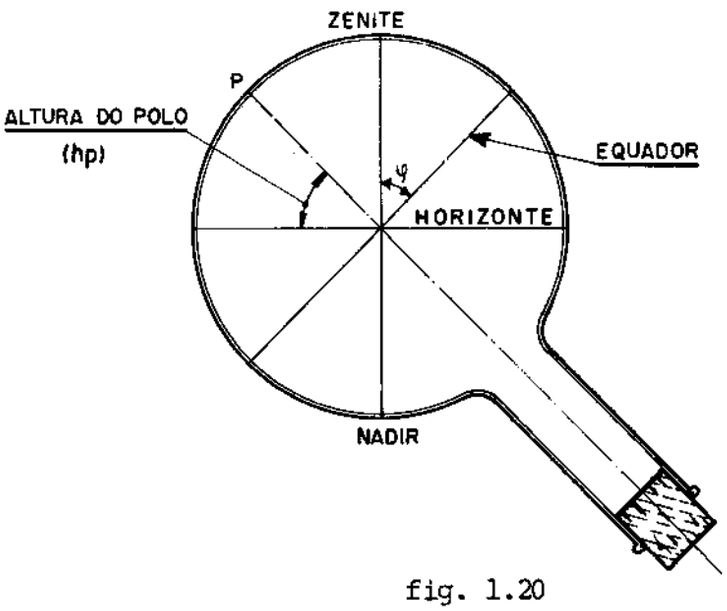


fig. 1.20

Por outro lado, o que se chama latitude geográfica do lugar? Veja num globo terrestre - Não é o ângulo formado pela vertical do lugar com o equador terrestre? Mas o equador celeste é a projeção do equador terrestre (está no mesmo plano). Então o ângulo da vertical com o equador celeste também é igual à latitude geográfica do lugar. Esta geralmente se representa pela letra grega φ (fi).

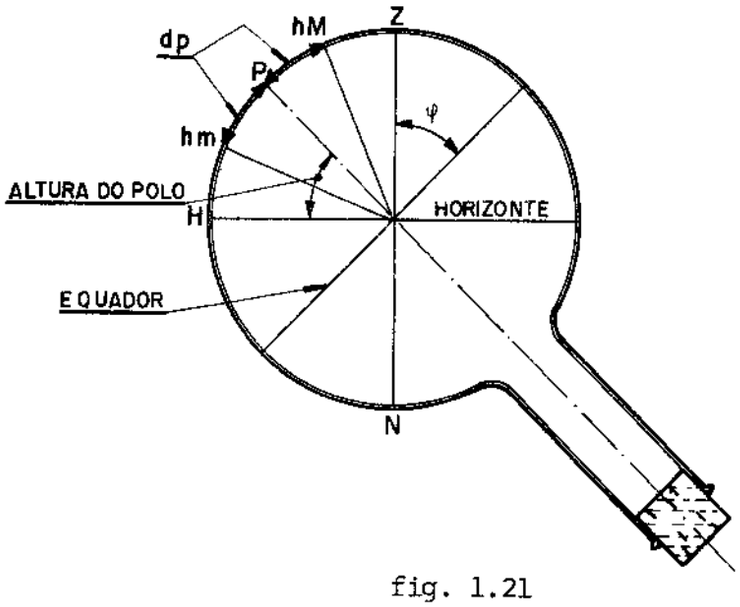


fig. 1.21

Então

$$hp + P\hat{O}Z = 90^{o}$$

ou

$$hp = 90^{o} - P\hat{O}Z \quad (1)$$

Por outro lado $\varphi + Z\hat{O}P = 90^{o}$

ou

$\varphi = 90^{o} - Z\hat{O}P$; mas $Z\hat{O}P = P\hat{O}Z$ então

$$\varphi = 90^{o} - P\hat{O}Z \quad (2)$$

Comparando a (1) com a (2) tem-se que hp = φ (fi) ou, a altura do polo em um lugar é igual à latitude geográfica desse lugar.

Então quando se quiser saber em que latitude se está, basta determinar a altura do polo celeste nesse lugar. <u>Como determinar a altura do polo?</u>

Você já sabe determinar a M.A.L. (Meridiano Astronômico do Lugar). Lembre-se da atividade na seção 1.2.

Agora você já tem possibilidade de aplicar seus últimos conhecimentos. Considere, como no caso da altura do polo, uma seção meridiana da esfera celeste.

Uma estrela qualquer passa duas vezes (em cada volta) pelo M.A.L. Uma chama-se passagem inferior. Isto se dá quando a estrela passa pelo M.A.L., "abaixo" do polo. A outra passagem chama-se passagem superior. Esta se dá quando a estrela passa pelo M.A.L. "para cima" do polo visível.

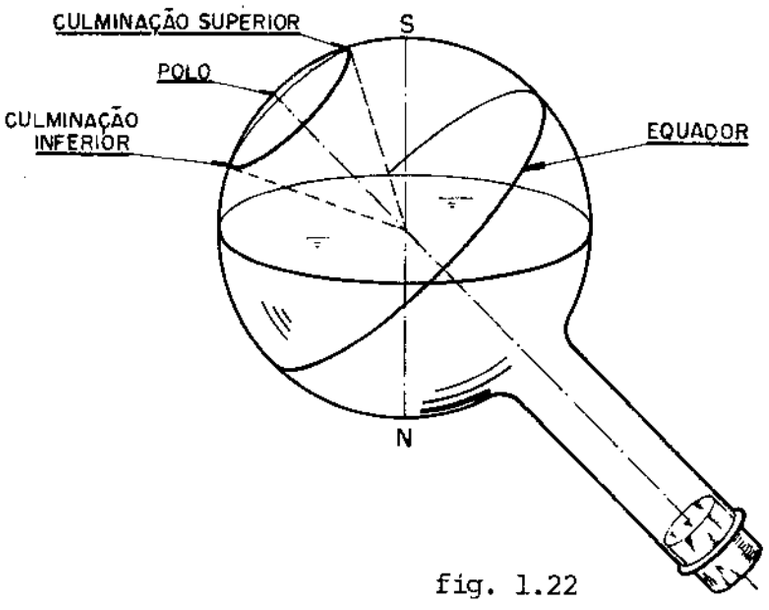


fig. 1.22

Vimos há pouco que a latitude geográfica do lugar (φ) é igual à altura do polo (hp). Determinar a latitude geográfica do lugar é o mesmo, então, que determinar a altura do polo.

Observe a figura acima.

Numa das atividades anteriores você aprendeu que existem estrelas que não nascem nem se põe, isto é, parmanecem sempre acima do horizonte. Essas estrelas chamam-se "CIRCUMPOLARES". O número dessas estrelas depende da latitude em que está o observador. Para um observador no Equador terrestre não há estrelas circumpolares. Para um observador situado num dos polos, todas as estrelas desse hemisfério são circumpolares.

Vamos observar uma dessas estrelas em suas duas passa -

gens pelo M.A.L. Ela terá uma altura máxima (hM).

Durante todo o tempo suas coordenadas equatoriais não mudam.

Não mudam portanto, nem o AR (ascensão reta), nem a declinação (δ), nem a distância polar (dp).

Quando a estrela estiver em sua passagem superior, no M.A.L., teremos,

$$hp = hm + dp$$

Quando a estrela estiver em sua passagem inferior, teremos:

$$hp = hm + dp$$

Somando as duas expressões teremos:

$$2\ hp = hM + hm$$

ou

$$hp = \frac{hM + hm}{2}$$

mas $hp = \varphi$

então $\varphi = \frac{hM + hm}{2}$, ou seja, a latitude geográfica do lugar é igual à semi-soma ou média das alturas, máxima e mínima de uma estrela circumpolar.

Desvantagens : Exige 2 observações, da mesma estrela, separadas por 12 horas. Isso muitas vezes é impossível, pois uma das observações ocorrerá com o dia.

Outro método

Na prática, pode ocorrer que o observador tenha um catálogo de estrelas com as respectivas coordenadas. Se eu identifico uma estrela e suas coordenadas, o problema se simplifica. Basta ter a declinação ou a distância polar da estrela.

Então, se a estrela está em sua passagem inferior

$$hp = hM - dp$$

obtendo hm por medida direta. Conheço dp. Então, fica determinada a hp e portanto φ.

Se a estrela está em sua passagem superior,

hp = hM - dp. Conheço dp, meço hM logo fico conhecendo hp ou φ.

+++ +++ +++

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.1 - O QUE OS GREGOS PENSARAM E O QUE FIZERAM

O estudo da história dos povos mais antigos revela quanto remota é a observação do céu. Os babilônios, que construiram uma grande torre - observatório, tinham grandes conhecimentos astronômicos que chegaram até nós graças à arte desse povo, capaz de escrever sobre pedras e tijolos que atravessaram milênios. Sua grande religiosidade, aliada à sua rica imaginação, fizeram com que o céu se povoasse de figuras ligadas aos seus mitos. Os planetas, com suas manobras "misteriosas" sobre o céu foram associados a deuses que regiam a vida dos homens. Muitas dessas crenças chegaram até nossos dias, sofrendo diferentes modificações em diversos lugares e tempos.

Nasceu assim a astrologia que pode ser interessante como produto da imaginação mas que não tem nenhum fundamento na Ciência.

Quase três mil anos antes da era cristã era construída a grande pirâmide de Cheops, por um faraó do Egito. É curioso notar que essa pirâmide tem sua entrada e um grande corredor rigorosamente voltados para o Norte. Isso revela que já nessa época (3.000 a.C.) os egípcios tinham muito conhecimento astronômico.

Já por volta de 3.000 a.C. os chineses tinham calendário de 365 dias. Essa exatidão evidencia grandes conhecimentos acumulados com muitos séculos de observação.

Por volta do século VII a.C., começou a surgir a grande civilização dos gregos. Estes herdaram muitos conhecimentos, principalmente dos egípcios e dos babilônios, seus vizinhos . O primeiro grande nome entre os gregos foi Tales que previu um eclipse em 585 a.C. Um dos discípulos de Tales, Anaximandro, mediu a inclinação da eclítica em relação ao Equador.

Parece, no entanto, ter surgido com Platão a primeira tentativa de criar uma teoria, ou o que em Física se pode chamar de modelo, para explicar os movimentos do céu. Era o nascimento do racionalismo, isto é, a solução dos problemas utilizando a razão pura. Era a tentativa de explicar os fenômenos da natureza sem recorrer às divindades.

Eudoxus e Aristóteles, ambos discípulos de Platão, criaram um complicado sistema constituído de muitas esferas, ocas e transparentes, que tinham por centro a Terra imóvel. Quase todos os modelos surgidos nessa época do apogeu grego eram geocêntricos, isto é, em quase todos a Terra ocupava o centro do Universo.

Entre os anos 310 e 230 a.C. viveu Aristarco de Samos que foi o primeiro a provar o sistema heliocêntrico, um sistema em que o Sol ocupava o centro. Essas idéias foram pelos próprios gregos considerados como contrárias aos designos divinos e sem fundamento. Dois milênios se passaram antes que as idéias do heliocentrismo pudessem ser provadas. Esse mesmo Aristarco conseguiu outro grande feito: mostrou que a distância do Sol à Terra é muito maior que a distância da Terra à Lua.

ATIVIDADE: DESCOBERTA DE ARISTARCO

Aristarco achou que se a Lua apresenta sempre o mesmo tamanho aparente para um observador da Terra (procure medir e observar), a sua trajetória deveria ser aproximadamente circular.

A Lua em seu movimento em torno da Terra apresenta quatro estações ou fases: Lua Nova, Lua Cheia, Quarto Minguante, e Quarto Crescente.

Desenhe sobre um papel uma circunferência de 12 cm de diâmetro. Essa circunferência representa a trajetória da Lua em torno da Terra.

Obtenha 4 moedas. Essas moedas irão imitar as 4 fases da Lua. Para representar a parte iluminada pelo Sol você poderá colar um papel preto sobre um dos semi-círculos. Cole então uma seta de papel duro sob a face iluminada (sem papel preto) como na figura abaixo:

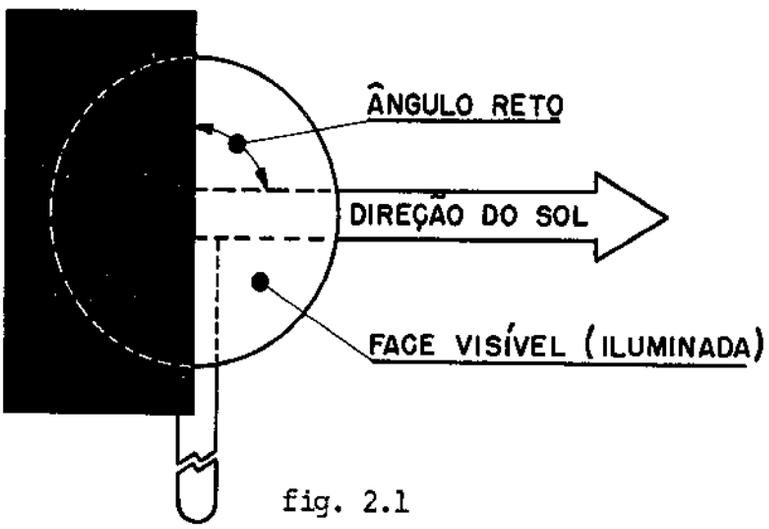


fig. 2.1

Estas setas irão indicar, no seu esquema, a direção em que o Sol está.

Você já notou que o tempo decorrido entre duas fases consecutivas são iguais aproximadamente (cerca de 7 dias)?

Sabendo-se que a Lua em torno da Terra realiza aproximadamente um movimento circular uniforme (percorre arcos iguais em tempos iguais) o que você conclui sobre os arcos entre duas fases consecutivas?

Você pode agora colocar sobre a circunferência as quatro moedas (como na figura 1.2) de maneira que nós da Terra vejamos nelas as quatro fases da Lua separadas por ângulos retos.

Lua Cheia (face totalmente iluminada)
Lua Nova (face totalmente escura)
Quarto Crescente (meia face iluminada)
Quarto Minguante (meia face iluminada)

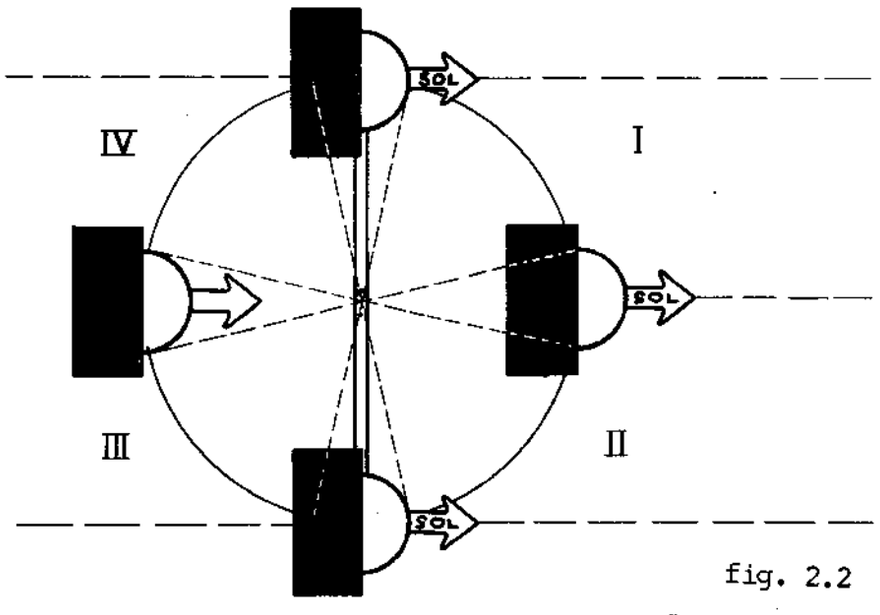


fig. 2.2

O que se poderia dizer sobre as direções indicadas pelas setas? De outra forma: essas direções são paralelas? Onde se encontram setas paralelas? Como estas setas indicam a posição do Sol, onde deveria estar o Sol? Responda antes de continuar. Aristarco supôs que o Sol não deveria estar no infinito.

Será então que os quatro arcos descritos pela Lua nas quatro fases ao redor da Terra são exatamente iguais? A busca dessa resposta foi o trabalho de Aristarco. Ele observou que para que o Sol não estivesse no infinito, os arcos I e II da figura 1.2 (medidos através de seus tempos) não deveriam ser iguais aos arcos III e IV. Os tempos medidos indicam que os arcos entre a Lua Nova e os "quartos" são menores que 90°.

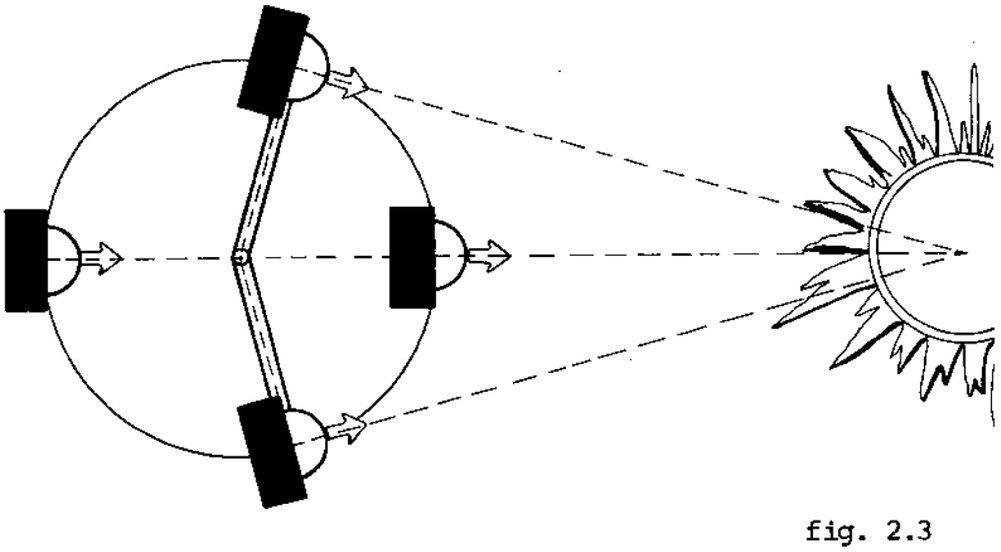


fig. 2.3

Você pode colocar agora as quatro moedas sobre a circunferência (como na fig. 1.3) de maneira que os arcos I e II sejam iguais entre si, mas menores que 90°. Para onde indicam as setas? Ou de outra forma: onde deve estar o Sol?

Medindo então o ângulo ou o tempo entre os dois quartos (crescente e minguante), Aristarco determinou a distância a que o Sol deveria estar: cerca de 20 vezes mais distante da Terra que a Lua. Faça variar ao mesmo tempo os arcos I e II de tal modo que estes se aproximem de 90º (fig. 1.4). Observe de novo a posição do Sol. Como se compara a nova posição do Sol com a anterior? Ele está mais longe ou mais perto da Terra? Você percebeu que quando os arcos I e II se aproximam de 90°, mesmo pequenas variações de ângulo provocam grandes variações na distância do Sol? Verifique isso com seu esquema. Acontece que esses ângulos são mesmo muito próximos de 90°.

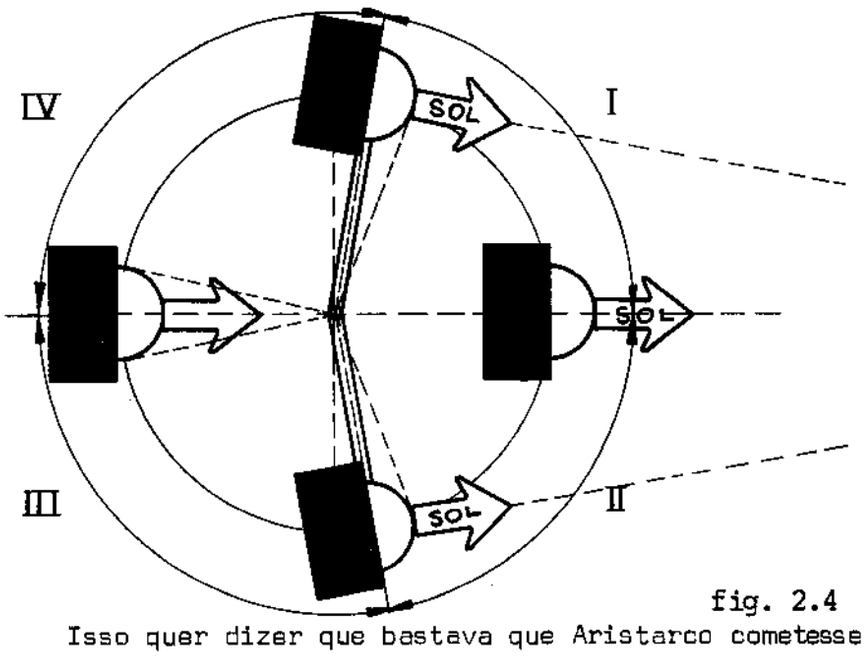


fig. 2.4

Isso quer dizer que bastava que Aristarco cometesse um pequeno erro angular na sua medida para que isso provocasse um grande erro na distância do Sol. Foi justamente isso que aconteceu com as medidas que Aristarco fêz. Hoje sabemos, por outros meios, que o Sol está cerca de 400 vezes mais longe da Terra do que a Lua. De qualquer maneira Aristarco mostrou que o Sol estava muito mais distante da Terra que a Lua. Observando-se que a Lua e o Sol apresentam o mesmo tamanho aparente e acrescentando o discutido acima, o que se poderia dizer dos tamanhos reais da Lua e do Sol?

Outro nome que deve ser destacado é o de Eratóstenes (275 - 194 a.C.). Esse grande sábio da escola de Alexandria foi quem, pela primeira vez, mediu o raio da Terra. Esse feito é surpreendente quando se pensa nas condições existentes na época e da grande aproximação conseguida.

Eratóstenes imaginou que a Terra deveria ser uma esfera. Mas de que tamanho? Sabendo-se que o raio de uma esfera (a Terra por exemplo) é igual ao raio de qualquer de seus círculos máximos (equador e meridiano), ele se propôs a determinar o raio de um meridiano. O meridiano foi o que passa por Alexandria. Para o Sul dessa cidade, sobre o Nilo, está Assuã, bem próximo do trópico (Câncer). Procure estes lugares no mapa e você perceberá que Alexandria, capital intelectual do mundo antigo, está bem ao Norte (no delta do Rio Nilo) de Assuã, onde existe uma das maiores barragens do mundo. Eratóstenes sabia que nos dias próximos ao solstícios de verão (22 de junho, no hemisfério Norte) o Sol ao meio dia iluminava, sem deixar sombra, os poços de Assuã. Nesse mesmo dia e hora, o Sol não iluminava o fundo dos poços de Alexandria.

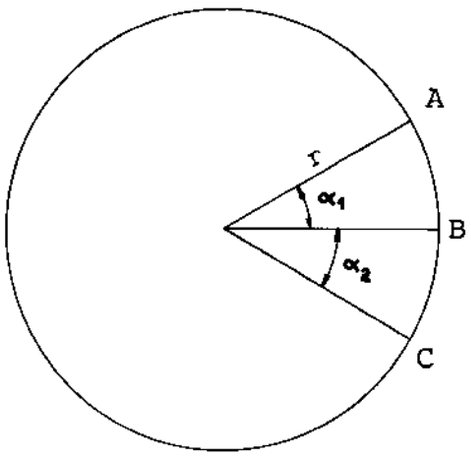
A medida dessa diferença de inclinação do Sol entre as duas cidades e a distância entre elas deram ao sábio grego o que ele precisava para conseguir o raio da Terra. Se bem pensou, melhor o fêz. O valor por ele encontrado é surpreendentemente próximo ao que se conhece hoje.

ATIVIDADE: DETERMINAÇÃO DO RAIO DA TERRA

PARTE A

Você sabe que em qualquer circunferência os arcos são proporcionais aos ângulos.

$$\frac{\alpha_1}{\widehat{AB}} = \frac{\alpha_2}{\widehat{BC}} = \frac{360^o}{2\,\Pi\,r}$$



ou $$\frac{\alpha_1}{\widehat{AB}} = \frac{360^o}{2\,\Pi\,r}$$

ou ainda:

$$\frac{2\,\Pi\,r}{360^o} = \frac{\widehat{AB}}{\alpha_1}$$

Logo $$r = \frac{\widehat{AB} \times 360^o}{\alpha_1\ \ 2\,\Pi}$$

fig. 2.5

Então se conhecemos um arco de circunferência ($\widehat{AB}$) e o ângulo central que ele subentende (α_1) ficamos conhecendo o raio dessa circunferência (r). Eratóstenes dispunha de duas cidades próximas a um mesmo meridiano: Alexandria (A) e Siena (B), hoje Assuã, e cuja distância ($\widehat{AB}$) podia medir. O problema de Eratóstenes era medir o ângulo α_1 no centro da Terra.

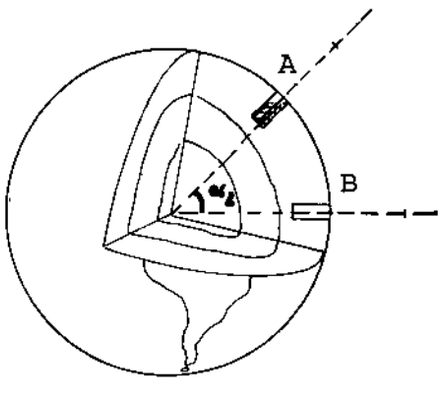


fig. 2.6

Trace parte de uma grande circunferência, de uns 25 cm de raio (fig. 2.7). Você irá medir indiretamente o raio dessa circunferência, como se ela fosse o meridiano de Eratóstenes. Escolha dois pontos: "Alexandria" (A) e "Siena (B)

Usando uma tira de papel ou régua flexível,determine a distância entre o "poço em Alexandria" e "Siena". Coloque depois alfinetes nos pontos um, dois, três e quatro. Para isso a folha deve ser colocada sobre uma tabuinha ou papelão. Agora leve seu esquema (Terra) para o Sol. Coloque a "Terra" de tal maneira que o Sol entre verticalmente no "poço de Siena" (B).Os

raios solares entram também verticalmente no "poço" de "Alexandria"? Como os raios solares são paralelos, o ângulo entre a sombra dos alfinetes 1 e 2 e a "vertical" é o mesmo ângulo que as verticais fazem no centro da Terra.

Meça o primeiro desses ângulos e compare-o com o segundo.

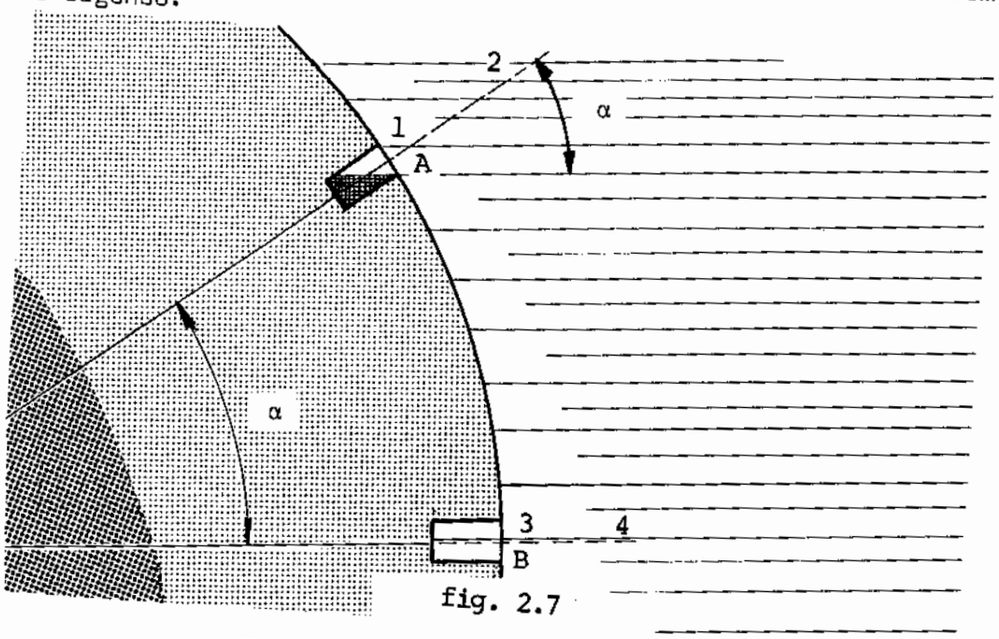


fig. 2.7

Todo o valor de α , que pode ser medido com um transferidor, e o arco $\widehat{AB}$ que você já mediu, calcule o raio da "Terra" que você desenhou.

Que tal? De quanto você errou? Qual foi seu erro percentual em relação ao valor que aqui você pode medir diretamente?

Eratóstenes não pôde fazer essa comparação.

PARTE B

DETERMINAÇÃO DO RAIO DA TERRA USANDO UM MAPA

O que Eratóstenes fêz com Siena e Alexandria você mesmo pode fazer com duas cidades brasileiras (ou duas cidades de outros países se você quiser) que podem ser escolhidas dentro da região onde você vive, com a vantagem que você não pre

cisa esperar o solstício duma delas, nem medir diretamente a distância entre elas. Basta possuir uma mapa que contenha as cidades brasileiras (ou mapa mundi ou mesmo o globo).

O que Eratóstenes fêz realmente foi procurar duas cidades de mesma longitude (sobre um mesmo meridiano) e encontrar uma situação na qual pudesse medir a <u>diferença de latitude</u> entre elas.

Você já sabe que a latitude geográfica de um lugar é igual ao ângulo formado pela vertical do lugar com o Equador. Se α_A é a latitude de **A** e α_B a de B , então

$$\alpha_B - \alpha_A = \Delta\alpha \quad (\text{ sendo } \alpha_B > \alpha_A)$$

é a diferença de latitude entre **A** e **B.**

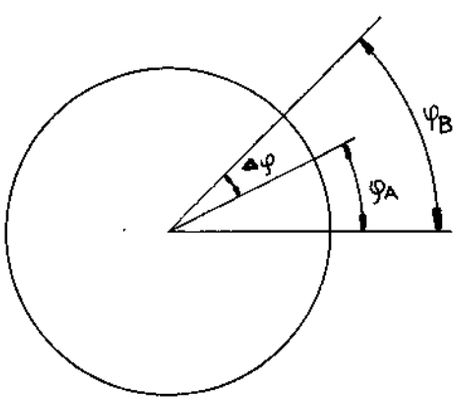


fig.2.8

Considere sobre um mapa um par de cidades de aproximadamente mesma longitude; por exemplo: João Pessoa e Recife, Franca e Sorocaba, Curitiba e São José do Rio Preto, Laguna (Santa Catarina) e Belém(você se lembra do Tratado de Tordesilhas?), S. Luís e Bom Jesus (Piauí), Manaus e Mato Grosso (MT) ou outras duas cidades à sua escolha.

Você deve, então, sobre o mapa, determinar a diferença de latitudes e a distância entre as duas cidades (o arco $\widehat{AB}$)

A distância entre elas pode ser encontrada usando-se a escala em que o mapa está construído. Meça com uma régua,

no mapa, a distância entre as duas cidades. Use então a escala para achar a distância real. Por exemplo, se for obtido um valor de 12 cm e a escala do mapa for 1: 1.000.000 (isso significa que 1cm no mapa corresponde a 1.000.000 cm na realidade), a distância entre as cidades será 12 x 1.000.000 cm = 120 km. Alguns mapas não trazem indicação do tipo 1 : 1.000.000, mas trazem uma pequena "régua" do tipo da figura a seguir. Neste caso, é mais fácil construir uma "regra de tres", usando o fato de que 50 km na escala correspondem a um certo número de centímetros da sua régua (Na figura, 4 cm no mapa correspondem a 50 km reais).

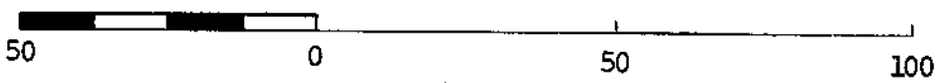


fig. 2.9

Qual é, então, a distância entre as duas cidades que você escolheu?

Meça, a seguir, a diferença de latitude entre elas. Para determiná-la você deverá fazer o que se chama interpolação já que as cidades não estão, provavelmente, sobre as linhas indicativas da Latitude. Considere, por exemplo, a cidade de Natal que está entre 5° e 6° de latitude Sul (fig. 2.10). Qual a latitude de Natal? Se você admitir que, para pequenas diferenças de latitude, ela varia na mesma proporção que a distância, poderá então usar uma regra de três para determiná-la.

Se no mapa, 1° (diferença entre 5° e 6°) corresponde a 6,3 cm, então 5,1 cm corresponde a $0,8^{o}$. Portanto, a latitude de Natal é, aproximadamente, $5^{o} + 0,8^{o} = 5,8^{o}$ (nós usaremos, aqui a indicação decimal; nas medidas de maior precisão a latitude é medida em graus, minutos e segundos).

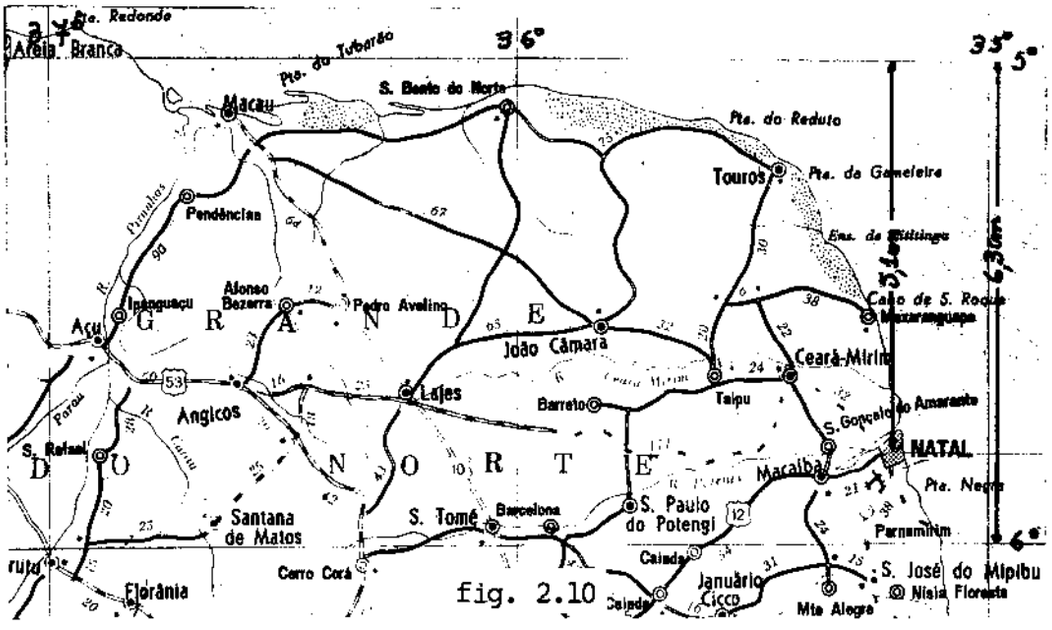


fig. 2.10

Meça, dessa forma, as latitudes das cidades escolhidas e calcule a diferença entre elas (Valor de $\Delta\alpha$).

Se as cidades que você escolheu estiverem em hemisférios diferentes, como você determinaria a diferença de latitude entre elas ? Você teria naturalmente que somar a latitude Norte de uma delas com a latitude Sul da outra para obter o ângulo entre as verticais pelas duas cidades. (Isso equivaleria, algebricamente, a atribuir o sinal + ao valor da latitude Norte, por exemplo, e o sinal - ao valor da latitude Sul).

Com os dados obtidos e através da igualdade (1) da atividade anterior calcule o raio da Terra. Compare esse valor com o conhecido atualmente.

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.2 - A TROCA DA TERRA PELO SOL: COPÉRNICO

No ano de 1.500, as naus de Cabral chegavam às praias virgens do Brasil. Nessa mesma época, o jovem Nicolau Copérnico estava na Itália vindo de sua terra, a Polônia, para estudar. Da Itália se irradiava uma onda de renovação da cultura, conhecida como Renascimento. Aí, Copérnico tomou contato, entre outras coisas, com as idéias de Aristarco, o grego que havia sugerido o Sol como centro dos movimentos dos planetas. Já há quase 13 séculos se usava o sistema geocêntrico de Ptolomeu. O Homem era considerado como a coisa mais importante da criação e, portanto, devia estar no centro do Universo. Por isso a Terra, sobre a qual estava o Homem, deveria ser o centro do Universo.

É curioso notar que todas as grandes navegações se fizeram usando-se os conhecimentos de astronomia geocêntrica. Mesmo estando errado, esse sistema permitia previsões que se confirmavam. Com o passar dos séculos, no entanto, os erros do sistema de Ptolomeu iam-se acumulando, exigindo correções cada vez mais complicadas.

Copérnico achava que os movimentos do céu podiam ser explicados de forma mais simples se se imaginasse o Sol, em vez da Terra, no centro do Universo. Isso era trocar a Terra pelo Sol como centro do Universo. Significava também tirar o Homem do centro do Universo. Essa idéia era considerada uma heresia. O livro "De Revolutionibus Oribium Coelestium" (Sobre as Revoluções das Esferas Celestes) em que Copérnico expunha o sistema heliocêntrico (com o Sol no centro) só foi publicado depois de sua morte. Mesmo assim foi colocado no INDEX, como obra herética.

Em seu livro, Copérnico mostrava que todos os movimentos do Sol e os estranhos movimentos retrógrados dos planetas podiam ser explicados de forma mais simples admitindo-se o movimento da Terra ao redor do Sol.

Em resumo, Copérnico propunha:

1. O Sol estaria no centro de todas as esferas que contém os planetas e portanto no centro do Universo.

2. A Terra seria o centro apenas da esfera da Lua.

3. A distância da Terra ao Sol (o raio da esfera que contém a Terra) é muito pequena em relação ao tamanho da esfera das "estrelas fixas".

4. Tanto o movimento diário do céu como o movimento anual do Sol sobre o céu são aparentes e resultam dos movimentos da Terra.

Essas idéias foram imediatamente atacadas como "sem fundamento" e contrárias às escrituras. Por essa razão, o livro de Copérnico foi colocado no INDEX, como heresia. Apesar das grandes imperfeições, o trabalho de Copérnico abria a possibilidade de uma explicação muito mais simples para os movimentos dos planetas.

A primeira grande coisa que se tornava possível era a determinação dos raios das órbitas dos planetas usando como unidade a distância Terra-Sol. Isso você entenderá fazendo a próxima atividade.

ATIVIDADE: DETERMINAÇÃO DO RAIO DA ÓRBITA DE VÊNUS

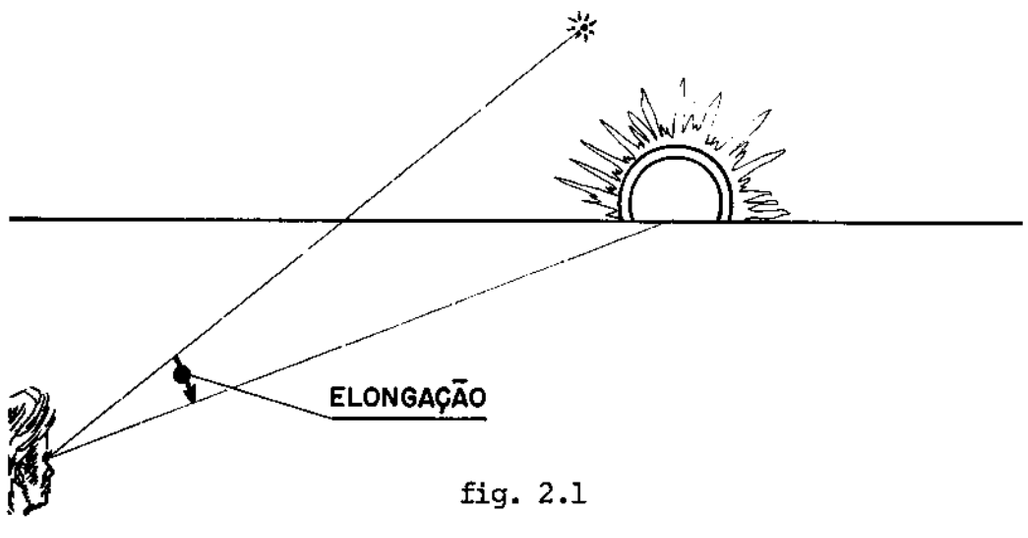


fig. 2.1

A tabela abaixo contém as medidas das ELONGAÇÕES do planeta Vênus, tomadas durante cerca de dois anos. Faça com esses dados um gráfico tendo o eixo vertical para as elongações e o eixo horizontal para os dias. Tenha o cuidado de escolher escalas em que caibam os valores da tabela.

DIA	ELONGAÇÃO	DIA	ELONGAÇÃO
0	20°	400	-27°
40	43°	440	-35°
60	47°	480	-43°
80	45°	520	-47°
120	37°	560	-32°
160	30°	600	21°
200	19°	640	45°
240	8°	650	47°
280	0°	680	45°
320	-11°	720	37°
360	-21°		

OBSERVAÇÃO: O sinal negativo significa que o planeta passou de OESTE para LESTE do Sol. Realmente não há elongação negativa.

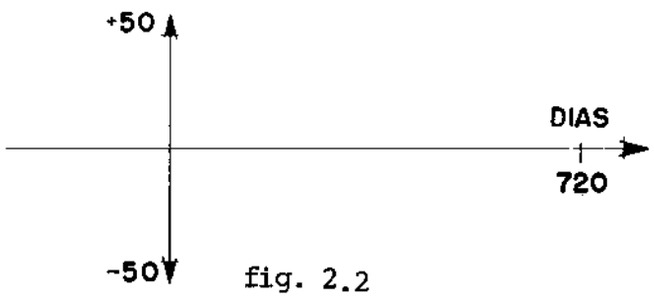


fig. 2.2

Depois de fazer o gráfico, analisando-o, responda às seguintes perguntas:

1. Quanto tempo leva Vênus para voltar a ocupar a mesma posição em relação à Terra, isto é, em relação à reta Terra-Sol?

2. Você acha que esse tempo é realmente o que o planeta leva para dar uma volta ao redor do Sol? Ou é o tempo de uma volta aparente? Lembre-se de que a Terra esteve se deslocando durante as medidas.

3. Qual a máxima elongação que Vênus teve para Oeste e para Leste?

Faça agora uma circunferência de raio qualquer. Esse raio representará a distância Terra-Sol que é usada com unidade astronômica (UA), pois com ela são medidos os raios das órbitas dos planetas. O centro da circunferência é ocupado pelo Sol.

Marque um ponto sobre a circunferência: esse ponto representa uma posição da Terra. A partir desse ponto, e contando o ângulo em relação à reta Terra-Sol, marque o ângulo da maior elongação de Vênus. Com o centro sobre o Sol, trace uma circunferência que seja tangente à direção da máxima elongação.

O raio desta circunferência representa o raio da órbita de Vênus em relação à unidade que você escolheu.

Lembre-se que em um triângulo retângulo o seno de um de seus ângulos é igual à divisão do cateto oposto pela hipotenusa.

Portanto, sendo A o ângulo de maior elongação:

$$\text{sen } A = \frac{\text{raio da órbita de Vênus (ROV)}}{\text{unidade astronômica (UA)}}$$

Logo:

$$ROV = UA \text{ sen } A$$

Verifique agora quanto vale o seno, numa tabela de valores trigonométricos. Quantas unidades astronômicas tem o raio de Vênus?

Outra grande vantagem do sistema sugerido por Copérnico, foi tornar possível a determinação dos períodos verdadeiros dos planetas. Até Copérnico, não era possível determinar o tempo que um planeta leva para completar sua volta. Os tempos medidos eram aparentes. Imagine a seguinte situação: o ponteiro das horas de um relógio vê que o ponteiro maior passa por ele regularmente. Quanto tempo decorre entre cada encontro? Pare de ler e pense nisso. Como poderia o ponteiro das horas medir o tempo que o ponteiro dos minutos leva para fazer uma volta completa? Enquanto o ponteiro das horas "pensar" que é imóvel, ele "pensará" também que o outro, dos minutos, completa uma volta quando eles se encontram, o que não é verdade. Só quando o ponteiro das horas "admitir" que ele também gira é que ele poderá medir o período verdadeiro do outro. Antes, porém, ele terá que medir o próprio período.

Enquanto o Homem não sabia que ele (com a Terra) também dava voltas, só podia medir o período aparente (período sinódico) dos outros planetas. Quando admitiu-se que a Terra dava voltas, tornou-se possível determinar o período verdadeiro (período sideral) dos outros planetas depois, é claro, de determinar o período verdadeiro da Terra.

É interessante lembrar que em muitas coisas o sistema de Copérnico era semelhante ao de Ptolomeu. O sistema geocêntrico admitia que os planetas estavam presos a esferas transparentes. Também para Copérnico, os movimentos dos planetas deviam ser explicados usando circunferências ou esferas. Para explicar as pequenas irregularidades do movimento dos planetas, Copérnico admitia a necessidade de que o centro da órbita circular de Marte, por exemplo, não estava sobre o Sol. Além disso havia necessidade de admitir epiciclos, como Ptolomeu fizera.

Muitos anos se passaram até que o heliocentrismo fosse aceito e depois aperfeiçoado. Mesmo assim, se iniciara um processo em que não só a Terra, mas também o Homem era tirado do centro do Universo

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

RELAÇÃO ENTRE O PERÍODO (O TEMPO) APARENTE, PERÍODO VERDADEIRO E A UNIDADE DE TEMPO.

O raciocínio que vamos desenvolver foi feito pela primeira vez por Copérnico e lhe permitiu conhecer os períodos verdadeiros dos planetas (períodos siderais), medindo os tempos aparentes (períodos sinódicos), tendo como unidade ou termo de comparação o período de revolução da Terra, que é o ano. Este mesmo raciocínio se aplica a outras coisas, como o tempo que levam os ponteiros do relógio para se encontrarem.

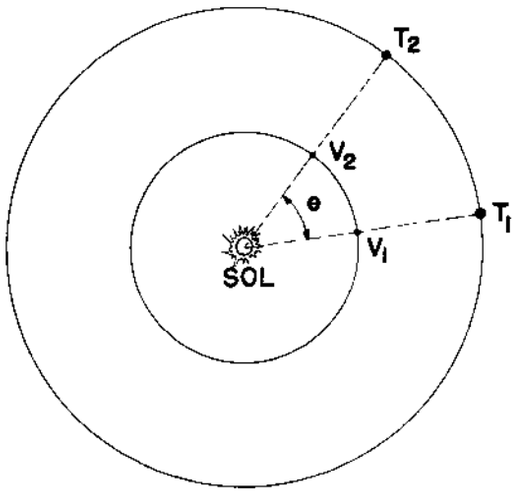


fig. 2.3

Suponha que vamos medir o tempo quando o planeta está passando entre a Terra e o Sol (no caso de Vênus ou Mercúrio). A Terra está na posição T_1 e Vênus na posição V_1. Acontece, que quando Vênus voltar à sua posição inicial (V_1), nós (na Terra) já não estaremos aí para assinalar o tempo verdadeiro da

volta. A Terra estará numa outra posição: T_2. O que medimos é, portanto, um período aparente (o tempo de uma volta em relação à Terra, que está se deslocando). O que nos interessa saber, no entanto, é o período verdadeiro, isto é, o tempo para uma volta contada a partir de um ponto fixo.

UM POUCO MAIS AINDA

Isso, que seria muito difícil fazer só com palavras, fica muito mais simples na linguagem precisa e sintética da matemática. Vamos ver a seguir o que os símbolos significam na linguagem matemática que vamos usar:

T - período de revolução da Terra: unidade de tempo (um ano).

T_{vV} - período verdadeiro (sideral) de Vênus.

T_{aV} - período aparente (sinódico) de Vênus.

t_V - tempo para Vênus descrever o arco V_1V_2 de sua órbita,ou o ângulo Θ .

t_T tempo para a Terra descrever o arco $T_1\ T_2$ de sua órbita ou o ângulo Θ .

Podemos dizer que no tempo em que Vênus completa uma volta e ainda percorre o arco $V_1\ V_2$, a Terra percorre o arco $T_1\ T_2$ ou $T_{vV} + t_V = t_T$ (1)

Lembre-se de que a Terra caminha muito mais devagar que Vênus. Se o movimento é circular uniforme, o tempo para o planeta percorrer um certo ângulo é proporcional ao ângulo, isto é,

$$\frac{t_V}{T_{vV}} = \frac{\Theta}{360^o}$$

e

$$\frac{t_T}{T} = \frac{\Theta}{360^o}$$

Dessas duas equações podemos tirar que:

$$\frac{t_V}{T_{vV}} = \frac{t_T}{T} \quad \text{ou} \quad t_V = \frac{t_{vV}\, t_T}{T} \qquad (2)$$

Substituindo a expressão (2) de t_V na equação (1) fica

$$T_{vV} + \frac{T_{vV}\, t_T}{T} = t_T \qquad (3)$$

Acontece que o tempo para a Terra fazer o ângulo θ (t_T), é igual ao período aparente de Vênus (T_{aV}) ou

$$t_T = T_{aV}$$

Então a equação (3) fica

$$T_{vV} + \frac{T_{vV}\, t_{aV}}{T} = T_{aV}$$

ou

$$T\, T_{vV} + T_{vV}\, T_{aV} = T_{aV}\, T$$

Dividindo essa equação por $T\, T_{vV}\, T_{aV}$ fica:

$$\frac{1}{T_{aV}} + \frac{1}{T} = \frac{1}{T_{vV}}$$

Essa equação exprime como estão relacionadas T_{aV}, T e T_{vV} . Isso também poderia ser escrito de outra forma :

$$\frac{1}{T_{vV}} = \frac{T + T_{aV}}{T_{aV}\, T} \quad \text{ou} \quad T_{vV} = \frac{T_{aV}\, T}{T_{aV} + T}$$

ou ainda: $$T_{vV} = \frac{T}{1 + T/\, T_{aV}}$$

Na atividade sobre o raio da órbita de Vênus, você mediu o período aparente de Vênus. Use aquele valor para calcular o período verdadeiro daquele planeta. Dessa maneira, torna-se possível então calcular os períodos verdadeiros também dos planetas exteriores, isto é, daqueles que têm órbita maior que a órbita terrestre. Todo raciocínio é exatamente o mesmo, com uma diferença : os perídos dos planetas exteriores (T_{vP}) são maiores do que o da Terra. Daí resulta

$$T_{vP} = \frac{T}{1 - T / T_{aP}}$$

Use a equação encontrada para medir o tempo que levam, por exemplo, os ponteiros do relógio para se encontrarem.

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.3 - UMA GRANDE DUPLA: BRAHE E KEPLER

Com a morte de Copérnico (1543) nasceu a grande polêmica entre o seu heliocentrismo e o geocentrismo de Ptolomeu. Este sistema, que tinha a Terra como centro do Universo, era consagrado pelos treze séculos de uso, e por estar incorporado às religiões. No ambiente dessa polêmica nasceu TYCHO BRAHE (1546), na Dinamarca.

Apesar de começar a estudar Direito, o interesse de Brahe foi atraído pela grande disputa da época: de Revolutionibus x Almagesto (o livro de Ptolomeu).

Dois acontecimentos importantes parecem ter também contribuído para que Brahe se aprofundasse na astronomia: o aparecimento de uma "nova" na constelação Cassiopéia e o aparecimento de um cometa, ambos vistos pelo astrônomo. Uma "nova" é uma estrela que explode e aumenta tremendamente de brilho. Era crença geral que o céu fosse absolutamente imutável. Um fato como esse era intrigante. Quanto aos cometas, pensava-se que fossem nuvens luminosas e próximas, como são geralmente as nuvens do céu. No entanto Brahe, pode verificar que o cometa estava muito mais distante que a Lua.

Depois de estudar tanto o sistema de Copérnico quanto o de Ptolomeu, Brahe achou que ambos se haviam baseado em medidas pouco precisas. Era necessário dispor de observações e medidas mais exatas. Para isso ele obteve de seu governo o lugar e os recursos para construir um centro de estudos e pesquisas em astronomia. Nesse lugar, uma ilha chamada Uraniborg, havia desde biblioteca até oficinas para feitura dos aparelhos. Aí foram projetados e montados aparelhos de tamanho e precisão de medidas como nunca se fizeram antes.

A maior contribuição desse grande astrônomo foi um registro sistemático e preciso das posições dos planetas, principalmente de Marte.

Quando Brahe, já astrônomo consagrado, mudou seu observatório para Praga, teve a colaboração de um jovem assistente. Esse jovem já se tornara conhecido pelo estudo das relações geométricas entre as órbitas dos planetas e os sólidos geométricos. Era **JOHANES KEPLER.**

Com a morte de Brahe, em 1601, Kepler herdou toda a grande coleção de dados sobre os movimentos dos planetas. Desde o início, Kepler procurou, nos dados colhidos, a confirmação para o modelo heliocêntrico. Foi muito importante para ele saber que as medidas de Brahe eram de grande precisão.

Até esse tempo, todas as explicações ou teorias sobre os movimentos dos corpos celestes deviam ser feitas com esferas ou circunferências. Foi Kepler quem quebrou o tabu das esferas ou circunferências. Esse feito exigiu muitos anos de trabalho, pois as elipses percorridas pelos planetas são pouco excêntricas, isto é, são quase circunferências. Felizmente para Kepler e para a ciência, Brahe colhera mais dados sobre Marte. Acontece que Marte é o planeta cuja órbita é a de maior excentricidade entre as que Kepler podia estudar. Se ele tivesse começado pelo estudo da órbita de Júpiter teria sido muito mais difícil ou talvez não tivesse conseguido. Às vezes na ciência, como na História, pequenos acidentes podem apressar ou retardar uma descoberta.

Aparecia então a primeira lei importante sobre o movimento dos planetas, a chamada lei das órbitas:

> "Todos os planetas descrevem trajetórias que são elipses ao redor do sol, ocupando este um dos focos da elipse".

O movimento dos planetas não é nem ao redor da Terra e nem uma circunferência. É uma elipse, e ao redor do Sol. E mais, o Sol também não está no centro, mas no foco da elipse.

A segunda lei é conhecida como **lei das áreas** e você entenderá melhor fazendo a próxima atividade. A lei das áreas tem o seguinte enunciado:

> "O segmento de reta que une o Sol a um planeta "varre" ou cobre áreas iguais em tempos iguais".

ATIVIDADE: ÓRBITAS E ÁREAS.

Tome uma folha de papel e sobre a mesma trace uma reta; sobre essa reta marque dois pontos A e B distanciados por exemplo, de 10 cm. Pegue um pedaço de barbante de comprimento maior que a distância entre os dois pontos (por exemplo 15 cm)e fixe as extremidades do barbante nos pontos A e B (para isso você pode usar alfinete , prego, etc). Colocando um lápis da maneira indicada na figura abaixo, trace uma curva fechada (mantenha o barbante sempre esticado, fazendo pressão com o lápis).

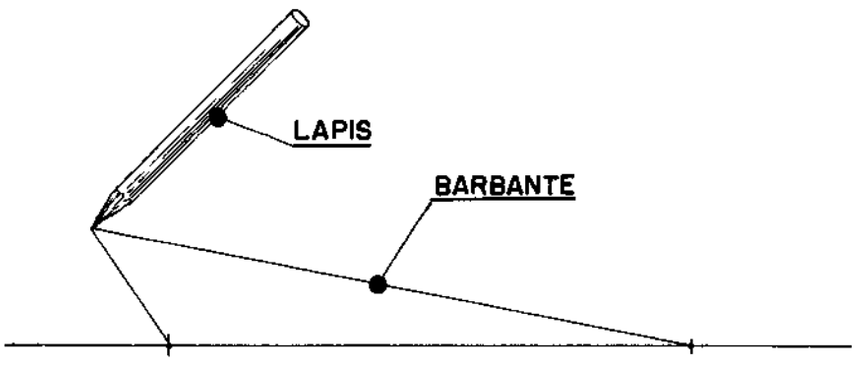


fig. 3.1

A figura que você obteve chama-se elipse. Os pontos A e B chamam-se focos da elipse. O segmento de reta OD chama-se semi-eixo maior da elipse (veja você que o segmento OC também é um semi-eixo maior). Pelo ponto médio do segmento AB, trace uma perpendicular. O segmento OE ou OF chama-se semi-eixo menor da elipse.

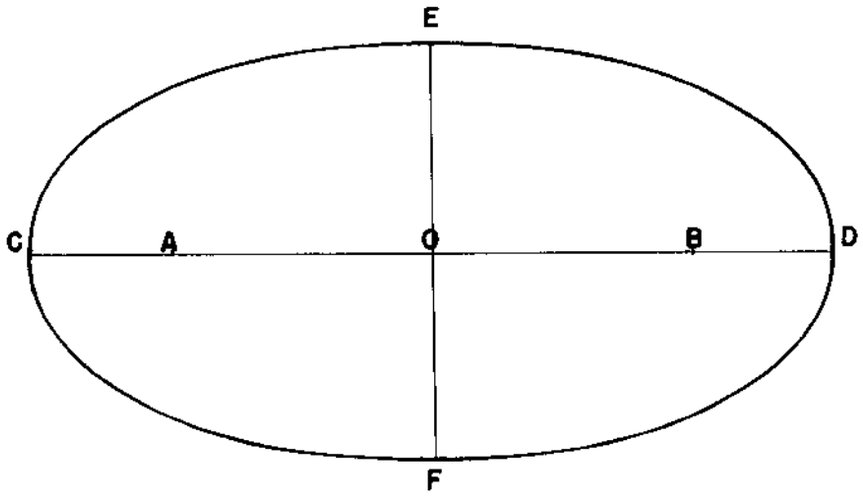


fig. 3.2

Você reparou que a elipse assemelha-se a uma circunferência "achatada"? Quanto mais achatada é a elipse, diz-se que ela tem maior excentricidade. Assim, a excentricidade de uma elipse conta-nos o quanto a mesma é achatada.

Da mesma maneira que você construiu a elipse na folha de papel, construa outra mas em tamanho maior, no chão sobre uma folha de papel. Marque dois pontos sobre a elipse. Consiga duas tabuinhas iguais. Pegue uma das extremidades de uma das tabuinhas e coloque sobre um dos focos fazendo com que as mesmas passem pelos pontos que você marcou sobre a elipse. Veja a figura abaixo.

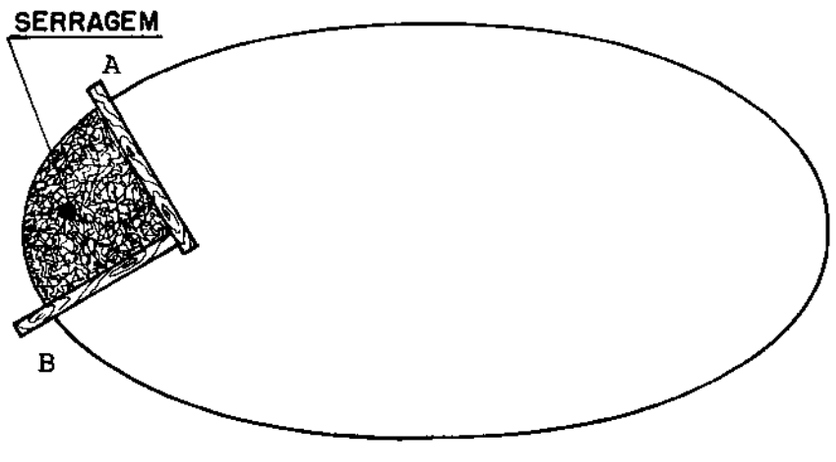


fig. 3.3

Preencha o espaço compreendido entre as duas tabuinhas e o arco AB com serragem. (OBS.: note que a camada de serragem deve ter altura igual à das tabuinhas. Para isso você pode usar uma terceira tabuinha com a qual você nivela a camada de serragem). Agora você deve escolher outro ponto da elipse , como por exemplo o ponto C, na figura a seguir. Coloque uma das tabuinhas de modo que a mesma passe pelo mesmo foco e o ponto C. Com a mesma quantidade de serragem usada anteriormente e a partir dessa tabuinha distribua a serragem uniformemente, de maneira a conseguir uma figura semelhante à figura 3.4.

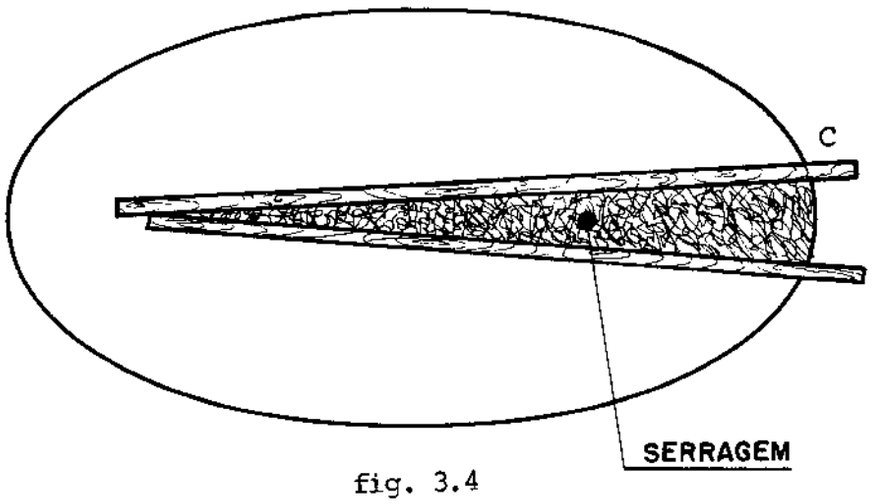


fig. 3.4

O que você pode dizer a respeito dos arcos obtidos nas duas figuras 3.3 e 3.4? (Repare que você usou a mesma quantidade de serragem em ambos os casos, ou seja, as duas áreas cobertas pela serragem são iguais).

Considerando o que você viu até agora e a lei das Áreas, de Kepler, o que você conclui a respeito das velocidades de um qualquer planeta em toda a sua trajetória?

A terceira lei de Kepler relaciona o tamanho ou raio da órbita com o tempo que o planeta leva para dar uma volta. Esse tempo chama-se período e geralmente é representado por **T.** No caso da Terra, T vale 365,25 dias. Copérnico já havia determinado os períodos e raios aproximados dos planetas então conhecidos.

Neste caso o trabalho de Kepler foi de ver como se combinam as distâncias (R) dos planetas ao Sol com o período (T) de cada um. Depois de muitas tentativas descobriu que era a seguinte a relação:

$$\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2} = \frac{R_3^3}{T_3^2} = \frac{R_4^3}{T_4^2} = \frac{R_5^3}{T_5^2} = \frac{R_6^3}{T_6^2} = \frac{R_7^3}{T_7^2} = K$$

Sendo K uma constante.

Isto significa que o tempo que o planeta leva para completar uma volta ao redor do Sol depende do raio da órbita. Para cada órbita existe um tempo. Uma mesma órbita não pode ser feita em tempo maior ou menor. Por exemplo, a Terra não poderia fazer a mesma órbita em menos de um ano. Para mudar o tempo é preciso também mudar de órbita. Pode-se também dizer que os planetas mais afastados levam mais tempo, não só porque as voltas são maiores, mas também porque suas velocidades são menores.

Kepler foi o primeiro a imaginar que os planetas giravam ao redor do Sol por causa de alguma força exercida por este. Ele chegou a pensar que esta força podia ser magnética. A terceira lei, a lei dos tempos, serviu de chave para que, meio século depois, Newton descobrisse que tipo de força existe entre o Sol e os planetas. Kepler e Brahe foram tipos de inteligência diferentes. Brahe se destacou pela precisão das medidas tomadas durante longo tempo. Ele era um exímio experimentador. Kepler conseguiu descobrir algo de comum no emaranhado de dados.

Ele era um teórico. Brahe e Kepler uniram seus tipos de índole inteiramente diferentes. O tipo de trabalho de cada um deles, embora diferente, é extremamente importante na ciência de um modo geral, e na Física em particular. A experimentação e o desenvolvimento teórico são as duas pernas com que caminha a ciência. Por isso podemos dizer que eles constituiram uma grande dupla.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

A LEI DAS ÁREAS

Esta lei descoberta por Kepler no movimento dos planetas não se aplica somente aos planetas. Ela é muito mais geral e se aplica tanto a corpos muito maiores que os planetas como a corpos muito menores ou de qualquer tamanho.

Os satélites dos planetas, a Lua, os satélites artificiais ou estrelas duplas também seguem essa Lei. Esses exemplos podem sugerir que isso só se verifica no campo da Astronomia.

Em muitos fatos da vida diária, está presente a **Lei das Áreas**.

Quando uma bailarina está rodopiando bem na ponta de um de seus pés e aumenta sua velocidade angular ou quando você enrola o chaveiro em seu dedo, está presente a Lei das Áreas. Também está na água que escoa ao sair da pia ou da banheira. À medida que a água se aproxima da saída, sua velocidade angular aumenta.

É interessante notar que não importa nem o tamanho nem a natureza ou tipo da força que está atuando sobre o corpo. O que determina a Lei das Áreas é ou a inexistência de forças ou a existência de uma única força e dirigida para um mesmo ponto. Uma força cuja direção aponta sempre para um mesmo ponto chama-se **FORÇA CENTRAL**.

Se você lançar uma bolinha de gude sobre uma superfície lisa e bem horizontal ela se deslocará com um movimento retilíneo e uniforme, seja qual for a velocidade de lançamento. Se você olhar a bolinha a cada certo intervalo de tempo (Δt), você verá que ela ocupa pontos sucessivos sobre uma mesma reta e separadas por distâncias iguais.

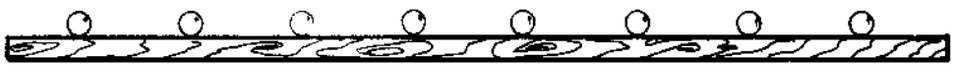


fig. 3.5

Você já sabia certamente que uma bola atirada em tais condições tem um movimento retilíneo e percorre espaços iguais em tempos iguais. Seria o mesmo que dizer que o móvel percorre espaços proporcionais ao tempo.

Una agora os sucessivos pontos ocupados pela bola com qualquer ponto situado fora dessa reta.

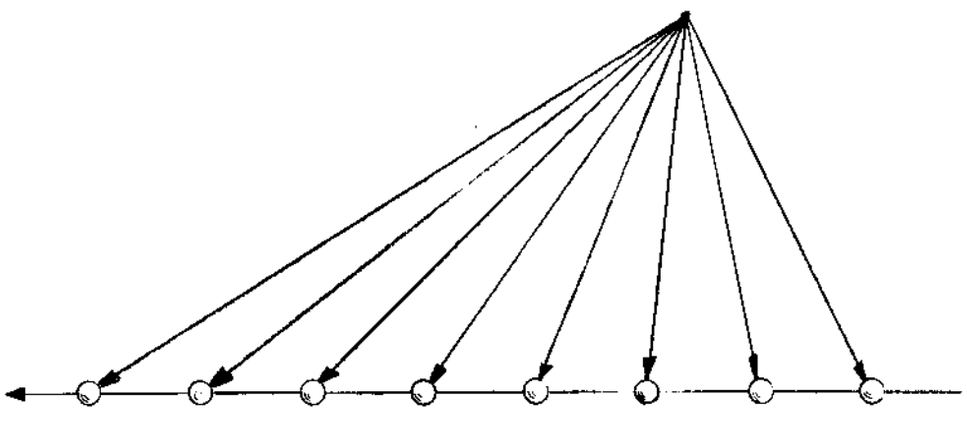


fig. 3.6

Como se comparam as áreas desses triângulos? Serão todas iguais? Você vai medi-las para saber se são todas iguais? Não prossiga sem antes tentar uma resposta sua. Basta saber que os segmentos percorri

dos nos espaços de tempos iguais são iguais. Todos os triângulos têm bases iguais e alturas (distância do ponto à reta que contém a base) iguais. As áreas são portanto iguais. Então:

A área "varrida" pelo segmento que une o móvel a um ponto qualquer é proporcional ao tempo.

Poder-se-ia dizer:

O segmento que une o móvel que se desloca com movimento retilíneo e uniforme "varre" áreas iguais em tempos iguais.

No caso da bolinha, não havia nenhuma força atuando, por isso seu movimento era retilíneo uniforme. E quando uma força atua?

Se a força é central, isto é, sempre dirigida para um mesmo ponto, vale a Lei das Áreas.

Não importa se a força é grande ou pequena, se é de atração ou de repulsão, ou, se é contínua ou intermitente.

Examine a figura a seguir. À medida que se encurta o cordão, aumenta a velocidade angular. Da mesma forma, se um corpo gira ao redor de um de seus eixos e por razões internas, ele se contrai ou se expande, sua velocidade angular se altera.

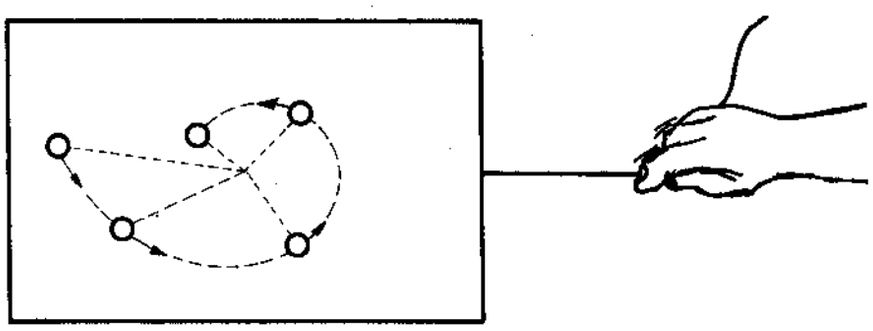


fig. 3.7

Se a bailarina recolher os braços ao longo de seu eixo, sua velocidade angular aumenta sem que ela precise de um novo impulso.

fig. 3.8

Se a Terra diminuir de volume, aumentaria sua velocidade de rotação. Se isso acontecesse os dias se tornariam mais curtos.

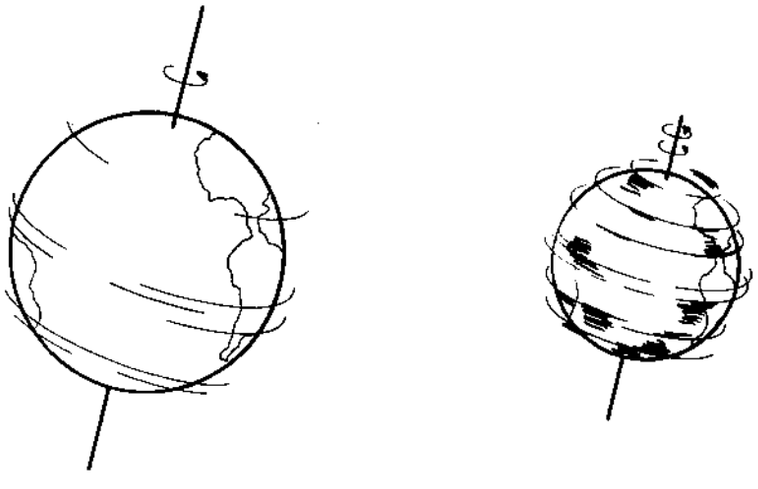


fig. 3.9

A Lei das Áreas que você acaba de ver exemplificada de diversas maneiras é a consequência de um dos grandes princípios da natureza: o **PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR**, ou simplesmente **MOMENTO ANGULAR**.

A 3a. LEI DE KEPLER

Também aqui essa lei foi enunciada para os planetas. No entanto, ela não vale só para os planetas. Vale também para os satélites de outros planetas, para os satélites artificiais e para os cometas.

A Relação R^3/T^2 vale para qualquer sistema em que haja planetas ou satélites. Isso não quer dizer que o valor R^3/T^2 seja o mesmo em todos os sistemas. A relação é constante para cada sistema. Em sistemas diferentes, o valor da constante é diferente. Essa lei só se verifica em sistemas em que a força diminui com o inverso do quadrado da distância.

Conhecendo-se a **LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL**, pode-se chegar a 3a. Lei de Kepler.

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.4 - A REVOLUÇÃO DE GALILEU

Apesar de muito importante, o trabalho de Kepler era conhecido apenas por uma pequena roda de amigos e intelectuais.

Nesse mesmo tempo viveu Galileu Galilei, o introdutor do método científico que viria revolucionar o mundo da Ciência. Galileu se destacou por muitas razões que são, resumidamente:

1. Introdução do método da experimentação como meio de estudar um fenômeno ou verificar uma hipótese.

2. Tratamento dos assuntos começando por conceitos objetivos como velocidade, aceleração, força. Até então, os fenômenos da natureza eram tratados de maneira filosófica como forma, essência etc., que haviam sido introduzidos por Aristóteles no século IV a.C.

3. As preleções ou discussões feitas por Galileu, eram assistidas por muita gente devido às suas grandes qualidades de comunicação.

4. Muitos dos assuntos por ele estudados e discutidos, eram por ele mesmo publicados e na língua de seu povo (italiano). Nessa época, todos os livros eram escritos na linguagem de uma elite, o latim. Além disso, a linguagem de Galileu era vibrante, e em estilo panfletário.

Em 1.600 Giordano Bruno fora queimado vivo por suas idéias a favor do heliocentrismo, consideradas heréticas.

Galileu era francamente favorável ao heliocentrismo mas, até então, não havia nenhuma prova da verdade dessas idéias, nem uma prova evidente de que o sistema geocêntrico estivesse errado. Tendo ouvido falar de um holandês (Lipershei) que havia construído um "aparelho que aproximava os objetos distantes", Galileu, por sua conta, estudou como deveria ser

e ele mesmo passou a construi-lo.

Essa primeira luneta foi logo apontada para o céu em busca de novos conhecimentos. Com ela foram feitas as descobertas que abalaram seu tempo: a Lua não era uma esfera geometricamente perfeita como se pensava. Lá existiam vales, montanhas e outros acidentes, como na Terra.

Júpiter tinha ao seu redor várias pequenas luas. Isso era uma grande prova, pois segundo o pensamento dominante, todos os objetos celestes deviam girar ao redor da Terra, centro do Universo.

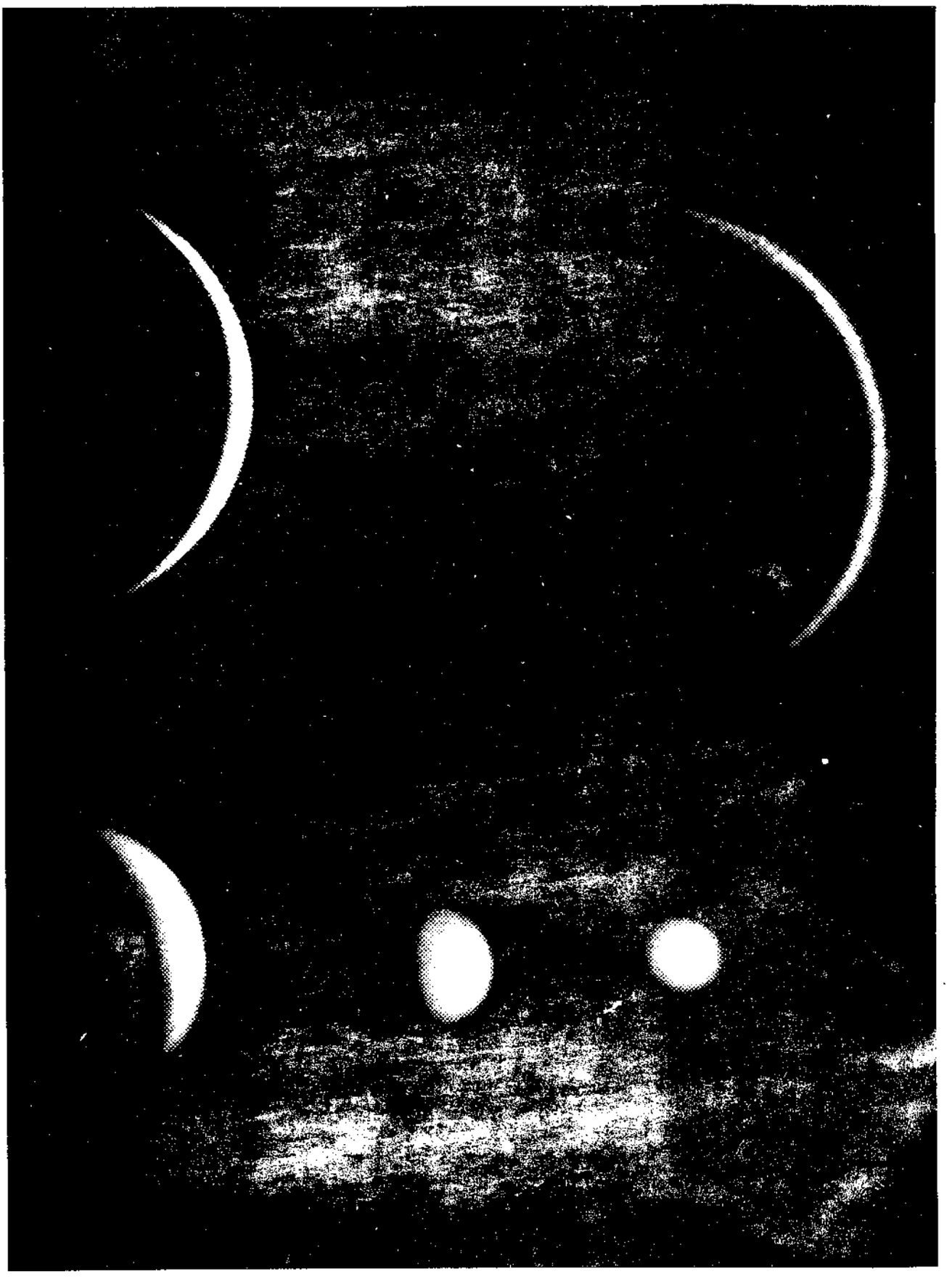
Achava-se que o Sol, como todas as coisas do céu deviam ser perfeitas e portanto sem manchas. Mas as manchas do Sol apareceram na luneta de Galileu.

E a mais importante descoberta dessa série - as fases de Vênus. Esse planeta, apresentava fases semelhantes às fases da Lua, e mais, seu tamanho, visto com a mesma luneta, apresentava variações que evidenciavam seu movimento ao redor do Sol, e não da Terra.

As várias observações feitas com a mesma luneta, portanto com o mesmo aumento, mostravam Vênus com diferente iluminação e diferentes tamanhos.

ATIVIDADE: AS FASES DE VÊNUS

Numa atividade anterior você verificou como, a partir da hipótese heliocêntrica de Copérnico, era possível determinar o raio da órbita de Vênus. Você deve ter encontrado um valor ao redor de 0,7 UA para o raio da órbita de Vênus. Isso no entanto era o resultado de uma hipótese, a hipótese de que aquele planeta gira ao redor do Sol, e não da Terra. Nada ha



2.4.3

via, no entanto, que provasse ser verdadeira essa hipótese. A olho desarmado, Vênus aparece como uma estrela ora mais, ora menos brilhante.

Admitindo-se que Vênus gira ao redor do Sol numa órbita quase circular, deve-se esperar que aquele planeta se apresente com fases e tamanhos diferentes.

Faça um esquema com os dados obtidos na atividade da seção 2 e responda às perguntas:

1. Por que Vênus não se apresenta mais brilhante quando está mais longe de nós ? (Terra)

2. Por que Vênus não se apresenta mais brilhante quando está mais perto de nós (Terra)?

3. Em que posição Vênus aparece menor?

4. Em que posição Vênus se apresenta maior?

5. Represente Vênus sobre sua órbita como um pequeno disco. Esse disco subtende um certo ângulo visto da Terra que é tanto maior quanto menor é a distância da Terra. Quantas vezes maior é o ângulo subtendido quando o planeta está mais próximo em relação ao ângulo subtendido quando o planeta está mais longe?

6. Confronte essa sua resposta com as diferentes imagens obtidas através de uma mesma luneta. Isso equivale a dizer, com o mesmo aumento.

7. A descoberta de Galileu (imagens de Vênus) confirma ou não a hipótese de Copérnico?

Para Galileu, parecia evidente que depois dessas provas, o heliocentrismo seria aceito como verdade científica. Isso entretanto não aconteceu. Ele foi chamado pela Inquisição e advertido para que não voltasse a pregar o "erro" e a "heresia". Em 1638 ele publicou os seus "Diálogos" com argumentos ainda mais claros em defesa das novas idéias. Pouco depois, para escapar às torturas, ele teve que, em público diante do tribunal da Inquisição, abjurar, isto é, "confessar" e reconhecer o "mal" que faziam suas idéias. Galileu teve que ler a "confissão" que lhe haviam preparado e assiná-la.

"Eu, Galileu Galilei, filho do falecido Vincenzio Galileu de Florença, com a idade de setenta anos, sendo trazido pessoalmente a julgamento, e ajoelhado diante de vós, Eminentíssimos e Reverendíssimos Lordes Cardeais, Inquisidores Gerais da Comunidade Cristã universal contra a depravação heética tendo diante de meus olhos o Sagrado Evangelho que toco com as minhas próprias mãos, juro que sempre acreditei, e, com a ajuda de Deus, acreditarei no futuro, em todo artigo que a Santa Igreja Católica Apostólica Romana mantém, ensina e prega. Mas por ter sido ordenado, por este Conselho, a abandonar completamente a falsa opinião que mantém que o Sol é o Centro e imóvel, e proibido de manter, defender ou ensinar a referida falsa doutrina de qualquer maneira ... Estou desejoso de remover das mentes de Vossas Eminências, e de todo Cristão Católico essa veemente suspeita acertadamente mantida a meu respeito, portanto, com sinceridade de coração e fé genuína, eu abjuro, maldigo e detesto os referidos erros e heresias, e, de modo geral todos os outros erros e seitas contrários à referida Santa Igreja; e juro que jamais no futuro direi ou asseverarei seja o que for, verbalmente ou por escrito, que possa motivar uma suspeita similar de mim; mas que se eu souber de algum herético, ou de alguém suspeito de heresia, denunciá-lo-ei a este Santo Conselho ou ao Inquisidor ou Ordinário do lugar em que eu esteja. Juro, mais ainda, e prometo que cumprirei e observarei plenamente todas as penitências que a mim tenham sido ou venham a ser impostas por este Santo Conselho. Mas caso aconteça que eu viole qualquer de

minhas promessas, juramentos e protestos citados (que Deus evite !), eu me sujeito a todas as dores e punições decretadas e promulgadas pelos sagrados cânones e outras constituições gerais e particulares contra delinquentes dessa descrição. Assim, que Deus me ajude, e Seu Sagrado Evangelho, que eu toco com as minhas próprias mãos: eu o acima citado Galileu Galilei, abjurei, jurei, prometi e me comprometo como acima; e, em testemunho do que, com a minha própria mão subscrevi o presente escrito de minha abjuração, que eu recitei palavra por palavra".

Já com 70 anos, Galileu, o homem que maior número de descobertas havia feito, foi confinado pelo resto de sua vida. Ao morrer, já cego, pelo grande número de observações do Sol, Galileu prestara o maior serviço ao desenvolvimento do conhecimento científico.

Aqueles que o prenderam e fizeram "confessar" conseguiram retardar, mas não impedir que as idéias se espalhassem e frutificassem. Galileu é um patrimônio da humanidade.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

OUTRO ASPECTO DA REVOLUÇÃO DE GALILEU

Outra grande contribuição de Galileu foi feita no estudo dos movimentos. Desde o tempo de Aristóteles se achava, sem discutir, que os corpos se moviam com uma velocidade que dependia da força que estivesse agindo sobre eles. Quer dizer : velocidades maiores exigiriam forças maiores. Como consequência disso se achava também que os corpos mais pesados deveriam cair mais depressa. O interessante é que durante tantos séculos se acreditou nisso e não se experimentou para verificar se realmen

te as coisas aconteciam assim.

Galileu foi o primeiro a experimentar. Você sabe qual foi o resultado?

ATIVIDADE: QUEDA DE DOIS CORPOS DE PESOS DIFERENTES

Deixe cair juntos, uma "pedrinha" e uma "pedrona". Qual delas chega ao chão primeiro?

Será que isso acontece para qualquer par de corpos? Faça algumas tentativas. Um pedaço de papel e uma pedrinha caem juntos? Responda e depois experimente para comprovar,ou não, suas respostas.

Você deve ter percebido que em corpos muito leves ou de baixa densidade, a influência do ar é bastante importante a ponto de fazê-los atrasar na queda. Por isso, alguns anos depois de Galileu, Newton imaginou um tubo de cujo interior o ar fosse retirado. Não havendo ar, podemos ver a pena e a pedrinha cairem juntos. Isso acontece também na Lua onde não existe atmosfera: uma pena e uma pedra caem exatamente da mesma maneira. Essa maneira (aceleração com que os corpos caem) caracteriza o campo gravitacional. Nos lugares em que os corpos caem mais depressa, isto é, com maior aceleração, dizemos que o campo gravitacional é mais intenso.

PRINCÍPIO DA INDEPENDÊNCIA DOS MOVIMENTOS

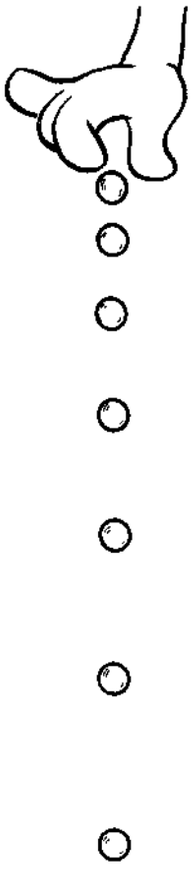


fig. 4.1

Outra contribuição de Galileu é a relativa à independência dos movimentos.

Em vez de explicar com palavras, você irá entender o que estamos querendo dizer através de um exemplo.

Você já sabe que quando se deixa cair um corpo qualquer, a partir do repouso, ele cai aumentando sua velocidade de maneira constante, isto é, ele cai com aceleração constante. Se fotografarmos o corpo durante sua queda e as fotografias forem separadas por tempos iguais, obtemos uma sucessão de posições como a da figura 4.1.

Agora a mesma bolinha (corpo)será lançada horizontalmente sobre uma tábua bem plana e lisa.

Como você acha que será seu movimento?

Experimente você mesmo.

fig. 4.2

O movimento da bolinha será retilíneo (em linha reta) e com velocidade constante. Neste caso, uma fotografia tirada com intervalos de tempos iguais mostrará a bolinha em pos

sições separadas por espaços iguais. A bolinha está percorrendo espaços iguais em tempos iguais; sua velocidade é,portanto, constante (sempre a mesma).

Agora você fará a bolinha realizar os dois movimentos simultaneamente. Isso será possível se você deixá-la cair depois de atirá-la sobre a mesa. Enquanto estiver sobre a mesa ela fará um movimento retilíneo e uniforme. Quando a mesa "acabar" ela vai "cair", entretanto conservará a velocidade que tinha sobre a mesa. (Fig. 4.4).

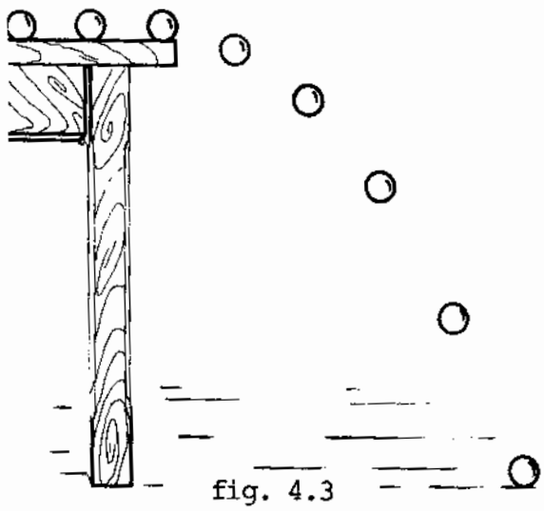


fig. 4.3

A bolinha seguirá cada um dos movimentos independentemente do outro. O movimento de queda vai ser igual ao da bolinha simplesmente deixada cair. O movimento horizontal da bolinha também vai se conservar como se não existisse queda.

O movimento da bolinha será feito segundo uma curva que se chama PARÁBOLA, mas isto não é o mais importante aqui.

O que interessa é que você perceba como são feitos os movimentos <u>independentemente</u>.

Nas figuras 4.4 e 4.5 mostramos duas fotografias estroboscópicas da bola, feitas durante a mesma queda da bolinha. A primeira fotografia foi feita <u>de cima</u>. A segunda foi tomada <u>de frente</u>.

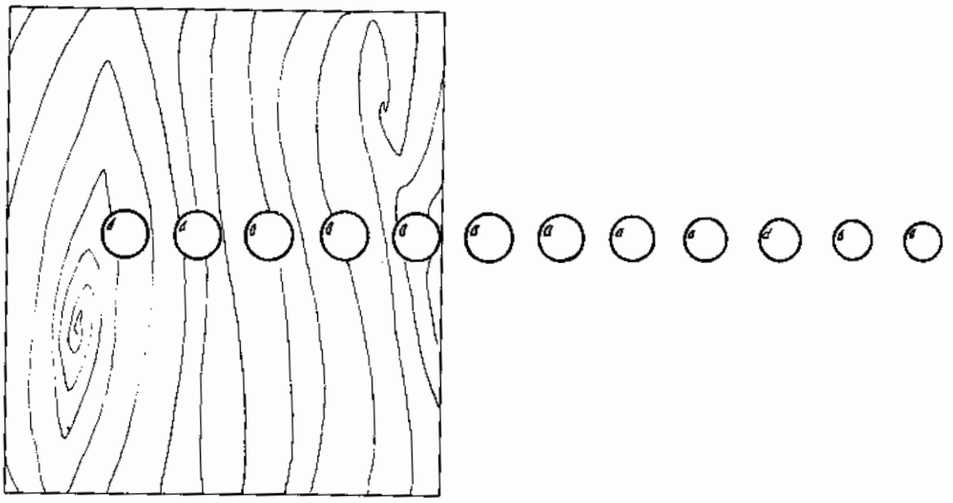


fig. 4.4

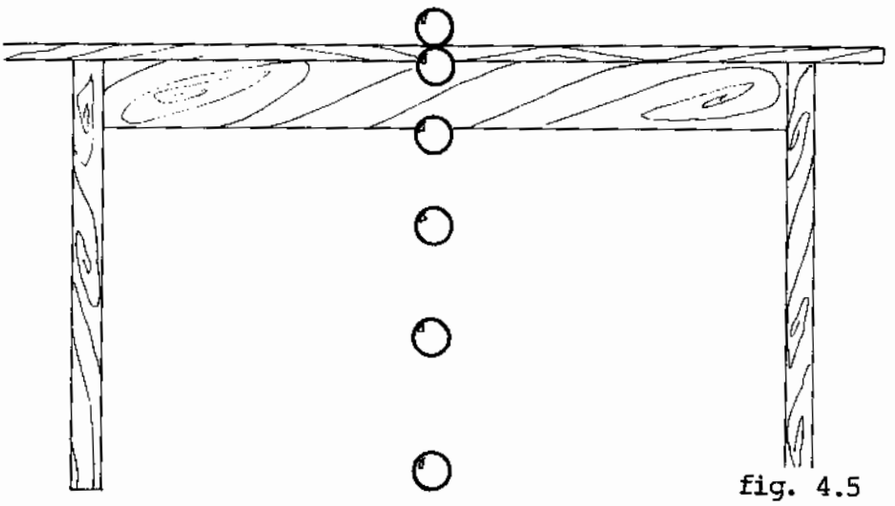


fig. 4.5

Examine cada um desses aspectos de um mesmo movimento de queda. O movimento de queda aqui é composto de dois movimentos: o movimento horizontal de velocidade constante e o movimento de queda livre. Você acha que, mesmo durante a queda, cada um desses movimentos se mantém como se o outro não existisse? São mesmo independentes?

Responda às perguntas seguintes:

1. Os espaços percorridos pela bolinha enquanto está em cima da mesa são iguais ou diferentes entre si?

2. Os espaços horizontais percorridos pela bola caindo são iguais entre si? São iguais ou diferentes dos percorridos sobre a mesa?

3. A componente horizontal do movimento foi modificada pela queda?

4. A componente vertical do movimento se manteve constante ou variou?

5. Essa componente vertical do movimento variou de maneira igual ou diferente da queda a partir do repouso (fig.4.2)?

6. Essa componente foi alterada pela existên cia da componente horizontal?

7. Você percebeu que cada uma das componentes se comportou como se a outra não existisse?

8. O tempo que a bolinha leva para cair da mesa ao chão é alterado se ela é lançada horizontalmente? Se ela é lançada com grande velocidade horizontal ela demora mais para chegar ao chão?

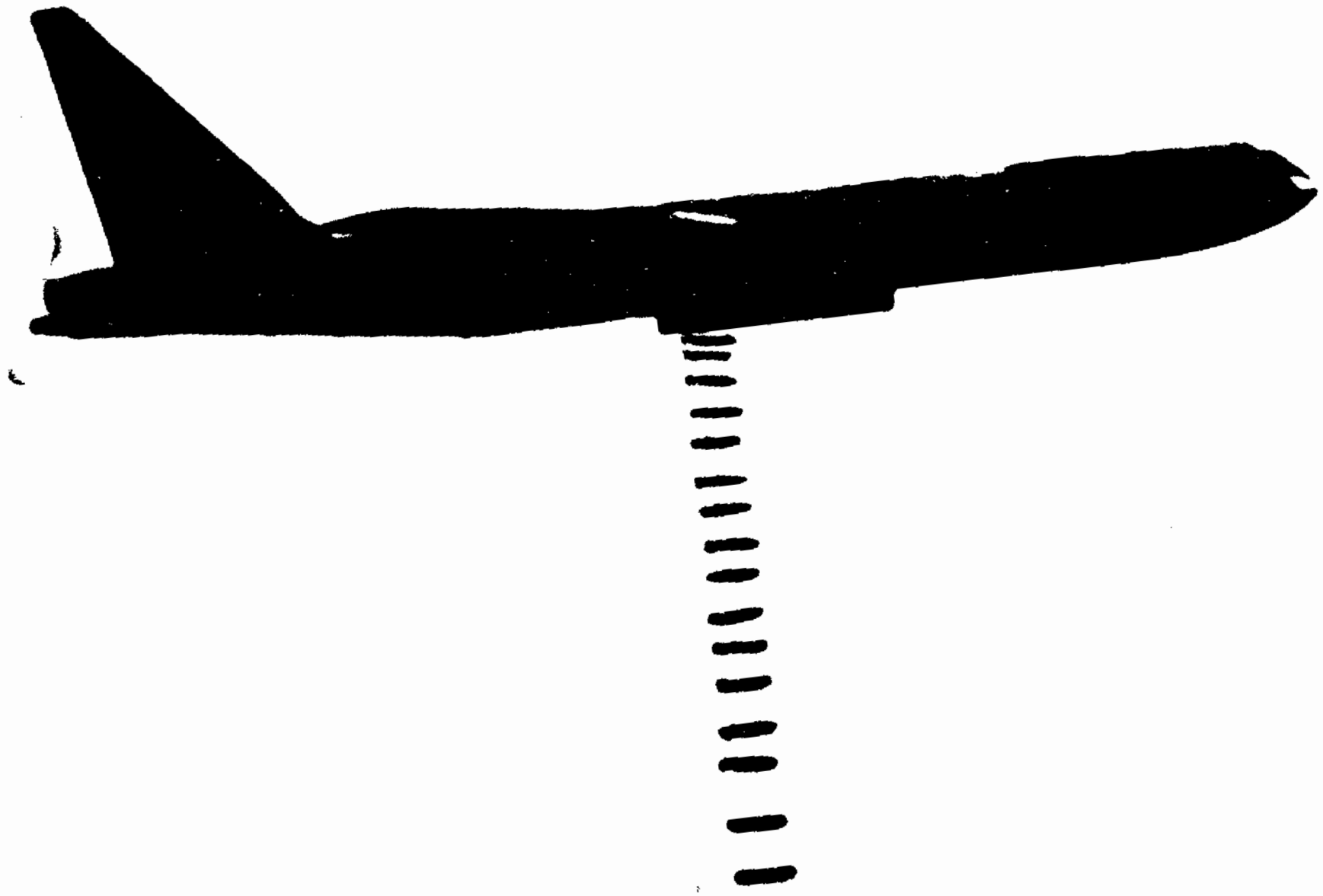
Se você percebeu o que é o princípio de independência dos movimentos e que foi descoberto por Galileu Galilei, você entenderá facilmente uma série de outras coisas sobre movimentos.

ATIVIDADE: COMPOSIÇAO DE MOVIMENTOS

Observe essa fotografia de uma missão de bombardeio. O instantâneo foi tomado por outro avião que se encontrava ao lado do bombardeiro. É importante saber que as bombas foram apenas deixadas cair. Elas não foram empurradas nem para frente, nem para trás, nem para baixo.

Responda então às perguntas, baseado no que você acaba de ler sobre independência dos movimentos.

1. O movimento das bombas é composto de que movimentos?
2. A componente horizontal da velocidade é constante ou está mudando?
3. E a componente vertical?
4. As bombas estão caindo verticalmente?
5. As bombas foram soltas ao mesmo tempo?
6. Por que estão elas alinhadas verticalmente?
7. Um observador em avião que voa paralelo, com a mesma direção e o mesmo sentido do bombardeiro vê as bombas caindo verticalmente?
8. Que trajetória cada bomba está fazendo?
9. As bombas vão cair em um mesmo lugar?



2.4.13

UM POUCO MAIS AINDA

VELOCIDADE ORBITAL

Você já sabe que a Terra e a Lua se atraem. Por que, então, a Lua não cai? Você pensou nisso?

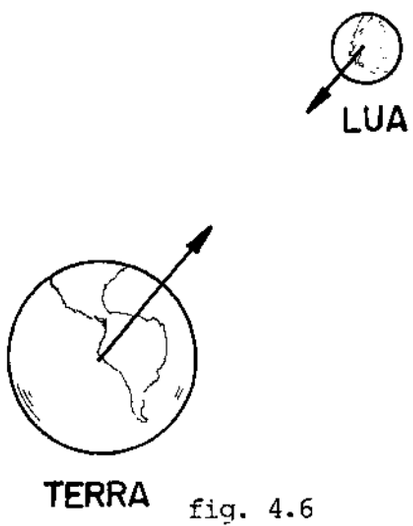


fig. 4.6

A verdade é que ela está caindo. Felizmente ela não "acerta" na Terra.

Este raciocínio foi feito pela primeira vez por Newton quando descobriu a lei da gravitação, depois de conhecer o princípio da independência dos movimentos que fora descrito por Galileu.

Com que velocidade deve você lançar uma pedra, horizontalmente para que ela não caia ? Ou melhor: para que ela caia mas não acerte a Terra e continue caindo sempre?

Você começaria tendo que medir quanto cai um objeto qualquer, a pedra, por exemplo, em um segundo. Sem dificuldade você acharia que em 1 segundo, um objeto cai 5 metros (4,9 m mais precisamente). Você sabe também que os movimentos, neste caso vertical e horizontal, se fazem de maneira independente e simultânea.

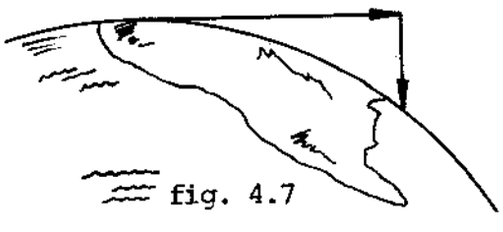


fig. 4.7

Precisamos então saber com que velocidade devemos largar a pedra horizontalmente. Esse movimento combinado com o movimento de queda deverá produzir um movimento circular paralelo e próximo à superfície

da Terra.

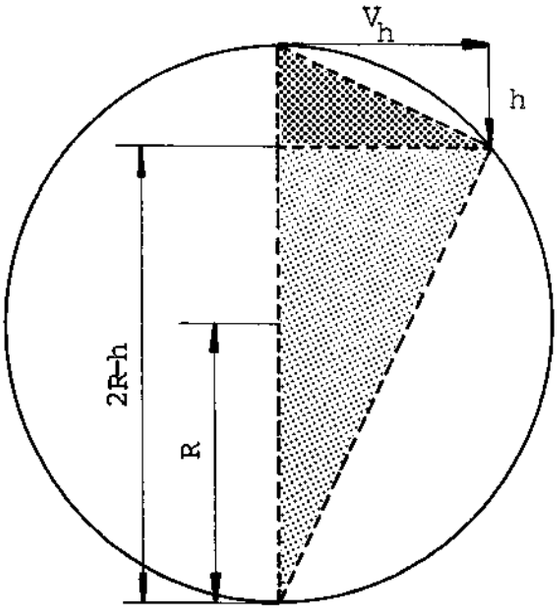


fig. 4.8

Esse trabalho será mais fácil se considerarmos a fig. 4.9 em que está representada a Terra cortada ao longo de um meridiano.

Vamos então calcular o valor da distância que a pedra deve percorrer em um segundo (V_h).

Os dois triângulos achureados são semelhantes (dois ângulos iguais).

Então podemos escrever a proporção

$$\frac{V_h}{h} = \frac{2\,R - h}{V_h}$$

Como h (5 m) é muito pequeno, comparado com 2 R (12.800 km) $2\,R - h \simeq 2\,R$. Então:

$$\frac{V_h}{h} = \frac{2R}{V_h} \quad \text{ou} \quad V_h^2 = 2\,Rh$$

$$V_h = \sqrt{2\,Rh}$$

$$V_h = \sqrt{64 \times 10^6}$$

$$V_h = 8 \times 10^3 m$$

A pedra, enquanto cai 5 m (1 segundo) deverá também se deslocar de 8.000 metros. Logo ela deverá ser lançada com a velocidade de 8.000 m/seg.

A pedra lançada com essa velocidade cairá sempre ao redor da Terra, sem, no entanto, acertá-la. Isso significa que a pedra entrou em órbita ao redor da Terra. Já o próprio Newton sabia disso, o que ele não tinha é meios para lançar qualquer objeto com essa velocidade. Isso só foi possível com os poderosos foguetes produzidos desde o SPUTNIK I.

Se um corpo for lançado horizontalmente com velocidade maior que 8.000 m/seg., ele entrará também em órbita; uma órbita que se afastará mais da Terra. Por essa razão, a velocidade de 8.000 m/seg. chama-se primeira velocidade astronáutica.

Que acha você da velocidade horizontal da Lua? Deve ser igual, maior ou menor que a primeira velocidade astronáutica?

fig. 4.9

CAPÍTULO 2 - ASSIM NO CÉU COMO NA TERRA

2.5 - AÍ APARECEU NEWTON

No mesmo ano em que morreu Galileu (1642), apareceu Newton. Este desde sua adolescência viveu em um mundo bem diferente do mundo encontrado por Galileu. Além dos grandes nomes que o haviam precedido, havia grandes debates na recém-fundada Real Sociedade de Londres. Newton, como Galileu, fez enormes contribuições em muitos e diferentes ramos do conhecimento.

No tempo de Newton, o heliocentrismo, apesar de aceito apenas por uma pequena minoria, já tinha a seu favor as provas obtidas por Galileu. Faltava, no entanto, explicar o mecanismo do sistema solar.

Newton já havia absorvido os ensinamentos de Galileu e através deles formulou suas leis sobre os movimentos. A mais importante dessas leis é a que relaciona a aceleração que um corpo adquire quando sobre ele atua uma força. Essa lei diz que a aceleração (a) é proporcional à força (f) que atua sobre o corpo e é expressa assim:

$$\boxed{f = m\,a}$$

onde a massa (m) é a constante de proporcionalidade.

A primeira lei, conhecida como LEI DA INÉRCIA, diz que um corpo não altera o seu estado de repouso ou de movimento se nenhuma força atua sobre ele. Isso já havia sido experimentado por Galileu. Para que um corpo faça uma curva é preciso que uma força o "obrigue". Se não houver força atuando, qualquer corpo segue em movimento retilíneo e uniforme.

Os planetas descrevem curvas. Então deve existir

uma força atuando sobre eles. Que força seria essa e como ela depende da distância?

Newton admitiu que a força que atrai os planetas para o Sol fosse devida à gravidade. Ou o que é o mesmo: a força que atrai os planetas (que mantém também a Lua em órbita ao redor da Terra) é semelhante à força que faz os corpos caírem sobre a Terra.

Newton sabia que dois corpos, um leve e um pesado, são atraídos pela Terra de maneira diferente. Mais pesado quer dizer exatamente isso: ser mais atraído ou atraído com mais força.

Newton sabia também que dois corpos, mesmo de pesos muito diferentes, caem com a mesma aceleração. (Solte de uma altura duas pedras de pesos bem diferentes e observe).

Se a força que mantém os planetas em órbita ao redor do Sol é do mesmo tipo de força de "queda", então os planetas devem "cair" ao redor do Sol. Da mesma forma que os corpos que caem, as acelerações dos planetas não devem depender de suas massas ou de seus "pesos" em relação ao Sol. Uma idéia, então seria comparar as acelerações com que os planetas "caem" ao redor do Sol.

Para isso bastaria aplicar a fórmula que dá a aceleração de um corpo que descreve movimento circular uniforme, isto é, que anda sobre uma circunferência e com velocidade constante.

Os planetas descrevem elipses e não circunferências. Ao tempo de Newton já se sabia que as elipses descritas pelos planetas são pouco excêntricas, isto é, quase circunferências. Então era possível aplicar aos planetas a fórmula que dá a aceleração centrípeta de um movimento circular uniforme.

ATIVIDADE: ACELERAÇÃO DOS PLANETAS AO REDOR DO SOL.

Já vimos que a maneira com que os corpos caem próximo à superfície da Terra pode caracterizar o campo gravitacional da Terra próximo à superfície. Essa maneira com que os corpos caem, independentemente de seu peso (desde que possamos negligenciar o atrito com o ar) é o que chamamos de **aceleração da gravidade**. Essa maneira ou aceleração é a taxa com que a velocidade se altera em relação ao tempo.

No caso de um movimento circular uniforme essa taxa de variação ou aceleração é dada pela expressão

$$\boxed{a = \frac{4\,\Pi^2\,R}{T^2}}$$

em que

R é o raio de órbita e T o tempo gasto para completar uma volta (período).

Nas tabelas a seguir estão alguns dados sobre os planetas.

Usando a tabela III, você irá fazer um gráfico colocando o valor da aceleração no eixo vertical e o valor da distância no eixo horizontal. Escolha as escalas de tal modo que o gráfico contenha as acelerações e distâncias dos quatro primeiros planetas em ordem de afastamento do Sol.

Na tabela, deixamos em branco, propositalmente, o valor da aceleração da Terra ao redor do Sol.

Primeiro você colocará no gráfico os valores fornecidos pela Tabela. Feito isso, você vai interpolar o valor da aceleração que a Terra tem, entrando no gráfico com o valor da distância. Você obterá assim o valor da aceleração da Terra

ao redor do Sol por interpolação.

Depois disso você fará os cálculos e irá confrontar o resultado calculado com o que você obteve por interpolação. O valor calculado colocado no gráfico vai tornar mais completo e preciso o gráfico. Para os planetas além de Marte será preciso usar outra escala.

Feito o gráfico responda às perguntas:

1. Você esperava que o tamanho ou massa do planeta influisse sobre a aceleração com que o planeta está "caindo" ao redor do Sol?
2. Seu gráfico confirma ou não o que você esperava?
3. Todos os planetas têm a mesma aceleração?
4. A variação da aceleração com a distância parece acidental ou mostra um comportamento regular?
5. A aceleração aumenta ou diminui quando a distância aumenta?
6. De que maneira se comporta a aceleração com a distância? (É proporcional à distância? É inversamente proporcional à distância? É inversamente proporcional ao quadrado da distância?)
7. Se você acha que a aceleração é inversamente proporcional ao quadrado da distância, será fácil comprovar. Faça um gráfico da aceleração no eixo vertical e coloque no eixo horizontal $1/R^2$.

Já fêz? Deu uma reta? Então a aceleração é mesmo proporcional ao inverso do quadrado da distância.

Você se lembra que a aceleração de um corpo pode caracterizar o campo gravitacional?

A essa altura, Newton já havia descoberto a sua principal lei sobre os movimentos dos corpos

$$f = m\,a$$

Sabendo-se que a aceleração é proporcional à força que atua sobre o corpo, ficamos sabendo que a força também é proporcional ao inverso do quadrado da distância.

Depois de descobrir que a força que o Sol exerce sobre um planeta é inversamente proporcional ao quadrado da distância, Newton estendeu esse raciocínio e a sua lei da gravitação se tornou universal: ela existe entre qualquer par de corpos, não só para o Sol e os planetas.

TABELA I

	PERÍODO DE REVOLUÇÃO (T)		
	SIDERAL		SINÓDICA
	(Anos)	(segundos)	(dias)
MERCÚRIO	0,39	59×10^6	0,24
VÊNUS	0,72	108×10^6	0,62
TERRA	1,00	150×10^6	1,00
MARTE	1,52	228×10^6	1,88
JÚPITER	5,20	775×10^6	11,86
SATURNO	9,54	1428×10^6	29,46
URANO	19,19	2872×10^6	84,00
NETUNO	30,00	4501×10^6	164,88
PLUTÃO	39,46	5906×10^6	247,70

TABELA II

	Inclinação da órbita (graus)	Inclinação do eixo (graus)	período de rotação	número de satélites	velocidade orbital média (km/s.)	excentricidade da órbita
MERCÚRIO	7,0	-	88 dias	0	47,9	0,206
VÊNUS	3,4	-	?	0	35,1	0,007
TERRA	0,0	23 1/2	23^h56^m	1	29,8	0,017
MARTE	1,9	25	24^h37^m	2	24,1	0,093
JÚPITER	1,3	3	$9^h50^m56^s$	12	13,1	0,048
SATURNO	2,5	27	$10^h14^m38^s$	9	9,7	0,056
URANO	0,8	98	10^h45^m	5	6,8	0,047
NETUNO	1,8	29	15^h48^m	2	5,4	0,009
PLUTÃO	17,1	?	?	0	4,7	0,249

TABELA III

	DISTÂNCIA MÉDIA AO SOL (R)		$\frac{1}{R}$	R^2	$\frac{1}{R^2}$	$\frac{4\,\Pi^2 R}{T^2}$
	(UA)	(KM)	(1/UA)	(UA^2)	(1/UA)	(m/s^2)
MERCÚRIO	0,39	$58x10^6$	2,500	0,15	6,25	$3,95x\ 10^{-2}$
VÊNUS	0,72	$108x10^6$	1,400	0,52	1,92	$1,13x10^{-2}$
TERRA	1,00	$150x10^6$	1,000	1,00	1,00	
MARTE	1,52	$228x10^6$	0,660	2,28	0,44	$2,55x10^{-3}$
JÚPITER	5,20	$775x10^6$	0,190	27,00	0,037	$2,18x10^{-4}$
SATURNO	9,54	$1428x10^6$	0,100	91,00	0,0109	$0,67x10^{-4}$
URANO	19,19	$2872x10^6$	0,050	358,00	0,0028	$1,59x10^{-5}$
NETUNO	30,00	$4501x10^6$	0,033	900,00	0,0011	$6,56x10^{-6}$
PLUTÃO	39,46	$5906x10^6$	0,025	1540,00	0,00065	3,80x[illegible]

Agora você já sabe o que Newton descobriu: as acelerações dos planetas ao redor do Sol decrescem à medida que as distâncias se tornam maiores. Mais ainda: agora sabemos (pela ATIVIDADE) que a aceleração decresce de maneira proporcional ao inverso do quadrado da distância e portanto a força que o Sol exerce sobre um corpo é também proporcional ao inverso do quadrado da distância. Essa lei é expressa em forma de uma linguagem matemática na fórmula:

$$\boxed{f = G \frac{M_s M_p}{R^2}} \qquad (1)$$

onde:

f = força de atração entre o Sol e o planeta

G = constante da atração gravitacional (não confundir com g, aceleração da gravidade)

M_s = massa do Sol

M_p = massa do planeta

R = distância do Sol ao planeta

Essa lei da gravitação universal foi deduzida por Newton usando como "chave" a 3a. lei ou Lei dos Tempos de Kepler (em "SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS").

Segundo essa lei, a aceleração da Lua ao redor da Terra deveria ser $(60)^2$ vezes menor do que a aceleração de um corpo que cai na superfície da Terra. Isso porque a Lua está a uma distância 60 vezes maior do centro da Terra, que um objeto situado na superfície desta. A distância média da Lua é de 60 raios terrestres. Calculando a aceleração pela expressão:

$$\boxed{a = \frac{4 \pi^2 R}{T^2}} \qquad \text{em que}$$

R é o raio da órbita lunar e T o tempo (período) que a Lua

leva para fazer a volta ao redor da Terra, o valor é de $2,7 \times 10^{-3}$ m/seg^2 o que é 9,8 m/seg^2 : (60)^2.

A Lei valia, então também para a Terra e a Lua.

Newton mostrou ainda que as leis de Kepler podiam ser deduzidas de sua equação para a gravitação.

Muitos outros fatos foram explicados a partir dessa lei física, como o movimento dos cometas e as marés. Muitas outras previsões feitas pela gravitação se confirmaram.

Aproximadamente um século mais tarde, Cavendish usando uma balança de torção mostrou e mediu as forças entre dois pequenos objetos. Todos os corpos se atraem, só que, para os corpos de pequena massa, essa atração é muito pequena.

Também as previsões de que a aceleração da gravidade dependeria da latitude se confirmaram.

Todos os lançamentos de engenhos ou viagens espaciais se fazem rigorosamente dentro das previsões e controle da lei da gravitação.

A revolução científica iniciada por Galileu foi definitivamente consagrada pelo trabalho e pelo êxito retumbante de Newton.

As consequências dessas descobertas mudaram toda maneira de pensar e de trabalhar em ciência.

Daí por diante, os homens puderam entender que os corpos celestes são semelhantes aos terrestres e que as leis físicas são as mesmas em todo o universo. Os homens chegaram a entender que o comportamento da natureza é mesmo "assim no Céu como na Terra".

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS.

Determinação da constante G da gravitação universal.

Um dos problemas com que Newton se defrontou foi o da determinação do valor da constante G da sua equação da gra

vitação universal.

$$f = \frac{G\, m_1 m_2}{R^2}$$

Para se determinar o valor da constante G é preciso medir a força (f) entre os dois corpos de massas conhecidas (m_1 e m_2).

$$G = \frac{f\, d^2}{m_1 m_2}$$

Acontece que essa lei foi descoberta a partir da observação de corpos celestes. Para pequenos corpos, isto é, para corpos cujas massas podem ser medidas por meio de balanças, essa força é tão pequena que nós nunca percebemos. Mesmo com aparelhos é difícil medir forças desse tamanho. Ao tempo de Newton não havia possibilidade de medir essas pequeníssimas forças.

A lei da gravitação fora deduzida por Newton pela observação dos movimentos dos corpos do Sistema Solar. Somente quando, pelo menos um dos corpos tem massa de proporções astronômicas é que a força de atração pode ser percebida sem aparelhos. O que Newton fêz foi utilizar a força de atração entre um corpo, como uma maçã e a Terra. Ora, essa força que sabemos entre a Terra e a maçã, é o peso da maçã. O peso é uma força que sabemos medir facilmente utilizando um dinamômetro ou uma balança.

A distância entre a maçã e a Terra é a distância do centro da maçã e o centro da Terra. Essa distância é o raio da Terra, que também é conhecido (6.400 km ou $6{,}4 \times 10^6$ m) e que você sabe como se determina. Havia, no entanto, um sério problema: determinar a massa da Terra.

Newton sabia que a densidade (D) de um corpo é a relação entre sua massa (m) e o seu volume (V).

$$D = \frac{M}{V}$$

Daí sabe-se que a massa de um corpo pode ser calculada se se conhece seu volume (V) e sua densidade (D).

$$M = V\ D$$

No caso da Terra, o volume é determinado facilmente, pois a Terra é uma esfera cujo raio se conhece. O volume de uma esfera é:

$$V = 4/3\ \Pi\ R^3$$

Restava então o problema de conhecer a densidade da Terra.

Ao tempo de Newton já se sabia que a densidade da crostra terrestre está próxima de três vezes a densidade da água (1 kg/litro ou 10^3 kg/m^3).

Então a densidade da crostra é 3×10^3 km/m^3. Sabia-se também que a parte central da Terra deve ser constituída principalmente por ferro em estado de fusão que tem densidade 7×10^3 kg/m^3. O que Newton fêz foi avaliar ("chutar") um valor médio entre 3×10^3 e 7×10^3 kg/m^3, isto é, 5×10^3 kg/m^3. Hoje sabemos que esse valor é $5{,}5 \times 10^3$ kg/m^3. Newton errou por pouco.

Com todos esses dados, era então possível calcular o G.

$$G = \frac{f\ R^2}{m_1\ m_2} =$$

$$= \frac{(\text{ peso da maçã })\ \times\ (\text{ raio da Terra })^2}{(\text{ massa da maçã })\ \{\ 4/3\ \ \Pi\ (\text{raio da Terra})^3 \times \text{Densidade}\ \}}$$

Assim Newton conseguiu o primeiro valor aproximado de G.

$$G = 6{,}7 \times 10\ m^3/kg\ seg^2$$

Tendo agora o valor de G, você calculará qual a força com que se atraem dois corpos quaisquer. Calcule, por exemplo, qual a força de atração entre dois corpos de 1 kg cada um e separados por uma distância de 1 m.(Faça as contas agora.)

Você percebeu por que Newton não podia ter medido forças desse tamanho?

O valor de G foi a primeira constante importante a ser determinada pela FÍSICA. É interessante notar que apesar disso, hoje, essa é a constante conhecida com menor precisão entre as importantes constantes físicas.

UM POUCO MAIS AINDA

Como pode ser determinada a massa do Sol e de outros corpos celestes, entre os quais a Terra?

Um dos grandes êxitos de Newton foi o de mostrar que as leis de Kepler podiam ser deduzidas a partir de sua equação da gravitação Universal e de suas leis sobre o movimento dos corpos.

Você está lembrado que a 3a. Lei de Kepler diz que é constante a relação R^3/T^2 sendo R o raio médio da órbita do planeta e T o tempo gasto para completar uma volta.

Considerando que as elipses descritas pelos planetas são quase circunferências, podemos aplicar a expressão que

dá a aceleração de um corpo que descreve um movimento circular.

$$\boxed{a = \frac{4\,\Pi^2\,R}{T^2}}$$

Sabemos também da 2a. Lei de Newton

$$\boxed{f = m\ a}$$

Se um planeta está orbitando ao redor do Sol, sabemos que sobre ele está atuando uma força centrípeta (f_c).

$$\boxed{f_c = M_p\ a}$$

onde M_p é a massa do planeta e a a aceleração do mesmo.

Mas,

$$a = \frac{4\,\Pi^2\,R}{T^2}$$

Então:

$$f_c = M_p \frac{4\,\Pi^2\,R}{T^2}$$

Acontece que essa força centrípeta é a própria força de atração gravitacional f_g.

$$f_g = \frac{G\,M_s\,M_p}{R^2}$$ (veja a igualdade (1) no texto)

Então podemos dizer:

$$\boxed{f_{\text{centrípeta}} = f_{\text{gravitacional}}}$$

ou

$$\frac{M_p \, 4 \, \Pi^2 \, R}{T^2} = \frac{G \, M_s \, M_p}{R^2}$$

ou

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{G \, M_s}{4\Pi^2}$$

Sabemos que tanto G como M_s e $4 \, \Pi^2$ são constantes, logo,

$$\frac{G \, M_s}{4 \, \Pi^2} = \text{constante}$$

Então $\boxed{R^3/T^2 = \text{constante}}$ (3a. Lei de Kepler)

Outra grande conquista da gravitação de Newton foi oferecer um meio de se calcular a massa de corpos que tenham satélites. É o caso do Sol, da Terra, de muitos planetas, etc.

Vejamos:

Sabemos que a relação R^3 / T^2 é constante para um sistema. Em qualquer sistema ela é constante. Isso não quer dizer que o valor da constante seja o mesmo em diferentes sistemas.

Newton já havia admitido que o valor da constante deveria estar ligado à massa do corpo central, ao redor do qual os outros giram. A 3a. lei mostra também que o valor da constante nada tem a ver com o tamanho do corpo que faz a órbita ao redor do outro. Isso quer dizer que o valor R^3/T^2 é o mesmo, tanto para o pequenino Mercúrio como para o gigantesco Júpiter.

Vejamos então como podemos medir a massa do Sol em relação à massa da Terra. Vamos comparar a força com que o Sol atrai a Terra (F_{st}) com a força com que a Terra atrai a Lua ($F_{t\ell}$).

$$F_{st} = \frac{G\,M_s\,M_t}{R_t^2} = \frac{4\,\Pi^2\,R_t\,M_t}{T_t^2}$$

onde:

M_t é a massa da Terra

R_t é a distância da Terra ao Sol

T_t é o período de revolução da Terra em torno do Sol

$$F_{t\ell} = \frac{G\,M_t\,M_\ell}{R_\ell^2} = \frac{4\,\Pi^2\,R_\ell\,M_\ell}{T_\ell^2}$$

onde

M_ℓ é a massa da Lua

R_ℓ é a distância da Lua à Terra

T_ℓ é o período de revolução da Lua em torno da Terra.

$$\left.\begin{aligned} \frac{G\,M_s\,M_t}{R_t^2} &= \frac{4\,\Pi^2\,R_t\,M_t}{T_t^2} \\ \frac{G\,M_t\,M_\ell}{R_\ell^2} &= \frac{4\,\Pi^2\,R_\ell\,M_\ell}{T_\ell^2} \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} G\,M_s &= \frac{4\,\Pi^2\,R_t^3}{T_t^2} \qquad (1) \\ G\,M_t &= \frac{4\,\Pi^2\,R_\ell^3}{T_\ell^2} \qquad (2) \end{aligned}$$

Dividindo membro a membro, as expressões (1) e (2)

$$\frac{G\,M_s}{G\,M_t} = \frac{\dfrac{4\,\Pi^2 R_t^3}{T^2}}{\dfrac{4\,\Pi^2 R_\ell^3}{T_\ell^2}}$$

ou

$$\frac{M_s}{M_t} = \frac{R_t^3 \cdot T_\ell^2}{T_t^2 \quad R_\ell^3}$$

mas

$$\frac{R_\ell^3}{T_\ell^2} = K_t \qquad \frac{R_t}{T_t^2} = K_s$$

onde K_t e K_s são constantes

Então:

$$\frac{M_s}{M_t} = \frac{K_s}{K_t} \quad \text{ou} \quad M_s = M_t \frac{K_s}{K_t}$$

Então a massa do Sol será a massa da Terra multiplicada pela relação entre a constante do Sol (K_s) e a constante da Terra (K_t). O K_s é medido simplesmente pela relação:

$$\frac{(R_{planeta})^3}{(T_{planeta})^2}$$

O K_t é obtido pela medida do raio e o tempo dos corpos que giram ao redor da Terra (Lua e satélites artificiais).

Da mesma maneira podem ser medidas as massas de outros corpos celestes. É preciso no entanto que elas tenham pelo menos um satélite, mesmo que seja artificial.

CAPÍTULO 3 - NOSSO LUGAR NO UNIVERSO

3.1 - O PLANETA EM QUE VIAJAMOS: A TERRA

A Terra é o maior dos pequenos planetas do sistema solar. De todos os planetas, a Terra é o de maior densidade.

Em seu caminho ao redor do Sol, a Terra percorre uma elipse de pequena excentricidade, isto é, quase uma circunferência. Por essa razão, a velocidade da Terra é quase sempre a mesma: aproximadamente 110.000 km/h. Ao mesmo tempo em que a Terra "anda" ao redor do Sol (revolução ou translação), ela gira sobre si mesma (rotação) e faz ainda outros movimentos de maneira parecida com os movimentos de um pião. A rotação da Terra é feita ao redor de um eixo imaginário inclinado em relação ao plano de sua órbita (figura). É devido a essa inclinação que os diferentes hemisférios terrestres têm diferente insolação nos diferentes pontos da órbita (estações). Enquanto a Terra gira, seu eixo tem uma direção quase constante, fazendo um "bamboleio" (precessão) muito lento (uma volta cada 26.000 anos).

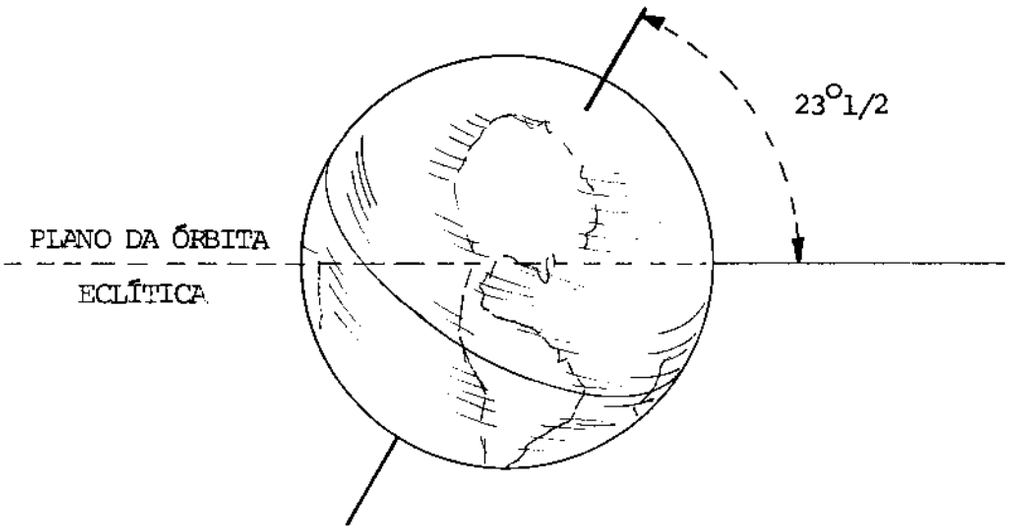


fig. 1.1

Outro movimento é o de NUTAÇÃO e consiste no "balanço" ou oscilação do eixo de rotação ao redor de uma posição média. Essa oscilação se faz com um período de aproximadamente

18 2/3 anos.

Todos esses movimentos são percebidos e estudados pela observação da "paisagem" que vemos em movimento. Essa paisagem é constituída pelas estrelas que nos parecem imóveis; é o sistema de referência para estudo dos movimentos da Terra.

A Terra é envolvida pelo próprio campo gravitacional. Campo gravitacional da Terra é todo espaço em que se verifica a atração da Terra sobre todos os corpos. Atração gravitacional é a força que faz os corpos cairem para o centro, neste caso, da Terra. É também essa atração que mantém a Lua e outros satélites em torno da Terra. É também essa força que mantém a atmosfera presa à Terra. A força gravitacional faz com que os corpos voltem à Terra mesmo quando atirados para cima. Se a velocidade com que atiramos um corpo qualquer atingir um certo valor (12 km/seg), o corpo não volta mais e escapa da atração gravitacional. Essa velocidade chama-se velocidade de escape. Por essa razão, a atmosfera terrestre é pobre em hidrogênio. As moléculas deste gás sendo muito leves, facilmente atingem tal velocidade e escapam para o espaço. Se a Terra tivesse maior massa, teria um campo gravitacional mais intenso. Com um campo gravitacional mais intenso, todos os corpos pesariam mais e seria mais difícil escapar do planeta. Um corpo, para escapar da Terra teria que ser lançado com velocidade maior que 12 km/seg. A atmosfera terrestre conteria mais hidrogênio que é o mais leve de todos os elementos.

Atmosfera

A Terra é envolvida por uma capa de gases a que chamamos atmosfera. Embora a atmosfera nos pareça alta, sua espessura é muito pequena quando comparada com o raio da Terra. A atmosfera não tem limites bem definidos, pois os gases que a constituem estão "presos" apenas pela força da gravidade. A pressão e portanto a densidade, diminui rapidamente com a altura. Basta lembrar que nos 5.000 metros de altura estão contidos 50% de toda a atmosfera. Aos 32.000 metros já ultrapassamos 90% da atmosfera. Além dessa altura existem gases a baixíssimas pressões

e densidade e, às vezes, a altas temperaturas. Altas temperaturas significam grande agitação ou grande velocidade molecular. Podem existir altas temperaturas com muito pouco calor. Assim como pode haver muito calor com baixas temperaturas.

ATIVIDADE: AQUECIMENTO DA TERRA

PARTE 1 - Comportamentos diferentes

Quem se aquece mais depressa, o mar ou a Terra? Com esta atividade você saberá.

Coloque dentro de uma latinha rasa (lata de graxa ou lata de bala) um pouco de terra que seja suficiente para cobrir o bulbo de um pequeno termômetro. A amostra de terra deve ser livre de terrões, pedras e pedaços de material estranho. Dentro de outra lata igual coloque um volume de água que seja aproximadamente 1,2 vezes maior que o volume de Terra. Dessa maneira as massas (e pesos) serão aproximadamente iguais.

Coloque dentro de cada uma das latinhas, um pequeno termômetro. Os termômetros devem ser iguais e colocados em posições iguais.

Deixe as duas amostras num mesmo lugar, à sombra, durante o tempo suficiente para que as temperaturas se tornem iguais.

Coloque ambas as amostras debaixo de uma lâmpada de 100 Watt (ou mais) e a uma mesma distância da lâmpada. É muito importante que as distâncias à lâmpada sejam bem iguais e as posições simétricas.

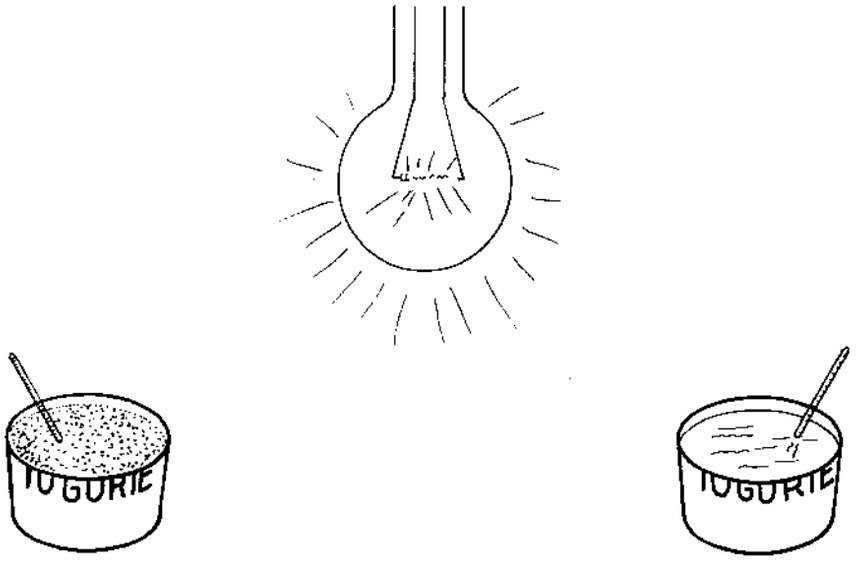


fig. 1.2

Acenda a lâmpada e marque o tempo inicial. Faça a leitura dos termômetros a cada minuto em ambas as amostras até que as temperaturas se tornem constantes.

Quando os termômetros já não indicam mais aumento de temperatura, remova a lâmpada. Isto representa o por do Sol. Retirada a lâmpada, registre as temperaturas por mais alguns minutos, em ambas as amostras.

Usando os dados colhidos de sua tabela, faça um gráfico da temperatura em função do tempo (1º, 2º, 3º... minutos).

Responda agora as seguintes perguntas:

1. As amostras se aqueceram com a mesma velocidade?
2. Elas esfriaram com a mesma rapidez?
3. Qual delas se aqueceu mais rapidamente?
4. Qual delas esfriou mais rapidamente?
5. O aquecimento foi mais rápido no começo ou no fim?
6. O esfriamento foi mais rápido no começo ou no fim?
7. A que se aqueceu mais rapidamente, também se esfriou mais rapidamente?

Você notou que o termômetro não continua indefinidamente a subir?

Use o que você acaba de aprender para explicar a

inversão do sentido da brisa no litoral. Você sabia que há um tipo de vento que troca de sentido do dia para a noite? Você sabia que o ar mais quente tende a subir enquanto que o ar mais frio tende a descer?

PARTE 2 - Quantidade de Calor

Você viu que a amostra da terra se aqueceu mais rapidamente que a água. Será que a terra "guardou" maior quantidade de calor? Nesta parte você irá perceber como um corpo pode estar mais quente e possuir menos calor. Você perceberá a diferença entre calor e temperatura. Também poderíamos dizer: dois corpos podem estar à mesma temperatura e ter quantidades de calor diferentes.

Para que o efeito seja mais fácil de perceber, você irá usar temperaturas mais altas que as anteriores.

Você deverá ter, da mesma maneira que na Parte 1, massas iguais de terra e de água. Para isso o volume de água deverá ser aproximadamente 1,2 vezes maior que o volume da terra.

Aqueça (por exemplo, com uma lâmpada de 100 Watts) tanto a água como a terra até próximo dos 50°C. Água e terra devem ter a mesma temperatura, que deve ser tomada enquanto se mexe cada amostra com o próprio termômetro.

Obtenha, então, duas latas iguais com iguais quantidades de água (massas iguais) à temperatura ambiente. Meça essa temperatura. Uma destas latas vai receber a terra aquecida. A outra vai receber a água aquecida.

Quando a amostra de terra estiver a temperatura de 50°C, lance-a dentro da água não aquecida.

Quando a amostra de água aquecida estiver à temperatura de 50°, lance-a dentro da outra água não aquecida.

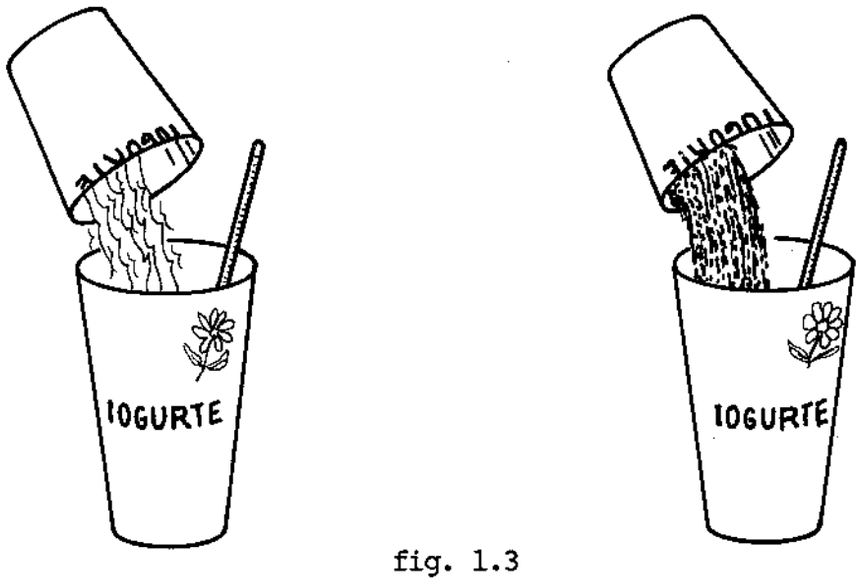


fig. 1.3

Passados alguns segundos, tome a temperatura de ambas as misturas (água quente + água fria e terra quente + água fria).

1. Qual das misturas atingiu temperatura mais alta?
2. Qual das amostras provoca maior aumento de temperatura?
3. Qual das amostras transmitiu menor aumento de temperatura?

Você acaba de constatar que : **massas iguais (água e terra), mesmo estando à mesma temperatura, podem provocar aumentos de temperatura diferentes em corpos (água) que estão a uma mesma temperatura.**

Nesse caso, dizemos que a amostra que provocou maior aumento de temperatura é a que transmitiu maior quantidade de calor. Então,

4. Qual das amostras (terra ou água) continha maior quantidade de calor?

A quantidade (variação) de calor de um corpo depende de sua massa, da variação da sua temperatura e de uma característica de cada substância, que é o seu calor específico. Isso pode ser dito de maneira mais resumida na linguagem da matemática:

$$\Delta Q = m c (t_f - t_i)$$

ΔQ = variação da quantidade de calor

m = massa do corpo

c = calor específico

t_i = temperatura inicial

t_f = temperatura final

A quantidade de calor de um corpo mede-se em CALORIAS.

Uma caloria é a quantidade de calor que faz um grama (1 gr) de água variar de 1^oC. O calor específico da água é 1 por definição (escolha arbitrária). Calor específico de um corpo é a quantidade de calor que 1 gr desse corpo precisa para aumentar (ou diminuir) sua temperatura de 1^oC.

5. Qual foi a quantidade de calor recebida pela água (que recebeu a água quente)?
6. Qual foi a quantidade de calor que a amostra de água aquecida transmitiu?
7. Você poderia calcular o calor cedido ou transmitido pela terra aquecida? E o seu calor específico?

SUGESTÃO :

Você poderá fazer a atividade de outra forma. Você poderá usar agora em vez de água e terra, água e alguns pregos. Você deverá, da mesma maneira que antes, usar uma massa de água igual à dos pregos. Agora você deverá aquecer com uma chama de vela a água junto com o prego em um tubo de ensaio(ou vidro) até a água ferver. Isso garante que tanto a água como o prego estão na mesma temperatura. Lembre-se que a água ferve a aproximadamente 100^oC. Você vai usar também dois outros tubos de ensaio (ou vidros) iguais com iguais quantidades de água à temperatura ambiente. Despeje então a água fervente num desses tubos e os pregos no outro.

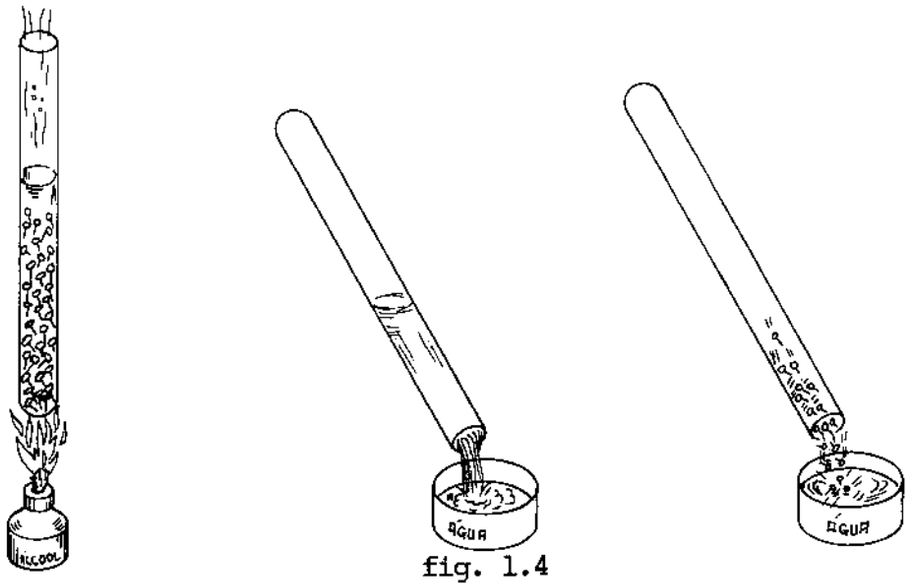


fig. 1.4

Qual das misturas atingiu maior temperatura?

Se você quiser fazer uma experiência quantitativa use 2 termômetros (desses de medir "febre") para medir a temperatura das duas misturas e a temperatura ambiente.

Você agora tem condições de responder às perguntas da parte 2 da atividade anterior.

Vivemos no fundo de um "oceano" de gases. A atmosfera nos proporciona o oxigênio indispensável à vida e nos protege das radiações mortíferas vindas do Sol e de outras regiões do espaço.

A atmosfera serve ainda como escudo protetor contra os meteoritos que vêm do espaço com grandes velocidades. Ao serem freiados os meteoritos, transformam toda sua energia cinética (de movimento) em calor que também é uma forma de energia (pois a energia total sempre se conserva).

A atmosfera tem também a propriedade de difundir (espalhar) parte da luz. Essa difusão (espalhamento) é maior para a luz de menor comprimento de onda (azul e violeta).

Por isso o céu é azul. É também em virtude dessa difusão que ficam iluminados os lugares que não são atingidos diretamente pela luz do Sol ou de qualquer outra fonte.

ATIVIDADE: AQUECIMENTO DA TERRA.

PARTE 3 - Absorção e Irradiação.

Utilize duas latas iguais. Uma delas deve ter a superfície metálica brilhante ou pintada com tinta que pode ser branca ou de alumínio. A outra deverá ter a superfície recoberta de fuligem ou pintada de preto. A cobertura de fuligem você consegue facilmente passando a lata sobre a chama de uma vela ou de uma lamparina.

Coloque dentro de cada uma, um termômetro. Os termômetros devem ficar em posições iguais em cada lata. Quando os termômetros marcarem a mesma temperatura coloque ambas as latas próximas (10 cm) a uma lâmpada de 100 Watts ou mais. Verifique que as posições das latas e dos termômetros sejam simétricas em relação à lâmpada.

Ligue a lâmpada e tome a temperatura em ambas as latas a cada minuto até que não haja mais aumento de temperatura. Remova, então a lâmpada e anote as temperaturas a cada minuto.

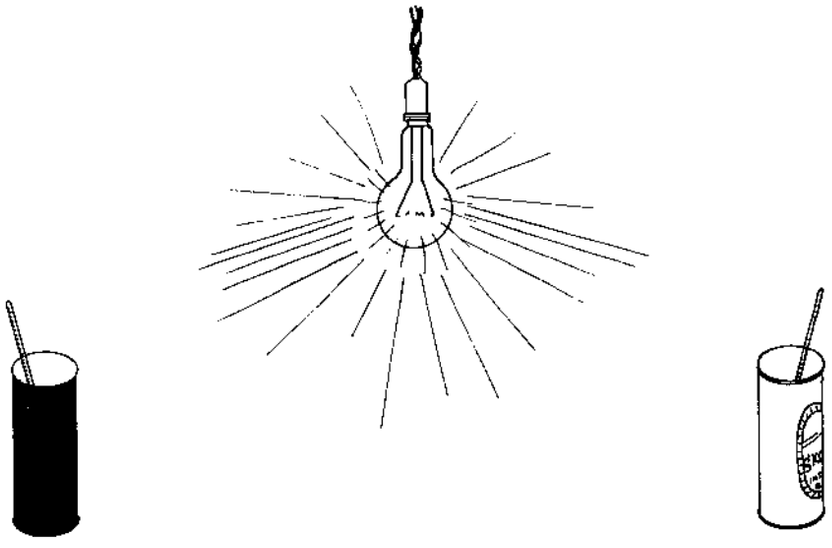


fig. 1.5

Qual delas se aquece mais rapidamente?

A que se aquece mais depressa é a mesma que se esfria mais depressa?

Qual delas reflete mais luz?

Qual delas irradia mais calor?

Qual delas transforma mais luz em calor?

O que acontece com a luz que incide sobre a lata preta?

Qual a sua explicação para o fato de o termômetro não continuar indefinidamente a subir?

A energia que as latas estão recebendo vem principalmente em forma de luz visível. A energia que a lata preta irradia é também em forma de luz visível?

O que você acha que acontece com grande parte da energia que a Terra recebe do Sol em forma de luz visível?

Com a Terra acontece uma coisa semelhante ao que ocorreu com as latas (mais com a preta).

Ela recebe muita energia em forma de luz visível, do vermelho (grande comprimento de onda) ao violeta (pequeno comprimento de onda). Grande parte dessa luz é absorvida pela terra e depois irradiada para o espaço, em forma de luz infra-vermelha. Esta luz não é visível porém pode ser registrada por

fotografia infra-vermelha ou outros tipos de sensores (apare - lhos sensíveis).

Veja o gráfico sobre o balanço energético da Terra.

CAMPO ENERGÉTICO

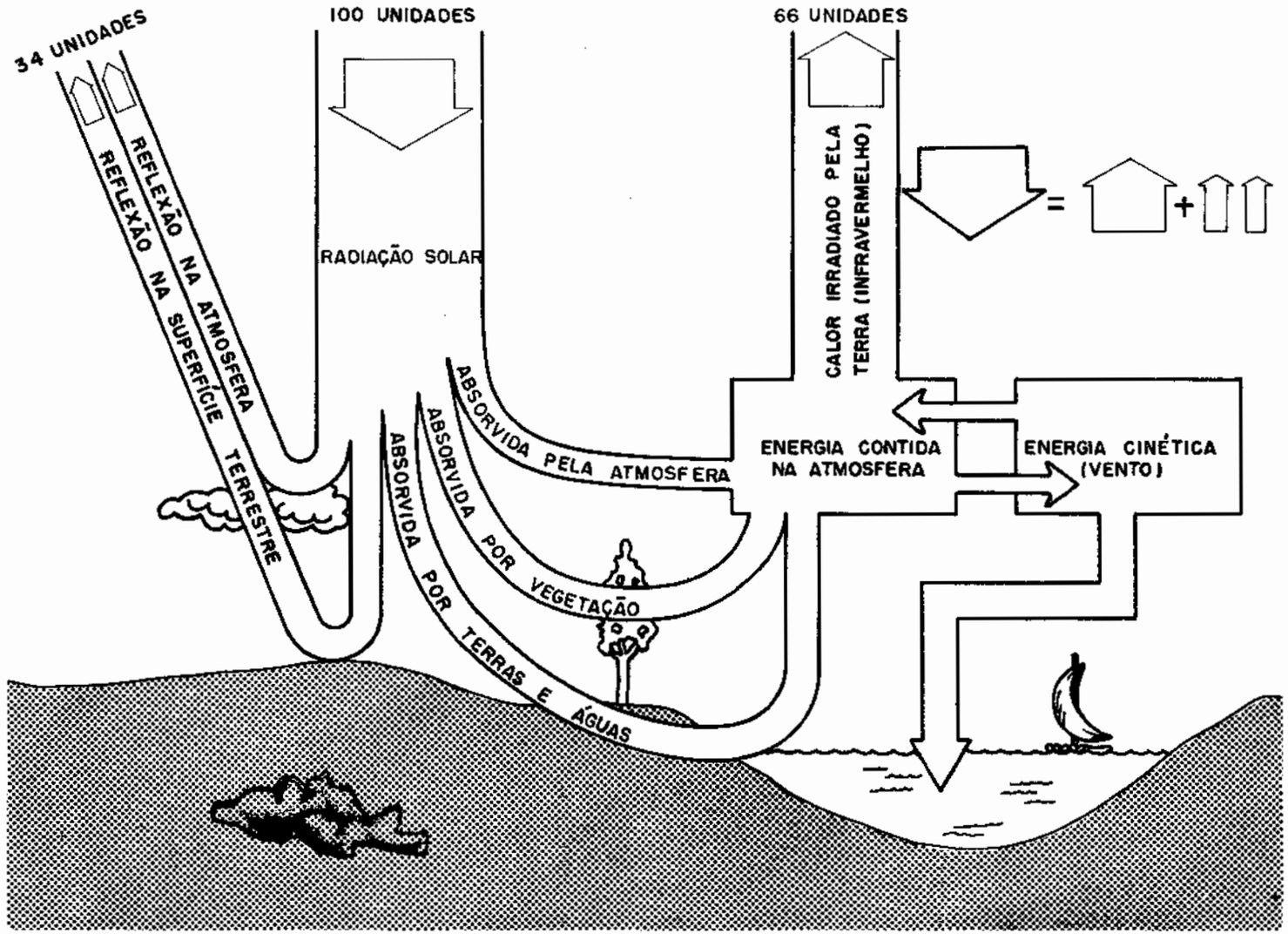
Já os chineses haviam descoberto o campo magnético terrestre e o usavam no século XI. No entanto só com William Gilbert, no século XVII, começou o estudo científico do grande ímã que é a Terra. Descobriu-se também que as partículas carregadas que vêm do Sol e outras regiões do espaço são desviadas e capturadas dentro de "corredores" magnéticos ao redor da Terra. Em virtude do vento solar (emissão de partículas carregadas e radiação) a magnetosfera é empurrada na direção oposta ao Sol.

Os polos magnéticos da Terra não coincidem com os polos geográficos. Por essa razão o NORTE indicado pela bússola não coincide com o NORTE geográfico ou astronômico. Outros fatores locais também alteram a direção do campo magnético de um lugar.

O INTERIOR DA TERRA

O estudo das proporções em que se encontram certos elementos nas rochas permite avaliar a idade da Terra que é de aproximadamente 5 bilhões de anos.

O estudo dos desvios das ondas de choque causa -


34 UNIDADES
100 UNIDADES
66 UNIDADES
REFLEXÃO NA ATMOSFERA
REFLEXÃO NA SUPERFÍCIE TERRESTRE
RADIAÇÃO SOLAR
CALOR IRRADIADO PELA TERRA (INFRAVERMELHO)
=
+
ABSORVIDA PELA ATMOSFERA
ABSORVIDA POR VEGETAÇÃO
ABSORVIDA POR TERRAS E ÁGUAS
ENERGIA CONTIDA NA ATMOSFERA
ENERGIA CINÉTICA (VENTO)

3.1.12

das pelos abalos naturais ou provocados, fornecem informações sobre a estrutura interna de nosso planeta. Quase todo o interior da esfera terrestre é constituído por material em estado de fusão. A parte central tem uma densidade que atinge 15 g/cm^3 (compare com a densidade da água). O núcleo, parte central da Terra, é constituído por ferro (Fe) e níquel (Ni). Acima do núcleo que ocupa aproximadamente a metade do diâmetro terrestre está o MANTO, de menor densidade e também em estado de fusão. A diferença de temperatura e a perda de calor na superfície provocam correntes de convexão dentro dessa camada.

A crosta, fina camada sobre a qual vivemos é apenas uma "pele" sólida que flutua sobre o corpo mole do planeta.

A superfície do globo terrestre está em constante transformação devido aos agentes internos (erupções e acomodações) e externas (vento e chuva principalmente). A história dessas transformações está "arquivada" nas camadas geológicas numa ordem cronológica. Nesses "arquivos" estão também os "documentos" sobre os seres vivos que existiram em cada período.

No grande cenário da Terra, em constante transformação, o aparecimento e desenvolvimento do homem são coisas muito recentes.

O homem atingiu tal desenvolvimento que ele se tornou capaz de modificar sua própria evolução e as condições de vida sobre o planeta. O aumento explosivo da população e o desenvolvimento industrial trouxeram sérios problemas. De um lado o suprimento de alimentos, energia e outras necessidades. Do outro, a poluição do meio ambiente. Além da poluição criada por um crescimento industrial cujo objetivo principal é o lucro dos grupos econômicos, as guerras têm semeado, além da destruição direta de vidas, mais poluição.

Se é verdade que quase todos os grandes problemas com que se defronta o homem de hoje resultam do avanço da ciência, é verdade também que quase todos esses problemas só poderão ser resolvidos pelo emprego da CIÊNCIA. No entanto será

preciso que a ciência e todos os seus produtos sejam colocados a serviço da humanidade dentro de um espírito de cooperação internacional. Se isso não acontecer, a sobrevivência da espécie HOMO SAPIENS corre riscos cada vez maiores.

Seriam perdidos os milênios de lento avanço que sempre se fêz à custa de tantas vidas e de tanto sofrimento.

CAPÍTULO 3 - NOSSO LUGAR NO UNIVERSO

3.2 - NOSSA FONTE DE ENERGIA: O SOL

O Sol é a estrela ao redor da qual gira a Terra e os demais planetas. O Sol é um corpo esférico que tem uma densidade média de 1,4 g/cm^3. As manchas solares que aparecem frequentemente nos permitem medir a velocidade angular desse astro do qual depende inteiramente nossa vida por muitas razões. Quando acompanhamos por alguns dias uma mancha ou grupo de manchas, podemos verificar que o Sol possui diferentes velocidades em diferentes latitudes. Isso significa que diferentes pontos do Sol levam tempos diferentes para completar uma volta. Os pontos mais próximos ao equador solar levam menos tempo para completar uma volta. Responda então: Acha você que o Sol é um corpo rígido, ou não? A velociadade angular do Sol próximo ao seu Equador é maior ou menor?

O Sol é o centro gravitacional de todo o sistema solar. Isto quer dizer que tanto a Terra como os demais planetas e muitos outros corpos estão "presos" pela atração do Sol.

Mesmo povos muito antigos, como os egípcios, reconheceram a importância do Sol para todas as formas de vida. Tanto assim que o Sol era a principal divindade, origem de todas as coisas.

Você já se deu conta de que quase toda energia que move todas as nossas coisas, é energia vinda do Sol? As indústrias, os trens, automóveis, aviões e navios, com raríssimas exceções , são também movidos por energia vinda do Sol. Em quase todos os casos, a energia do Sol ficou armazenada durante milhões de anos. Isso acontece no caso do carvão e do petróleo. A energia solar foi absorvida por vegetais e animais de outras eras. Essa matéria orgânica foi submetida a grande temperatura e pressão, quando soterrada nas dobras da crosta terrestre em transformação.

A energia que emana do Sol provém de sua parte

mais central onde reinam temperaturas da ordem dos 14.000.000°C. Essa tremenda quantidade de energia é liberada pela reação termo-nuclear em que quatro átomos do elemento hidrogênio (H) se combinam para formar um átomo do elemento Hélio (He). Essa reação é de fusão, isto é, de átomos que se juntam, de maneira semelhante ao que ocorre em uma bomba H. Nessa reação uma pequena quantidade de matéria é transformada em energia. Em reações desse tipo o Sol está perdendo massa (matéria) numa razão de 4×10^6 toneladas por segundo. Essa perda, que nos parece grande, é insignificante para a massa do Sol. Durante muitos milhões de anos o Sol poderá continuar a perder massa nessa proporção sem uma alteração percentual perceptível em sua massa.

Sabemos que o Sol tem forma esférica e irradia energia igualmente em todas as direções. Toda a energia do Sol se propaga pelo espaço vazio e em todas as direções com a mesma velocidade. Como essa energia não se perde nem se acumula pelo espaço, ela se distribui numa superfície esférica cada vez maior à medida que se afasta do Sol.

Que parte da energia solar chega até nosso planeta?

Imagine que toda energia irradiada pelo Sol, num certo instante, esteja atravessando a superfície de uma esfera cujo raio é a distância Sol-Terra ($1,5 \times 10^{11}$m). Que parte dessa esfera é coberta pela Terra? Aqui você terá que interromper a leitura para fazer os cálculos.

A energia recebida pela terra é uma parte insignificante da energia solar. A energia que usamos é uma pequenina parte da energia recebida pela Terra. Você já imaginou o trabalho, que lhe custaria levar um balde d'água para o alto de um morro?... e levar toda água do Amazonas para as suas cabeceiras? Só reações do tipo termo-nuclear podem liberar tanta energia em tão pouco tempo, isto é, com tamanha potência (energia / tempo).

Quase toda a energia solar é irradiada pelo espaço vazio (vácuo) em forma de luz visível e de luz ultravioleta. Felizmente, a maior parte da luz ultravioleta do Sol é absorvida pela atmosfera. Em grandes doses, a luz ultravioleta nos

seria mortal. (Você já sabia que essa luz é empregada como germicida?). Além desse tipo de energia o Sol emite ondas de rádio que podem ser detetadas por rádio-telescópios.

As erupções solares dão uma imagem das proporções em que a energia é liberada no Sol. A energia vinda do Sol irrompe através de sua superfície provocando protuberâncias que se assemelham a labaredas ou chamas que atingem alturas equivalentes a muitas dezenas de diâmetros terrestres. Nessas erupções são também ejetadas partículas carregadas (principalmente eletrons) que chegam à Terra desviadas pelo campo magnético terrestre. Por essa razão, a atividade solar está intimamente ligada ao aparecimento das auroras polares.

ATIVIDADE: ENERGIA IRRADIADA PELO SOL

Com esta atividade, você aprenderá como medir a energia total irradiada pelo Sol. Siga o roteiro em que as idéias vão sendo desenvolvidas. Você irá aprender uma série de outras coisas.

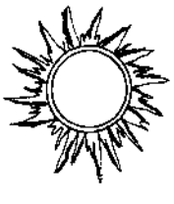
Seu primeiro trabalho será preparar o "calorímetro solar". Este consta essencialmente de uma latinha cilíndrica que deverá ter a superfície lateral enegrecida na chama de uma vela ou lamparina. O tamanho ideal de latinha é o que é usado para cerveja.

Passe a superfície lateral da latinha sobre a chama da vela. O fundo e a tampa não devem ser enegrecidos.

fig. 2.1

Coloque uma quantidade bem conhecida de água dentro da lata (aproximadamente 250 cc). Depois disso deverá ser introduzido, na abertura da lata, um termômetro que deve atingir a água. A adaptação do termômetro à lata pode ser feita com rolha ou bucha de papel. O termômetro pode ser um desses usados para medir febre.

Você deverá expor a lata ao sol de maneira que apenas a superfície lateral seja atingida pelos raios solares. Isso será mais fácil se você colocar a lata na direção Norte-Sul e aí procurar uma posição em que a sombra da lata se reduz a um retângulo.



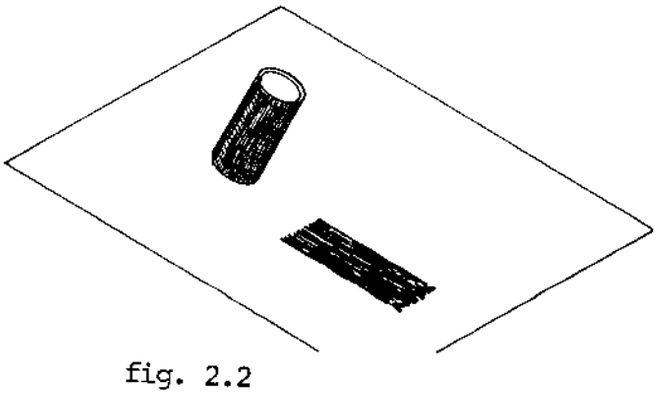


fig. 2.2

Antes de começar a medir o tempo de exposição do "calorímetro solar" ao Sol, meça cuidadosamente a temperatura. Esta será chamada a temperatura inicial (T_i). Deixe a lata ao Sol durante cerca de 3 a 5 minutos. Esse tempo também deve ser medido. Sua medida será melhor se durante a exposição ao sol você girar ou agitar levemente a lata. Isso ajudará a tornar mais homogênea a temperatura da água.

Passado e medido o tempo (de 3 a 5 minutos), leia a temperatura final (T_f).

A diferença de temperatura será:

$$\Delta T = T_f - T_i$$

A quantidade de calor recebida pelo sistema lata-água (1) será:

Quantidade de Calor recebida pela água	massa de água	calor específico da água	alteração ou diferença de temperatura
ΔQ =	M x	C' x	ΔT

Usando, então, os valores do seu problema, calcule a quantidade de calor recebida pela água. Se você exprimir m em gramas (ou cc), fizer c = 1 (calor específico da água) e

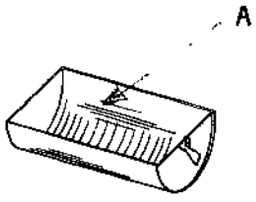
==========

(1) - Não se levou em conta o calor recebido pela lata por duas razões:
1) a massa da lata é pequena em relação à massa d'água.
2) o calor específico da lata é também pequeno comparado com o da água.

ΔT em graus centígrados, ΔQ será expresso em caloria (2).

Dividindo a quantidade de calor recebida pelo tempo de exposição, você ficará sabendo a que razão está chegando a energia do Sol (em relação ao tempo).

Você deverá agora achar a área da seção longitudinal da lata.



A = comprimento x diâmetro

fig. 2.3

Dividindo a energia (calor) pela seção longitudinal da lata, você ficará sabendo a energia que chega por cm^2.

Conhecendo essa quantidade de energia, você poderá saber quanta energia o Sol está produzindo

Sabemos que o Sol é esférico e que irradia igualmente em todas as direções. Sabemos também que a energia não se perde nem se acumula pelo espaço. Ela se espalha de maneira uniforme em todas as direções. Isso quer dizer que a energia se propaga de forma esférica.

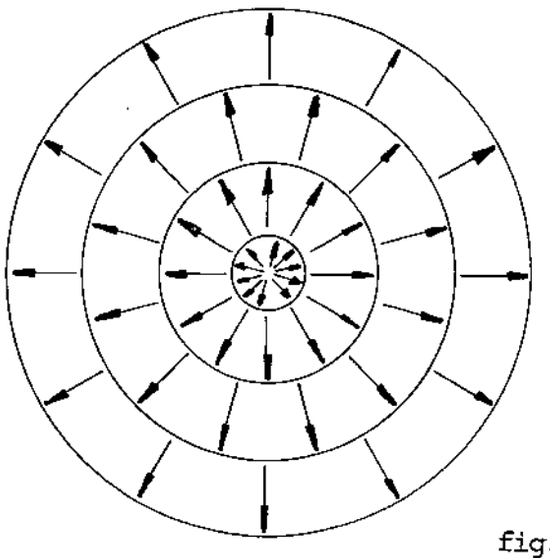


fig. 2.4

(2) - Caloria é a quantidade de calor necessária para elevar de $1^{o}C$ a temperatura de 1 grama de água.

Sendo assim, bastará termos uma medida da energia que chega em um cm^2. A energia total será a energia que chega em um cm^2 vezes o número de cm^2 contidos numa esfera cujo raio é a distância Sol-Terra.

A área de qualquer esfera é igual a $4 \Pi R^2$. Então a área da esfera cujo raio é a distância Sol-Terra (150.000.000 km) será:

$$A = 4 \Pi \quad (150.000.000 \text{ km})^2$$

$$A = 4 \Pi \quad (1,5 \times 10^{13} \text{ cm})^2$$

$$A = 3 \times 10^{27} \text{ cm}^2$$

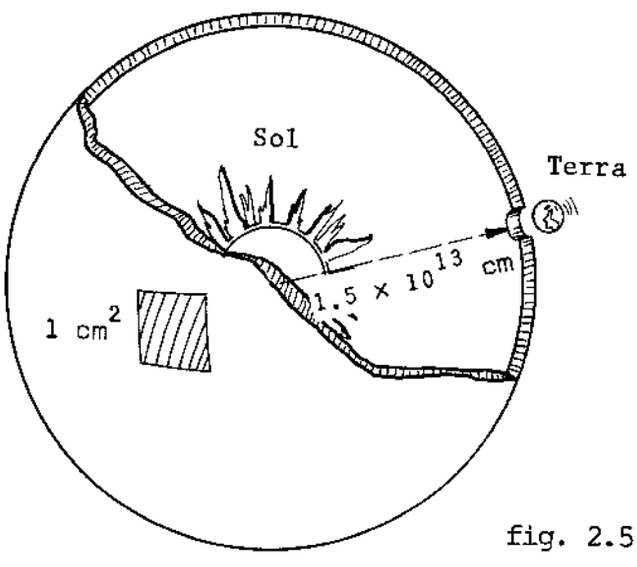


fig. 2.5

Por exemplo, se medirmos 1,5 cal/min no nosso experimento.

$$1,5 \text{ cal/min} \longrightarrow 1 \text{ cm}^2$$

$$(\text{energia total do Sol}) \longrightarrow 3 \times 10^{27} \text{ cm}^2$$

Energia total do Sol = $3 \times 10^{27} \text{ cm}^2 \times 1,5 \text{ cal/min} =$

$$= 4,5 \times 10^{27} \text{ cal/min}$$

Sabemos que calor e energia se equivalem e que essa relação é:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ joules}$$

Então a energia emitida pelo Sol em joules será:

$$E = 4,5 \times 10^{27} \text{ cal/min} \times 4,18$$

$$= 1,9 \times 10^{28} \text{ j/min}$$

Que combustível estará "alimentando"a "fornalha" solar? Durante muito tempo a ciência se fez essa pergunta.

Sabemos que uma certa quantidade de combustível pode liberar uma certa quantidade de energia. Por exemplo, os combustíveis de petróleo (gasolina, querosene, diesel, etc)produzem cerca de 3.000 calorias por grama. Poderia o Sol estar consumindo-se numa combustão desse tipo?

Sabemos que a idade da Terra é de aproximadamente 3 bilhões de anos ($1,5 \times 10^{15}$ minutos) e que há indícios de que o brilho do Sol nesse tempo não se modificou muito. Se você fizer as contas verá que o Sol não teria "aguantado" essa combustão. Ele teria consumido toda sua massa, há muito tempo. Faça as contas e verifique você mesmo.

Como pode o Sol, então, manter essa fantástica irradiação de energia sem perder consideravelmente sua massa? Essa resposta foi possível quando a ciência compreendeu o mecanismo das reações termo-nucleares. A energia do Sol provém de reações nucleares, como da bomba atômica e de Hidrogênio. Nessas reações, tremendas quantidades de energia resultam da transformação de uma pequeníssima quantidade de massa.

$$E = m c^2$$

Essa célebre equação de Einstein mostra a relação de equivalência entre massa (m) e energia (E). C é a velocidade da luz (300.000 km/seg) que é um número muito grande. C^2 é muito maior.

Essa equação mostra como uma pequenina quantida-

de de massa (m) equivale (produz) uma enorme quantidade de energia.

Com essa equação podemos saber quanta energia o Sol perde. Com os dados obtidos pelo seu experimento você chegou à energia que o Sol emite em um minuto.

Deve ter sido um número próximo de $4,5 \times 10^{27}$ calorias ou $1,9 \times 10^{28}$ joules.

Que perda de massa corresponde a essa emissão de energia?

$$E = m c^2$$

$$1,9 \times 10^{28} \text{ joules} = m \times (3 \times 10^{8} \text{ m/seg})^2$$

$$1,9 \times 10^{28} \text{ joules} = m \times 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{seg}^2$$

$$m = \frac{1,9 \times 10^{28} \text{ joules}}{9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{seg}^2}$$

$$m \cong 2 \times 10^{11} \text{ kg.}$$

Então em um minuto, o Sol perde "apenas" 2×10^{11} kg ou 2×10^{8} ton ou 200.000.000 toneladas. Perdendo massa nessa proporção que acha você: o Sol ainda viverá muito ou pouco? - Faça as contas e fique tranquilo.O Sol ainda vai durar "um bocado". Essa "pequena" perda de massa se verifica quando 4 átomos de H se juntam (fusão) para formar um átomo de He. Um átomo de He tem massa um pouquinho menor que 4 átomos de H juntos Essa pequena diferença de massa é que é transformada em energia. O Hidrogênio é então quem alimenta a "fornalha" termo-nuclear do Sol.

CAPÍTULO 3 - NOSSO LUGAR NO UNIVERSO

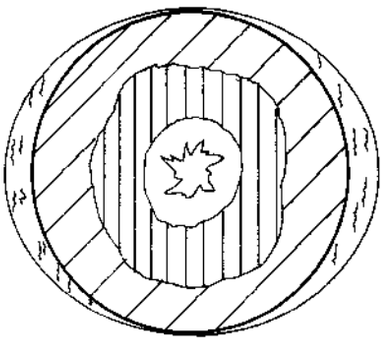
3.3 - A LUA, FILHA OU IRMÃ DA TERRA?

Depois do Sol, foi sempre a Lua o objeto celeste que mais despertou o interesse do homem. Além de alimentar crenças e de inspirar sentimentos poéticos, a Lua teve grande importância prática para o homem: iluminar seu caminho à noite e servir de medida do tempo. Todos os calendários orientais ou ocidentais têm na Lua o seu elemento mais importante. Os meses são originalmente "Luas" ou tempo de uma lunação. Em grande número de idiomas a Lua dá seu nome ao segundo dia da semana.

Costuma-se dizer que a Lua gira ao redor da Terra. O certo é que tanto a Terra como a Lua giram ao redor do centro de massa do sistema constituído pelas duas. Como se duas crianças rodassem em "currupio", de mãos dadas. Se as duas crianças tiverem a mesma massa (aqui o mesmo peso) ambas girarão de forma igual. Se a massa de uma delas é maior, esta se moverá menos que a menor. Se a massa de uma é muito maior, esta ficará praticamente imóvel. Este é o caso da Terra em relação à Lua. A massa da Terra é 81 vezes maior que a massa da Lua. Por essa razão o centro de massa do sistema Terra-Lua está a 1/81 da distância entre o centro da Terra e o centro da Lua.

Não é exato dizer-se que a Lua é atraída pela Terra. Na verdade são as duas que se atraem mutuamente. Aliás na natureza nunca aparecem forças isoladas.

Esta atração mútua é que provoca as marés. As águas dos oceanos formam uma saliência na direção da Lua e outra na direção oposta.



Terra

Lua

fig. 3.1

Essa é a razão das marés cheias e baixas que se sucedem a cada 12 horas e meia (A Lua passa pelo M.A.L. a cada 25 horas aproximadamente). Apesar de ser a Lua muito menor que o Sol, seu efeito sobre as marés terrestres é muito maior que o efeito do Sol, devido à proximidade de nosso satélite. O efeito de marés não se faz sentir somente nas águas. Também a atmosfera e a crosta terrestre são deformadas pela mesma causa.

A pequena massa da Lua faz com que seu campo gravitacional (campo de atração) seja bem fraco; aproximadamente 1/6 do campo gravitacional terrestre. Isso quer dizer que um corpo levado à Lua pesa apenas 1/6 de seu peso aqui na Terra.Por essa razão, na Lua podemos saltar grandes obstáculos como que em câmara lenta. O campo gravitacional fraco faz com que um corpo possa se libertar da Lua mais facilmente que da Terra. A velocidade de escape na Lua é de apenas 2,4 km/seg. A baixa velocidade de escape ou, o que é a mesma coisa, o fraco campo gravitacional faz com que a Lua não possa reter uma atmosfera apreciável.

A ausência de atmosfera faz com que a superfície lunar seja atingida diretamente tanto pelas radiações solares como pelo impacto de meteoritos. A ausência de atmosfera na Lua faz com que toda sua superfície tenha uma evolução inteiramente diferente da evolução da superfície da Terra. Não existem lá (na Lua) os principais agentes modificadores da paisagem: as águas, os ventos e os seres vivos. A falta da atmosfera faz

também com que possamos ver, ao mesmo tempo, o Sol contra um céu negro e as estrelas. A luz não se difunde, como acontece aqui na Terra.

A não existência da atmosfera na Lua torna possível o cálculo do comprimento do cone de sombra que esta projeta. Este fato é extremamente importante para se saber se um eclipse será total. Um eclipse (do Sol) só será total para os pontos da Terra que forem atingidos pelo cone de sombra projetado pela Lua.

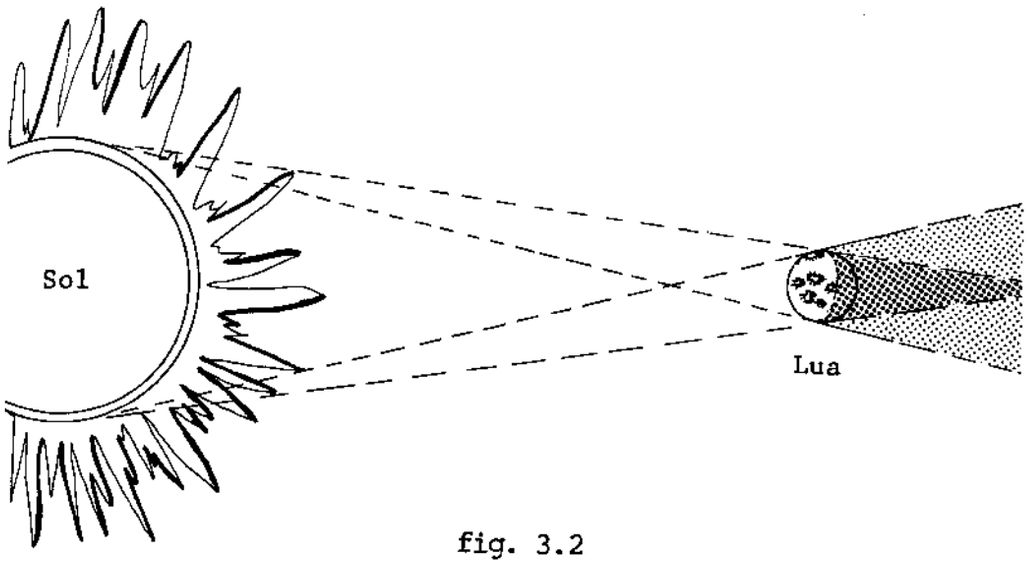


fig. 3.2

As temperaturas na superfície lunar variam dos 100°C durante o dia, aos -150°C à noite (lembre-se de que um dia lunar dura aproximadamente 14 dias e também a noite). Essas grandes variações são provocadas pela ausência de agentes moderadores como a água e a atmosfera. A Lua fica muito quente com pouco calor, enquanto a Terra fica pouco quente com muito calor.

Você já deve ter observado que a Lua apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra. A que se deve isto? (tente responder). Tente imaginar a explicação e você perceberá que isso mostra que o movimento de rotação da Lua (ao redor de seu próprio eixo) se faz com igual período que o movimento de revolução (ao redor da Terra). Isso significa que se ficamos em um certo lugar na superfície da Lua, veremos a Terra sempre no mesmo ponto do céu lunar.

As possíveis origens da Lua

Entre as teorias sobre a origem da Lua existem duas principais:

Uma delas foi inicialmente proposta por Darwin (filho de Darwin da história natural). Segundo essa teoria, a Lua teria se originado da separação de uma parte da Terra. Essa separação poderia ter ocorrido quando a Terra ainda possuia uma grande velocidade angular, isto é, girava muito mais depressa. Isto poderia ter ocorrido quando nosso planeta era jovem e portanto menos rígido. As grandes profundidades com fundo basáltico que se encontram no oceano Pacífico próximo ao continente americano seriam a grande "cicatriz" deixada nessa "parte".

Nesse caso a Lua seria como que "filha" da Terra.

A outra teoria é uma extensão da teoria nebular, segundo a qual todo o sistema solar teria sido originado a partir de uma mesma massa de gás de forma circular. Tanto a Terra como a Lua teriam assim a mesma origem; a Terra e a Lua seriam "irmãs". As últimas amostras trazidas de lá parecem indicar que a Lua tem uma idade muito próxima da idade da Terra. Isso no entanto não responde ainda ao problema da origem da Lua.

Quais as possíveis vantagens da ida do homem à Lua? Talvez possamos enumerar as seguintes:

1. Oferecer um observatório livre da influência perturbadora da atmosfera. Todo o céu pode ser observado sem distorções causadas pela atmosfera.
2. Estudo das radiações solares que não são "filtradas" como aqui na Terra.
3. Conhecer o solo lunar significa obter mais informações sobre as origens do sistema solar.
4. Obter amostras de todos os tipos e tamanhos de meteoritos que vêm, não só do sistema solar, mas de outros pontos do Universo.
5. Observar a Terra de "corpo inteiro".

ATIVIDADE: O CENTRO DE MASSA DO SISTEMA TERRA-LUA

Você vai usar uma régua ou uma varinha(a mais leve que você encontrar) que deve ser furada no ponto em que ela fica em equilíbrio quando apoiada sobre uma aresta como na figura 3.3. Você vai usar também dois recipientes, de preferência plásticos ou latas que devem ser furadas e atravessadas pela régua diametralmente como na figura 3.4.

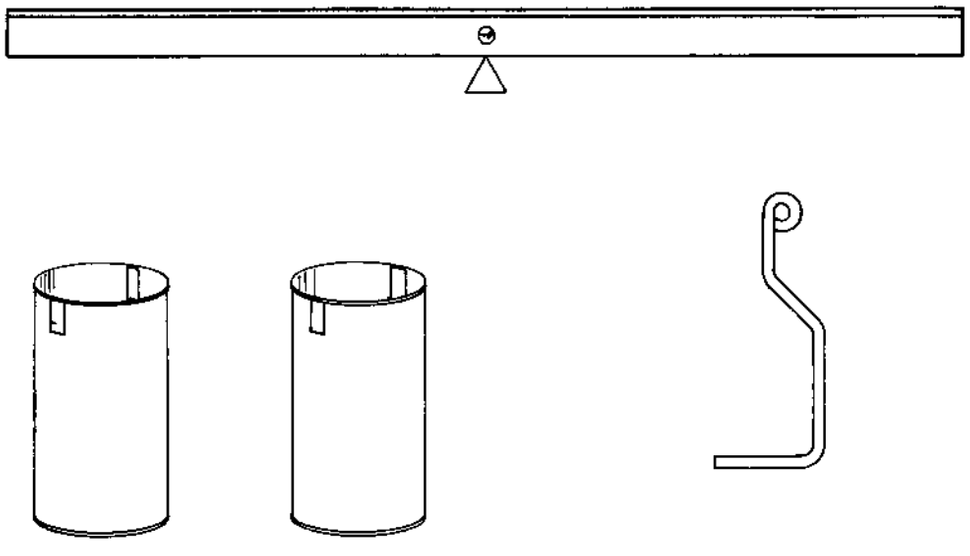


fig. 3.3

Coloque um pouco d'água em cada recipiente. Procure agora um ponto da varinha em que o sistema fique em equilíbrio. Depois disso mude a quantidade de água nas latas. Procure novamente a posição do centro de equilíbrio ou centro de massa (CM). Sua posição é a mesma?

Com a mesma água nas latas, mude a distância entre êlas. Procure novamente a posição do centro de massa. É a mesma? De que coisas depende então a posição do centro de massa?

Quando as latas têm a mesma quantidade de água em que posição fica o CM? E se você acrescentar uma mesma quantidade de água a cada uma?

Vá agora mudando a quan tidade de água nos recipientes até que um fique cheio e o outro vazio. Para que lado se deslocou o CM?

Dependure a régua pelo orifício de equilíbrio que você fêz.

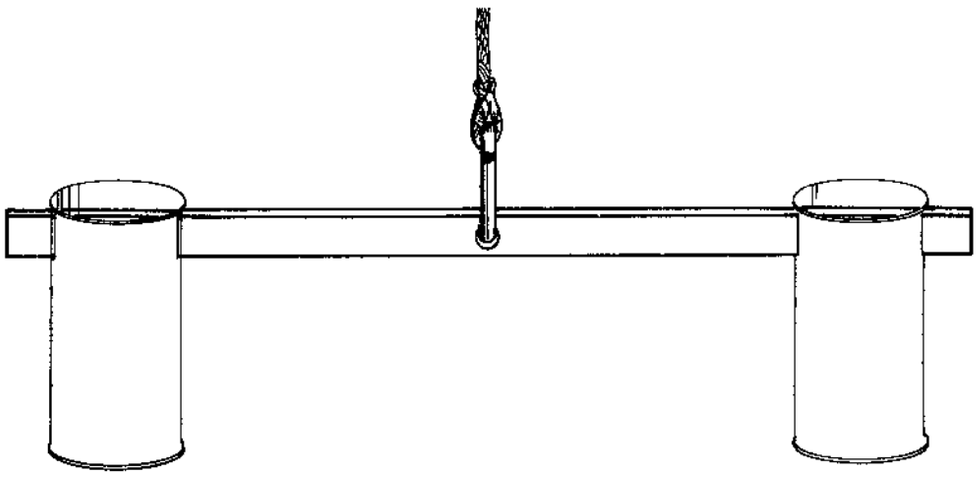


fig. 3.4

Você irá repetir tudo que já fêz, porém agora fazendo medidas mais precisas. Para cada nova posição de equilíbrio, você irá comparar a relação entre a quantidade de água (massa) colocada em cada recipiente com a relação das distâncias do centro de cada recipiente ao centro de equilíbrio ou centro de massa.

Investigue o produto da massa colocada em cada recipiente pela distância ao centro de massa. Que conclui você?

Você fará agora outra série de observações.

Coloque quantidades diferentes de água nos diferentes recipientes. Varie também suas posições. Para cada posição de equilíbrio mantenha o sistema dependurado por um fio e faça-o girar.

Como são os movimentos quando as massas (quantidades de água) são iguais ?

Como são os movimentos quando as massas são muito diferentes? Qual dos corpos se movimenta mais? Você pode dizer que o pequeno gira ao redor do grande ou que ambos giram ao redor do centro de massa do sistema?

Você ainda diria que é a Lua que gira ao redor da Terra, somente?

A Lua está a uma distância de 60 raios terrestres e a massa da Terra é cerca de 80 vezes maior que a massa da Lua. Onde está o centro de massa do sistema? Essa centro fica fora ou dentro da Terra?

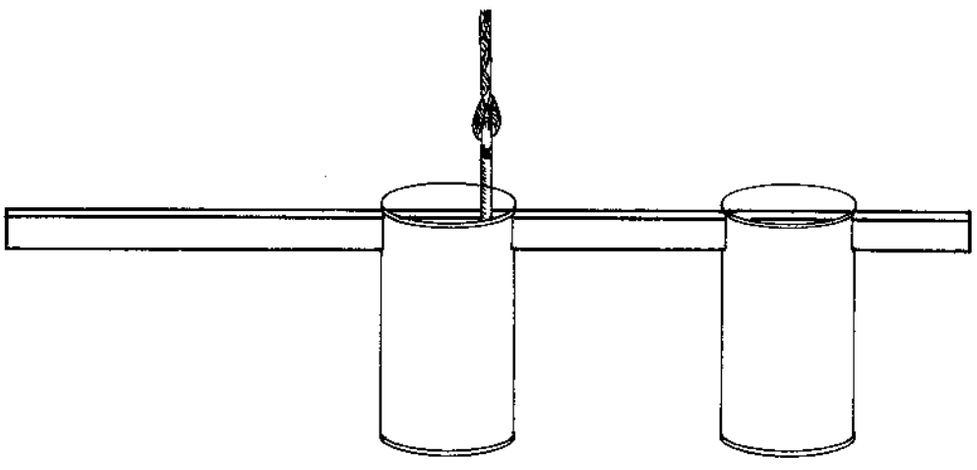


fig. 3.5

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

(DA LUA)

Nos esquemas feitos para se representar as fases da Lua, tanto esta quanto a Terra, o Sol e suas distâncias são representados fora de qualquer escala. Essas representações são esquemáticas e servem ao propósito apenas de representar as direções das posições e os movimentos relativos do sistema Terra-Sol-Lua. Acontece que quase não vemos esquemas em que sejam guardadas as verdadeiras proporções. Resulta daí que ficamos com algumas idéias erradas.

É muito comum achar-se que a Lua deve fazer laços em sua órbita e também que nesses laços a Lua deve andar "para trás".

Você deverá primeiro representar um pedaço da órbita terrestre que a Terra percorre em um mês, isto é, durante uma lunação. Essa pedaço corresponde, portanto, a 1/12 da volta

ou um arco de 30°, aproximadamente.

Se você representar a órbita da Lua por uma circunferência de 1 cm de raio, a órbita da Terra deverá ter 400 cm aproximadamente. Em lugar de compasso, você deverá usar um barbante.

Peça a um colega seu para ajudar, segurando o prego que será o centro e representará a posição do Sol. Trace então um arco de 30° sobre umas folhas de papel de embrulho (ou outro qualquer) emendadas com fita adesiva.

Um mês é o tempo para que a Lua volte a ocupar a mesma posição em relação ao Sol.

Assim como a da Terra, a órbita da Lua é uma elipse, porém, de muito pequena excentricidade. A excentricidade é tão pequena que você, em ambos os casos, pode tratá-las como circunferências. Se a órbita da Lua fosse bastante excêntrica, você veria nosso satélite ora maior ora menor. Você pode facilmente medir o tamanho aparente (ângulo) da Lua e comprovar seu tamanho (e portanto, distância) constante.

Às vezes, a Lua nos parece maior quando próxima do horizonte. No entanto, se você medir verá que estava sendo enganado pelos próprios sentidos. **A Lua não é maior quando próxima do horizonte.** É importante que você perceba que nem tudo que parece, realmente é.

Com o centro em cada uma das extremidades do arco, você traçará uma circunferência de 1 cm de raio. Em cada uma dessas circunferências, a Lua estará no encontro destas com o raio das órbitas da Terra; quer dizer, na direção do Sol. Essas duas posições correspondem à fase de Lua-nova.

Divida o arco ao meio. Esse ponto corresponde a Lua-cheia: a Lua está em oposição. Divida cada uma das metades do arco novamente ao meio. Em cada um desses pontos, trace circunferências (órbita da Lua). Nesses pontos a Lua estará em quadratura, isto é, em ângulo reto em relação ao Sol (Quarto-crescente e quarto-minguante). Você poderá fazer mais divisões ao meio e assim obter mais oposições intermediárias da Lua. Assim são as posições sucessivas da Lua em seu novo movimento. Unindo esses pontos, você obterá a trajetória da Lua durante uma volta ao redor da Terra.

Você percebeu que a Lua não fêz nenhum laço em sua trajetória?

Você percebeu que a Lua não fêz nenhuma marcha para-trás?

Em um mês o espaço percorrido pela Terra e pela Lua são muito diferentes?

Suas velocidades em relação ao Sol são muito diferentes?

Você notou que a trajetória descrita (percorrida) pela Lua tem sempre a concavidade voltada para o Sol?

Se a aceleração é para dentro, sempre que um corpo executa uma curva é porque alguma força o está obrigando a fazê-lo. Por esta razão a concavidade da trajetória está sempre do lado para o qual a força atua. Pela concavidade (curvatura) da curva, pode-se medir a aceleração que o corpo sofreu. Sabemos que a aceleração é proporcional à força ($\vec{f} = m\vec{a}$). Portanto, o estudo da trajetória nos mostra como está atuando a força que age sobre o corpo. Quanto mais fechada a curva, maior a força que atuou sobre o corpo.

Você percebeu que quando a Lua está do lado oposto ao Sol, a trajetória é mais curva? Isso quer dizer que a força que sobre ela atua é maior. A força é maior porque tanto o Sol como a Terra estão puxando na mesma direção. Podemos dizer que nesse caso a atração da Terra e do Sol se somam.

Quando a Lua está entre o Sol e a Terra, cada um destes puxa para um lado. Então, a resultante das forças (da Terra e do Sol) é a diferença das duas.

A força que atua sobre a Lua é então menor que antes. Veja como desse lado a curva é menos fechada.

- Está certo? Mesmo subtraindo a atração da Terra, a força resultante ainda é para o lado do Sol. Isso indica que a força de atração da Terra sobre a Lua é menor que a força de atração do Sol sobre a Lua. - Como, então, a Lua não cai sobre o Sol? - Realmente ela está sempre caindo sobre o Sol, assim como a Terra ! - Só que não consegue acertar nele!

UM POUCO MAIS AINDA

Se você quiser, poderá comprovar por outros meios o fato de que o Sol exerce sobre a Lua uma força que é mais do que o dobro da força exercida pela Terra.

Usaremos a equação da gravitação universal de Newton.

Como você sabe, a força de atração gravitacional entre dois corpos quaisquer é:

$$f = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Aplicando essa equação ao caso do Sol e da Lua, teremos:

$$f_{SL} = G \frac{m_S \, m_L}{d^2_{SL}}$$

A força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua será

$$f_{TL} = G \frac{m_T \, m_L}{d^2_{TL}}$$

Dividindo essas equações entre si temos:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{\dfrac{\cancel{G} \, m_S \, \cancel{m_L}}{d^2_{SL}}}{\dfrac{\cancel{G} \, m_T \, \cancel{m_L}}{d^2_{TL}}}$$

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{m_S}{m_T} \times \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

Para facilitar, podemos expressar a distância do Sol em termos da distância da Lua e a Terra. Se chamamos a distância Terra-Lua de 1, a distância Sol-Lua será aproximadamente 400, pois

$$d_{SL} = 400\ d_{TL}$$

Sabemos que a massa do Sol é $m_S = 2 \times 10^{30}$ kg e que a massa da Terra (m_T) é 6×10^{24} kg.

Com esses valores, a relação fica:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{2 \times 10^{30} kg}{6 \times 10^{24} kg} \times \frac{1}{(400)^2} = \frac{100}{48}$$

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = 2{,}1 \text{ ou } f_{SL} = 2{,}1\ f_{TL}$$

Então, podemos dizer: a força de atração entre o Sol e a Lua é 2,1 vezes maior que a força entre a Terra e a Lua.

Você poderia chegar a esse resultado ainda por outro caminho.

Quando falamos nas leis de Kepler, mostramos que a relação de massas entre dois astros (que tenham satélites) é igual a relação de suas constantes R^3 / T^2.
Então:

$$\frac{m_S}{m_T} = \frac{K_S}{K_T} = \frac{\dfrac{R_T^3}{T_T^2}}{\dfrac{R_L^3}{T_L^2}}$$

onde T_L é o período da órbita da Lua em torno da Terra e T_T é o

período da órbita da Terra.

Voltemos à expressão

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{m_S}{m_T} \times \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

Ora, a distância Terra-Lua (d_{TL}) é o raio da órbita da Lua (R_L). Da mesma maneira, a distância Sol-Lua (d_{SL}) é o raio da órbita da Terra (R_T).

Então:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{\dfrac{d_{SL}^3}{T_T^2}}{\dfrac{d_{TL}^3}{T_L^2}} \times \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

$$= \frac{d_{SL}^{\cancel{3}\,1}}{T_T^2} \times \frac{T_L^2}{d_{TL}^{\cancel{3}}} \times \frac{\cancel{d_{TL}^2}}{\cancel{d_{SL}^2}} = \frac{d_{SL}}{d_{TL}} \times \frac{T_L^2}{T_T^2}$$

Mas $d_{SL} = 400\ d_{TL}$ e $T_L = \frac{1}{12}\ T_T$

Substituindo vem,

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{400\ d_{TL}}{d_{TL}} \times \frac{T_T^2}{(12)^2 T_T^2} = \frac{400}{144} = 2, \ldots$$

Isto não é exato. O mês é aproximadamente o tempo que a Lua leva para fazer uma volta ao redor da Terra, porém, contada a partir do Sol. Isto quer dizer que o T_L (período) que usamos é o período aparente e não o período verdadeiro. Observe que (faça um esquema) quando a Lua volta a coincidir com o Sol, ela já fêz mais de uma volta. O período verdadeiro (período sideral) é contado em relação a um ponto fixo (estre

la). Esse período é de pouco mais de 27 dias (27,3). Em um ano, então, a Lua não faz 12 voltas, mas sim 13,7 (aproximadamente). Então:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{400}{1} \times \frac{1}{13,7} = 2,1$$

AS MARÉS

Quando explicamos o fenômeno das marés, insistimos no fato de que o importante não é a força, mas sim, a diferença entre as forças aplicadas de um e de outro lado da Terra.

Já mostramos anteriormente que a atração exercida pelo Sol sobre a Lua é maior que a atração exercida pela Terra sobre seu satélite natural.

Você sabe também que a força que a Terra exerce sobre a Lua é a mesma força que a Lua exerce sobre a Terra. Apesar de ser menor a força exercida pela Lua sobre a Terra, do que a que o Sol exerce sobre a Terra, sua influência é maior. Isso porque a diferença entre as forças exercidas pela Lua, sobre um lado e sobre outro lado são diferentes.

Os gráficos abaixo representam a força de atração exercida sobre a Terra, pelo Sol e pela Lua. Embora os valores não estejam em escala real, você pode perceber como a diferença pode ser maior sem que a força seja maior. A curva de cima representa a força de atração do Sol sobre a Terra em função da distância. A faixa de largura Δd representa a variação de distância tanto em relação ao Sol como em relação à Lua. Essa variação de distância corresponde ao diâmetro terrestre. Observe como a força exercida pela Lua é muito menor. No entanto para uma mesma variação (Δd) da distância, a variação da força

(Δ f) de atração exercida pela Lua é muito maior.

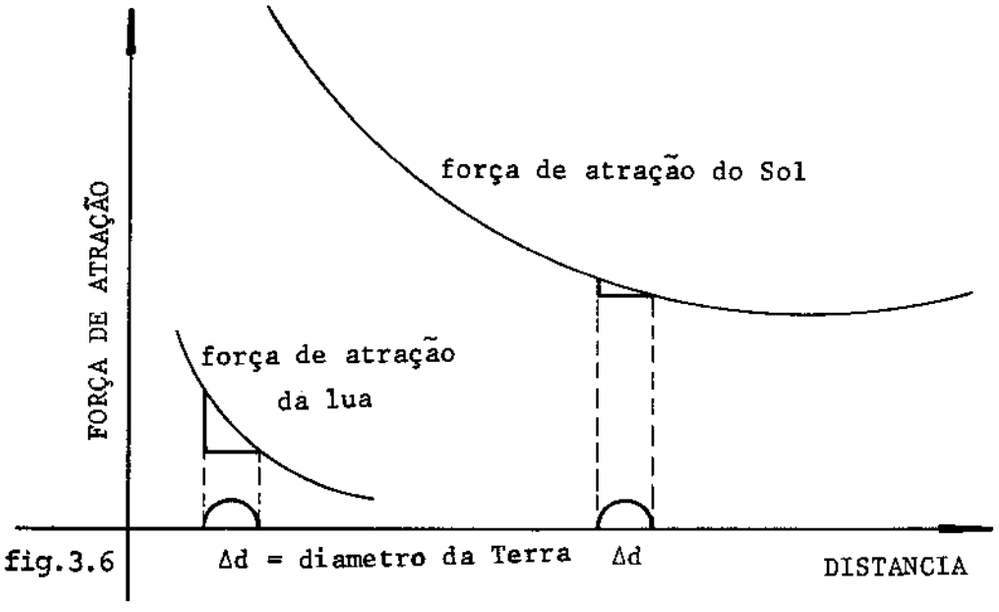


fig.3.6

Compare a variação de força (Δ f) no gráfico da Lua com a variação da força no gráfico do Sol. Ambas as variações da força são correspondentes à mesma variação da distância (Δ d).

Esta variação de distância é igual ao diâmetro da Terra.

$$\frac{\Delta f_L}{\Delta d} > \frac{\Delta f_S}{\Delta d}$$

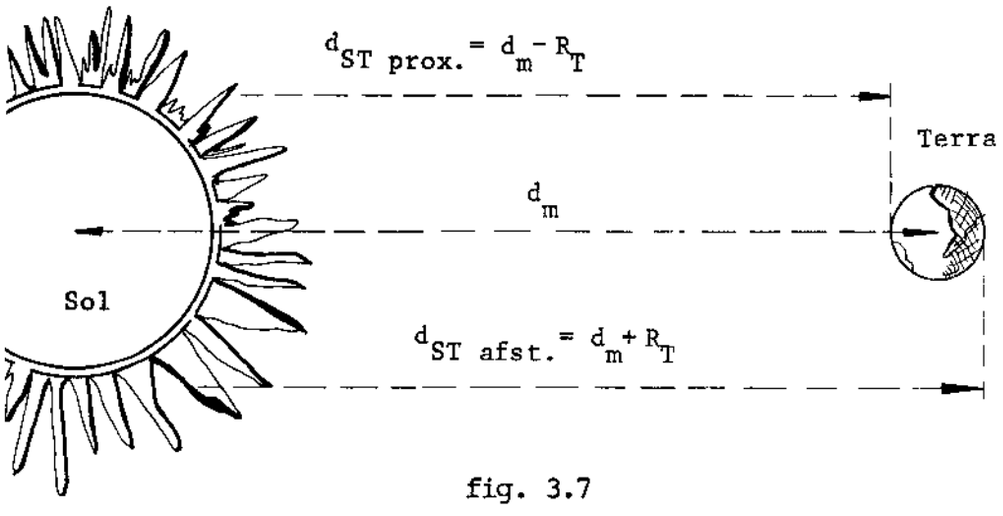


fig. 3.7

Até aqui tratamos do problema qualitativamente . Como poderíamos saber quanto a Lua é mais importante que o Sol, no caso das marés?

Vejamos quanto vale a atração gravitacional tanto do Sol quanto da Lua aplicada a cada um dos lados da Terra.

Sabemos que, considerando a Terra como um todo, a força da atração do Sol vale:

$$f_{ST} = \frac{G\, m_S\, m_T}{d^2_{ST}}$$

Aplicando essa força ao primeiro (mais próximo) lado teremos:

$$f_{ST\ Prox.} = \frac{G\, m_S\, m_T}{d^2_{ST\ prox.}}$$

No lado oposto teremos:

$$f_{ST\ afast.} = \frac{G\, m_S\, m_T}{d^2_{ST\ afast.}}$$

A força que causa a maré será a diferença das duas, ou seja,

$$\Delta f_S = f_{ST\ prox.} - f_{ST\ afast.}$$

$$\Delta f_S = G\, \frac{m_S\, m_T}{d^2_{STprox.}} - G\, \frac{m_S\, m_T}{d^2_{ST\ afast.}}$$

$$\Delta f_S = G\, m_S\, m_T \left[\frac{1}{d^2_{ST\ próx.}} - \frac{1}{d^2_{ST\ afast.}} \right] \quad (1)$$

Façamos o mesmo para o caso da Lua. Então a diferença Δf_L das forças que a Lua exerce de um e de outro lado da Terra será:

$$\Delta f_L = G\, m_L\, m_T \left[\frac{1}{d^2_{TL\ prox.}} - \frac{1}{d^2_{TL\ afast.}} \right] \qquad (2)$$

Dividindo as duas equações membro a membro, teremos:

$$\frac{\Delta f_S}{\Delta f_L} = \frac{m_S}{m_L} \left[\frac{\dfrac{1}{d^2_{ST\ próx.}} - \dfrac{1}{d^2_{ST\ afast.}}}{\dfrac{1}{d^2_{TL\ próx.}} - \dfrac{1}{d^2_{TL\ afast.}}} \right]$$

$$\frac{\Delta f_S}{\Delta f_L} = 27 \times 10^6 \left[\frac{\dfrac{1}{(23.940)^2} - \dfrac{1}{(24.060)^2}}{\dfrac{1}{(59)^2} - \dfrac{1}{(60)^2}} \right]$$

$$\frac{\Delta f_S}{\Delta f_L} = 0{,}42$$

Tente fazer as contas apenas para você ter uma idéia do tempo que isso lhe tomaria. Esse trabalho o computador faz num instante.

Vamos resolver esse mesmo problema aplicando uma matemática um pouquinho mais avançada. Dessa maneira as contas

ficarão muito simplificadas. Poderíamos dizer que o método que vamos usar é um pouco mais matemático e menos aritmético.

Você deve estar estudando derivadas. Talvez você já tenha estudado. O valor da derivada de uma função em um certo ponto representa o valor do coeficiente angular da tangente da função nesse mesmo ponto. O coeficiente angular éa taxa de crescimento ou decrescimento de uma variável em relação à outra. Neste caso a variação é da força em função da distância.

Observe novamente a figura em que estão as duas funções: a que exprime a força entre o Sol e a Terra e que exprime a força de atração entre a Lua e a Terra.

Verifique como o limite da relação é o coeficiente angular da reta tangente a cada uma das duas curvas.

Observe como a tangente à curva de baixo (Lua) é mais inclinada que a de cima (Sol). Maior inclinação da tangente significa que a força está variando mais rapidamente. Dizer que a força exercida pela Lua varia mais rapidamente que a força exercida pelo Sol significa que, no caso da Lua é maior a diferença entre a atração de um lado e de outro.

Então, tomando a expressão da força exercida entre o Sol e a Terra, temos:

$$f_{ST} = G \frac{m_S \, m_T}{d^2}$$

Fazendo a derivada dessa força em relação à distância, temos:

$$\frac{d \, f_{ST}}{d \, d_{ST}} = - 2 \, G \, m_S \, m_T \, d_{ST}^{-3} \qquad (1)$$

A força exercida entre a Lua e a Terra é:

$$f_{LT} = G \frac{m_L \, m_T}{d_{TL}^2}$$

A derivada dessa força em relação à distância é:

$$\frac{d\ f_{LT}}{d\ d_{TL}} = -\ 2\ \ G\ m_L\ m_T\ d_{LT}^{-3} \qquad -\ (2)$$

Dividindo as equações (1) e (2) entre si temos:

$$\frac{\dfrac{d\ f_{ST}}{d\ d_{ST}}}{\dfrac{d\ f_{LT}}{d\ d_{TL}}} = \frac{m_S}{m_L}\ x \left[\frac{d_{LT}}{d_{ST}}\right]^3$$

$$= 27.000.000 \left[\frac{1}{400}\right]^3$$

$$= \frac{27.000.000}{64.000.000}$$

$$= 0,42$$

A ação do Sol é então menos que a metade da ação da Lua.

3.4 - OS IRMÃOS DA TERRA: OS PLANETAS

Mesmo o homem em seu estado nômade deve ter notado que algumas "estrelas" se moviam estranhamente em meio às figuras das "estrelas comuns". Mais tarde os gregos chamariam de planetas a essas "estrelas errantes". Esse fato de os planetas apresentarem um movimento independente das demais estrelas fêz com que esses astros fossem logo associados a divindades com influência sobre a vida humana.

Você já sabe que apesar das voltas e marchas-aré que os planetas fazem, eles estão sempre sobre uma faixa do céu ao longo da **ECLÍTICA**. Esse fato resulta de que as órbitas dos planetas estão contidas em planos que quase coincidem com o plano da (órbita da Terra) **ECLÍTICA**.

Você deve estar lembrado do Capítulo 2 em que falamos sobre as leis de Kepler. Procure lembrar-se das três leis. Elas são importantes porque não se aplicam somente aos planetas. Elas são universais. Foi a partir dessas leis observadas no céu que Newton descobriu que dois corpos quaisquer, em qualquer lugar, se atraem. Das três leis, a que mais importância teve foi a terceira, a **Lei dos Tempos**. Essa lei tem a forma:

$$\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2} = \frac{R_3^3}{T_3^2} = \frac{R_4^3}{T_4^2} = \frac{R_5^3}{T_5^2} = \frac{R_6^3}{T_6^2} = \frac{R_7^3}{T_7^2} = K_s$$

Isso significa que existe uma relação bem determinada entre o tamanho da órbita (R) e o tempo (T) para o planeta completar uma volta. Você já sabe que a massa do planeta não importa. A cada órbita corresponde um tempo certo. Numa mesma órbita, tanto um gigantesco planeta como um grão de areia

levariam o mesmo tempo para completar uma volta.

O valor da constante K_s é característico do corpo central, neste caso, o Sol. Isso significa que em outro sistema também vale essa lei, porém com outro valor para a constante. Esse valor da constante nos permite medir a massa do corpo central. Dessa maneira podemos medir com relativa facilidade a massa de Júpiter ou de qualquer outro planeta que tenha, pelo menos um satélite. Não importa se esse satélite é natural ou artificial. Bastará medir o raio das órbitas e os períodos dos satélites. Na verdade basta fazê-lo para um.

Você já imaginou como você veria o Sol se você estivesse nos diferentes planetas? Você irá aprender.

ATIVIDADE: DISTÂNCIA E TAMANHO APARENTE DE UM CORPO

Você já deve ter notado que o tamanho dos objetos, aparentemente, diminui quando você se afasta deles. Para fazer uma observação melhor disto, faça o seguinte: coloque um anteparo transparente a uma certa distância de seu olho e observe, através dele, o tamanho dos objetos à sua frente. Note que conforme você se afasta dos objetos, os mesmos ocuparão um espaço menor no anteparo. Imagine agora que você está a uma certa distância de uma árvore, cujo tamanho aparente seja h como na figura 4.1.

Se você se afastar da árvore o que irá acontecer com o ângulo α ; diminuirá, aumentará ou permanecerá o mesmo? O que acontece com h nessa mesma situação?

Você já pensou que utilizando essa idéia, poderíamos, conhecendo a distância a que estamos do objeto, saber

o seu tamanho real ou vice-versa? Pois é isso que você irá fazer com essa atividade.

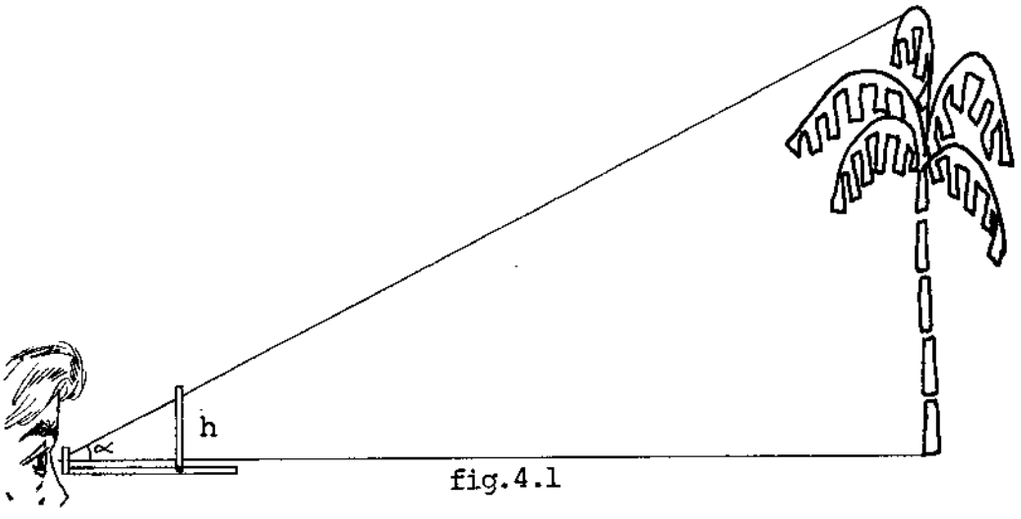


fig.4.1

Pegue uma tábua de aproximadamente 1/2 metro de comprimento por 10 a 15 cm de largura e um vidro (ou plástico) de aproximadamente 10 por 10 cm a 15 por 15 cm de tamanho.

Numa das extremidades da tábua pregue dois sarrafos de tal maneira que a espessura do vidro encaixe justo entre eles. Antes tenha o cuidado de colocar fita adesiva nas bordas do vidro para que ele se encaixe mais firmemente entre os sarrafos e para você não se cortar.

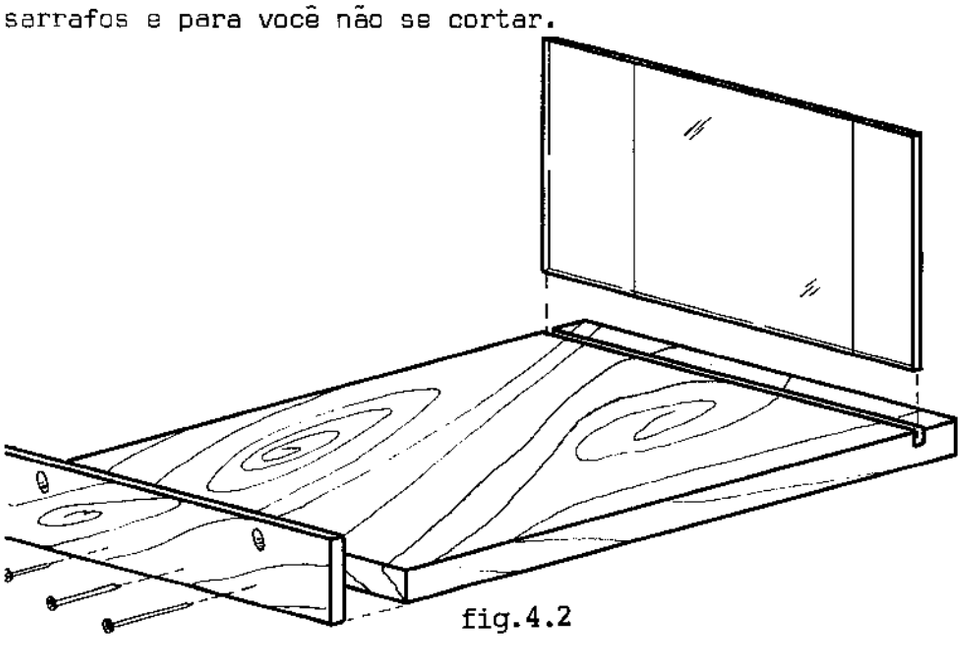


fig.4.2

Na outra extremidade pregue uma "tabuinha" fina (talvez de compensado) com dois furinhos (que você pode fazer com um prego) de tal maneira que os furos fiquem numa altura superior à altura dos sarrafos. A distância entre os furinhos pode ser de 2 a 5 cm, dependendo da largura de sua tábua.

Agora coloque o vidro entre os sarrafos e trace nele, com uma caneta "hidrográfica" (ou com baton, giz, etc) uma linha logo acima dos sarrafos. Vamos chamar esse traço de linha de base.

Você vai olhar, então, por um dos furinhos e fazer mira em um objeto (árvore, poste, pessoa,etc) de tal modo que a linha de base fique no pé da árvore. Você deve olhar através do furinho de frente, por isso, para cada furinho você deve traçar uma reta vertical no vidro. O espaço entre essas retas deve ser o mesmo que entre os furinhos como na figura 4.2. Você verá o objeto como na figura 4.3

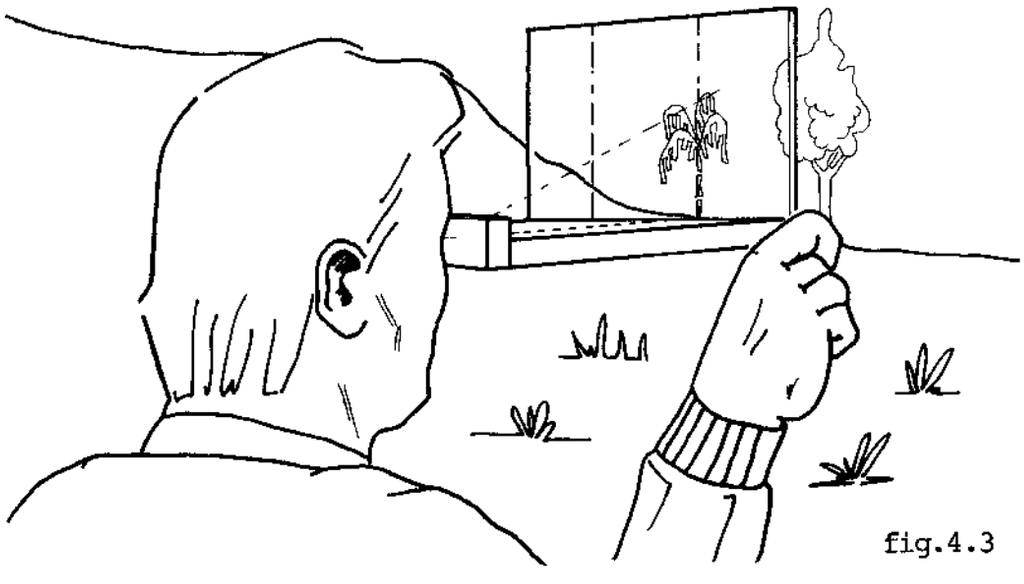


fig.4.3

Agora, ponha em mira um colega seu a uma certa distância (20 passos, por exemplo) e marque a altura dele no anteparo do aparelho. Faça-o afastar-se, de modo a dobrar a distância entre você e ele (40 passos) e marque a nova imagem. O que aconteceu?

Quando você dobrou a distância,o que aconteceu com a imagem?

Qual a relação entre a distância do "objeto" e a altura que ele ocupa na placa de vidro?

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Você vai agora tornar seu aparelho mais prático. Para isso, você irá construir algumas escalas nele, nas quais poderão ser lidas as distâncias ou as alturas dos objetos diretamente.

Veja a figura 4.4. Você percebe que há dois triângulos semelhantes?

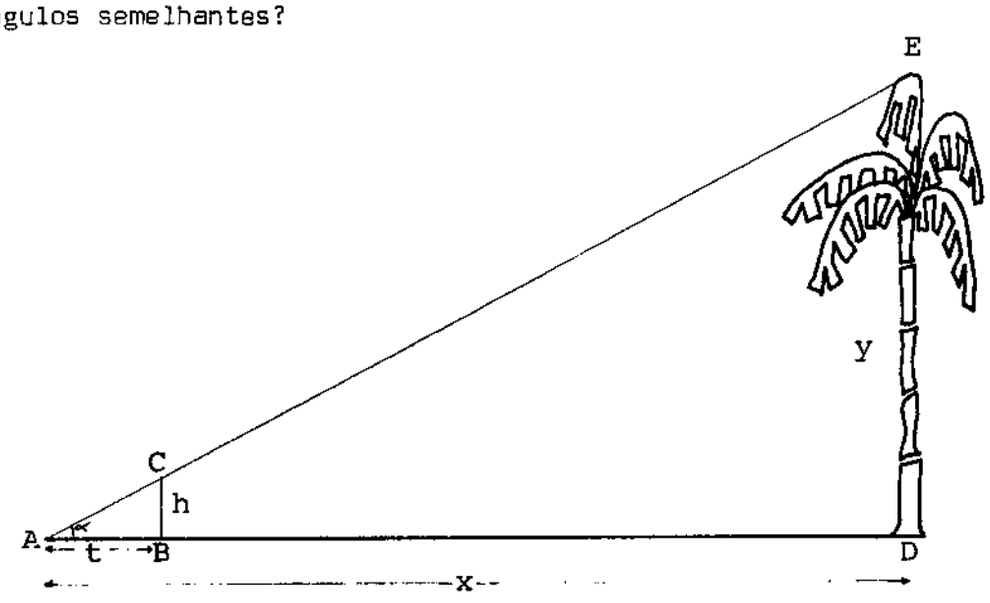


fig. 4.4

São os triângulos ABC e ADE (2 ângulos iguais). Por serem semelhantes, podemos tirar a relação entre seus lados.

$$\frac{h}{t} = \frac{y}{x}$$

Como mostra a figura 4.4, h é o tamanho da árvore que você vê no vidro (tamanho aparente) e t é o comprimento da tábua. Assim, se você conhece a distância que você está da árvore (x) e quer saber sua altura (y), você faz o seguinte:

$$\frac{y}{x} = \frac{h}{t} \qquad \text{ou} \qquad y = x\,\frac{h}{t}$$

Como $\frac{h}{t} = \text{tg}\,\alpha$ então $y = x\,\text{tg}\,\alpha$

Se α for muito pequeno, seu valor confunde-se com o valor de sua tangente, isto é, $\text{tg}\,\alpha \equiv \alpha$ Então:

$$y = x\,\alpha$$

Se você conhecer a altura da árvore (y) e quiser saber a distância a que ela está (x), você fará:

$$\frac{h}{t} = \frac{y}{x} \qquad \text{ou} \qquad x = y\,\frac{t}{h}$$

Como $\frac{t}{h} = \frac{1}{\text{tg}\,\alpha}$ e $\text{tg}\,\alpha \equiv \alpha$ (para ângulos pequenos)

Então $x = \frac{y}{\alpha}$

Agora você poderá fazer a escala. Mas tenha em mente que a escala é só para facilitar seu trabalho quando você for medir a distância ou a altura de um objeto; o mais importante é você entender o raciocínio envolvido.

Para construir a escala, trace no vidro diversas linhas horizontais de 1 em 1 cm (ou 1/2 em 1/2) a partir da linha de base.

Vamos supor que sua tábua tenha 0,5 m (50 cm) de comprimento (t). Se você fizer mira em uma árvore de

10 m (1000 cm) de altura (y) e o topo dela estiver no terceiro traço (h=3cm),qual a distância a que ela está (x) ?

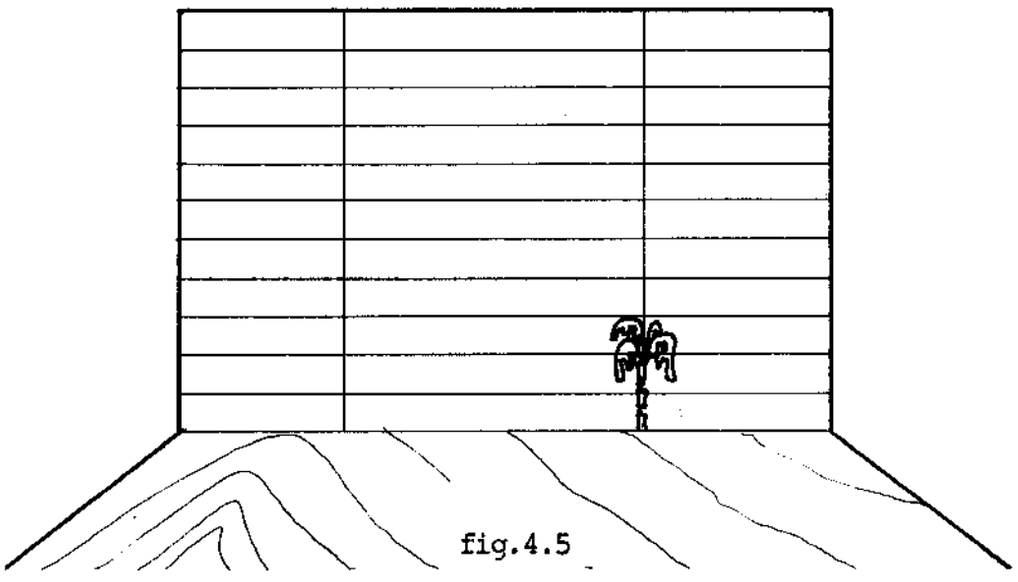


fig.4.5

Temos então:

$$\frac{y}{x} = \frac{h}{t} \qquad x = y \left(\frac{t}{h} \right)$$

$$x = \left(\frac{50}{3} \right) . 1000 = 16,6 \times 1000 = 16.600 \text{ cm}$$

$$x = 166 \text{ m}$$

Como $\frac{t}{h} = \frac{1}{tg\,\alpha}$ seu valor será constante para cada traço horizontal. Nesse caso vale 166 m (terceiro traço).

Agora imagine que a árvore, em vez de 10 m,tenha 25 m de altura (2.500 cm) e estivesse nas mesmas condições anteriores (terceiro traço). Então você multiplicaria o mesmo valor ($\frac{t}{h}$) 166 m por 2500 cm. Assim você percebe que o valor 166 m é uma característica do terceiro traço? Sempre que você quiser saber a distância de um objeto cujo ponto mais alto

esteja no terceiro traço, você multiplica a sua altura pelo valor 166 m.

Coloque, então, no terceiro traço do lado da linha vertical das distâncias, o valor 166 m. Para você saber o valor das constantes para os outros traços basta dividir o comprimento da tábua (t) pela altura do traço (h). Coloque sobre o vidro os valores que você obteve, numa das verticais já traçada anteriormente. Essa vai ser a escala das distâncias.

Se você agora sabe a distância da árvore (x) e quer saber a sua altura (y), você terá que construir uma outra escala: a escala das alturas. Você vai proceder de maneira semelhante a anterior, ou seja, usar as linhas horizontais já traçadas e colocar novos valores sobre o vidro (na outra vertical).

Esses valores serão obtidos dividindo-se a altura do traço (h) pelo comprimento da tábua (t). Assim para você obter a altura (y) da árvore, você irá multiplicar a distância x que você conhece pelo valor dessa sua nova escala $(\frac{h}{t})$ relativa ao traço com que foi observada a árvore.

UM POUCO MAIS AINDA

Agora você irá acrescentar às escalas já existentes, duas novas escalas (portanto mais dois furinhos): a escala das tangentes dos ângulos (tg α) subtendidos pelo objeto visado e a dos próprios ângulos (α) em radianos e em graus.

As tangentes dos ângulos são dadas pela relação:

$$tg\ \alpha = \frac{h}{t}$$

O h e o t já são seus conhecidos.

Você tem o valor de t em centímetros. Os valores de h você pode obtê-los, também em centímetros, medindo-os diretamtne com uma régua.

Para cada valor de h você tem um valor de tg α. Coloque-os, então, em sua escala, que será construída como as outras. A cada valor de h você marca, na sua nova escala, o valor correspondente a tg α.

Meça agora diretamente os ângulos, correspondentes aos diferentes h em graus (com um transferidor, por exemplo). Sabendo que 360° correspondem a 2 Π radianos, expresse os ângulos medidos em graus em radianos.

Construa uma escala utilizando esses dois valores. Observe suas escalas. Há valores comuns entre elas? Entre quais escalas ?

Até que valores dos ângulos vale esta relação ?

Você se lembra que em **"SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS"**, nós nos referimos a esta relação?

Você já pensou com que intensidade chega a energia (radiação) até os outros planetas?

Você irá compreender como decai a intensidade da luz com a distância.

Quando afastamos um objeto da fonte de luz , ele fica iluminado menos intensamente. Sabemos que a intensidade da luz diminui com a distância. Os planetas mais próximos do Sol devem ser iluminados mais intensamente que a Terra. Porém, quanto mais ? - É isso que você deve aprender aqui e responder.

Usaremos uma coisa que, em ciência chama-se modelo: um conjunto de idéias e de imagens com que explicamos determinado fato. Modelo aqui não quer dizer nem cópia nem miniatura; é quase sinônimo de teoria. Um modelo é geralmente baseado em alguns fatos conhecidos que são utilizados para se explicar algo que ainda não se sabe. As coisas que conhecemos de antemão e que esperamos se apliquem ao que estamos estudando chamam-se hipóteses.

Baseado num modelo, podemos fazer previsões que os fatos vão confirmar ou não. Quando as previsões se confirmam, as hipóteses feitas são chamadas de verdadeiras. Tudo que sabemos sobre a Natureza é um modelo.

Vejamos o que já sabemos sobre a radiação de luz e energia do Sol. Sabemos que o Sol é uma fonte de luz e energia que irradia igualmente em todas as direções, também que a energia do Sol se propaga igualmente em todas as direções em linha reta. A radiação do Sol, como qualquer onda eletromagnética, se propaga com velocidade bem determinada (300.000 km/seg).

Uma certa quantidade de energia, nesse caso, a luz, à medida que se propaga, estará distribuída sobre uma área cada vez maior.

Chamamos de intensidade luminosa, a relação entre uma certa quantidade de luz e a área sobre a qual se espalha. É de se esperar que a intensidade da luz diminua com a distância. Isto porque a mesma quantidade de luz terá que se espalhar por uma área cada vez maior.

Se o espalhamento é igual em todas as direções, a mesma radiação vai se distribuir sobre a área de esferas cada vez maiores. Imagine a mesma quantidade de radiação (luz, por exemplo), espalhada sobre a superfície de esferas de raios respectivamente iguais a um, dois, três.

Verifique como estão entre si as áreas dessas esferas.

Não é preciso que a irradiação seja feita em todas as direções. Imagine que ela se dá dentro de apenas um certo ângulo sólido (cunha). Basta que a propagação seja retilínea. Seria o mesmo caso de um "spray", desde que a distância seja pequena para que o jato possa ser considerado retilíneo.

Numa distância duas vezes maior, a área atingida será quatro vezes maior. Numa distância três vezes maior, a área atingida será nove vezes maior... e assim por diante.

Se uma mesma quantidade de radiação se propaga em linha reta, ela se espalhará por áreas que aumentam com o quadra

do da distância.

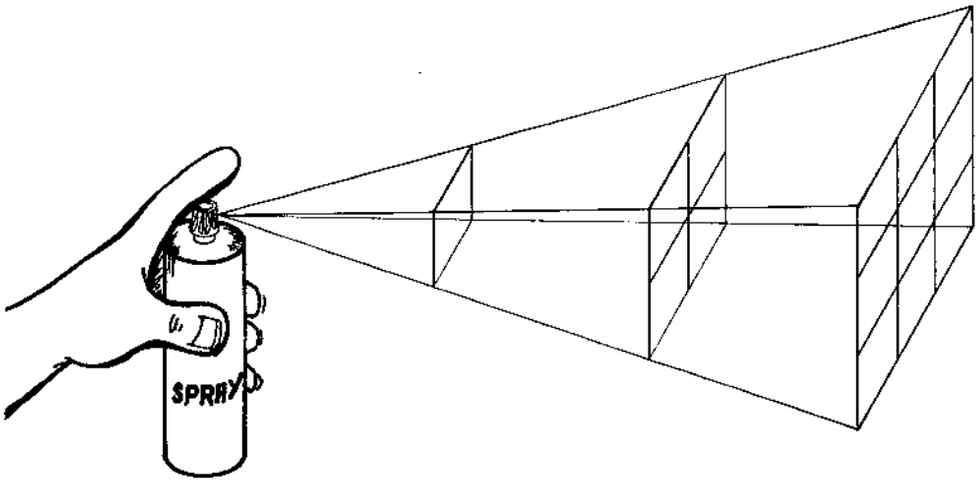


fig. 4.6

Então a relação entre uma certa quantidade de luz e a área sobre a qual ela incide (intensidade) diminui com o inverso do quadrado da distância.

Isso que acabamos de fazer chama-se um modelo.

Os fotômetros, que são aparelhos destinados a medir a intensidade da luz, confirmam isso: a intensidade decai com o inverso do quadrado da distância.

Origem dos Planetas

A teoria hoje mais aceita é que todo o sistema solar se tenha formado a partir de uma grande nuvem constituída principalmente de hidrogênio (H). Essa grande nuvem (ou nebulosa) teria a forma aproximada de um disco e estaria girando sobre si mesma. A parte central teria originado o Sol enquanto os planetas se teriam formado pela condensação e aglomeração gravitacional de turbilhões secundários que se formam dentro da nebulosa.

Hoje parece fora de dúvida que nos outros planetas do sistema solar não existem condições para o aparecimento da vida como a entendemos na Terra.

FILHOS ADOTIVOS DO SOL: COMETAS E METEOROS

Meteoros e Meteoritos

Se você já teve ocasião de fitar o céu em uma noite estrelada, deve ter observado o fenômeno conhecido como "estrela cadente". A respeito dessa ocorrência existem crendices, as mais diferentes. Esse fato se apresenta como um traço luminoso e retilíneo que percorre uma parte considerável do céu. Isso acontece com uma frequência muito maior do que pode parecer a você. Em uma noite limpa bastará que você olhe para o céu durante alguns minutos e você constatará o quanto é frequente.

Você já tentou explicar esse fenômeno? Pare um pouco sua leitura e procure imaginar uma explicação.

O que chamamos de meteoro é o fenômeno luminoso que observamos. Meteorito é o corpo que causa tal fenômeno quando de seu ingresso na atmosfera. O traço luminoso que observamos é provocado pelo intenso aquecimento. O aquecimento se produz devido ao atrito do meteorito com a atmosfera. Esse aquecimento é tão intenso que em poucos instantes (fração de segundo) o meteorito se desintegra transformando-se em vapor. Os meteoritos vêm do espaço, com grandes velocidades, e ao ingressarem na atmosfera da Terra são bruscamente freados. Na maior parte das vezes, toda sua energia cinética (de movimento) é transformada em calor. Como essa transformação se dá em tempo muito pequeno, as temperaturas são muito altas.

Essa transformação se dá de acordo com um dos mais importantes princípios da natureza, o princípio de conservação da energia: a energia não se cria nem desaparece, apenas se transforma. A energia cinética ($E_c = \frac{1}{2} m v^2$) do meteorito não desapareceu, transformou-se em calor; da mesma maneira como se aquecem os freios e rodas de um carro que, vindo em grande velocidade, é bruscamente freado.

A maior parte dos meteoritos tem massa menor que um grão de areia. Felizmente para nós, os de grandes massas são

pouco frequentes. O maior desses fragmentos foi encontrado na África do Sul, com mais de 60 toneladas. No Museu Nacional (Rio de Janeiro, GB) existe um desses fragmentos que deve ter algumas toneladas e foi recolhido na Bahia (Bendengó). A queda desses grandes fragmentos pode provocar crateras como Meteor Crater (mais de 1,5 km de diâmetro) e talvez parte das crateras da Lua. Dos blocos que tem chegado à Terra, uns têm grande predominância de ferro e níquel (Fe e Ni). Talvez por essa razão os povos primitivos consideravam o ferro um material de origem divina. A pedra negra que está na sede da Igreja Muçulmana (Meca) é um meteorito, portanto, uma pedra vinda do Espaço.

Grande parte dos meteoritos faz parte do próprio sistema solar. Talvez sejam os restos de um planeta fragmentado que são capturados pela Terra. A maior frequência de meteoritos em certas camadas geológicas indica que em certos períodos, meteoritos caíram em maior número. Outros meteoritos parecem ter sua origem ligada aos **COMETAS**.

Cometas

Existem registros da passagem de cometas em muitas civilizações anteriores à era cristã. O aspecto invulgar dos cometas aliado à ignorância tem feito com que os cometas sejam tomados umas vezes por mensageiros divinos e outras vezes como prenúncio de calamidades. Os cometas se movimentam ao redor do Sol com as mesmas leis que regem o movimento dos planetas.

Entretanto, as órbitas dos cometas se distinguem por sua grande excentricidade e por estarem contidas em planos completamente diferentes dos planos que contém a família solar.

Os cometas devem ter apenas um pequeno núcleo sólido (nunca visto) constituído por fragmentos sólidos como gelo e cascalho. Esses fragmentos ficam reunidos por um fraco campo gravitacional, devido à pequena massa do conjunto. Esse núcleo sólido não deve ir além de alguns quilômetros em seu tamanho. Ao se aproximar do Sol, parte do núcleo se vaporiza e se ex

pande à medida que a distância diminui.

Um fato curioso em relação aos cometas é que quase sempre eles possuem uma cauda que não vai atrás dele. A direção da cauda é sempre oposta à direção do Sol. Isso significa que, ao se afastar do Sol, o cometa vai com a cauda para frente. Qual seria a explicação para isso? Tente explicar (pare a leitura).

A explicação é que o "vento" solar e/ou a radiação solar exercem pressão que "empurra" a cauda em direção oposta.

A fraca atração gravitacional entre as partes que constituem o núcleo, a radiação solar, e alguma outra interação com planetas ou meteoros, parece provocar a fragmentação de alguns cometas. Esse fato provoca o espalhamento dos fragmentos sobre a órbita do cometa.

Em determinadas épocas do ano a Terra, cruza esses enxames de fragmentos que constituem as "chuvas de meteoros". Estes, justamente por terem trajetórias paralelas, parecem sair de um determinado ponto do céu (ponto radiante).

Embora a origem dos cometas deva estar fora do sistema solar, não se sabe ao certo se sua captura possa ser feita pelo Sol.

CAPÍTULO 4 - PARA ALÉM DO SISTEMA SOLAR

4.1 - DE QUE SÃO FEITAS AS ESTRELAS

A luz das estrelas como a luz de qualquer outra fonte, pode ser analisada. A decomposição ou análise da luz pode ser feita em um prisma ou em uma grade de difração. O que se obtém quando se faz essa decomposição chama-se **ESPECTRO.**

A luz de uma estrela foi analisada pela primeira vez ao tempo em que o Brasil se libertava de Portugal. Isso aconteceu na Alemanha. O físico chama-se **FRAUNHOFER** e a estrela cuja luz era examinada era o Sol. Foi nessa ocasião que pela primeira vez foram observadas as raias escuras de absorção que permitem identificar os tipos de átomos presentes nas camadas externas do Sol. Alguns anos mais tarde dois outros grandes físicos **KIRCHOFF** e **BUNSEN**, usavam a recém-inventada fotografia para registrar e interpretar as tais raias escuras (raias de **FRAUNHOFER**) que aparecem no espectro do Sol.

A análise espectral é hoje um importante instrumento não só da Astronomia como também em outros campos da Física e da indústria. O exame do **ESPECTRO** de uma fonte luminosa pode nos dar informações sobre o tipo de átomo que está emitindo a luz. O espectro caracteriza cada tipo de átomo de forma mais precisa do que as impressões digitais caracterizam uma pessoa. Estudando a luz das estrelas podemos identificar os tipos de átomos que as constituem, apesar da enorme distância.

Você fará a seguir uma atividade com análise espectral, porém não com a luz das estrelas. Porque seria mais difícil fazer uma análise espectral da luz das estrelas? Terá isso a ver com a intensidade da luz das estrelas? Será que os telescópios recebem, de uma mesma estrela, mais luz que os nossos olhos? Compare a área que recebe luz em um telescópio com a área de entrada de luz em nossa vista.

ATIVIDADE: ANÁLISE ESPECTRAL

Para essa atividade nós precisaremos de uma grade de difração. Costuma ser usado como grade de difração uma lâmina de vidro com sulcos paralelos muito próximos. Nós aqui vamos substituir esse material sofisticado por penas de galinha.

Acenda uma vela e coloque a pena a uma pequena distância dos seus olhos e na direção da vela. O que você vê?

Agora você vai mudar os átomos que estão emitindo a luz. Você vai colocar na chama da vela um pouco de qualquer sal (pode ser o sal de cozinha). Olhe agora o espectro desse sal. É diferente do anterior?

Com essa parte da atividade, você já sabe que se pode identificar átomos através da análise espectral.

É possível também através do espectro obter-se informações sobre a temperatura das estrelas. Vejamos como.

Você já reparou de que cor fica uma lâmpada quando a "força" está "fraca"? Será que a cor de um corpo incandescente depende de sua temperatura? Quando um corpo começa a se tornar incandescente, que luz ele emite primeiro?

Para você responder melhor a essas perguntas você vai fazer um experimento. Você vai usar um copo de água com sal dissolvido. Dentro do copo, você vai colocar dois fios de cobre a cujas extremidades estão presas placas de papel alumínio. As outras extremidades do fio vão ser ligadas a duas pilhas e a uma lâmpada (dessas de lanterna) como na figura 1.1.

Você vai afastar e aproximar as duas placas de alumínio. O que acontece com a luminosidade da lâmpada?

Observe agora o espectro da lâmpada nas suas várias luminosidades. Esse espectro é igual para todos os níveis

de incandescência da lâmpada?

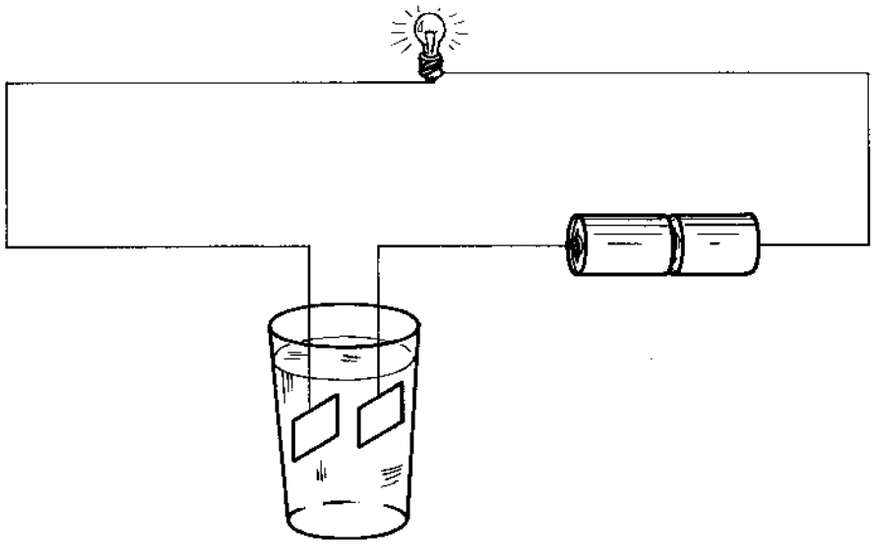


fig.1.1

Que luz ela emite a baixa temperatura? E a alta temperatura?

Assim como o espectro de uma lâmpada, o espectro de uma estrela pode dar informações sobre a sua temperatura. Apesar de quase todas as estrelas emitirem todas as cores do espectro visível, elas não emitem todas as cores com igual intensidade. As estrelas menos quentes emitem mais vermelho e menos azul. As mais quentes emitem mais azul que vermelho.

No início deste século (1908), dois grandes físicos-astrônomos, HERTEPRUNG e RUSSELL, estudaram os espectros das estrelas e procuraram estabelecer uma relação entre o tipo de espectro e a evolução de uma estrela. Havia, no entanto, uma grande pergunta que ainda não podia ser respondida. Como pode uma estrela emitir tanta energia sem se consumir rapidamente? Essa pergunta começou a ser respondida com o físico alemão KARL von WEIZSACKER (1939). O homem estava na soleira da era atômica. Só a liberação da energia atômica pode explicar a tremenda quantidade de energia perdendo apenas uma pequena parte de sua massa. Nas reações que se passam dentro das estrelas, como

acontece numa bomba H, uma pequena quantidade de matéria se transforma liberando uma tremenda quantidade de energia.

A análise espectral mostra que o elemento predominante nas estrelas é o hidrogênio H. Com as altíssimas pressões e temperaturas reinantes no interior das estrelas, quatro núcleos de hidrogênio se unem formando um núcleo de hélio (He) . Quando os quatro núcleos de hidrogênio se unem, uma pequena parte de massa se transforma em energia ($E = m C^2$). Essa célebre equação de EINSTEIN mostra não só a equivalência entre massa e energia. Observe como mesmo uma pequena massa equivale a uma grande quantidade de energia. O fator de multiplicidade C^2 e o quadrado da velocidade da luz, que é enorme (300.000 km/seg).

O entendimento da equivalência entre energia e massa (matéria) tornou possível explicar como uma estrela (o Sol por exemplo) pode emitir tanta energia por tanto tempo, sem se desfazer de toda sua massa. Com o passar dos milhões de anos, lentamente o hidrogênio (H) se vai transformando em hélio (He). Hoje se pode ter uma idéia da evolução das estrelas também através da análise espectral.

As estrelas não evoluem todas da mesma maneira. Ao que se sabe hoje, a evolução de uma estrela depende de sua massa (quantidade de matéria). As estrelas de maior massa parecem evoluir mais depressa. A maior massa gera um campo gravitacional maior. Esse campo gravitacional faz com que a estrela se comprima mais. Essa compressão gera temperaturas e pressões maiores que aceleram a "fornalha atômica", onde se sintetiza principalmente o hélio.

Depois de ter irradiado energia durante alguns bilênios, algumas estrelas vão se tornando de volume menor, sem quase diminuir de massa. Essas anãs brancas, como são chamadas, devem ter densidades tão grandes que 1 cm^3 poderá "pesar" muitas toneladas. Outras estrelas parecem terminar sua evolução como Novas e Super-novas, estrelas que explodem, mandando grande parte de sua matéria para o espaço.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

EFEITO DOPPLER

Já vimos como a análise espectral pode fornecer dados sobre a constituição e a temperatura das estrelas.

Vamos agora ver como o estudo do espectro pode fornecer informações sobre o movimento das estrelas.

Você entenderá o fenômeno através de um exemplo. Este exemplo servirá de modelo para você compreender o fenômeno.

Suponha que um seu colega tem uma cesta cheia de jabuticabas. Seu colega e você estão frente a frente a uma certa distância. Agora seu colega começa a atirar jabuticabas para você num ritmo constante, digamos, uma jabuticaba por segundo.

Neste caso, você que recebe as jabuticabas vai chamar-se **"observador"** e seu colega será a **"fonte"** ou **"emissor"** de jabuticabas. Se seu colega continuar a atirar jabuticabas à razão de uma por segundo,você continuará a receber 1 jab/seg . qualquer que seja a distância entre vocês. Não importa a distância entre a "fonte" e o "observador". Não importa também a velocidade com que as jabuticabas se deslocam entre a fonte e o observador. Se agora seu colega desloca em sua direção atirando jabuticabas no mesmo ritmo (1 jabot/seg),você receberá as frutas com um ritmo maior do que ele está atirando. Se, ao contrário, ele se desloca em sentido contrário de você continuando a atirar jabuticabas com o mesmo ritmo, você receberá menos que 1 jab/seg. Percebeu? Se você sabe qual o ritmo (jab/seg) com que o "emissor" está atirando jabuticabas, você poderá avaliar a velocidade com que ele se aproxima ou se afasta de você.

Outro exemplo servirá para consolidar a idéia.Imagine uma torneira que está gotejando com uma certa frequência,isto é, está caindo um certo número de gotas por segundo. Você agora coloca sua mão embaixo da torneira. Sobre sua mão estão

caindo gotas. Seja qual for a distância entre a torneira, que é a "fonte", e sua mão, que é o "observador", você receberá as gotas com a mesma frequência com que elas estão saindo da "fonte". Observe como não importam nem a distância nem a velocidade com que as gotas se deslocam no percurso.

Experimente agora mover sua mão para cima e para baixo, isto é, a favor e contra o movimento das gotas. Você perceberá que quando sua mão se move para baixo, isto é, a favor do movimento das gotas, a frequência com que as gotas chegam a sua mão diminui. Quando sua mão se mover contra as gotas, você receberá mais gotas por segundo, isto é, você receberá gotas com maior frequência.

Vamos agora usar esse modelo. Em lugar de seu colega jogando jabuticabas ou da torneira, imagine outra "fonte", uma estrela. A estrela está emitindo ondas de luz (ou partículas, se você quiser). Essas ondas (ou partículas) em nossos modelos, foram representadas pelas jaboticabas ou pelas gotas. A estrela está emitindo luz de uma forma característica que constitui o seu espectro. Se a estrela se está afastando, a frequência com que recebemos suas ondas (luz) diminui. Sua cor se deslocará mais para o lado do vermelho. Se a estrela se desloca em nossa direção, a frequência com que recebemos suas ondas aumenta. Neste caso, sua cor se desloca para o azul. Esse tipo de estudo também pode dar informações sobre o volume e a rotação das estrelas. Quando a estrela gira, um lado se aproxima de nós enquanto outro se afasta.

O fenômeno que acabamos de descrever foi estudado por Doppler e ficou conhecido pelo seu nome.

Esse mesmo efeito é observado quando um carro passa por nós em alta velocidade e buzinando. Enquanto ele se aproxima de nós, a frequência com que recebemos os pulsos sonoros é maior. Por essa razão o som da buzina nos parece mais agudo. Quando o carro já passou e se afasta, recebemos os pulsos sonoros com menor frequência; a buzina nos parece mais grave. Somente enquanto o carro está passando exatamente do lado ouvimos a buzina na mesma frequência em que ela está emitindo.

SINTONIZANDO ESTRELAS: A RÁDIO-ASTRONOMIA

Com o estudo feito por Maxwell, na Inglaterra, e as experiências feitas por Hertz, na Alemanha, na segunda metade do século passado, ficava estabelecida uma íntima relação entre as ondas de luz e as ondas eletromagnéticas ou ondas de rádio. Ficava-se assim sabendo que, sempre que uma carga elétrica é acelerada (muda sua velociadade), há emissão de uma onda eletro - magnética. Por exemplo, numa antena de estação de rádio, as cargas elétricas estão sendo sacudidas pra-lá-e-pra-cá com uma certa frequência. Assim a antena emite ondas de rádio. Todas as ondas eletromagnéticas têm algumas propriedades em comum. Todas elas se propagam no vazio com a mesma velocidade: 300.000 km/s. e transportam energia. São ondas eletromagnéticas: a "luz"visível, a "luz" infra-vermelha, a "luz" ultravioleta, o raio X, o radar, etc. A diferança entre essas radiações é apenas de comprimento de onda.

Em 1890, Thomas Edson falou da possibilidade de o Sol emitir também ondas de rádio.

Somente em 1932, ondas de rádio vindas do espaço foram detectadas, por acaso. Isso aconteceu quando Karl Jausky, engenheiro da Bell, fazia pesquisas sobre ruídos que interferem numa transmissão de rádio de onda curta em longa distância. A onda por ele detectada era de 15 metros. Jausky percebeu que só recebia esses sinais quando apontava sua antena para a direção da Via Láctea.

A descoberta da rádio-astronomia trouxe novas possibilidades para o conhecimento do Universo. Até então, todas as informações da Astronomia eram obtidas somente através da luz visível, isto é, através das radiações eletromagnéticas que sensibilizam nossa retina. Vemos o Universo através de uma estreita fenda do espectro eletromagnético, o espectro visível.Com

a rádio-astronomia, podemos obter informações através de outras "janelas" para o espaço.

O hidrogênio (H) é o mais leve dos elementos e por isso de grande importância para os físicos e astrônomos. Em nosso Sol, como nos demais (estrelas) é o hidrogênio que alimenta as "fornalhas" atômicas. Você está lembrado de que a grande quantidade de energia emitida por uma estrela (como o Sol) se deve à combinação de quatro átomos de hidrogênio para formar um átomo de hélio (He). Por isso, o hidrogênio é o elemento que parece dar origem às estrelas.

Pois bem, descobriu-se (Van de Hulst - 1944) que quando muito rarefeito o hidrogênio neutro (não excitado) pode emitir uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 21cm. Mas uma onda desse comprimento não é percebida pela nossa vista nem pelos telescópios óticos. Esse comprimento de onda corresponde a uma onda de rádio que só os rádio-telescópios podem captar. O estudo dessa radiação do hidrogênio está possibilitando o conhecimento de como o hidrogênio está distribuído no espaço entre as estrelas e entre as galáxias. Isso permitiu aos astrônomos determinar a existência e a posição dos ramos espirais da nossa galáxia. Ainda mais: ficou comprovado que nosso Sistema Solar está na beirada de um dos braços espiralados de nossa galáxia que está girando lentamente.

Outro aspecto importante da rádio-astronomia é o estudo das rádio-emissões do Sol. Nossa estrela emite grande quantidade de ondas de rádio que estão relacionadas com as protuberâncias (explosões) solares e com a temperatura das camadas externas do Sol. Essas emissões estão também relacionadas com as tempestades magnéticas que afetam as transmissões de rádio aqui na Terra.

Nos anais da Astronomia, o ano de 1054 é muito importante. Nesse ano, astrônomos chineses registraram precisamente o aparecimento repentino de uma nova estrela de brilho excepcional. Recentemente, portanto 900 anos depois, a rádio-astronomia descobriu, naquele exato ponto assinalado pelos chineses, uma potentíssima fonte de rádio-emissão e que coincide com uma inte

ressante nuvem de gases conhecida como nebulosa do Caranguejo. Esse fato sugere que grandes estrelas chegam a explodir, espalhando sua matéria para o espaço interestelar e tornando-se fortes fontes de rádio-emissão. A rádio-astronomia tem assim contribuído entre outras coisas, para se explicar o aparecimento das estrelas Supernovas. Estas estrelas poderiam ser a fase final da evolução de estrelas de grandes massas.

CAPÍTULO 4 - PARA ALÉM DO SISTEMA SOLAR

4.2 - DISTÂNCIAS ASTRONÔMICAS: AS ESTRELAS

Durante toda a antiguidade o homem pensou estar no centro da grande esfera do céu. As estrelas seriam pontos luminosos cravados na face interna dessa grande esfera. Para além dessa esfera ficavam as coisas divinas. Como há no céu grande número de estrelas visíveis o homem com sua imaginação uniu esses pontos formando figuras de acordo com suas crenças e lendas.

Nasceram assim os nomes das constelações, os quais os astrônomos mantêm, apenas, para assinalar regiões do céu. O critério das constelações não tem nenhum caráter científico. No mais das vezes, as estrelas de uma mesma constelação não têm nada a ver uma com a outra. Estrelas que parecem juntas podem estar entre si mais distantes do que estrelas que vemos em direções opostas.

Depois de ter descoberto o sistema solar, o homem tentava medir a distância das estrelas. Admitindo-se a hipótese de que a Terra faz uma órbita ao redor do Sol (heliocentrismo) esperava-se que as estrelas mais próximas se deslocassem diante do fundo constituído pelas estrelas distantes. Somente há pouco mais de um século (1837) foi possível registrar pela primeira vez esse deslocamento aparente de uma estrela em relação ao fundo constituído pelas estrelas mais distantes. Isso foi conseguido pelo astrônomo alemão Frederich Bessel em 1837.

O método usado para determinar as distâncias das estrelas mais próximas chama-se **TRIANGULAÇÃO** e o ângulo que se determina chama-se **PARALAXE ANUAL**.

ATIVIDADE: TRIANGULAÇÃO

Com esta atividade você vai aprender a medir distâncias por triangulação. Você poderá medir distâncias até pontos inacessíveis. Isso lhe pode ser muito útil. Por exemplo, você poderá medir a largura de um rio, sem ter que atravessá-lo. Entendido isto, fica entendido como se pode determinar a distância entre a Terra e uma estrela.

Você vai medir uma distância qualquer. Serão necessárias apenas umas estaquinhas, se você for medir uma distância de dezenas ou centenas de metros. Se você vai medir pequenas distâncias dentro de sua classe, bastam uns alfinetes.

Escolha o ponto cuja distância vai ser determinada (C) e o ponto (A) a partir do qual vai ser determinada a distância.

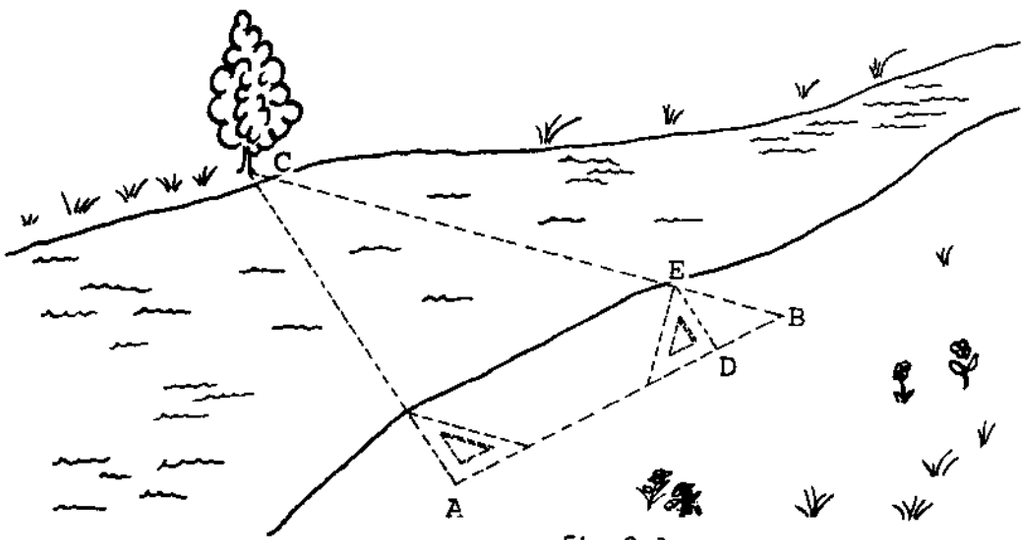


fig.2.1

Marque agora um ponto (B) numa direção perpendicular à distância (AC).

Agora olhando de (B) marque com uma estaca, um ponto (E) que esteja alinhando com (B) e (C). Não importa

a distância: basta que o ponto seja bem acessível.

O próximo passo será marcar o ponto (D) que deve estar sobre a direção (AB) e o segmento (DE) que deve ser perpendicular à reta AB.

Os triângulos ABC e DBE têm todos os lados paralelos, logo são semelhantes. Então podemos escrever

$$\frac{AC}{AB} = \frac{DE}{DB} \qquad AC = AB \frac{DE}{DB}$$

A distância (AC) é igual ao produto da linha de base (AB) vezes a relação dos dois segmentos (DE) e (DB). É preciso então que você tenha o valor da base (AB) e o valor da relação (DE / DB). A distância será dada na mesma unidade em que for expresso o comprimento da base. Os segmentos (DE) e (DB) podem ter seus comprimentos medidos em <u>qualquer unidade</u>, contanto que seja a <u>mesma para os dois</u>.

Se você quiser usar essa idéia para medir pequenas distâncias, construa seu telêmetro conforme as ilustrações.

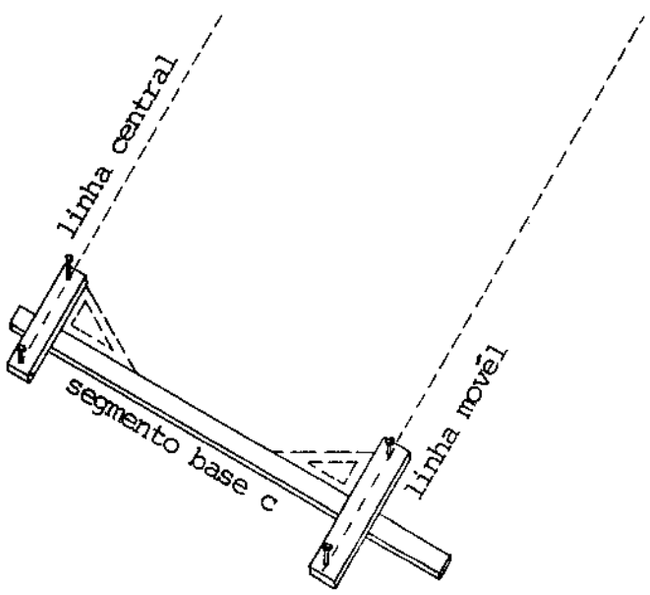


fig.2.2

Com um esquadro, você verificará se a linha central é perpendicular ao segmento base (C). Depois disso

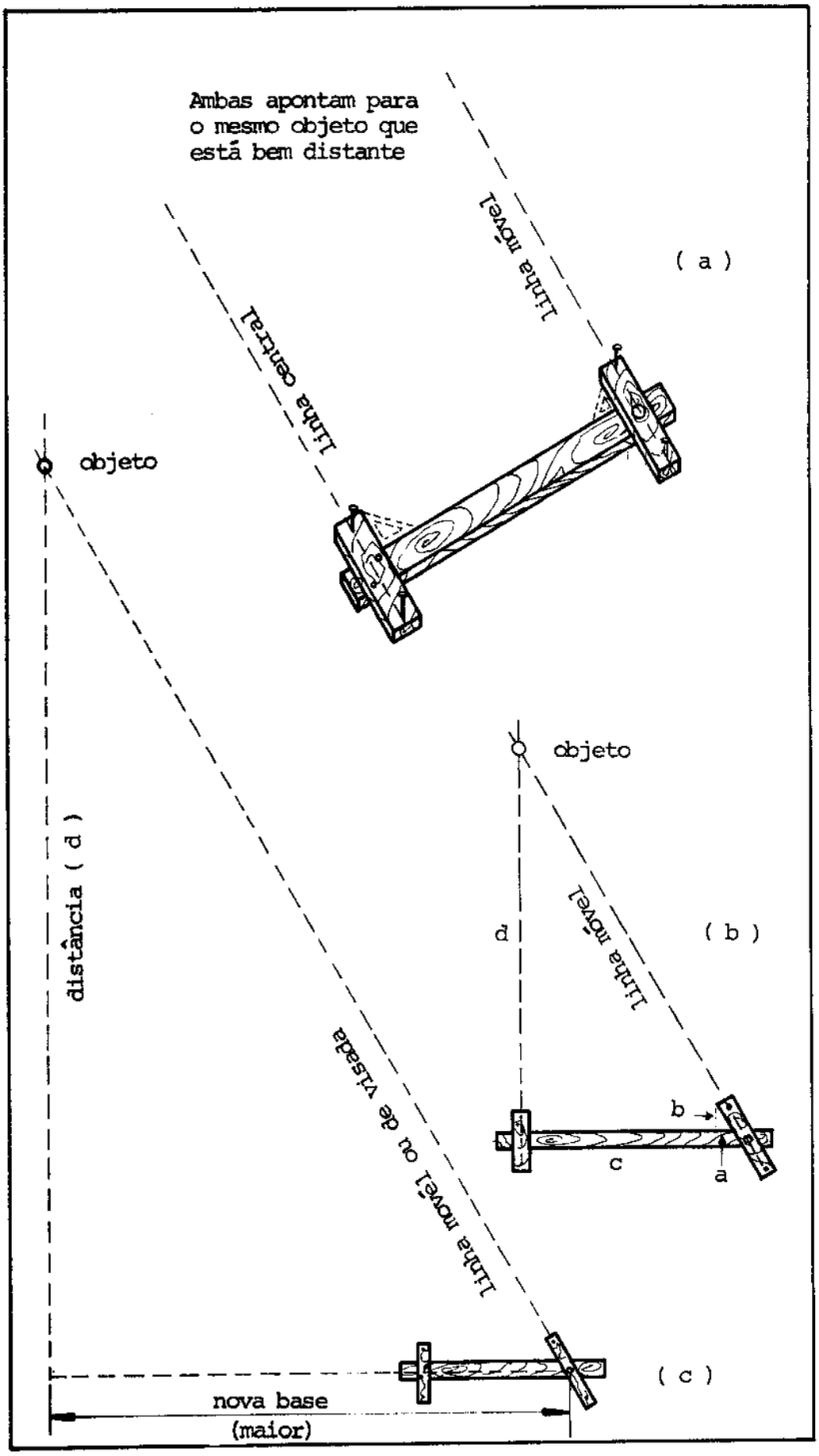

Ambas apontam para
o mesmo objeto que
está bem distante
linha móvel
(a)
linha central
objeto
objeto
distância (d)
d
linha móvel
(b)
b
c
a
linha móvel ou de visada
(c)
nova base
(maior)

fig.2.3

coloque o esquadro junto ao lado móvel e coloque os alfinetes ou pregos de tal maneira que estejam numa reta também perpendicular à base. Outra maneira de fazer isso, é apontar a linha central para um objeto bem distante (de muitas centenas de metros ou quilômetros) figura 2.3.a

Para medir a distância a um certo objeto, aponte para ele a linha central do aparelho (pontaria). Sem mexer o telêmetro, aponte agora a linha móvel para o objeto.

Pela figura 2.3.b você pode ver que como no caso anterior

$$\frac{d}{c} = \frac{b}{a} \quad , \text{ então } \quad d = c\,\frac{b}{a}$$

A distância (d) do objeto será o produto da constante do aparelho (c) pela relação (divisão) entre b e a

A relação entre dois comprimentos não depende da unidade em que estes forem medidos. Use qualquer unidade, porém a mesma, para ambos (a e b). Isso será fácil com um pedaço de papel quadriculado.

Determine a distância de vários objetos que estejam a alguns metros, para que você possa conferir os resultados e ganhar confiança em suas medidas.

Depois de ter entendido o método, você poderá fazer sobre o aparelho uma escala que já contenha as distâncias diretamente. Assim bastará apontar para um objeto e ler a distância indicada na escala, sem fazer mais contas.

Que acha você sobre a precisão de suas medidas ? As mais precisas são as mais próximas ou as mais distantes?

De que coisas depende a precisão de suas medidas?

Seu aparelho pode medir qualquer distância?

Experimente até que distâncias seu aparelho pode medir.

Como deveria ser seu aparelho para poder medir

distâncias maiores?

Verifique como você pode adaptar seu telêmetro para medir distâncias maiores.

Sua próxima tarefa será a de determinar a distância da máquina fotográfica até a lampadazinha que aparece nas duas fotos da figura 2.6 . As duas fotos foram batidas deslocando-se a máquina de 20 cm. As duas fotos abrangeram um campo de 5°.

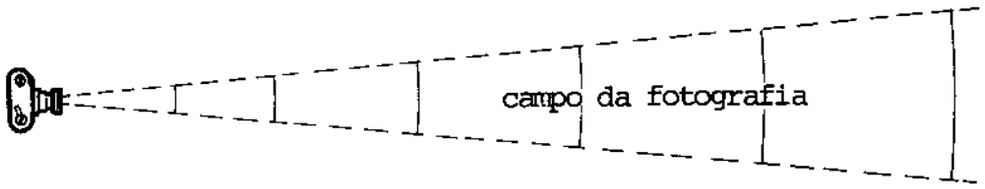


fig.2.4

As duas fotografias foram feitas conforme o esquema abaixo. Nele você pode entender bem como estão relacionadas as coisas.

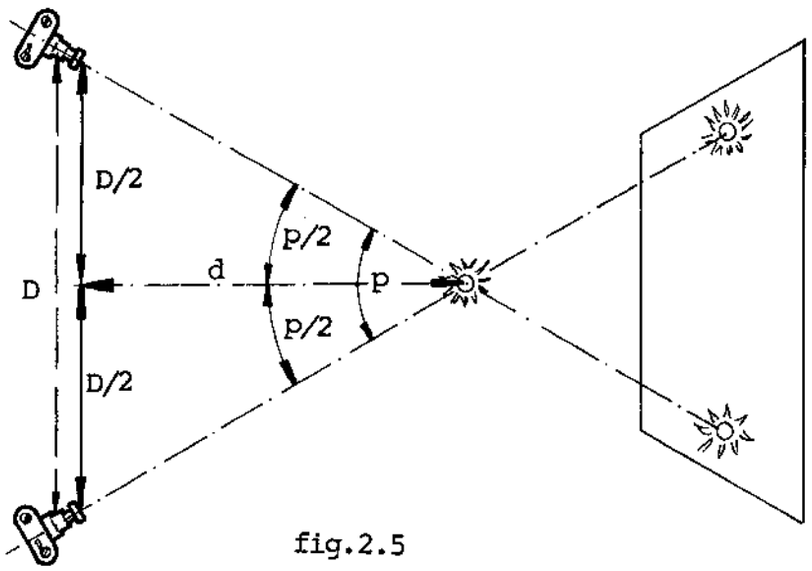


fig.2.5

Pela figura podemos ver que

$$\text{tg } p/2 = \frac{D/2}{d} \quad \text{ou} \quad d = \frac{D/2}{\text{tg } p/2}$$

D é o deslocamento do observador, neste caso, a câmara fotográfica; p/2 é a metade do ângulo total de PARALAXE. D é a linha de base que é conhecida; p ou p/2 é o que se mede, neste caso, através da fotografia.

Observe as duas fotografias adiante. Elas são uma simulação (fazer de conta) da determinação da distância de uma estrela.

Você deverá compará-las, fazer medidas e, com isso, medir a que distância está a luzinha acesa em meio à escuridão. Os outros pontos brilhantes representam "estrelinhas" que estão muito afastadas. Elas constituem o panorama de fundo.

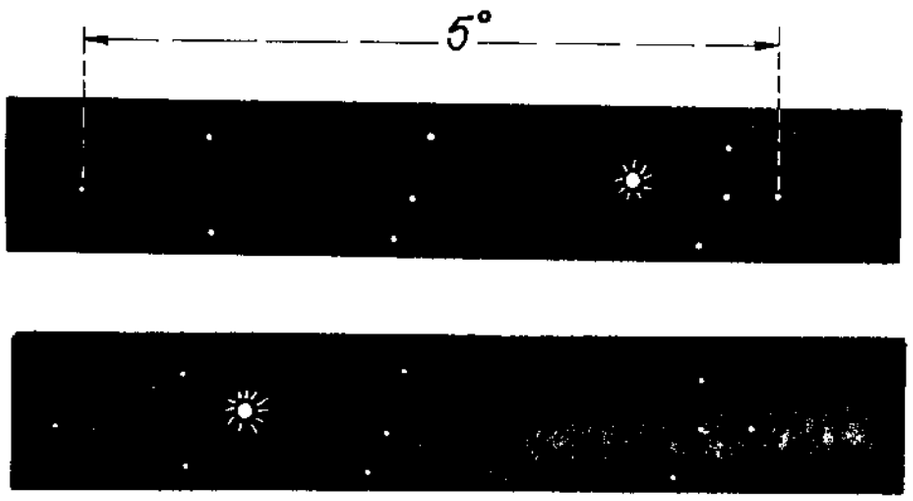


fig.2.6

Como o campo da fotografia é pequeno, aproximadamente 5°, você poderá fazer interpolações para achar o ângulo da paralaxe (p) da pequena luz. Neste caso os ângulos são proporcionais às distâncias sobre a fotografia.

Nas duas fotos seguintes tudo foi feito igual,exceto a distância da lâmpada que foi alterada. Qual a nova distância da lâmpada?

Você poderia dar um valor aproximado antes de fazer medidas?

Este é o método para se determinar a distância

das estrelas por triangulação.

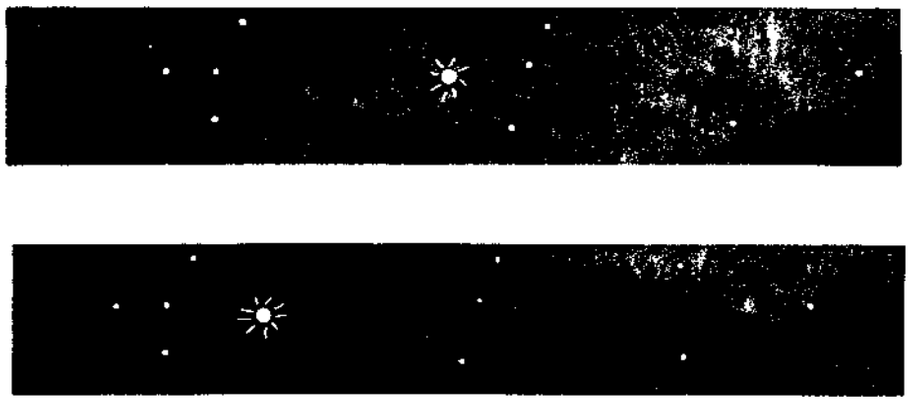


fig.2.7

Depois dessa atividade você sabe, não só como é determinada a distância das estrelas, mas sabe também usar esse método para determinação de distâncias aqui na Terra.

Você percebeu também que, quando as distâncias se tornam muito grandes, os ângulos de **PARALAXE** se tornam tão pequenos que não conseguimos medi-los. Por essa razão o número de estrelas que conseguimos triangular é muito pequeno em relação ao número de estrelas que vemos.

E as demais estrelas? Como podemos medir suas distâncias? Pense no que você já sabe sobre a diminuição da intensidade da luz com a distância.

Analisando as cores e a intensidade das estrelas mais próximas e cujas distâncias eram conhecidas por triangulação, os astrônomos obtiveram outras informações importantes. Os astrônomos já sabiam (e você também já sabe) que a intensidade da luz de uma fonte luminosa diminui com o quadrado da distância. A descoberta era de que as estrelas que tinham as mesmas cores

(espectro), tinham também a mesma MAGNITUDE REAL. Conhecida a magnitude real e medindo-se a magnitude aparente (usando fotômetro) fica-se conhecendo a distância.

Suponha que um astrônomo (você) tenha triangulado várias estrelas que têm a mesma composição de cores (o mesmo espectro). Além de analisar as cores você mediu também a intensidade da luz emitida de cada uma das estrelas. Para isso você usou um certo tipo de fotômetro que aqui não importa.

ESTRELA	DISTÂNCIA	INTENSIDADE APARENTE (MEDIDA)
(α) ALFA	1 UNIDADE	1 UNIDADE
(β) BETA	2 UNIDADES	1/4 UNIDADE
(γ) GAMA	3 UNIDADES	1/9 UNIDADE
(δ) DELTA	4 UNIDADES	1/16 UNIDADE
(Ω) OMEGA	10 UNIDADES	1/100 UNIDADE

O que você pode concluir sobre as estrelas estudadas?

Suponha que tivesse observado uma série de outras estrelas que têm a mesma composição de cores (espectro). Acontece que as estrelas da nova série não apresentavam paralaxe anual que pudesse ser medida. Entretanto você conseguiu medir a intensidade de suas luzes. Foram estes os resultados das novas medidas.

ESTRELA	DISTÂNCIA AVALIADA	INTENSIDADE MEDIDA
ZETA	?	1/900 UNIDADES
OMICRON	?	1/2500 UNIDADES
TETA	?	1/16000 UNIDADES
PSI	.	1/50000 UNIDADES

Que hipótese você fez para avaliar as distâncias na última tabela. Que acontecerá se essa hipótese não for correta?

A partir do fim do século XVIII com a introdução dos grandes telescópios iniciada por Herschel muitas outras características das estrelas começaram a ser descobertas. Por exemplo:

Existem muitos sistemas que apesar de parecerem uma só estrela são formados por duas ou mais estrelas que giram ao redor do centro de massa comum. Esses sistemas se mantém unidos pela força de atração mútua entre os componentes. Há casos em que só uma é visível e pelo seu movimento pode-se determinar a massa do componente invisível. Esse é o caso da mais brilhante estrela do céu: Sirius. Algumas dessas estrelas variam de brilho quando um dos componentes eclipsa o outro.

Existem estrelas cujo brilho pulsa com períodos (tempos) diferentes . Descobriu-se que existe uma relação entre o brilho ou **MAGNITUDE REAL** e o período da pulsação deste. Esse é o meio que permite avaliar as maiores distâncias astronômicas.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Você está familiarizado com a medida de um ângulo em graus: uma volta completa tem 360°. Existe no entanto uma outra medida unidade em que se medem os ângulos. Essa outra unidade é muitas vezes chamada de unidade natural e se chama **RADIANO**. Uma grande vantagem dessa unidade é o fato de que, quando os ângulos são pequenos, estes podem ser substituídos pelo seu **seno** (**sen** α) ou pela sua **tangente trigonométrica** (**tg** α).

Uma circunferência completa tem 360° e seu comprimento mede $2 \pi R$ Um radiano é um ângulo que subentende um arco cujo comprimento é igual ao comprimento do raio. Por essa razão, uma circunferência tem tantos radianos quantas vezes o seu com

primento contém R .

Então, uma circunferência tem

$$\frac{2\,\Pi\,R}{R} \text{ radianos}$$

ou seja:

$$2\,\Pi \text{ radianos.}$$

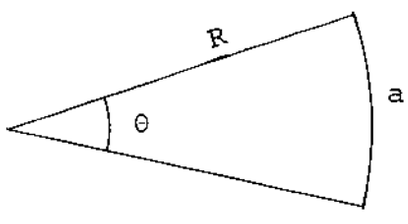
Se 360° correspondem a $2\,\Pi$ radianos então:

$$1 \text{ radiano} = \frac{360^{o}}{2\,\Pi} = \frac{360^{o}}{6{,}28} = 57^{o}\,3 \quad \text{(aproximadamente)}$$

Cada grau contém 60' e cada minuto contém 60''
Cada grau contém 3.600" . Então:

$$1 \text{ rd} = 57^{o},3 \times 3.600 = 206.265''$$

Em radianos, um ângulo pode ser expresso como a relação entre o comprimento do arco e o comprimento do raio.



$$\theta = \frac{a}{R}$$

fig.2.8

Quando o arco tiver o comprimento do raio $\theta = 1$ rd.

Conhecida essa definição, segue-se que

$$R = \frac{a}{\theta} \qquad a = \theta\,R$$

Entendido isto, podemos voltar às distâncias astronômicas

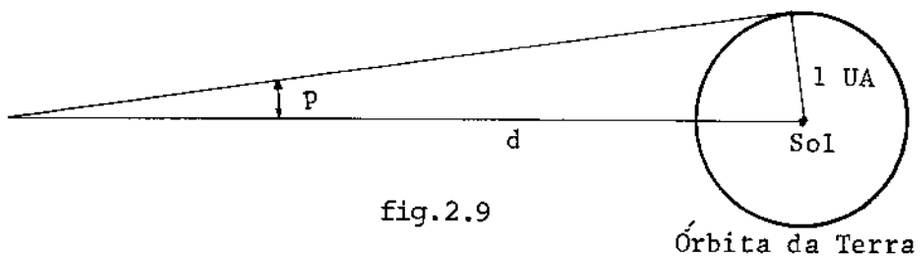


fig.2.9

Da figura (2.9) , temos :

$$p = \frac{1UA}{d} \qquad \text{ou}$$

$$d = \frac{1UA}{p}$$

Para que a distância (d) seja expressa em unidades astronômicas (UA), é preciso que a paralaxe anual (p) seja expressa em radianos.

Uma importante unidade de distância, quando se trata de estrelas, é o PARSEG (Paralaxe Segundo). Um PARSEG é a distância de uma estrela cuja paralaxe anual (p) é igual a 1". O nome vem justamente disso: PARalaxe de um SEGundo.

Uma estrela que tenha paralaxe anual de 1", está a uma distância de 1 PARSEG.

Vejamos quanto vale um PARSEG.

Já sabemos que

$$R = \frac{a}{\theta} \qquad\qquad a = R\,\theta$$

Seja, então, p o ângulo de paralaxe de uma estrela. Isso quer dizer que p é o ângulo subentendido pelo raio da órbita terrestre (1 unidade astronômica) visto desde a estrela. Pela definição, podemos escrever

$$p = \frac{1\ UA}{d} \quad \text{Então:} \quad d = \frac{1\ UA}{p}$$

Se exprimirmos p em radianos, a distância (d) será dada em unidades astronômicas (UA). Qual o valor do ângulo de 1" expresso em radianos?

$$1\ rd = 57^{o},3 = 57^{o},3 \times 60 \times 60 = 206.265''$$

$$1\ rd = 206.265''$$

$$? = 1''$$

$$1'' = \frac{1}{206.265} \text{ rd}$$

Então:

$$d = \frac{1 \text{ UA}}{\frac{1}{206.265}} = 206.265 \text{ UA}$$

$$1 \text{ parseg} = 206.265 \text{ UA}$$

Então, uma estrela cuja paralaxe anual vale 1" está a uma distância de 1 parseg ou 206.265 unidades astronômicas (U A). Quer isso dizer que, uma estrela que tem 1" de paralaxe ou que está a uma distância de 1 PARSEG, está, de nós, a uma distância que é 206.265 vezes maior que a distância Terra-Sol.

Acontece que, mesmo as estrelas mais próximas, têm paralaxe anual inferior a 1". Portanto, mesmo as estrelas mais próximas estão a distâncias maiores que um PARSEG.

A estrela mais próxima tem paralaxe anual de 0,761". Sua distância é então:

$$d = \frac{1 \text{ UA}}{\frac{0,761}{206.265}} = 271.000 \text{ UA}$$

ou

$$d = \frac{271.000}{206.265} = 1,3 \text{ PARSEG}$$

UM POUCO MAIS AINDA

É muito comum empregar-se em medidas das distâncias das estrelas, uma outra unidade: o ANO-LUZ (AL).

Um Ano-Luz (AL) é a distância percorrida pela

luz em um ANO. Quanto vale essa distância? Sabemos que a luz se desloca no espaço vazio com uma velocidade de 300.000 km/seg. Com essa velocidade, a luz poderia dar mais de oito voltas à Terra em apenas 1 segundo de tempo.

1 AL = 300.000 km/seg x (nº de segundos em um ano)

1 AL = 3×10^5 km/seg x (365,25 x 24 x 60 x 60)

1 AL = 3×10^5 km/seg x $3,1 \times 10^7$ seg.

1 AL = $9,3 \times 10^{12}$ km

1 AL = $9,3 \times 10^{15}$ m

Já sabemos que:

1 PARSEG = 206.265 UA mas

1 UA = 150.000.000 km

1 PARSEG = 206.265 x 150.000.000 km

1 PARSEG = $30,1 \times 10^{12}$ km

Então:

$$\frac{1 \text{ PARSEG}}{1 \text{ AL}} = \frac{30,1 \times 10^{12} \text{ km}}{9,3 \times 10^{12} \text{ km}} = 3,2$$

$$\frac{1 \text{ PARSEG}}{1 \text{ AL}} = 3,2$$

Logo: 1 PARSEG = 3,2 AL

Acima, calculamos a distância da estrela mais próxima e achamos d = 1,3 PARSEG

A distância dessa estrela mais próxima, em AL (ANOS-LUZ) será então:

d = (1,3 PARSEG x 3,2) AL d = 4,3 AL

CAPÍTULO 4 - PARA ALÉM DO SISTEMA SOLAR

4.3 - PANORAMA DO UNIVERSO

A ciência criada pelo homem permitiu-lhe conhecer grande parte das leis que regem o funcionamento da Natureza em seu planeta, a Terra. Ao mesmo tempo o homem foi descobrindo como podia aplicar os conhecimentos adquiridos aqui na Terra ao espaço além da Terra. Em alguns casos o entendimento de fatos distantes se deu antes. Tal é o caso da gravitação. O homem foi capaz (Newton) de medir a atração entre a Terra e o Sol antes de conseguir medir, por exemplo, a atração entre duas maçãs (Cavendish , um século depois).

O homem aprendeu a confiar, com segurança, nas leis de sua ciência e pôde prever coisas que só muito depois poderia comprovar. Quando os primeiros engenhos russos circundaram a Lua ou nela pousaram ,quando os astronautas americanos alunissaram, quase todas as coisas aconteceram rigorosamente como tinham sido previstas. Em resumo: o homem aprendeu a confiar no método científico. A aplicação dessa ciência permitiu ao homem saber muita coisa do espaço em que ele jamais poderá penetrar,senão pela sua imaginação.

A Lua é o primeiro objeto fora do seu habitat (Terra), que o homem pode estudar direta ou pessoalmente. A Lua está a uma distância tão pequena que já pode ser estudada pelo homem "in loco" (no lugar). A estrela da qual recebemos nossa energia, o Sol, está a uma distância 400 vezes maior. (24.000 raios terrestres).

Hoje sabemos que o Sol é uma estrela muito comum pelo Universo afora. Essa é uma das razões que dá importância ao estudo do Sol. Conhecendo bem o Sol, ficamos conhecendo uma grande parte das estrelas que povoam o Universo.

Apesar de ter um volume que é 1.300.000 vezes

maior que o volume da Terra, o Sol está longe de ser uma estrela das grandes. Existem estrelas menores que o Sol mas existem também estrelas tremendamente maiores que o Sol.

É interessante notar-se que enquanto os tamanhos (volumes) variam brutalmente, as massas das estrelas não são tão diferentes quanto os volumes. Se variam pouco as massas, mas variam muito os volumes, que propriedade deve também variar muito?

A densidade é a relação entre a massa e o volume de um corpo.

$$d = \frac{M}{V}$$

Se o volume aumenta numa proporção maior que a massa, então a densidade diminui.

ATIVIDADE: MINIATURA DO UNIVERSO

Sugerimos que você represente a Terra por uma bolinha de "gude" de uns 2 cm de diâmetro. Nessa escala em que 1 cm representa o raio da Terra, que espessura deverá ter a "atmosfera" ao redor da bolinha (Terra), sabendo-se que quase toda atmosfera está contida abaixo de 60 km de altura?

Que bolinha representará a Lua de sua "Terrinha", sabendo-se que $R_L = 0{,}27\ R_T$? Quantas "Terras" você deverá enfileirar para representar a distância Terra-Lua?

Compare a distância do Sol à Terra com a distância da Terra-Lua. Quantas vezes a distância Terra-Lua está contida na distância Terra-Sol? Quantas "Terrinhas" você deverá enfileirar para representar a distância do Sol à Terra? Que tamanho deverá ter o "bolão" que representa o Sol? Lembre-se que o raio do Sol vale 109 raios terrestres, isto é, num diâmetro do Sol cabem 109 Terras enfileiradas. Poderia o Sol passar no espa

D é o deslocamento do observador, neste caso, a câmara fotográfica; p/2 é a metade do ângulo total de PARALAXE. D é a linha de base que é conhecida; p ou p/2 é o que se mede, neste caso, através da fotografia.

Observe as duas fotografias adiante. Elas são uma simulação (fazer de conta) da determinação da distância de uma estrela.

Você deverá compará-las, fazer medidas e, com isso, medir a que distância está a luzinha acesa em meio à escuridão. Os outros pontos brilhantes representam "estrelinhas" que estão muito afastadas. Elas constituem o panorama de fundo.

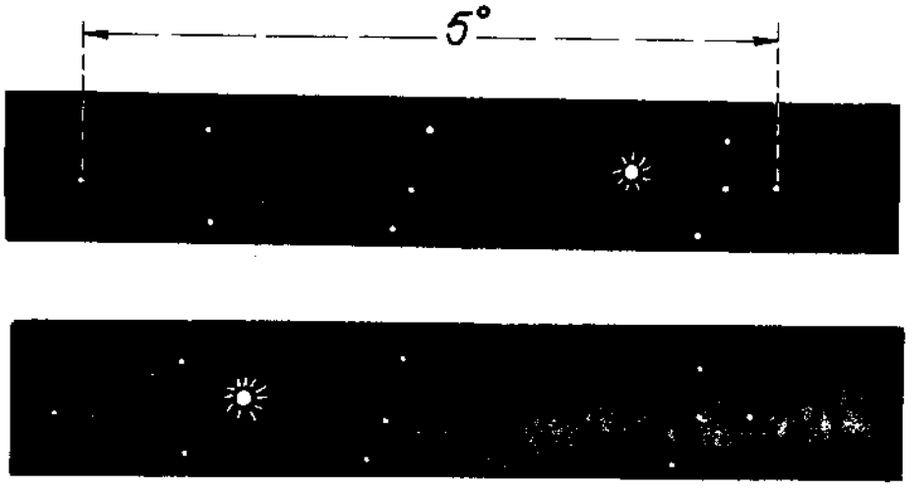


fig.2.6

Como o campo da fotografia é pequeno, aproximadamente 5°, você poderá fazer interpolações para achar o ângulo da paralaxe (p) da pequena luz. Neste caso os ângulos são proporcionais às distâncias sobre a fotografia.

Nas duas fotos seguintes tudo foi feito igual,exceto a distância da lâmpada que foi alterada. Qual a nova distância da lâmpada?

Você poderia dar um valor aproximado antes de fazer medidas?

Este é o método para se determinar a distância

das estrelas por triangulação.

fig.2.7

Depois dessa atividade você sabe, não só como é determinada a distância das estrelas, mas sabe também usar esse método para determinação de distâncias aqui na Terra.

Você percebeu também que, quando as distâncias se tornam muito grandes, os ângulos de **PARALAXE** se tornam tão pequenos que não conseguimos medi-los. Por essa razão o número de estrelas que conseguimos triangular é muito pequeno em relação ao número de estrelas que vemos.

E as demais estrelas? Como podemos medir suas distâncias? Pense no que você já sabe sobre a diminuição da intensidade da luz com a distância.

Analisando as cores e a intensidade das estrelas mais próximas e cujas distâncias eram conhecidas por triangulação, os astrônomos obtiveram outras informações importantes. Os astrônomos já sabiam (e você também já sabe) que a intensidade da luz de uma fonte luminosa diminui com o quadrado da distância. A descoberta era de que as estrelas que tinham as mesmas cores

(espectro), tinham também a mesma MAGNITUDE REAL. Conhecida a magnitude real e medindo-se a magnitude aparente (usando fotômetro) fica-se conhecendo a distância.

Suponha que um astrônomo (você) tenha triangulado várias estrelas que têm a mesma composição de cores (o mesmo espectro). Além de analisar as cores você mediu também a intensidade da luz emitida de cada uma das estrelas. Para isso você usou um certo tipo de fotômetro que aqui não importa.

ESTRELA	DISTÂNCIA	INTENSIDADE APARENTE (MEDIDA)
(α) ALFA	1 UNIDADE	1 UNIDADE
(β) BETA	2 UNIDADES	1/4 UNIDADE
(γ) GAMA	3 UNIDADES	1/9 UNIDADE
(δ) DELTA	4 UNIDADES	1/16 UNIDADE
(Ω) OMEGA	10 UNIDADES	1/100 UNIDADE

O que você pode concluir sobre as estrelas estudadas?

Suponha que tivesse observado uma série de outras estrelas que têm a mesma composição de cores (espectro). Acontece que as estrelas da nova série não apresentavam paralaxe anual que pudesse ser medida. Entretanto você conseguiu medir a intensidade de suas luzes. Foram estes os resultados das novas medidas.

ESTRELA	DISTÂNCIA AVALIADA	INTENSIDADE MEDIDA
ZETA	?	1/900 UNIDADES
OMICRON	?	1/2500 UNIDADES
TETA	?	1/16000 UNIDADES
PSI	.	1/50000 UNIDADES

Que hipótese você fez para avaliar as distâncias na última tabela. Que acontecerá se essa hipótese não for correta?

A partir do fim do século XVIII com a introdução dos grandes telescópios iniciada por Herschel muitas outras características das estrelas começaram a ser descobertas. Por exemplo:

Existem muitos sistemas que apesar de parecerem uma só estrela são formados por duas ou mais estrelas que giram ao redor do centro de massa comum. Esses sistemas se mantêm unidos pela força de atração mútua entre os componentes. Há casos em que só uma é visível e pelo seu movimento pode-se determinar a massa do componente invisível. Esse é o caso da mais brilhante estrela do céu: Sirius. Algumas dessas estrelas variam de brilho quando um dos componentes eclipsa o outro.

Existem estrelas cujo brilho pulsa com períodos (tempos) diferentes . Descobriu-se que existe uma relação entre o brilho ou **MAGNITUDE REAL** e o período da pulsação deste. Esse é o meio que permite avaliar as maiores distâncias astronômicas.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Você está familiarizado com a medida de um ângulo em graus: uma volta completa tem 360°. Existe no entanto uma outra medida unidade em que se medem os ângulos. Essa outra unidade é muitas vezes chamada de unidade natural e se chama **RADIANO**. Uma grande vantagem dessa unidade é o fato de que, quando os ângulos são pequenos, estes podem ser substituídos pelo seu **seno** (**sen** α) ou pela sua **tangente trigonométrica** (tg α).

Uma circunferência completa tem 360° e seu comprimento mede $2 \pi R$ Um radiano é um ângulo que subentende um arco cujo comprimento é igual ao comprimento do raio. Por essa razão, uma circunferência tem tantos radianos quantas vezes o seu com

primento contém R .

Então, uma circunferência tem

$$\frac{2\,\Pi\,R}{R} \text{ radianos}$$

ou seja:

$$2\,\Pi \text{ radianos.}$$

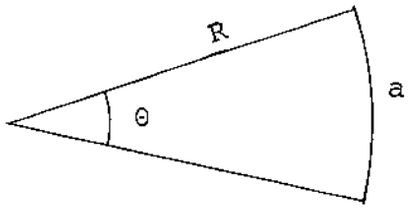
Se 360° correspondem a $2\,\Pi$ radianos então:

$$1 \text{ radiano} = \frac{360^{o}}{2\,\Pi} = \frac{360^{o}}{6{,}28} = 57^{o}\,3 \quad \text{(aproximadamente)}$$

Cada grau contém 60' e cada minuto contém 60''
Cada grau contém 3.600" . Então:

$$1 \text{ rd} = 57^{o},3 \times 3.600 = 206.265''$$

Em radianos, um ângulo pode ser expresso como a relação entre o comprimento do arco e o comprimento do raio.



$$\theta = \frac{a}{R}$$

fig.2.8

Quando o arco tiver o comprimento do raio $\theta = 1$ rd.

Conhecida essa definição, segue-se que

$$R = \frac{a}{\theta} \qquad a = \theta\,R$$

Entendido isto, podemos voltar às distâncias astronômicas

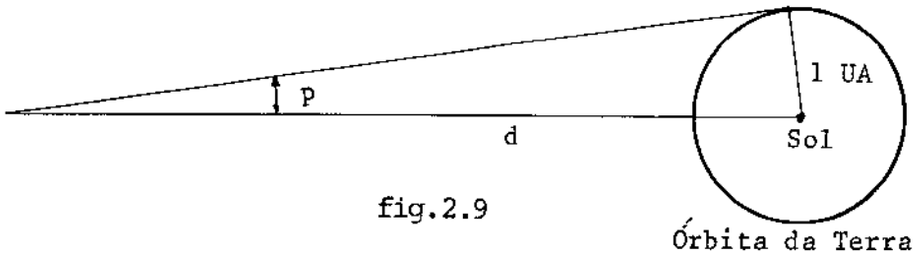


fig.2.9

Da figura (2.9) , temos :

$$p = \frac{1UA}{d} \qquad \text{ou}$$

$$d = \frac{1UA}{p}$$

Para que a distância (d) seja expressa em unidades astronômicas (UA), é preciso que a paralaxe anual (p) seja expressa em radianos.

Uma importante unidade de distância, quando se trata de estrelas, é o PARSEG (Paralaxe Segundo). Um PARSEG é a distância de uma estrela cuja paralaxe anual (p) é igual a 1". O nome vem justamente disso: PARalaxe de um SEGundo.

Uma estrela que tenha paralaxe anual de 1", está a uma distância de 1 PARSEG.

Vejamos quanto vale um PARSEG.

Já sabemos que

$$R = \frac{a}{\theta} \qquad\qquad a = R\,\theta$$

Seja, então, p o ângulo de paralaxe de uma estrela. Isso quer dizer que p é o ângulo subentendido pelo raio da órbita terrestre (1 unidade astronômica) visto desde a estrela. Pela definição, podemos escrever

$$p = \frac{1\ UA}{d} \quad \text{Então:} \quad d = \frac{1\ UA}{p}$$

Se exprimirmos p em radianos, a distância (d) será dada em unidades astronômicas (UA). Qual o valor do ângulo de 1" expresso em radianos?

$$1\ rd = 57^{o},3 = 57^{o},3 \times 60 \times 60 = 206.265''$$

$$1\ rd = 206.265''$$

$$? = 1''$$

$$1'' = \frac{1}{206.265} \text{ rd}$$

Então:

$$d = \frac{1 \text{ UA}}{\frac{1}{206.265}} = 206.265 \text{ UA}$$

$$1 \text{ parseg} = 206.265 \text{ UA}$$

Então, uma estrela cuja paralaxe anual vale 1" está a uma distância de 1 parseg ou 206.265 unidades astronômicas (U A). Quer isso dizer que, uma estrela que tem 1" de paralaxe ou que está a uma distância de 1 PARSEG, está, de nós, a uma distância que é 206.265 vezes maior que a distância Terra-Sol.

Acontece que, mesmo as estrelas mais próximas, têm paralaxe anual inferior a 1". Portanto, mesmo as estrelas mais próximas estão a distâncias maiores que um PARSEG.

A estrela mais próxima tem paralaxe anual de 0,761". Sua distância é então:

$$d = \frac{1 \text{ UA}}{\frac{0,761}{206.265}} = 271.000 \text{ UA}$$

ou

$$d = \frac{271.000}{206.265} = 1,3 \text{ PARSEG}$$

UM POUCO MAIS AINDA

É muito comum empregar-se em medidas das distâncias das estrelas, uma outra unidade: o ANO-LUZ (AL).

Um Ano-Luz (AL) é a distância percorrida pela

luz em um ANO. Quanto vale essa distância? Sabemos que a luz se desloca no espaço vazio com uma velocidade de 300.000 km/seg. Com essa velocidade, a luz poderia dar mais de oito voltas à Terra em apenas 1 segundo de tempo.

1 AL = 300.000 km/seg x (nº de segundos em um ano)

$1\ AL = 3 \times 10^5\ km/seg \times (365{,}25 \times 24 \times 60 \times 60)$

$1\ AL = 3 \times 10^5\ km/seg \times 3{,}1 \times 10^7\ seg.$

$1\ AL = 9{,}3 \times 10^{12}\ km$

$1\ AL = 9{,}3 \times 10^{15}\ m$

Já sabemos que:

1 PARSEG = 206.265 UA mas

1 UA = 150.000.000 km

1 PARSEG = 206.265 x 150.000.000 km

$1\ PARSEG = 30{,}1 \times 10^{12}\ km$

Então:

$$\frac{1\ PARSEG}{1\ AL} = \frac{30{,}1 \times 10^{12}\ km}{9{,}3 \times 10^{12}\ km} = 3{,}2$$

$$\frac{1\ PARSEG}{1\ AL} = 3{,}2$$

Logo: 1 PARSEG = 3,2 AL

Acima, calculamos a distância da estrela mais próxima e achamos d = 1,3 PARSEG

A distância dessa estrela mais próxima, em AL (ANOS-LUZ) será então:

d = (1,3 PARSEG x 3,2) AL d = 4,3 AL

CAPÍTULO 4 - PARA ALÉM DO SISTEMA SOLAR

4.3 - PANORAMA DO UNIVERSO

A ciência criada pelo homem permitiu-lhe conhecer grande parte das leis que regem o funcionamento da Natureza em seu planeta, a Terra. Ao mesmo tempo o homem foi descobrindo como podia aplicar os conhecimentos adquiridos aqui na Terra ao espaço além da Terra. Em alguns casos o entendimento de fatos distantes se deu antes. Tal é o caso da gravitação. O homem foi capaz (Newton) de medir a atração entre a Terra e o Sol antes de conseguir medir, por exemplo, a atração entre duas maçãs (Cavendish , um século depois).

O homem aprendeu a confiar, com segurança, nas leis de sua ciência e pôde prever coisas que só muito depois poderia comprovar. Quando os primeiros engenhos russos circundaram a Lua ou nela pousaram ,quando os astronautas americanos alunissaram, quase todas as coisas aconteceram rigorosamente como tinham sido previstas. Em resumo: o homem aprendeu a confiar no método científico. A aplicação dessa ciência permitiu ao homem saber muita coisa do espaço em que ele jamais poderá penetrar,senão pela sua imaginação.

A Lua é o primeiro objeto fora do seu habitat (Terra), que o homem pode estudar direta ou pessoalmente. A Lua está a uma distância tão pequena que já pode ser estudada pelo homem "in loco" (no lugar). A estrela da qual recebemos nossa energia, o Sol, está a uma distância 400 vezes maior. (24.000 raios terrestres).

Hoje sabemos que o Sol é uma estrela muito comum pelo Universo afora. Essa é uma das razões que dá importância ao estudo do Sol. Conhecendo bem o Sol, ficamos conhecendo uma grande parte das estrelas que povoam o Universo.

Apesar de ter um volume que é 1.300.000 vezes

maior que o volume da Terra, o Sol está longe de ser uma estrela das grandes. Existem estrelas menores que o Sol mas existem também estrelas tremendamente maiores que o Sol.

É interessante notar-se que enquanto os tamanhos (volumes) variam brutalmente, as massas das estrelas não são tão diferentes quanto os volumes. Se variam pouco as massas, mas variam muito os volumes, que propriedade deve também variar muito?

A densidade é a relação entre a massa e o volume de um corpo.

$$d = \frac{M}{V}$$

Se o volume aumenta numa proporção maior que a massa, então a densidade diminui.

ATIVIDADE: MINIATURA DO UNIVERSO

Sugerimos que você represente a Terra por uma bolinha de "gude" de uns 2 cm de diâmetro. Nessa escala em que 1 cm representa o raio da Terra, que espessura deverá ter a "atmosfera" ao redor da bolinha (Terra), sabendo-se que quase toda atmosfera está contida abaixo de 60 km de altura?

Que bolinha representará a Lua de sua "Terrinha", sabendo-se que $R_L = 0{,}27\ R_T$? Quantas "Terras" você deverá enfileirar para representar a distância Terra-Lua?

Compare a distância do Sol à Terra com a distância da Terra-Lua. Quantas vezes a distância Terra-Lua está contida na distância Terra-Sol? Quantas "Terrinhas" você deverá enfileirar para representar a distância do Sol à Terra? Que tamanho deverá ter o "bolão" que representa o Sol? Lembre-se que o raio do Sol vale 109 raios terrestres, isto é, num diâmetro do Sol cabem 109 Terras enfileiradas. Poderia o Sol passar no espa

ço compreendido entre a Terra e a Lua?

Faça agora uma tabela com as distâncias e os tamanhos das bolinhas que representarão os planetas. Consulte a tabela de dados sobre os planetas na seção 2.5. Lá já estão as distâncias em unidades astronômicas (UA).

Lembre-se que uma unidade astronômica equivale a distância Terra-Sol.

Nessa mesma escala, represente a distância da estrela mais próxima que é de 4,3 AL ou 271.000 UA (anos-luz).

Seria possível desenhar fielmente, em qualquer escala, a nossa galáxia, a Via Láctea com seus 120 bilhões de outros sóis (estrelas) e seus 100.000 AL de diâmetro?

A distância do Sol que nos parece tão grande, é insignificante em relação às distâncias das estrelas, mesmo das mais próximas. Para sair do Sistema Solar, isto é, para cruzar a órbita do planeta mais afastado (Plutão) levaríamos cerca de cinco horas se viajássemos com a maior velocidade possível no Universo (300.000 km/seg) que é a velocidade da luz. Se com essa mesma velocidade quiséssemos alcançar a estrela mais próxima (alfa do Centauro), levaríamos mais de 4 anos. Essa estrela está a mais de 4 anos-luz (AL) de distância.

Sabendo-se determinar as distâncias e as direções em que estão as estrelas é possível saber como elas estão distribuídas pelo espaço. Faremos isso a partir do centro do nosso sistema, isto é, do Sol.

Num raio de 10 AL encontramos 10 estrelas.

Vamos agora considerar uma distância de 100 AL em volta do Sol. A região considerada antes estará contida dentro desta. Aí encontramos 10.000 estrelas.

Numa região de 5.000 AL de raio encontramos aproximadamente 1.250.000.000 estrelas. Você reparou como até aqui o número de estrelas é proporcional ao volume? Continuando ampliar a localização e a contagem de estrelas, percebemos que a distribuição já não é a mesma em todas as direções. Em algumas direções já quase não se contam mais estrelas. Isso quer dizer que o número de estrelas já não é proporcional ao tamanho da região esférica considerada.

Percebe-se que há uma "população" de estrelas de aproximadamente 125.000.000.000 delas, distribuídas num enxame que tem um diâmetro de aproximadamente 100.000 AL.

Esse enxame visto "de fora" por "cima" ou por "baixo" deve ter o aspecto de um disco espiralado, e mais espesso no centro.

A esse enxame de 125 bilhões de estrelas chamamos de Via Láctea que é a nossa galáxia. Dizer que esse enxame tem um diâmetro de 100.000 AL significa dizer que a luz de uma estrela leva 100.000 anos para atravessá-lo.

Em quase todas as noites de céu limpo podemos distinguir uma região mais estrelada, aproximadamente na direção Norte-Sul. Essa região é geralmente chamada de caminho de São Tiago ou Via Láctea. Daí o nome da nossa galáxia. Essa faixa mais estrelada do céu corresponde a uma vista por dentro da nossa galáxia. Como se víssemos um enxame estando dentro dele. Todas as estrelas que vemos no céu são vizinhas dentro desse enxame. Só existem três objetos no céu, facilmente visíveis a olho desarmado e que não pertencem à nossa galáxia. São as duas Nuvens de Magalhães: (a Nuvem Maior e a Nuvem Menor) e a Nebulosa de Andrômeda que também costuma ser designada por M 31. As duas primeiras são duas regiões nevoentas próximas ao Polo Sul celeste. Essas duas nebulosas foram vistas pela primeira vez pelo navegador português Fernão de Magalhães quando de sua viagem de circunavegação do continente americano, por volta de 1.520. Esses dois aglomerados estão a uma distância de 90.000 AL e são consideradas galáxias satélites da nossa. A nebulosa de Andrô

meda é o mais belo exemplar de uma nebulosa em espiral. Sua distância é de 2,2 bilhões de AL. Isto significa dizer que, quando vemos essa distante galáxia, estamos recebendo a luz que dela partiu a 2,2 bilhões de anos atrás.

Mesmo a essa tremenda distância essa nebulosa de Andrômeda é considerada nossa vizinha. Essa galáxia juntamente com a nossa (Via Láctea), as Nuvens de Magalhães e outras 23 galáxias constituem o chamado Grupo Local. O Grupo Local é, portanto, um conjunto de 27 galáxias formando um pequeno enxame de enxames de estrelas. Para além dessas distâncias há um grande espaço vazio depois do qual começam novamente a aparecer galáxias em grande número, sem um fim aparente. Tanto quanto alcançam os telescópios óticos ou os rádio-telescópios vão aparecendo galáxias na grande profundidade do espaço.

Um aspecto muito interessante é o que é revelado pela análise espectral da luz das galáxias mais distantes. As mais distantes apresentam a sua luz, ou melhor, o seu espectro, deslocando para o lado do vermelho.

Esse deslocamento interpretado pelo que se viu como efeito Doppler indica que as galáxias estão se afastando e com velocidade cada vez maior. As galáxias mais distantes apresentam maior desvio para o vermelho indicando que a velocidade aumenta, à medida que aumenta a distância. Por isso os cientistas acreditam que, além de muito grande o Universo ainda se está expandindo.

EPÍLOGO

Em 1961 realizou-se nos EEUU um simpósio sobre a existência de vida inteligente extra-terrestre. A essa reunião estiveram presentes ilustres físicos e astrônomos de todo o mundo. Um dos temas da discussão: quantas civilizações adiantadas podem existir espalhadas pelo Universo?

Hoje sabemos que só a nossa galáxia, a Via Láctea, é formada por aproximadamente 120 bilhões de estrelas. Dessas, uma parte pode ter planetas, como o Sol. Das que têm planetas, algumas podem ter algum planeta com vida. Das que têm vida inteligente, alguns poderiam ter uma civilização altamente desenvolvida. O principal problema: quando uma civilização atinge alto grau de desenvolvimento tecnológico, como sobre a Terra, que rumos pode ela tomar? Torna-se ela mais segura e estável, ou tende a se destruir? Essas são as grandes interrogações que pairam sobre a humanidade.

A ciência certamente não pode resolver todos os problemas da humanidade. Ela não pode garantir que a humanidade sobreviva. Parece também certo que a humanidade não poderá sobreviver sem a ciência. Alguns dos grandes e mais graves problemas com que se defronta a vida humana sobre o planeta só poderão ser resolvidos com a ajuda da ciência. O crescente aumento na demanda de alimentos, energia, transporte, habitação, medicamentos e outras necessidades, exige um alto grau de desenvolvimento tecnológico. O desenvolvimento tecnológico não pode existir sem o desenvolvimento da ciência. Por outro lado, somente uma ciência e uma tecnologia avançadas podem trazer também graves problemas, se forem orientadas primordialmente pela filosofia do lucro. A poluição, outra ameaça moderna e que resulta de um grande avanço tecnológico, só poderá ser enfrentada com a utilização da ciência.

Em resumo: a aplicação e o desenvolvimento da ciência parecem indispensáveis à sobrevivência da humanidade. Isso porém não parece bastar. Será necessário também que as con

quistas da ciência e da tecnologia sejam colocadas inteiramente a serviço da humanidade.

Se isso não acontecer, continuaremos a ver a maior parte das conquistas da ciência e tecnologia aplicadas em agentes cada vez mais ameaçadores à vida e à inteligência.

Entretanto, a colocação da ciência inteiramente a serviço da humanidade não se fará por acaso ou por encanto. Será preciso que mais gente conheça CIÊNCIA e não se contente em fazer dela somente um meio de ganhar dinheiro.

Você o que pensa fazer com sua ciência? Sua vida será a resposta !

LISTA DO MATERIAL EMPREGADO

UNIDADE I: O CÉU

CAPÍTULO 1

vareta fina (30 cm ou mais)
1 metro de barbante
pedra
pregos ou piquetes de madeira
bússola
balão de vidro de fundo esférico com rolha
suporte para o balão
lápis que escreva em vidro, ou baton
1/2 m. de fita de papel (serpentina) ou barbante
régua de medida (30 cm)
transferidor
opcional: (tabela de funções trigonométricas ou régua de cálculo).

Seção 2.1

compasso ou barbante
4 moedas
papel duro (papelão)
papel preto
tira de papel e régua, ou régua flexível
4 alfinetes
tábua ou papelão ou isopor de 30 x 30 cm
transferidor
mapa (rodoviário), mapa mundi ou globo
régua de medida (30 cm)

Seção 2.2

papel quadriculado (5 folhas)
compasso ou barbante
transferidor

Seção 2.3

15 cm de barbante
2 alfinetes ou pregos
2 tabuinhas (ou sarrafos de espessuras iguais)
serragem homogênea (aproximadamente 1/2 kg)
régua de medida (30 cm)

Seção 2.4

2 pedras de tamanhos diferentes
régua de medida (30 cm)

Seção 2.5

papel quadriculado (5 folhas)

Seção 3.1

4 latas de graxa ou de bala ou pote de iogurte
terra
2 termômetros
1 lâmpada de 100 watts
pregos
vela ou lamparina
4 tubos de ensaio ou vidro de remédio
2 latas iguais dessas de cerveja (uma preta, uma brilhante)
relógio.

Seção 3.2

Lata dessas de cerveja ou semelhante
vela ou lamparina
termômetro
relógio

Seção 3.3

régua ou varinha leve com furo no meio
2 latas (dessas de cerveja) ou recipiente plástico
gancho de arame
1 m de barbante.

Seção 3.4

1 tábua de 50 x 10 cm ou 50 x 15 cm
1 vidro (de janela) de 10 x 10 ou 15 x 15 cm.
2 sarrafos de 10 x 15 cm
fita adesiva transparente
1 tabuinha de papelão de 3 x 10 ou 3 x 15 cm.
1 prego
caneta esferográfica, baton ou giz.

Seção 4.1

penas de galinha preta (não das asas)
1 vela
sal de cozinha
fios de cobre
papel de alumínio
2 pilhas
1 lâmpada de lanterna

Seção 4.2

2 sarrafos
papel quadriculado
1 esquadro
1 ripa de 1 metro

Seção 4.3

nenhum material.

RODOLPHO
CANIATO

CEDOC
Ciências
FE - UNICAMP

UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FISICA

ANEXO II: UNIDADE II ("MECÂNICA")

TESE apresentada junto à Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro para obtenção do Grau de DOUTOR EM CIÊNCIA.

CEDOC
Ciências
FE - UNICAMP

REVISÃO E CONTRIBUIÇÕES

Sônia Krapas Teixeira

e

Antonio Amaral

ILUSTRAÇÕES

Orlando Lucano

e

Salete B. F. Braga

MECANOGRAFIA E COMPOSIÇÃO

Gislene de Campos

ENSAIOS REALIZADOS COM MATERIAL DO PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA.

PROFESSOR	- ESTABELECIMENTO DE ENSINO
RODOLPHO CANIATO	- Centro de Treinamento para professores de Ciências do Nordeste - (CECINE) - Recife, 1970.
	- Centro de Treinamento para professores de Ciências de São Paulo (CECISP) - São Paulo 1971/72.
	- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro - Rio Claro- 1971/72/73.
	- Universidade de São Paulo - S.P. 1972.
	- Universidade Estadual de Campinas - Campinas - 1972/73.
	- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de São José do Rio Preto - São José do Rio Preto 1973.
EIKITE TENGNON (DR.) e LUIZ CARLOS BARBOSA	- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de São José do Rio Preto - São José do Rio Preto, 1973.
SÉRGIO MANIAKAS	- Colégio Estadual Brigadeiro Faria - São Paulo - 1971

FERNANDO DAGNONI PRADO	- Colégio de Aplicação da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro - Rio Claro - 1971.
JOSÉ CUNHA BUENO FILHO E SEBASTIÃO ELIAS KURI E OSVALDO JOSÉ PEREIRA	- Escola Normal Rural Estadual Prof.José de Mello Morais - Piracicaba - 1971.
CICERO RICIARDI	- Instituto Educacional Imaculada - Campinas - 1973.
ENIVALDO BONELLI	- Colégio Divino Salvador - Jundiaí-1973
JAIR PRESENTE	- Colégio Batista de Campinas - Campinas 1973.
JOSÉ CARLOS FERRAZ DE CAMPOS	- I.E.E."Carlos Gomes" - Campinas, 1973
MARIA CLOTILDE CORREA	- Colégio São vicente de Paulo - Jundiaí 1973.
SONIA KRAPAS TEIXEIRA	- C.E.E.N."Prof. Hildebrando Siqueira" Campinas- 1973
	- Ginásio Progresso Campineiro - Campinas - 1973.
ADILSON ROBERTO HUNGARO	- Colégio Divino Salvador - Jundiaí - 1973
WANDERLEY ANTONIO TRUZZI	- Colégio Estadual "Saturnino Antonio Rosa" - Cajobi, 1973
ANTONIO WAGNER GOMES	- Colégio Estadual Profa.Ana Pinto Duarte Paes - Jundiaí, 1973

ANTONIO WAGNER GOMES - Colégio Estadual Profa. Ana Pinto Duarte Paes - Jundiaí, 1973.

ELIANA MARIA CICCHETTI - Colégio Estadual "Dr. Elias Marsud" Monte-Mór - 1973

LUIZ ROBERTO SANNAZZARO - Colégio Estadual "Dom José de Camargo Barros - Indaiatuba - 1973

RICCIOTI COVESI FILHO - Colégio Sagrado Coração de Jesus - Campinas - 1973.

ROSEMARY MELAZI - Colégio Estadual "Prof. Jamil Khouri" São José do Rio Preto - 1973

LUIZ ANTONIO BERTOLO - I.E.E. Carlos Gomes - Campinas - 1973.

JOSE RUBENS MAIORINO - Ginásio Estadual Dr. Paulo Almeida Nogueira - Cosmópolis - 1973.

ANTONIO GERALDO BALTHAZAR - Colégio Estadual de Nova Odessa - Nova Odessa - 1973

OLAVO DIVINO VIEIRA - Colégio Estadual Prof. Benedito Sampaio - Campinas, 1973.

Aos meus filhos

Rodolfo

Lúcia

Cristina

Paulo

Carlos

Í N D I C E

UNIDADE II : "MECÂNICA"

AO PROFESSOR

CAPÍTULO 1 - OS MOVIMENTOS

1.1 - As diferentes linguagens da Física..... 1.1.1
1.2 - Descrição de um movimento 1.2.1
1.3 - Quando ninguém mexe 1.3.1
1.4 - Quando uma força está atuando 1.4.1
1.5 - Alguns movimentos importantes 1.5.1

CAPÍTULO 2 - INTERAÇÕES

2.1 - Impulso e Quantidade de movimento 2.1.1
2.2 - Trabalho: Uma das maneiras de medir a transferência de ENERGIA 2.2.1
2.3 - Energia Potencial, a Energia Armazenada 2.3.1

CAPÍTULO 3 - O COMPORTAMENTO DOS GASES

3.1 - O que você sabe sobre os gases? 3.1.1
3.2 - Mais algumas propriedades dos gases.... 3.2.1

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

Prólogo

4.1 - Conservação da quantidade de movimento. 4.1.2
4.2 - Conservação da quantidade de movimento angular 4.2.1
4.3 - A conservação da massa 4.3.1
4.4 - A conservação da energia 4.4.1

AO PROFESSOR

Todo trabalho desenvolvido neste projeto pressupõe uma intensa participação do aluno no processo ensino-aprendizagem. Ele resulta de uma perspectiva em que nem o **PROFESSOR** é um repetidor de coisas que estão no livro nem o aluno aprende simplesmente ouvindo ou anotando. Pensou-se em proporcionar meios para uma intensa interação **PROFESSOR-ALUNO** na qual o **ALUNO** participa intensamente da **AULA** e na qual o **PROFESSOR** assume um papel parecido ao de um regente de orquestra. Caberá ao **PROFESSOR** usar sua maior experiência para **CONDUZIR** e **BALANCEAR** a participação dos **EDUCANDOS**. Dessa maneira inclusive o cabedal de experiência adquirida pelo **PROFESSOR** também crescerá rapidamente e ele não correrá tanto o risco de **"ESCLEROSAR"** ou mesmo **"FOSSILIZAR"** seus conhecimentos e seus hábitos de ensino.

Os textos foram preparados com a preocupação de se oferecer uma linguagem ao alcance do **ALUNO** e que proporciona um grande cenário de idéias, situações e "deixas" para discussões que podem ser exploradas segundo os interesses do **ALUNO** e **DISPONIBILIDADE** do **PROFESSOR**.

As **ATIVIDADES** são parte obrigatória e foram pensadas e ensaiadas para serem possíveis em **QUAISQUER CONDIÇÕES BRASILEIRAS**. Elas não exigem **NUNCA** material caro ou de difícil obtenção **EM TERMOS BRASILEIROS**. Será importante que o **PROFESSOR** consiga previamente esse **MATERIAL**. Sugerimos que haja um pequeno grupo de **ALUNOS** sempre incumbido de conseguir o material.

As coisas que aqui estão sugeridas não foram simplesmente planejadas em gabinete mas estão sendo exaustivamente ensaiadas desde 1970 ininterruptamente.

Lembramos também que uma das preocupações sempre presente foi de criar uma estrutura EM PARALELO para todo o PROJETO. Isso equivale a dizer que não existe uma ordem obrigatória entre as UNIDADES e nem mesmo entre CAPÍTULOS e SEÇÕES. Cada seção, com raras exceções não é pré-requisito para a seguinte. Isso equivale a dizer que o professor poderá começar o curso por qualquer das partes.

Damos a seguir algumas normas ditadas pela experiência vivida e que facilitarão o trabalho do PROFESSOR.

P R O C E D I M E N T O

1. Explique aos alunos que com os métodos tradicionais eles têm assistido às aulas e que agora eles irão tomar parte no jogo do ensino-aprendizagem. Neste jogo eles vão adquirir não só informações; mas também treinarão argumentação e iniciativa de raciocínio, ingredientes necessários em qualquer ramo do conhecimento.

2. Uma primeira leitura do texto deverá ser feita em voz alta e sem nenhuma interrupção. Cada pequeno trecho deverá ser lido por um diferente aluno e que será escolhido ao acaso. Durante a leitura os alunos deverão fazer um pequeno sinal ao lado da linha onde estiver um assunto ou conceito que não entenderam ou que lhes interessa discutir. Quando se trata de "classes muito boas" ou já treinadas em trabalho em grupos a leitura em voz alta pode, com vantagem, ser substituída pela leitura individual.

3. Terminada a leitura, será iniciada a discussão dos pontos escolhidos pelos alunos e pelo PROFESSOR. Aqui a atuação do PROFESSOR será indispensável tanto para ordenar a discussão

como para evitar que uns fiquem com a palavra em prejuízo dos outros. Diante das perguntas, o PROFESSOR não deve simplesmente dar as respostas, mas sim conduzir a discussão para que as respostas sejam provocadas nos alunos.

4. Sempre que um aluno manifeste uma AÇÃO considerada desejável pelo PROFESSOR este deverá manifestar ao aluno, de alguma maneira, sua aprovação e sempre que possível registrar a contribuição na folha de registro de trabalho. Essa aprovação deve ser manifestada principalmente em relação a AÇÕES de LER, CRITICAR, FAZER (atividades), FALAR, CONTRIBUÍR (acrescentar idéias que não estão no texto) e COOPERAR com o grupo ou classe. Se o PROFESSOR achar oportuno poderá acrescentar outros critérios de AVALIAÇÃO. Todas estas recomendações se aplicam também e principalmente ao trabalho nas ATIVIDADES.

5. Todos os textos (seções) incluem uma ATIVIDADE que deverá ser feita sem exceção e na mesma ordem em que ela aparece no texto. Para a realização dessas ATIVIDADES o PROFESSOR deverá dividir os alunos em grupos que não devem conter mais de seis elementos.
Durante a realização das ATIVIDADES, o PROFESSOR deve passar pelos grupos para verificar e eventualmente estimular o trabalho e as discussões sobre o que está sendo feito.
Quando o PROFESSOR perceber que há dificuldades que se manifestam em vários grupos, será oportuno que ele interrompa o trabalho por uns instantes para esclarecer e evitar que o rítmo do trabalho decaia. É importante que os alunos tenham presente que o PROFESSOR está OBSERVANDO o trabalho de todos e anotando positivamente o desempenho de cada aluno e de cada grupo.

6. Desaconselha-se inteiramente que o PROFESSOR use qualquer método coercitivo ou que represente ameaça, ainda que simplesmente a de um ZERO.

7. Alunos ou grupos deverão ser incumbidos pelo professor de obter e organizar o material para a ATIVIDADE seguinte.

8. Os níveis "SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS" e "UM POUCO MAIS AINDA" são destinados aos alunos que puderem e quiserem. Desaconselha-se que todos os alunos sejam submetidos a uma carga que pode ser "pesada" ou indesejável para muitos.

CAPÍTULO 1 - OS MOVIMENTOS

1.1 - AS DIFERENTES LINGUAGENS DA FÍSICA

Se você leu parte ou toda a UNIDADE I, já lhe devem ser familiares as tabelas, os gráficos e equações sobre diferentes assuntos. Expressões, tabelas, gráficos e equações constituem a linguagem da ciência.

Embora todas as ciências comecem com a utilização de uma linguagem corrente, elas geralmente usam linguagens mais adequadas e mais apropriadas para cada caso. Há ocasiões em que essa linguagem se torna altamente especializada e que é utilizada por especialistas. Acontece com a linguagem uma coisa semelhante ao uso das ferramentas. Trabalhos comuns podem ser feitos com ferramentas comuns. Trabalhos especiais exigem ferramentas especiais e menos comuns. Quase sempre ferramentas especiais exigem habilidades especiais. Entretanto, essas ferramentas especiais não são feitas para tornar o trabalho dificultoso. Ao contrário, sem elas o trabalho seria muito mais difícil. Coisa semelhante ocorre com a ciência de um modo geral e com a Física em particular.

Frequentemente na Ciência são usadas palavras comuns, porém, com sentido especial que pode diferir do uso comum. Por exemplo, quando falamos em velocidade, na linguagem comum, só estamos pensando no número que exprime a rapidez do deslocamento. Quando usamos a mesma palavra velocidade na Física, já supomos uma grandeza que se caracteriza por três propriedades: a grandeza (ou módulo), a direção e o sentido.

Um mesmo fato ou fenômeno físico pode ser descrito utilizando diferentes linguagens. Quase sempre essas diferentes linguagens são usadas simultaneamente. Na Física, como em quase todas as Ciências, são usadas quatro linguagens que se vão alternando conforme as necessidades, pois cada uma delas possui algumas vantagens próprias.

Para que você perceba, vamos dar um exemplo em que um mesmo fato científico é transmitido nas quatro linguagens comumente usadas na Física e em outras Ciências. O exemplo se refere a um fato simples que é expressão do espaço percorrido por um móvel que se desloca com velocidade constante. Esse mesmo fato pode ser expresso nas quatro linguagens de que se utilizam a Física e outras Ciências.

1. Com uma expressão verbal (oral ou escrita)
   "Para um móvel que se desloca com velocidade constante, o espaço é igual ao produto da velocidade pelo tempo gasto no percurso".

2. Na forma sintética de uma igualdade ou equação

$$e = v \times t$$

3. Na forma de uma tabela

Espaço (e)	Velocidade (v)	Tempo (t)
1 metro	1 m/seg	1 seg
2 metros	1 m/seg	2 seg
3 metros	1 m/seg	3 seg
2 metros	2 m/seg	1 seg
4 metros	2 m/seg	2 seg
6 metros	2 m/seg	3 seg
3 metros	3 m/seg	1 seg
6 metros	3 m/seg	2 seg
9 metros	3 m/seg	3 seg
0,01 metros	10 m/seg	0,001 seg
0,1 metros	10 m/seg	0,01 seg
1 metro	10 m/seg	0,1 seg
10 metros	10 m/seg	1 seg

4. Na forma de um gráfico

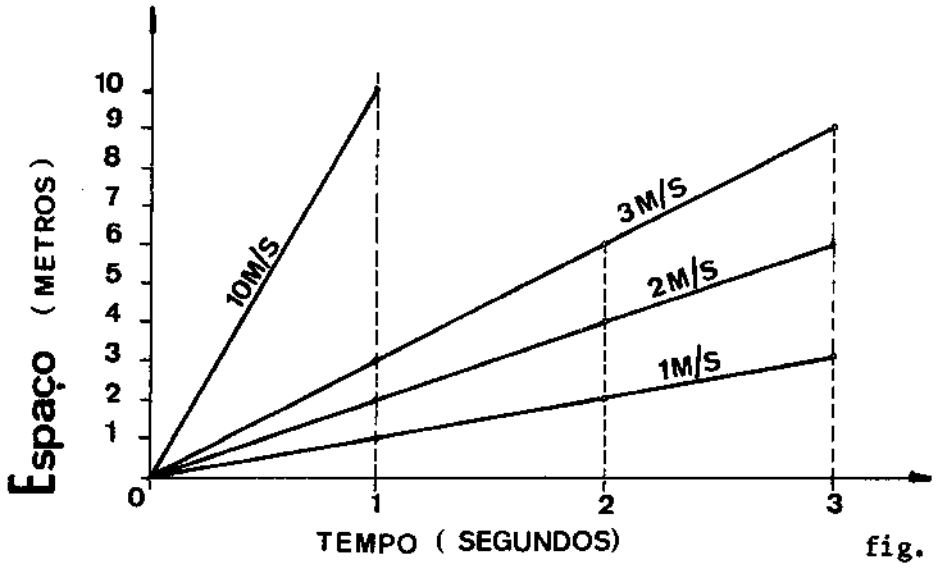


fig. 1.1.

Cada uma destas quatro linguagens tem suas vantagens e também suas desvantagens. Dificilmente qualquer uma delas pode ser usada sem uma das outras. As expressões verbais ou linguagem corrente são sempre necessárias. Há detalhes que dificilmente poderiam ser expostos sem o uso das palavras.

Uma equação é a forma mais sintética e concisa de tratar dos assuntos, pelo menos na Física. Você observou que a equação resumiu tudo que exigiu aquele grande número de palavras? Além disso, a equação se presta a ser manipulada com as regras da álgebra, permitindo que se chegue a conclusões que dificilmente poderíamos atingir com o uso somente de palavras.

Uma tabela tem a vantagem de poder apresentar todos os dados, mesmo que sejam muito diferentes em seus valores. Dados em que os valores menores e os valores maiores são muito diferentes podem não caber sobre qualquer gráfico. No nosso exemplo, a tabela contém valores como 1 segundo e 0,001 segundos que diferem por vários fatores de 10, isto é, várias ordens de grandeza.

Um gráfico tem a grande vantagem de tornar mais visíveis, não só os dados, mas também o "comportamento" dos dados.

Se o gráfico é uma reta, o coeficiente angular

desta exprime a taxa de variação de uma das variáveis em relação à outra. Isto é o que chamamos também de "inclinação" da reta. Esse coeficiente angular é então a relação entre o aumento de uma das variáveis e o aumento da outra.

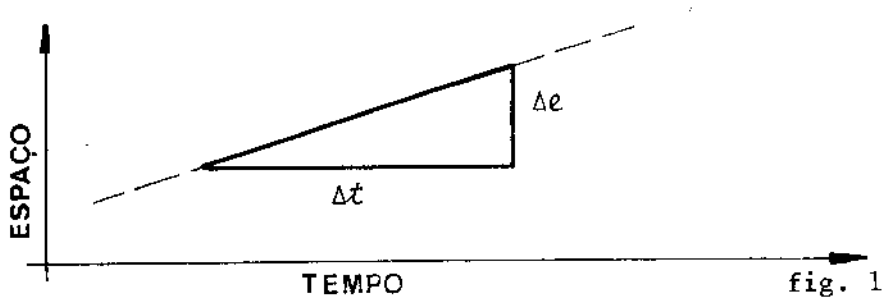


fig. 1.2.

Observe o gráfico acima: o coeficiente angular é a relação entre Δe e Δt . Δe é o aumento da variável dependente (e) que corresponde ao aumento da variável independente (t).

O coeficiente angular não deve ser confundido com a tangente trigonométrica do ângulo formado pela reta com o eixo horizontal. Esse erro é muito comum. Você sabe que a tangente trigonométrica é um número puro por ser a relação entre duas grandezas da mesma espécie. No caso do nosso gráfico Δe é uma variação de espaço, que também é um espaço. Δt é uma variação de tempo, portanto é tempo. Ora, neste caso, a variação de espaço (espaço percorrido) dividida pela variação de tempo (tempo decorrido), dá o que definimos como velocidade. Então, em um gráfico do espaço em função do tempo, o coeficiente angular é a velocidade.

É possível em alguns casos (raros em Física) que o número que exprime o coeficiente angular seja igual à tangente trigonométrica. Para isso acontecer, as escalas devem ser tais que as divisões iguais valham quantidades iguais.

Quanto vale a tangente do ângulo formado pela reta com o eixo dos t no gráfico a seguir?

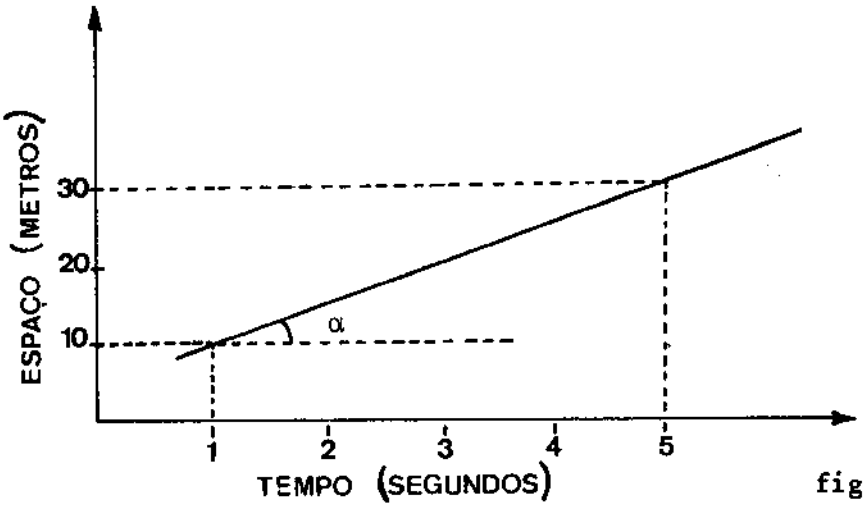


fig. 1.3.

Se você mudar as escalas, muda o ângulo também. Entretanto, o coeficiente angular não muda. Compare o valor do coeficiente angular com a tangente do ângulo α . São iguais?

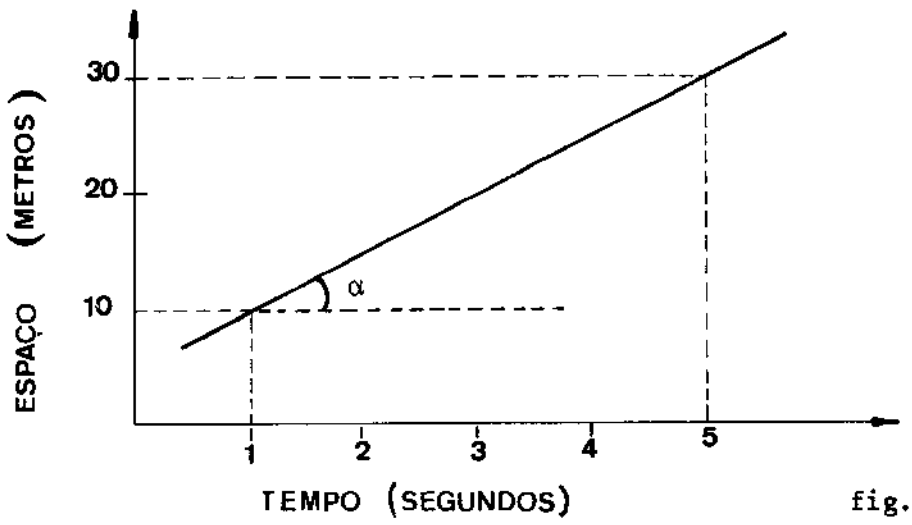


fig. 1.4.

Também quando o gráfico não é uma reta, o coeficiente angular pode ser de grande utilidade.

Você dispõe de um gráfico, como ao que se segue, que é uma curva do espaço em função do tempo.

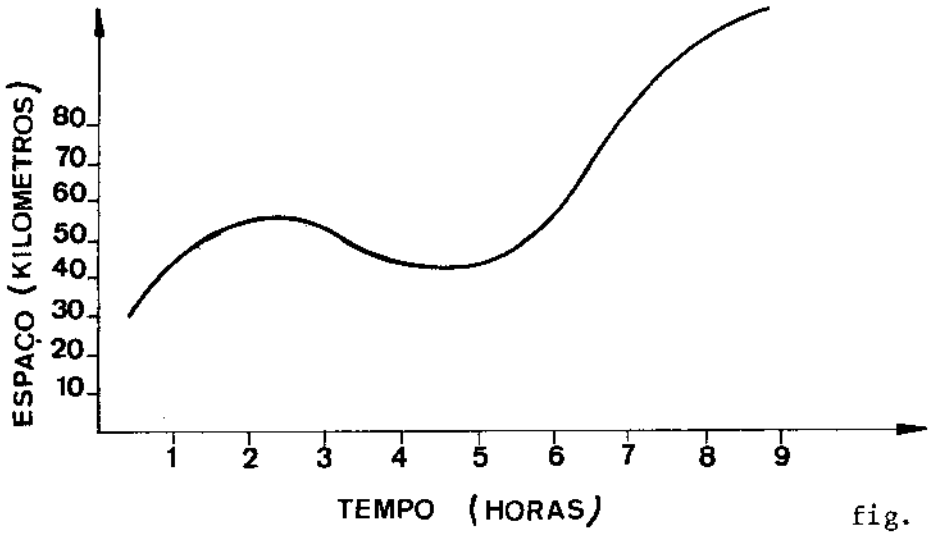


fig. 1.5.

Se você quiser saber a velocidade que o móvel teve em qualquer dos tempos que foram registrados no gráfico, bastará determinar o coeficiente angular da reta tangente à curva no ponto desejado. O coeficiente angular, neste caso, representará a velocidade do móvel em determinado instante.

O que acabamos de dizer, em particular para gráficos espaço-tempo, vale também para outros. O coeficiente angular da reta representa a relação entre os aumentos das duas variáveis. Se o aspecto do gráfico não é uma reta, o coeficiente angular da reta tangente exprime o comportamento "local" da função.

Por exemplo, num gráfico da força em função da distância, o coeficiente angular da reta tangente mostra como a

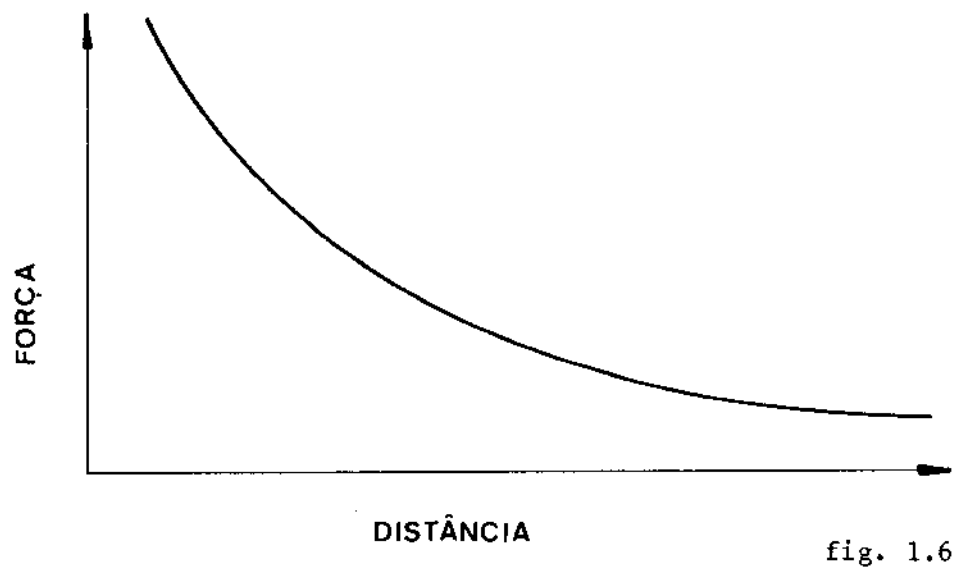


fig. 1.6.

força está variando em relação à distância.

Outra vantagem dos gráficos é a de permitir que se obtenham por interpolação ou extrapolação outros dados que não tenham sido dados pela tabela. Uma limitação dos gráficos é em relação às escalas escolhidas. Se escolhermos uma escala que contenha valores muito grandes (1 segundo) não conseguiremos representar valores muito pequenos (0,001 segundos). Se escolhemos uma escala em que 0,001 segundos possa ser marcado com facilidade, provavelmente os dados maiores (1 segundo) não caberão sobre o papel.

O problema dos dados que não cabem sobre o gráfico pode ser resolvido por escalas logarítmicas. Pode-se usar escala logarítmica em um dos eixos ou em ambos os eixos. No primeiro caso o seu gráfico será chamado **mono-log** e no segundo " **di-log** ou **log-log**".

É preciso lembrar que tanto no gráfico **mono-log** como no **log-log** o aspecto do gráfico será diferente de quando você usa escalas comuns (lineares). Os mesmos dados terão aspectos diferentes se expressos em gráficos lineares, **mono-log** ou **log-log**.

ATIVIDADE: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

A seguir está uma tabela que contém os dados relativos à queda de um corpo pesado.

Foram medidas as alturas ou espaços de queda, e os tempos de duração da queda. As distâncias foram medidas em metros (m) e os tempos em segundos (s).

Você deverá descobrir a lei de queda desse corpo, utilizando-se de gráficos.

Faça primeiro um gráfico com escalas lineares, isto é, gráficos em que os dois eixos, tanto dos espaços como dos tempos (horizontal) tenha divisões iguais entre si.

Tenha o cuidado de escolher escalas em que todos os valores, tanto do espaço como do tempo, caibam ao longo dos eixos.

ESPAÇO (m)	TEMPO (s)
0	0
5	1
20	2
45	3
80	4
125	5
180	6
245	7
320	8
405	9
500	10

Já colocou os dados no gráfico? Então responda às perguntas.

1. O gráfico que você obteve é uma linha reta?
2. Tanto o tempo como o espaço cresceram igualmente? De outra forma: quando o tempo dobrou, o espaço também dobrou?

3. Quem cresceu mais depressa, o tempo ou o espaço?

4. A ocupação que exprime o espaço em função do tempo pode ser uma equação do primeiro grau, isto é, uma equação em que o expoente de t é 1 ? Por que?

5. Como seria o gráfico se o tempo e o espaço crescessem proporcionalmente?

6. Como seria o gráfico se o espaço crescesse mais devagar que o tempo? Nesse caso o expoente de t deveria ser maior que 1 , igual a 1 ou menor que 1 ?

7. Observando seu gráfico, você já pode dizer qual o expoente de t , isto é, como o espaço depende de t ?

Se seu gráfico fosse uma reta passando pela origem (0,0) sua equação seria

$$e = \text{Constante} \times t$$

isto é, o expoente de t seria 1. O gráfico que você obteve, entretanto, não foi linear, não foi uma reta. Seu gráfico se encurvou para cima, indicando que o espaço cresceu mais depressa que o tempo. Se o espaço crescesse mais devagar que o tempo, o gráfico seria encurvado para baixo. Seu gráfico, então, indica que a variável t deve estar elevada a um número maior que 1. A equação deverá ser então

$$e = \text{Constante} \times t^{\alpha}$$

Quanto será o valor de α ? O valor de α pode ser determinado facilmente com o uso de um gráfico "di-log" ou log-log. Um gráfico desse tipo tem ambos os eixos em escalas logarítmicas.

Em "Se você quiser saber um pouco mais" a sua tarefa será fazer um gráfico com os mesmos valores da tabela, porém, sobre escalas "log-log"

V E T O R E S

Existem grandezas que ficam completamente caracterizadas ou determinadas por um número (medida) acompanhado da unidade que representa a grandeza. Por exemplo, quando dizemos 20 toneladas. Grandezas como essa, que ficam bem determinadas por um número (medida) acompanhado da unidade a que se refere, são chamadas grandezas ESCALARES.

Imagine agora que queremos representar um deslocamento. Mesmo que eu diga que o deslocamento é de 20 metros isso não basta. Em que direção (reta) se fez o deslocamento?

Mesmo que se tenha dito em que direção (reta), ainda não saberíamos qual dos dois sentidos sobre a reta. Para caracterizar um deslocamento, então, são necessários três elementos: o tamanho (ou módulo), a direção e o sentido.

Com essa finalidade, foram introduzidos os VETORES. VETOR é uma palavra de origem latina (Vector) que significa ser deslocado.

Logo, porém, se percebeu que muitas outras grandezas tinham algumas propriedades semelhantes ao deslocamento. Por essa razão, essas outras grandezas que se comportam como deslocamentos foram todas chamadas VETORIAIS. Esse é o caso das acelerações das velocidades, das forças e de muitas outras.

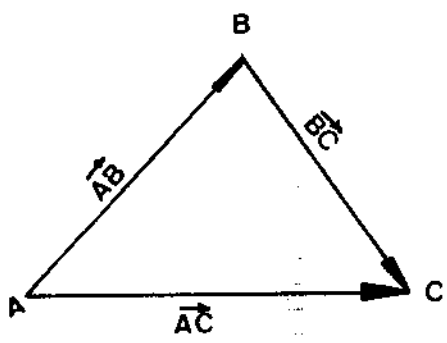


fig. 1.7.

Imagine que um móvel qualquer, um carro por exemplo, se encontra na posição A e se desloca para B. O vetor $\vec{AB}$ representa o deslocamento de A para B. Suponha que, de B o carro se deslocou para C. O novo deslocamento é então dado pelo vetor $\vec{BC}$. Do ponto de vista vetorial, o deslocamento (mudança de posição) não depende do percurso. Foi ele feito por ABC , mas poderia ter

sido direto de A a C . Dizemos então

$$\vec{AB} + \vec{BC} = \vec{AC}$$

Isso não quer dizer que a soma das distâncias AB mais a distância BC seja igual à distância AC.
Portanto,

$$AB + BC \neq AC$$

Essa igualdade só vale do ponto de vista vetorial. Por isso se diz que ela é uma equação vetorial. Sem as flexas por cima, que indicam vetores, a equação não vale sempre. Só vale num caso particular em que todos os vetores estão sobre a mesma reta.

É interessante notar que os mesmos deslocamentos poderiam ser descritos em relação a qualquer origem. O deslocamento não depende do ponto escolhido como origem.

O vetor deslocamento é a diferença de dois vetores posição. Os vetores $\vec{P}_1$ e $\vec{P}_2$

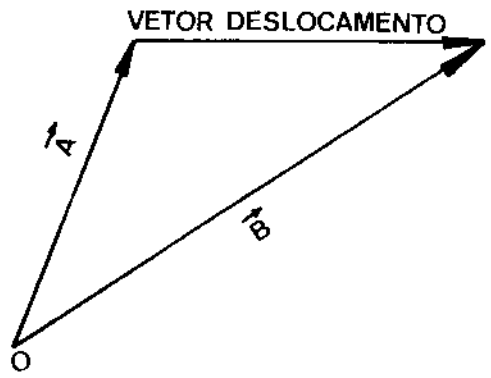


fig. 1.8.

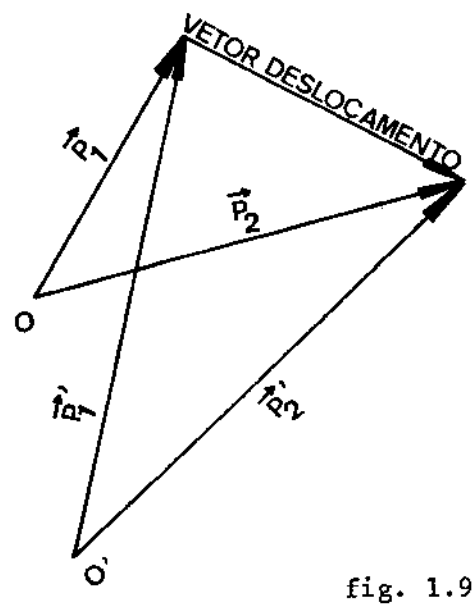


fig. 1.9.

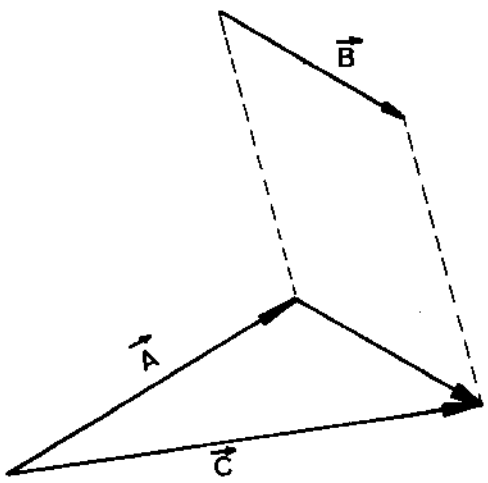
definem as posições de dois pontos em relação a uma origem qualquer (O).

O mesmo deslocamento pode ser definido a partir de origens (O e O') diferentes.

Soma e diferença de vetores

Quando temos um vetor $\vec{A}$ e queremos somar a ele um vetor $\vec{B}$, deslocamos o vetor $\vec{B}$ paralelamente à sua própria direção até a extremidade (ponta) do vetor $\vec{A}$. Feito isso, unimos o começo do vetor $\vec{A}$ à extremidade do vetor $\vec{B}$. Obtemos, assim o vetor $\vec{C}$ que é a soma de $\vec{A}$ e $\vec{B}$.

$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$$



A subtração, ou diferença de vetores, também pode ser provada em termos de soma. Você sabe que, para inverter o sinal de um vetor, basta inverter o sentido da flecha.

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) = \vec{C}$$

fig. 1.10.

Então, para obter a diferença de dois vetores basta fazer a soma trocando o sinal do segundo.

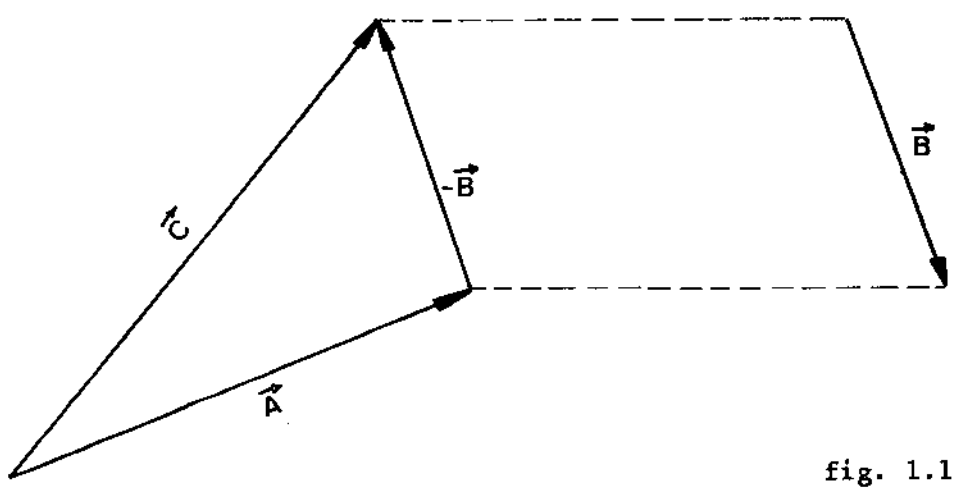


fig. 1.11 .

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Coloque os mesmos dados da tabela, que está na última atividade que você fêz, sobre um gráfico em que as escalas são logarítmicas.

Depois de feito o gráfico, responda às perguntas.

O gráfico ainda é uma curva?

Você se lembra que a equação de uma reta é $y = ax + b$? Nessa equação a é o coeficiente angular da reta, isto é, o número que indica a inclinação da reta, você já sabe que a equação procurada é do tipo

$$e = \text{Constante} \times t^{\alpha}$$

Passe toda a equação para uma forma logarítmica. Você obterá:

$$\begin{array}{ccccccc} \log e & = & \alpha & \log t & + & \log & \text{constante} \\ \downarrow & & \downarrow & \downarrow & & & \downarrow \\ y & = & a & x & + & & b \end{array}$$

O que você obteve é a equação de uma reta, porém em um espaço logarítmico.

Você deve estar lembrado que o coeficiente angular de uma reta em um gráfico é a relação entre os dois catetos de um triângulo retângulo, em que os catetos são segmentos paralelos aos eixos e a hipotenusa está sobre a reta dada ou função.

Neste caso, você poderá medir tanto Δe (um cateto vertical) como Δt (um cateto horizontal) em cm ou mm. A única condição é que ambos sejam medidos na mesma unidade.

Conhecido o valor de α, você poderá determinar o valor da constante, pois para qualquer par de valores (e e t) você poderá fazer as contas. Faça para vários pares e veja se o valor obtido para a constante é realmente constante, isto é, sempre o mesmo.

Agora você conhece tudo da equação.

Se você quiser e puder, descubra a equação que liga os dados da tabela abaixo.

Esses dados são das velocidades atingidas por um corpo em queda livre quando solto de alturas diferentes; experiência em que se mediu a velocidade atingida por um corpo que foi deixado cair de alturas diferentes.

VELOCIDADE (m/s)	ALTURA (m)
0	0
4,5	1
6,3	2
7,7	3
8,8	4
10	5
11	6
11,8	7
12,6	8
13,4	9
14,1	10

CAPÍTULO 1 - OS MOVIMENTOS

1.2 - DESCRIÇÃO DE UM MOVIMENTO

Você sabe que um mesmo fato pode ser descrito de diferentes maneiras. A maneira como descrevemos um certo fato depende do que estamos querendo com a descrição.

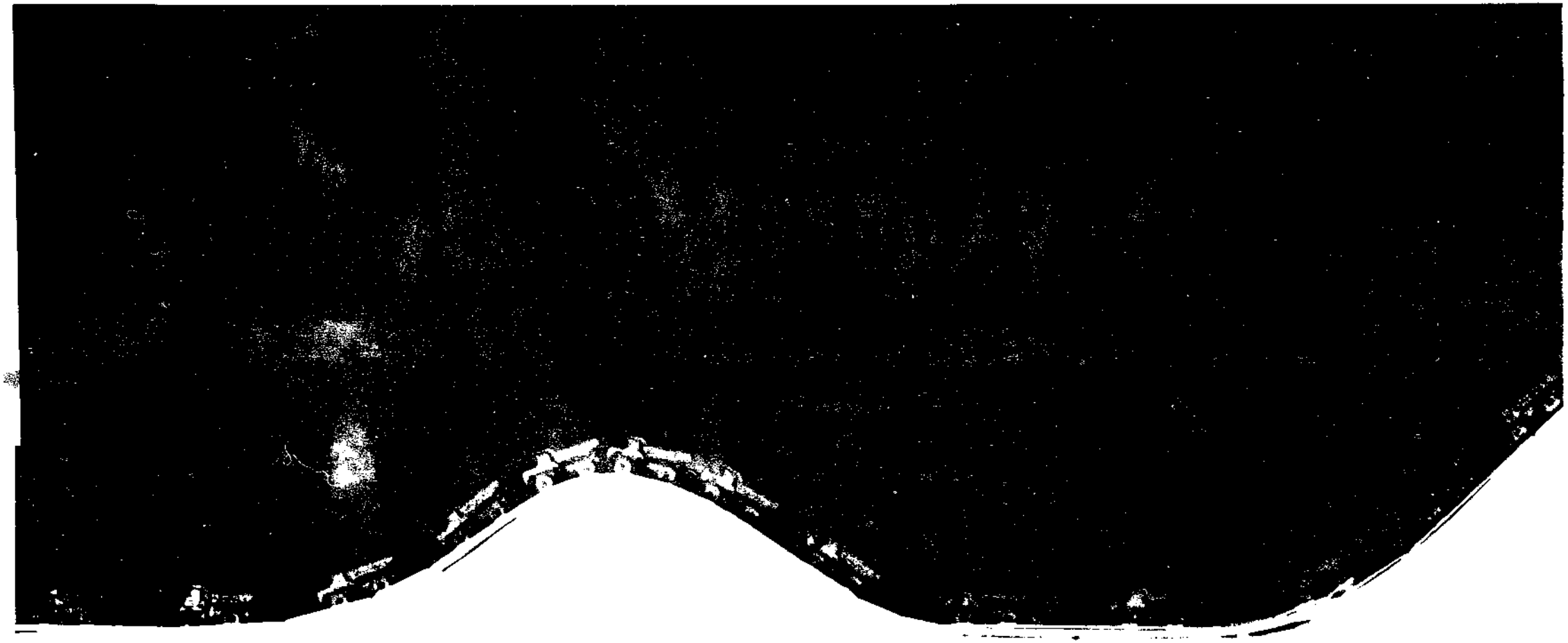
Em Física, além da linguagem verbal, são muito usadas as descrições através de tabelas, de gráficos e de equações. Cada uma dessas linguagens tem alguma vantagem em relação a outra.

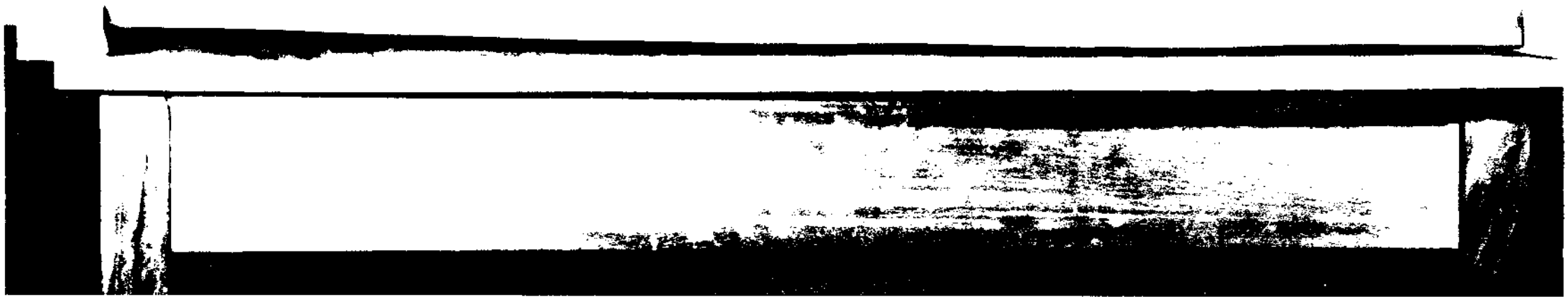
No estudo dos movimentos são muito úteis as descrições através de gráficos. Os gráficos nos dão uma visão mais descritiva e que pode conter grande número de informações.

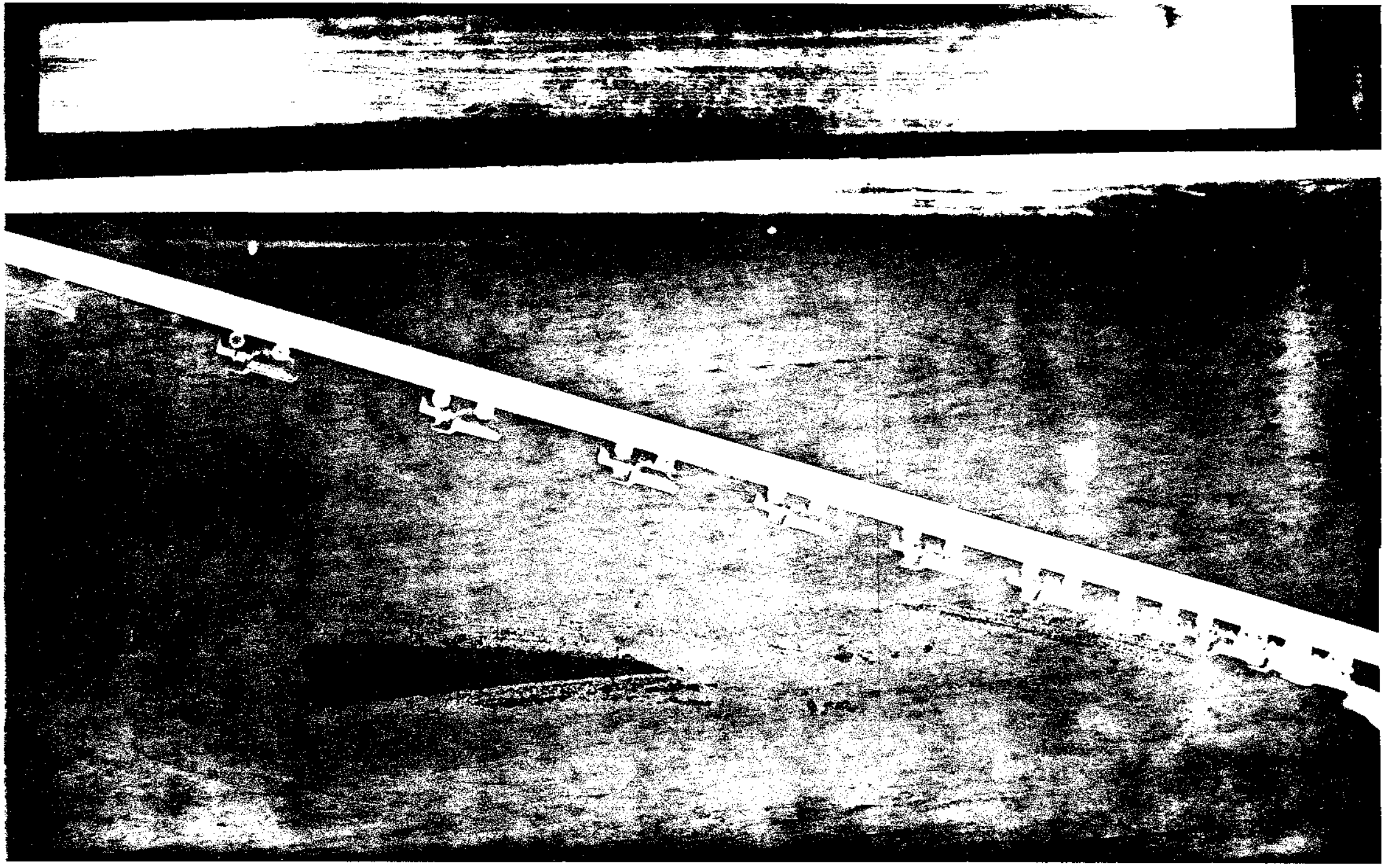
Observe, por exemplo, as duas fotografias do carrinho. Como você descreveria esses movimentos a alguém sem mostrar as fotografias? Estamos, nesse caso, interessados em descrever apenas o movimento. No momento não nos interessa quem se está movendo nem porque se move.

Espaço Versus Tempo

Talvez a primeira coisa que nos ocorreria seria uma espécie de horário do movimento. Isto seria uma representação gráfica dos lugares (distâncias) em que o móvel se encontra à medida que o tempo passa. Nesse tipo de descrição são representadas as duas grandezas: espaço e tempo. Cada uma delas representada sobre um eixo. O tamanho das unidades, ou seja, das divisões, sobre cada um dos eixos fica à sua escolha. Você deve escolher as divisões ou escalas sobre cada eixo de maneira que sobre ela caibam todos os valores que você pretende colocar. As divisões escolhidas para o eixo dos espaços não precisam ser iguais às do eixo dos tempos. Cada uma das escalas você escolhe de acordo com suas conveniências.







Geralmente, numa descrição gráfica se representa o tempo no eixo "horizontal" e no sentido em que escrevemos (da esquerda para a direita) e o espaço no eixo "vertical" de baixo para cima. Isso no entanto não é obrigatório, é apenas conveniente.

Você já deve ter percebido que, se adotamos escalas diferentes, o aspecto do gráfico varia de acordo com as escalas adotadas. No entanto, quaisquer que sejam as escalas, o gráfico sempre mostra como varia uma das grandezas, no caso o espaço, em relação a outra, no caso o tempo. Podemos dizer resumidamente que um gráfico desse tipo representa o espaço (e) em função do tempo (t). Na linguagem sintética da matemática, isto seria dito assim:

$$e = f(t)$$

Também as unidades de medida para o espaço e para o tempo são arbitrárias, isto é, de escolha livre. As unidades de medida universalmente adotadas em Física para espaço e para tempo são respectivamente o metro (m) e o segundo (s). Quase sempre nas fórmulas e na solução de problemas são empregadas essas unidades que pertencem ao sistema MKS (metro, kilograma, segundo). Quando se vai fazer um gráfico nada impede que se use outra unidade mais prática ou mais de acordo com o que você está querendo quando faz o gráfico. Você poderia usar, por exemplo, o quilômetro (km) e a hora (h). Poderia também ser o centímetro (cm) para os espaços e o segundo (s) para os tempos. Podemos adotar até uma unidade cujo valor não conhecemos, contanto que saibamos serem os intervalos todos iguais.

ATIVIDADE: EXAME DE UM MOVIMENTO ATRAVÉS DE GRÁFICO ESPAÇO CONTRA TEMPO

Você vai medir primeiramente o espaço do carri

nho da primeira foto anexa. Se você quiser e puder, faça o mesmo com a segunda foto.

As distâncias ou espaços vão ser contados a partir de um ponto qualquer (origem) que você vai escolher. Uma vez escolhido, esse ponto deverá ser mantido em todas as medidas. Você pode adotar como origem para as contagens a primeira fotografia em que a frente do carrinho aparece nítida. Lembre-se de que para se fazer essas medidas você pode usar qualquer unidade.

Os tempos serão contados também a partir da primeira fotografia. Lembre-se de que você pode adotar como unidade, o tempo percorrido entre as duas fotografias sucessivas, mesmo que você não o conheça; o que importa é que esses intervalos de tempo entre cada par de fotografias sucessivas são todos iguais.

Depois de feito o gráfico, do espaço em função do tempo, responda às seguintes perguntas.

1. Em cada intervalo de tempo o aumento de espaço (distância) foi igual?
2. Onde foi maior a variação de espaço ?
3. Em que parte do percurso a inclinação do gráfico em relação ao eixo dos tempos foi maior?
4. Em que parte do percurso o carro teve maior velocidade?
5. Você acha que a inclinação do gráfico está relacionada com a velocidade que o móvel teve? Como está relacionada então?
6. Qual o espaço total percorrido pelo móvel em todo o percurso descrito pelo gráfico ?
7. Qual o tempo total gasto no percurso descrito no gráfico?
8. Qual a velocidade média do móvel considerando-se o espaço total e o tempo total?
9. Se você mudasse a escala das distâncias ou dos tempos, ficaria diferente a inclinação do gráfico?
10. Você acha que simplesmente mudando as escalas mudaria o valor da velocidade expressa pelo gráfico?

11. Em gráficos com escalas diferentes, a mesma velocidade pode corresponder a inclinações diferentes?

12. O coeficiente angular (Δe / Δt) de cada trecho permanece constante mesmo que você mude as escalas?

13. Como seria o gráfico se o móvel tivesse alguma vez parado durante o percurso?

14. O gráfico nos permite dizer se o movimento é retilíneo, isto é, se a trajetória do carro foi uma reta?

Mostramos a seguir o mesmo gráfico que você fêz porém em outras escalas.

Os espaços não foram medidos, mas são as distâncias percorridas tomadas diretamente sobre a fotografia.

A escala dos tempos é dada pelas larguras das fitas que representam os espaços. Essas larguras são inteiramente arbitrárias. O gráfico, feito assim, tem uma aparência um pouco diferente mas representa o mesmo movimento. Apenas as escalas são diferentes.

VELOCIDADE MÉDIA

Você já está familiarizado com a idéia de velocidade média. Frequentemente ouvimos falar que o vencedor de corrida de Fórmula I conseguiu uma velocidade média de 195 km/h, por exemplo. Isso não quer dizer que a velocidade tenha sido sempre a mesma. Em muitas ocasiões o carro deve ter tido uma velocidade muito maior. É possível que nessa mesma corrida o carro tenha também parado no "box" durante algum tempo. A velocidade média não, é portanto, uma descrição completa do movimento.

A velocidade média (v_m) em um certo tempo é o espaço total percorrido dividido pelo tempo total gasto no per

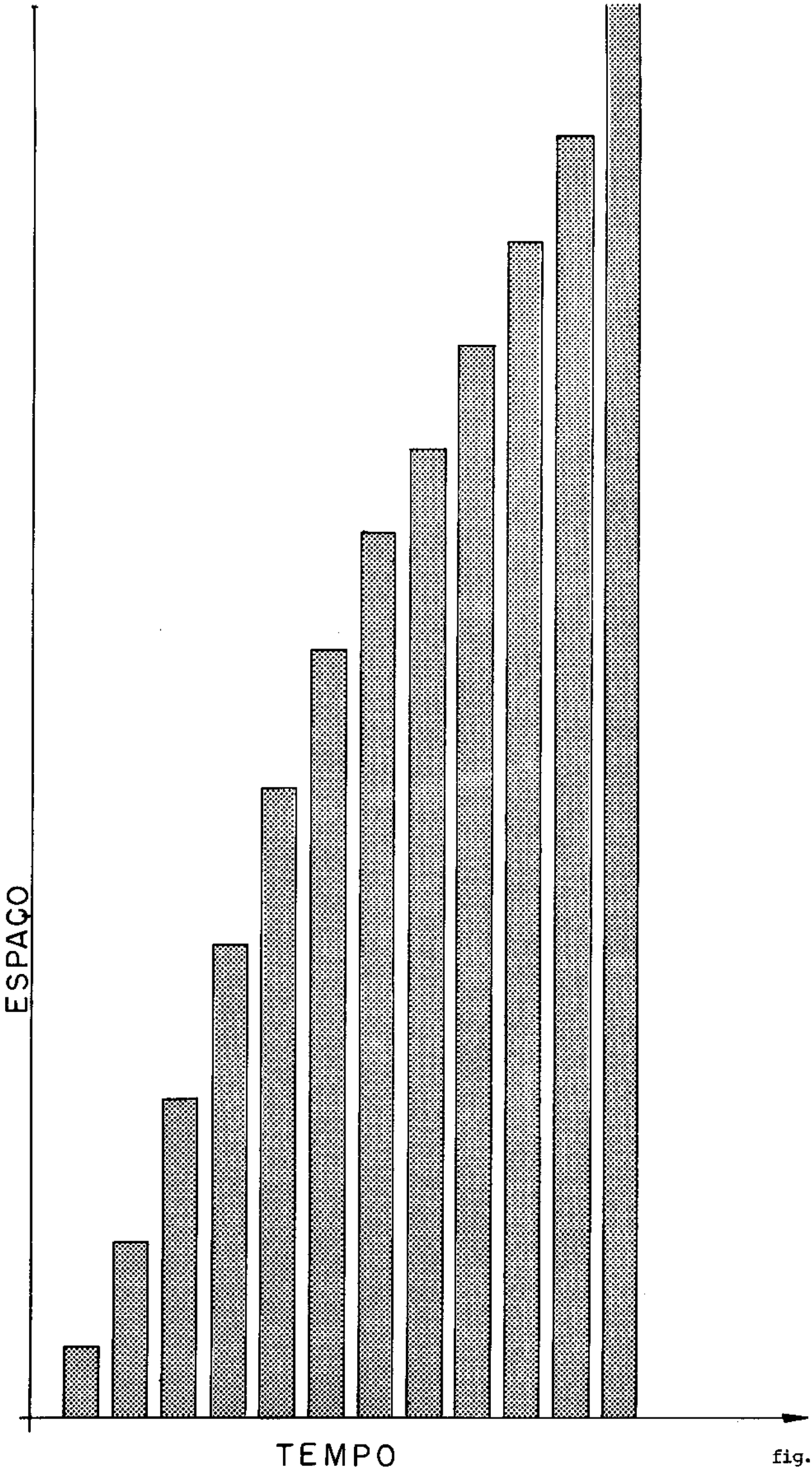


fig. 2.1

curso. Podemos dizer isso mesmo através de uma fórmula:

$$v_m = \frac{\text{espaço total}}{\text{tempo total}}$$

De maneira geral e mais sintética podemos dizer que:

$$v_m = \frac{\Delta e}{\Delta t}$$

Vamos a seguir descrever o mesmo movimento. Desta vez, outro aspecto do movimento será descrito.

ATIVIDADE: EXAME DE UM MOVIMENTO ATRAVÉS DE UM GRÁFICO VELOCIDADE VERSUS TEMPO

Faça um par de eixos ortogonais, isto é, eixos que façam entre si um ângulo de 90°. O eixo "vertical" é o eixo das velocidades (médias) é o "horizontal" o dos tempos. Essas velocidades médias são representadas pelos espaços percorridos em cada intervalo divididas pelo valor desse intervalo de tempo. Seja qual for esse tempo, você poderá tomá-lo como unidade. Isso é possível porque estamos informando a você que todos os intervalos de tempo foram iguais.

O gráfico que você vai obter lhe dará o comportamento da velocidade em relação ao tempo.

1. Esse gráfico poderia descrever a velocidade de um carro cuja trajetória fosse retilínea?
2. Em qual dos intervalos de tempo a velocidade foi maior?
3. Em qual dos intervalos de tempo a velocidade foi menor?
4. Você acha que a velocidade média é a média (aritmética)das velocidades no percurso? Verifique.

5. Qual a variação total de velocidade durante o percurso?

6. Qual o tempo total decorrido durante o percurso?

ACELERAÇÃO MÉDIA

Quando você examina um gráfico de velocidade em relação ao tempo, você verifica que esta pode crescer ou decrescer mais rapidamente. O que vamos definir agora é justamente a "maneira" pela qual a velocidade pode variar em relação ao tempo.

Essa "maneira" da velocidade variar em relação ao tempo é o que chamamos de aceleração. Poderíamos dizer que a aceleração é também a "taxa" de variação da velocidade em relação ao tempo. Aqui, como no caso da velocidade, cabe falar-se em aceleração média (A_m): aceleração média é a relação entre uma variação de velocidade (Δv) e o intervalo de tempo (Δt) no qual essa variação se dá.

$$A_m = \frac{\text{variação da velocidade}}{\text{variação do tempo}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

7. Qual foi então a aceleração média do móvel considerando-se a variação total da velocidade e do tempo?

8. Houve trecho em que a inclinação, em relação ao eixo dos **t**, do gráfico foi maior? Qual?

9. Houve trecho em que a velocidade aumenta mais depressa? Qual?

10. Houve trecho em que a aceleração foi maior? Qual?

11. Trace sobre o gráfico a velocidade média durante todo o percurso.

12. Traçada a velocidade média, meça a área acima dessa reta até a curva **v x t** e a área abaixo dessa reta até a curva **v x t.** Elas são iguais (ou aproximadamente) ou são completamente diferentes?

Mostramos a seguir o mesmo gráfico que você fez porém em outras escalas. Esse gráfico é parecido com o que fizemos quando tomamos diretamente sobre a figura os valores dos espaços. Aqui tomamos diretamente sobre o gráfico o tamanho dos espaços percorridos em cada unidade de tempo. A largura das fitas que é arbitrária, representa a unidade de tempo, que é o tempo entre duas fotografias sucessivas.

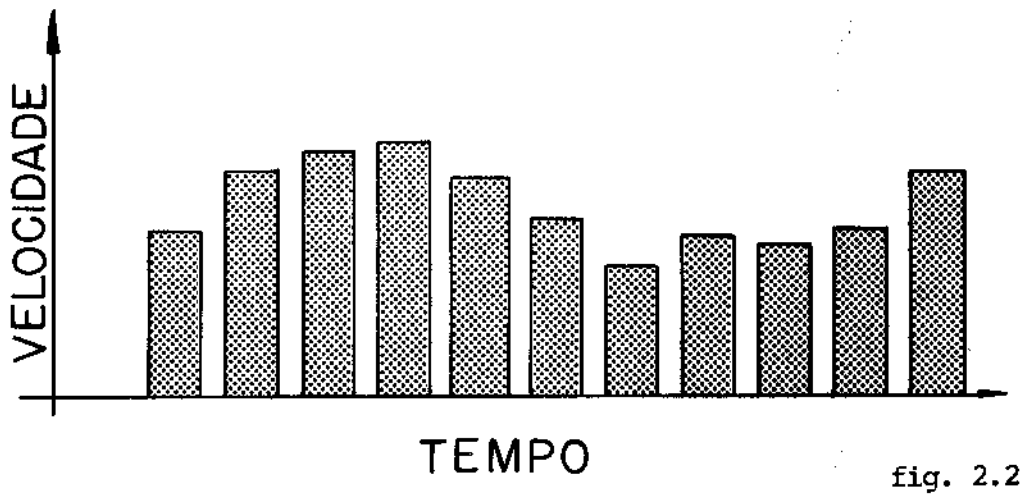


fig. 2.2

Agora você já sabe o que é aceleração, vamos analisar o mesmo movimento sob outro aspecto.

Você vai determinar as aceleraçãoes médias do carro para cada intervalo de tempo. Com esses valores, vai construir um gráfico de aceleração versus tempo. O eixo das acelerações será o eixo vertical e, o dos tempos, o horizontal.

Você poderia ter feito esse gráfico da mesma maneira como foram feitos os de e x t e de v x t; isto é, usando tiras de papel. Como anteriormente a largura da tira de papel dá a unidade de tempo e as acelerações são dadas pelas diferenças das alturas das tiras das velocidades.

Observe os gráficos v x t e a x t e note que quando a velocidade aumenta, a aceleração é positiva. Quando a velocidade diminui a aceleração é negativa. E quando a velocidade é constante, como é a aceleração?

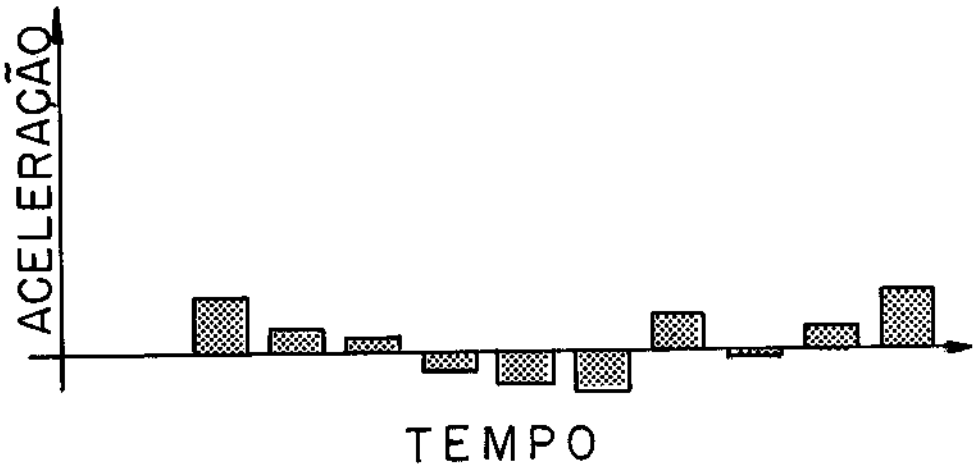


fig. 2.3

Uma idéia errada e muito difundida é que para ter grande aceleração um corpo deve ter grande velocidade. O que mede a aceleração é a variação da velocidade e não a velocidade. O corpo pode ter grande velocidade e aceleração ZERO. Pode também ter pequeníssima velocidade e grande aceleração. Pode até ter grande aceleração e estar parado. Sim Senhor ! Basta você observar que a velocidade de um corpo que é atirado para cima vai diminuindo até chegar a ser nula quando o corpo para e começa a descer, ganhando velocidade e lembrar-se de que esse corpo tem sempre a mesma aceleração, a aceleração da gravidade (g)que é 9,8 m/s^2.

ATIVIDADE : VELOCIDADES E ACELERAÇÕES

Você irá medir as velocidades e as acelerações dos três corpos fotografados simultaneamente. Portanto, os intervalos de tempo entre duas posições sucessivas das bolas são

iguais para as três bolas.

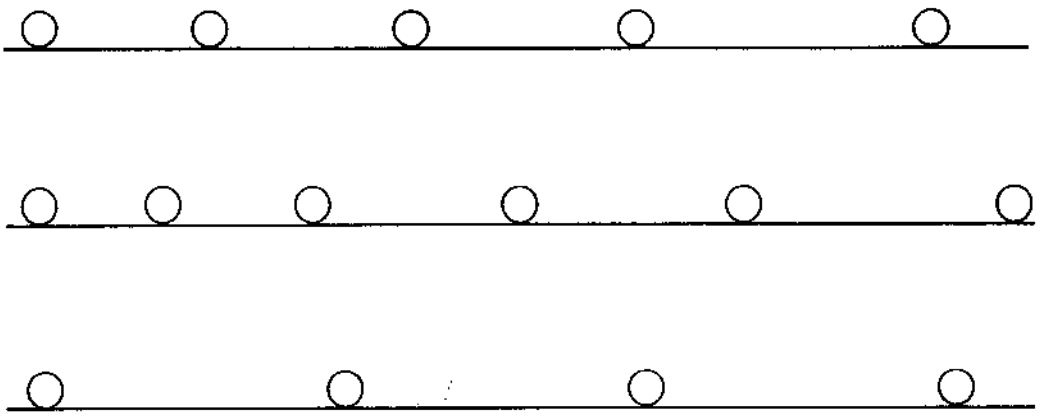


fig. 2.4

1. Qual das bolas se deslocou com maior velocidade?
2. Qual se deslocou com a menor velocidade?
3. Algumas delas teve velocidade constante? Qual delas?
4. Como é a aceleração desta?
5. Qual delas apresenta maior variação de velocidade, isto é, maior aceleração?
6. A maior aceleração está com aquela que tem a maior velocidade?

Deslocamento, velocidade e aceleração como VETORES

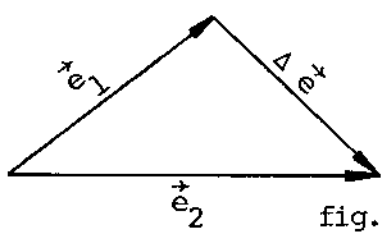


fig. 2.5

Você já sabe que um deslocamento pode ser designado por um vetor.

Observe na figura que:

$$\vec{e}_2 = \vec{e}_1 + \Delta \vec{e}$$

ou $\Delta \vec{e} = \vec{e}_2 - \vec{e}_1$

Segue-se, então, que a velocidade também é um vetor, pois quando se divide um vetor ($\Delta \vec{e}$) por um escalar (Δt), obtém-se um novo vetor.

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{e}}{\Delta t}$$

Este novo vetor velocidade tem a mesma direção e sentido do vetor $\Delta \vec{e}$. O módulo do novo vetor é proporcional a $\Delta \vec{e}$. Apesar disso o novo vetor é de outra espécie, isto é, é uma velocidade.

Definindo o vetor velocidade, fica fácil definir o vetor aceleração.

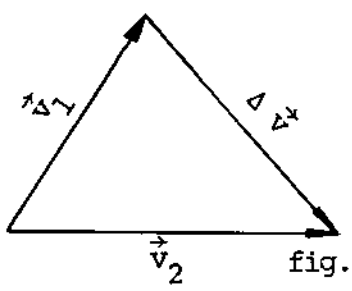


fig. 2.6

Suponha que num certo instante um móvel tem velocidade $\vec{v}_1$. Depois de um intervalo de tempo (Δt), a velocidade passou a ser $\vec{v}_2$. Então houve uma variação da velocidade. Chamaremos a esta variação da velocidade de $\Delta \vec{v}$.

Observe a figura e veja como

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \Delta \vec{v}$$

ou $$\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

Chamamos de aceleração (vetorial) a relação entre a variação do vetor velocidade ($\Delta \vec{v}$) e o tempo no qual se deu esta variação, ou

$$A_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Aqui valem as mesmas observações feitas anteriormente: o vetor aceleração tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor $\Delta \vec{v}$. O módulo do novo vetor é proporcional ao vetor $\Delta \vec{v}$. Já dissemos também que a aceleração não depende da velocidade, mas da variação da velocidade. Assim também com a velocidade vetorial: um corpo pode ter grande velocidade e pequena (ou nula) aceleração. Pode também ter velocidade ZERO, e ter grande aceleração.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Você já sabe que $V_m = \frac{\Delta e}{\Delta t}$ e portanto,

$$\Delta e = v_m \Delta t$$

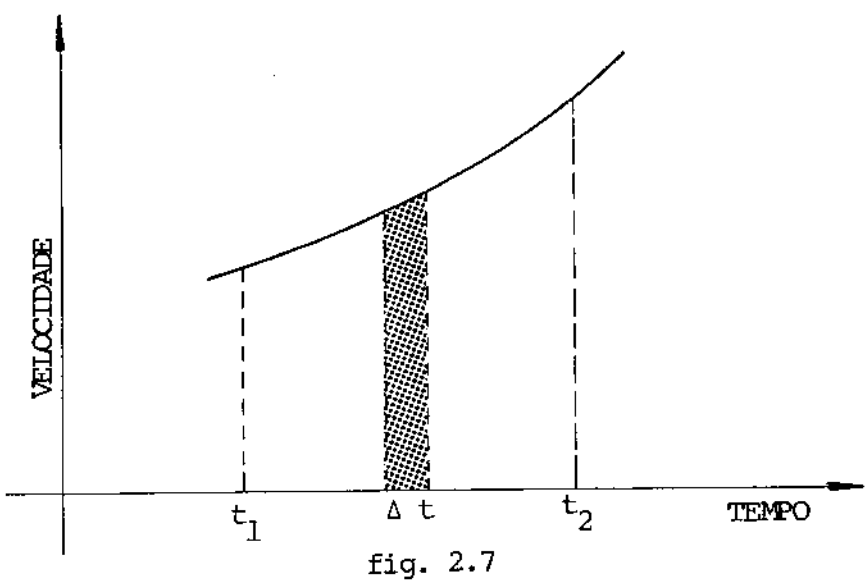


fig. 2.7

O produto da velocidade média por um intervalo de tempo dá uma variação de espaço. Observe na fig. 2.7, que, num gráfico da velocidade em função do tempo, as áreas compreendidas entre a curva e o eixo dos t medem o produto v_m por Δt que é como vimos acima o espaço percorrido no intervalo de tempo Δt. Se um elemento da área mede o espaço percorrido no intervalo Δt, então a área total mede o espaço total percorrido. Ou melhor: o espaço percorrido pelo móvel, entre um tempo que vai de t_1 a t_2 é medido pela área compreendida entre a curva e o eixo dos tempos entre t_1 e t_2.

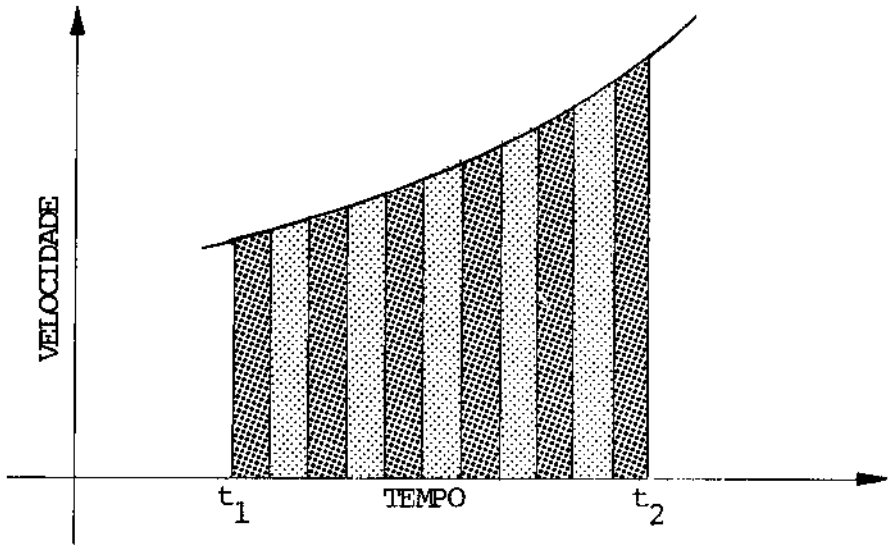


fig. 2.8

Podemos dizer, numa linguagem matemática:

$$\Delta A = v_m \Delta t = \Delta e$$

Mas

$$A = \sum_{t_1}^{t_2} \Delta A = \sum_{t_1}^{t_2} v_m \Delta t$$

$$e = \sum_{t_1}^{t_2} \Delta e = \sum_{t_1}^{t_2} v_m \Delta t$$

Então $A = e$

Obs.: O sinal Σ indica soma dos pedaços.

Talvez você tenha estranhado de não ter encontrado, até aqui, as fórmulas que geralmente são dadas para resolver os problemas sobre movimentos. Vamos vê-las agora e em **UM POUCO MAIS AINDA** mostraremos algumas coisas que lhe permitirão resolver problemas mais gerais que os possíveis pela aplicação das mesmas.

Você já sabe construir e sabe também o que significa um gráfico velocidade x tempo.

Qual será então a expressão do espaço para um movimento cuja velocidade (v) é constante?

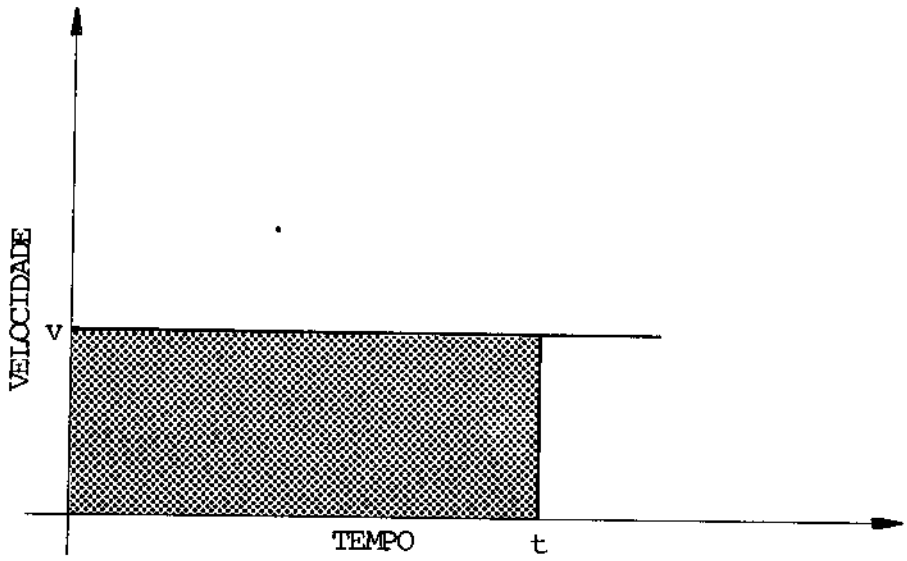


fig. 2.9

Nós sabemos que a área sob a curva de um gráfico velocidade versus tempo dá o espaço percorrido pelo móvel nesse tempo. Mas, a área sob a "curva", nesse caso reta, é a área de um retângulo cujos lados são v e t.

Logo $e = A = v \times t$

$$\boxed{e = vt}$$

Quando a velocidade cresceu proporcionalmente ao

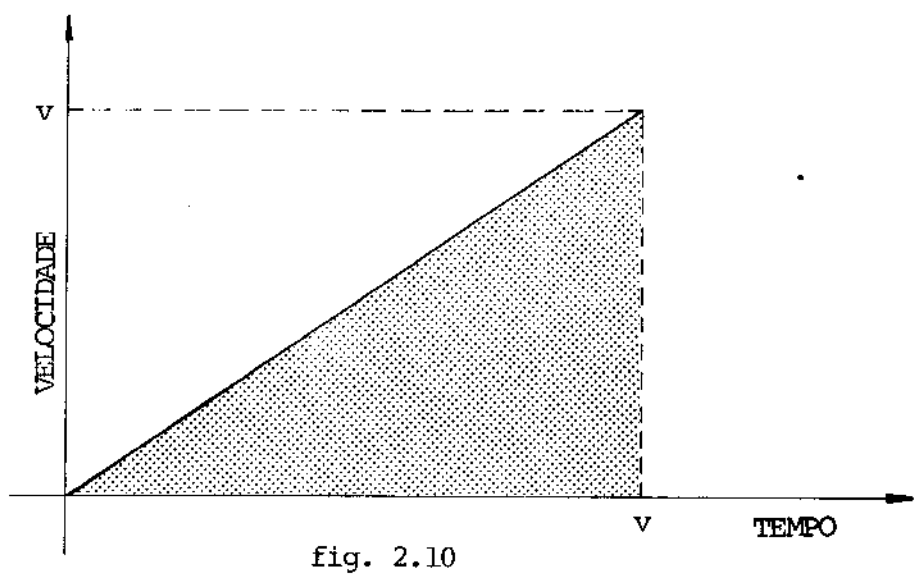


fig. 2.10

tempo, isto é, quando a aceleração é constante, o espaço é medido pela área, nesse caso, de um triângulo que é :

$$A = \frac{1}{2} \quad (\text{ base x altura })$$

A base desse triângulo é t e a altura é a velocidade v correspondente a t. Mas

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - 0}{t - 0} \qquad (v_o = 0 \text{ para } t_o = 0)$$

Logo $\quad v = at$

Então $\quad e = A = \frac{1}{2} \quad (t \times at)$

$$\boxed{e = \frac{1}{2} \quad a\, t^2}$$

E se o móvel já tiver uma velocidade inicial v_o?

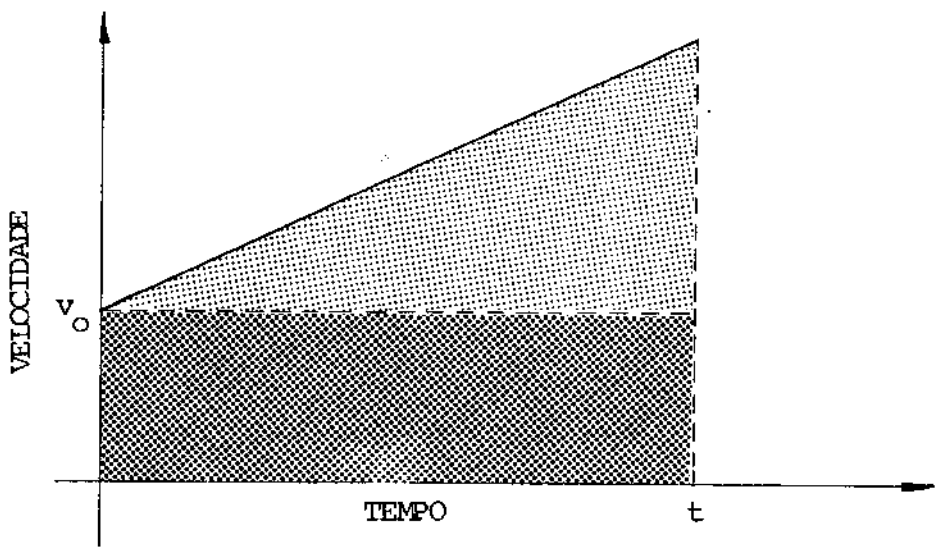


fig. 2.11

A expressão do espaço será a que dê a área debaixo da "curva" que é a soma da área de um triângulo de base t e altura v, que você já viu que dá $\frac{1}{2}$ at^2 , com a área de um

retângulo de lados t e v_o que é $v_o t$.

Logo

$$e = A = \frac{1}{2} at^2 + v_o t$$

$$\boxed{e = \frac{1}{2} at^2 + v_o t}$$

Nas equações de espaço geralmente estudadas no nível elementar essa é a mais completa. No entanto, esse ainda é um caso muito particular em que a aceleração (coeficiente angular da reta) é constante.

UM POUCO MAIS AINDA

Limite, derivada e integral

Você já deve ter percebido que a velocidade média de um carro não descreve exatamente a velocidade que o móvel teve em todos os instantes do seu percurso. Quando queremos descrever o movimento do carro de maneira mais exata devemos tomar intervalos de tempos menores.

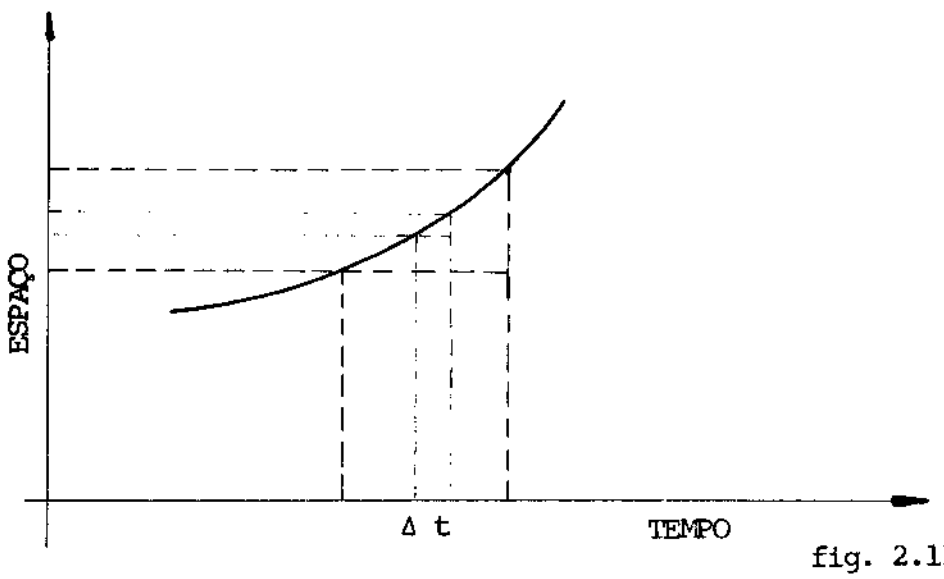


fig. 2.11

Usando a linguagem sintética da matemática poderíamos dizer:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} v_m$$

ou

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta e}{\Delta t}$$

o que quer dizer que a velocidade real ou velocidade instantânea de um móvel é a velocidade média desse móvel quando o intervalo de tempo Δt correspondente tende ao limite zero, isto é, intervalos de tempo cada vez menores.

Costuma-se chamar esse limite especial de derivada do espaço em relação ao tempo e se escreve:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{de}{dt}$$

Da mesma maneira que a velocidade média, a aceleração média não é obrigatoriamente a mesma em todo o intervalo. Quanto menor o tempo considerado, mais a aceleração média representa a aceleração real ou aceleração instantânea.

Para termos o que chamamos de aceleração instantânea devemos tomar o Δt aproximando-se de ZERO, isto é,

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} a_m = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Esse limite também é a derivada da velocidade em relação ao tempo. Ou

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

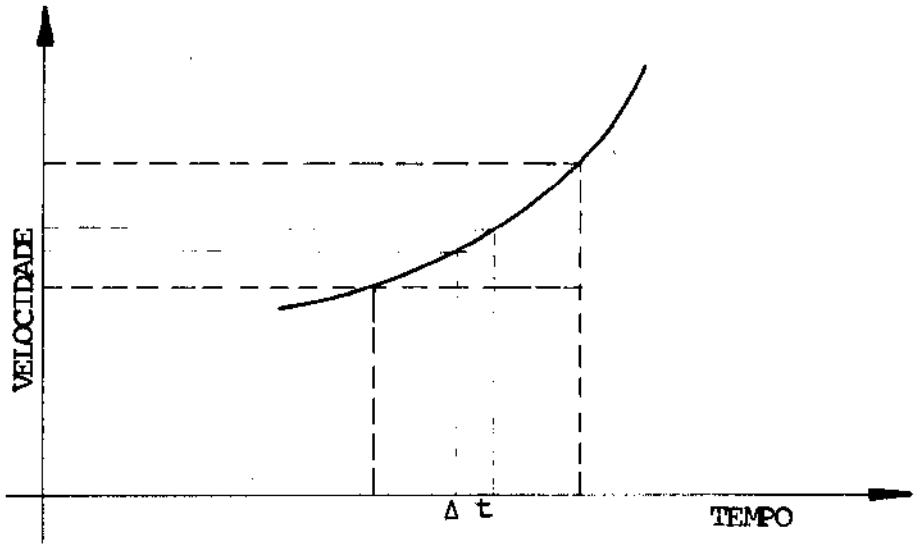


fig. 2.12

Em **SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS**, você já viu que um elemento de área é um elemento de espaço percorrido num tempo Δt. O espaço total será então a área total debaixo da curva. Você terá então que medir a área total. Isso poderá ser feito também dividindo a área total em um grande número de trapézios.

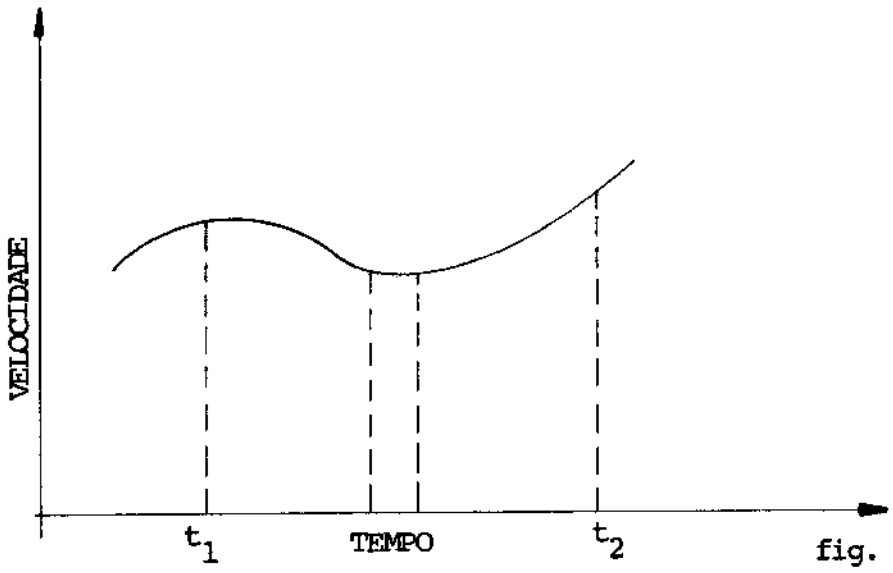


fig. 2.13

Então a área total será:

$$e = A = \Sigma \Delta A = \Sigma v \Delta t$$

$$\boxed{e = \Sigma v \Delta t}$$

1.2.20

Você pode perceber que quando você reduz pedaços a trapézios você comete um pequeno erro, pois a rigor cada pedaço não é exatamente um trapézio. Esse erro, no entanto, poderá ser diminuido na medida em que você tomar os intervalos de tempo menores. A rigor deveria ser:

$$e = \underset{\Delta t \to 0}{\text{limite}} \sum_{t_1}^{t_e} v \, \Delta t$$

Sabendo determinar o espaço total, você saberá a velocidade média. Você poderá também saber as acelerações que são os coeficientes angulares das retas tangentes em cada ponto da curva $v \times t$. Assim, mesmo que a curva $v \times t$ seja qualquer, você pode conhecer tudo sobre esse movimento: você pode saber como se comportam em relação ao tempo, o espaço, a velocidade e a aceleração

Se você está começando a estudar um pouco de cálculo integral, já deve ter percebido que a igualdade acima é a integral de $v\,dt$ de t_1 a t_2, isto é:

$$e = \int_{t_1}^{t_2} v \, d \, t$$

A partir desta equação você poderá obter todas as expressões para o espaço. Só que agora será preciso saber como $\underline{v}$ depende de $\underline{t}$, isto é, qual a expressão (equação) que liga $\underline{v}$ e $\underline{t}$. Poderíamos dizer, usando uma linguagem matemática que você deverá conhecer $v = f(t)$.

Na integral acima $\underline{v}$ será substituído pela correspondente equação em $\underline{t}$

Então, no caso do movimento uniforme em que $v = Cte$.

$$e = \int_{t_1}^{t_2} Cte \, dt = Cte \times t \Big|_{t_1}^{t_2} = v \, (t_2 - t_1)$$

$e = v \Delta t$ ou se contamos o tempo a partir de zero($t_1 = 0$), Δt fica igual a t.

$$\boxed{e = v \quad t}$$

Se $v = at$, teremos

$$e = \begin{matrix} t_2 \\ t_1 \end{matrix} \quad v\,dt, \text{ então}$$

$$e = \int_{t_1}^{t_2} v\,dt = \int_{t_1}^{t_2} a\,t\,dt = a\int_{t_1}^{t_2} dt = a\left[\frac{t^2}{2}\right]_{t_1}^{t_2}$$

$$\boxed{e = \frac{1}{2}\,at^2}$$

Dessa maneira, você poderá resolver problemas não só em que a aceleração é constante, mas de qualquer tipo. Basta conhecer a equação $v = f(t)$

Muitas vezes se obtém o gráfico mas não se conhece a equação. Aí, então, a solução será medir a área, como já foi indicado anteriormente.

CAPÍTULO 1 - OS MOVIMENTOS

1.3 - QUANDO NINGUÉM MEXE

Você acha que um corpo pode deslocar-se por muito tempo sem que alguma coisa o esteja empurrando ou puxando ? Provavelmente sua resposta será NÃO. O estudo dos movimentos começou por volta do século IV a.C. com Aristóteles, que dividiu os movimentos em três categorias distintas: os movimentos celestes que deviam ser sempre circulares, o movimento de queda, dirigidos para o Centro do Universo (Centro da Terra) e os movimentos sobre a superfície da Terra. Os dois primeiros movimentos, para Aristóteles, eram de natureza inteiramente distinta dos movimentos comuns.

Para Aristóteles, um corpo sobre a Terra só se move quando puxado ou empurrado. Segundo esse grego fundador da FÍSICA, a velocidade com que um corpo se move depende da força com que ele é puxado ou empurrado.

Essa idéia de Aristóteles tem algum sentido. Realmente, se deixarmos de empurrar um objeto, em geral, ele para. Se queremos que ele ande mais depressa, teremos que fazer, pelo menos durante algum tempo, mais força. De acordo com essas idéias, era lógico pensar-se que os corpos mais pesados caem mais depressa. Uma pedra grande deveria cair mais depressa que uma pedra pequena. No entanto, não é isso que acontece.

Observe a foto a seguir, que mostra a queda de duas pedras de tamanhos diferentes.

Elas levaram tempos diferentes?

No entanto, a pedra grande está sendo puxada com força maior.

Somente no início do Século XVII esse problema começou a ser estudado.

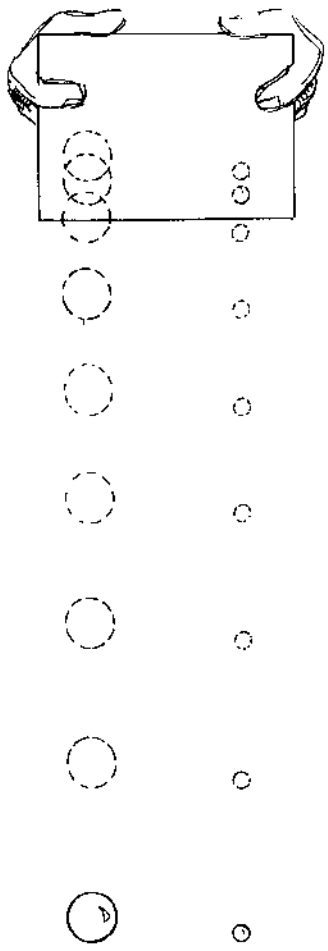


fig. 3.1.

Esse foi um dos grandes elementos da revolução científica iniciada por Galileu. Galileu foi o primeiro a por em dúvida as idéias de Aristóteles, que eram as únicas admitidas na cultura ocidental da época.

Nesse sentido, Galileu realizou um grande número de experiências que serviram inclusive de base para que, no fim do século XVII, Newton enunciasse as três leis da mecânica. A primeira lei de Newton é realmente o resultado do trabalho de Galileu. Essa primeira lei da mecânica diz:

"Na ausência de uma força, um corpo se move segundo uma reta com velocidade constante ou fica parado".

Isso podia ser dito de outra maneira:

"Quando nenhuma força atua sobre um corpo, este segue um movimento retilíneo e uniforme ou fica em repouso".

Você percebeu o que isso significa? Se nenhuma força atuar, um corpo pode seguir em movimento, indefinidamente; não parará nunca. É claro que Galileu não conseguiu ver um corpo seguir em movimento indefinidamente.

O que ele fêz foi uma série de experiências que levavam a concluir isso.

A primeira série de experimentos consistia em

lançar uma bola, com uma certa velocidade inicial em uma rampa, ora subindo, ora descendo. Nós também fizemos esses experimentos que você pode observar nas fotos abaixo.

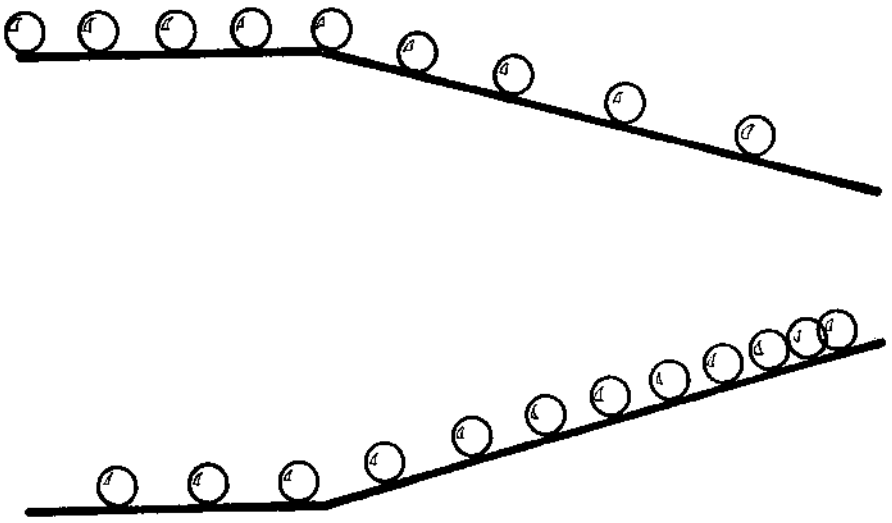


fig. 3.2.

Quando a bola foi lançada subindo a ladeira, sua velocidade foi diminuindo.

Quando ela foi lançada descendo, sua velocidade foi aumentando.

O que deve acontecer quando ela for lançada num plano que nem sobe e nem desce?

Sua velocidade não deveria aumentar, nem diminuir.

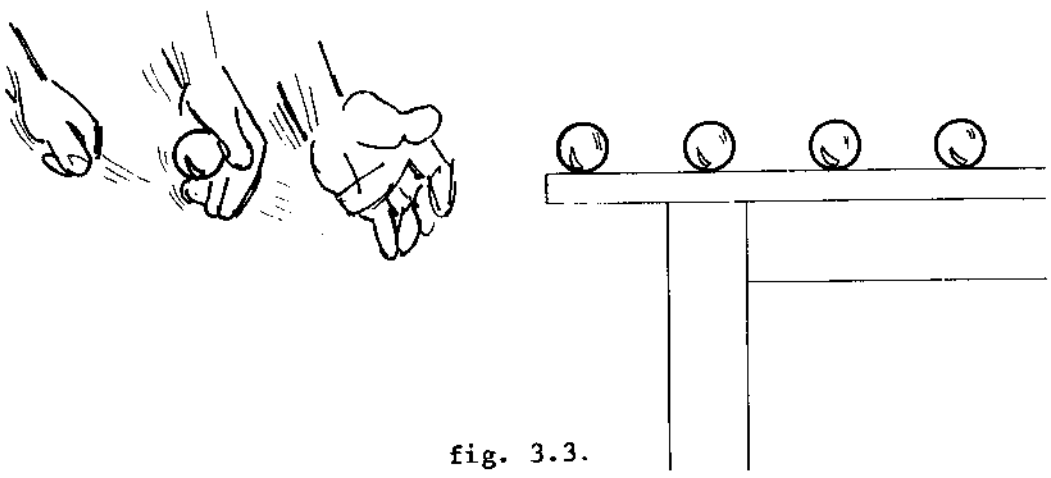


fig. 3.3.

Deveria ter velocidade constante. Galileu percebeu também que quanto mais lisas se tornavam, a bola e a superfície, mais próximo se chegava de um movimento constante.

Observe a fotografia anterior que mostra a bola com velocidade sensivelmente constante. Faça medidas sobre a fotografia. De quanto variou a velocidade da bola, desde o início até o fim do movimento? De quanto por cento foi a variação?

Uma experiência desse tipo chama-se uma experiência idealizada.

Galileu fêz ainda uma outra série de experiências que levam, no limite, à idéia da velocidade constante.

Nós também fizemos e fotografamos uma experiência desse tipo.

Uma bola foi solta desde o repouso em uma ladeira, e deixada subir no outro lado de uma espécie de "montanha russa". Na medida que a bola e a superfície forem aperfeiçoadas, a bola sobe do outro lado uma altura igual àquela que ela desceu.

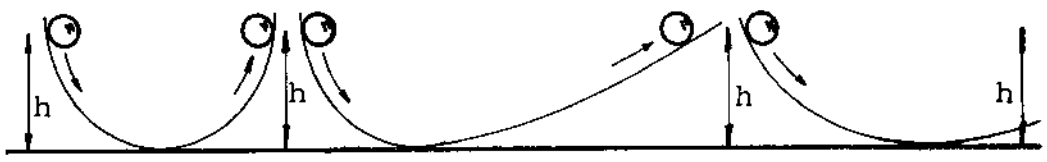


fig. 3.4.

Em todos os casos, independentemente da forma da "montanha russa", a bola se desloca até "encontrar" a mesma altura da qual ela saiu. Ora, o que acontecerá se a rampa da subida for menos inclinada?

A bola deverá andar uma distância maior, "para

encontrar" a altura inicial.

Quanto deverá "andar" a bola "em busca" da altura h se o outro lado da rampa for horizontal?

Este é outro experimento idealizado, isto é, que podemos fazer por aproximações, sem nunca chegar a fazê-lo perfeito. No entanto, ele também indica que, num plano horizontal, de superfície e bola bem feitos, o movimento será muito prolongado em tamanho e duração.

Este mesmo exemplo pode ser citado numa versão um pouco diferente. A fotografia mostra um pêndulo cujo barbante foi travado por um prego na parede.

A bolinha irá sempre "em busca" da altura de onde saiu com velocidade zero.

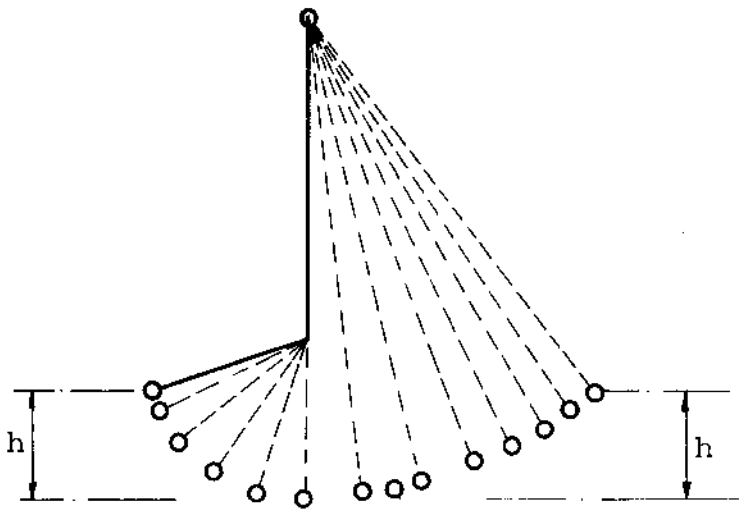


fig. 3.5.

As figuras a seguir dão uma série de exemplos do comportamento de um corpo "quando ninguém "mexe", isto é, quando não atua nenhuma força sobre ele.

É mais correto dizer-se: "Quando é ZERO a resultante das forças que atuam sobre o corpo, este não altera o seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme."

Este enunciado que é conhecido como "lei da inércia" ou primeira lei da mecânica, também pode ser assim enuncia-

do:

"Nenhum corpo, por si só, é capaz de alterar seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme".

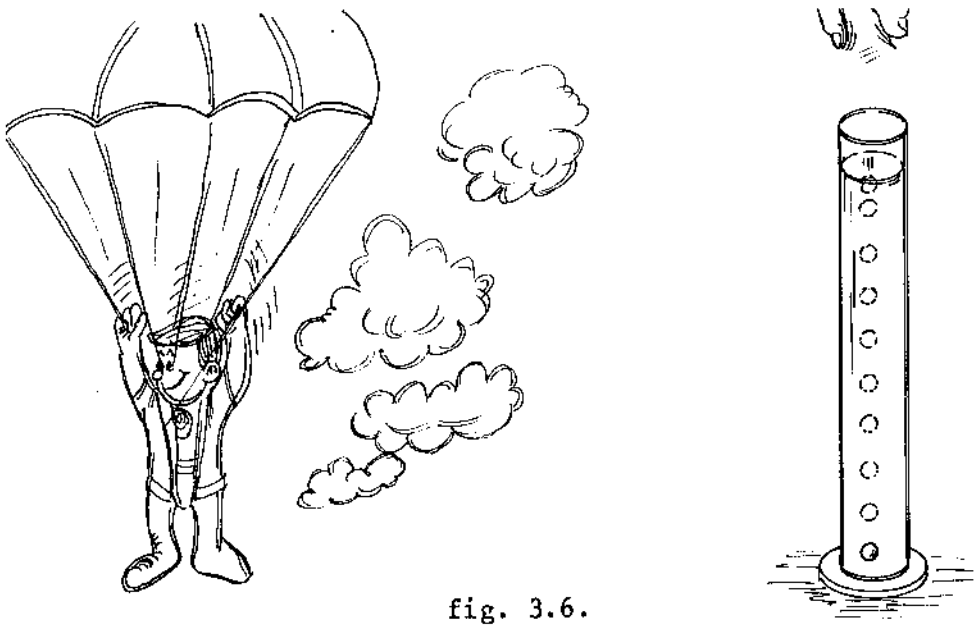


fig. 3.6.

Sabemos, hoje, que todas as leis da Física são invariáveis em qualquer sistema inercial de referência. Isso quer dizer que, se verificarmos as leis físicas em nosso laboratório, sabemos que elas também valem em qualquer sistema de referência que se desloque com velocidade constante em relação ao nosso laboratório. Por exemplo, num trem ou nave que se desloca com velocidade constante e em linha reta, valem todas as leis físicas que verificamos em nosso laboratório. Não importam, nem a velocidade, nem a direção nem o sentido do movimento. Isso é verdade tanto para um trem, como para um elevador ou um foguete, com a única condição: a velocidade deve ser constante.

Essa afirmação tem uma conseqüência: o repouso e o movimento retilíneo uniforme são equivalentes. Mais ainda: são <u>indistinguíveis</u> um do outro, pois não existe um sistema absoluto de referência. Os movimentos são descritos a partir de referências arbitrárias. Aplicando as leis da Física, não se consegue saber qual corpo está parado e qual está em movimento.

As leis da Física continuam as mesmas; todas as descrições de movimentos são relativas a um sistema que é arbitrário, com a única condição de valer nele a lei da inércia.

Verificamos a lei da inércia em nossos laboratórios: uma bola bem redonda, atirada sobre uma superfície horizontal e bem lisa, se desloca com velocidade constante. Quer dizer, que os nossos laboratórios são sistemas inerciais, pois neles verificamos que vale a lei da inércia. Será isso inteiramente verdade? - Não ! Um sistema para ser inercial deve ter velocidade constante (módulo, direção e sentido) em relação a qualquer outro onde se verifica a lei da inércia. Ora, o nosso laboratório está sobre a Terra e esta gira sobre si mesma, e orbita ao redor do Sol. Então, a velocidade da Terra não é constante. Logo ela não pode ser um sistema inercial. Aliás, foi esta a primeira grande prova do movimento de rotação da Terra. Se a Terra fosse um sistema rigorosamente inercial, um pêndulo não deveria mudar o plano de suas oscilações. - Mas muda! Isso significa que a Terra não é um sistema inercial. Esse fato foi publicamente mostrado quando Foucault montou um grande pêndulo no Panteon de Paris, em 1851. Com o passar das horas, o pêndulo ia marcando, com um estilete sobre a areia, a rotação de seu plano, ou melhor, a rotação da Terra.

Em movimentos de curta duração ou de curta distância, em geral, não percebemos esse efeito da rotação da Terra, que é pequeno. No entanto, ele pode ser notado em tipos de longo alcance, dados na direção Norte-Sul. Também os ventos Norte-Sul de grandes altitudes sofrem esse desvio devido ao movimento da Terra (Consulte seu professor de Geografia a respeito dos ventos <u>alíseos</u> e <u>contra-alíseos</u>)

Em nossos laboratórios, em qualquer lugar sobre a Terra, não vale a lei da inércia rigorosamente. A Terra não é um sistema rigorosamente inercial. Nenhum sistema que gira pode ser perfeitamente inercial.

1.4 - QUANDO UMA FORÇA ESTÁ ATUANDO

Certamente, você já tem idéia do que é uma força. Você já sabe também que uma força pode ser medida, por exemplo, pela distenção que ela produz em uma mola. Muitas balanças iguais às usadas por vendedores ambulantes são aparelhos que medem forças; são dinamômetros. Nessas balanças existe uma mola que se alonga tanto mais quanto maior for o peso do corpo. O peso de um corpo é a força com que a Terra e esse corpo se atraem.

O dinamômetro mede essa força.

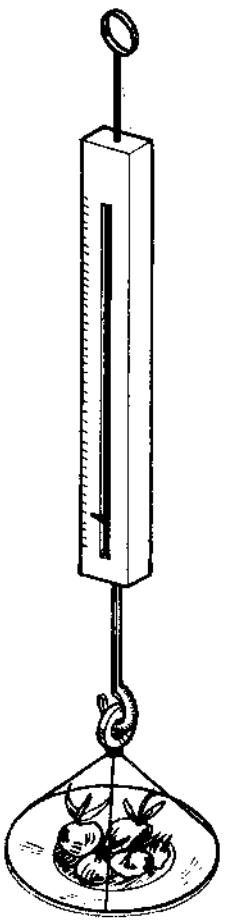


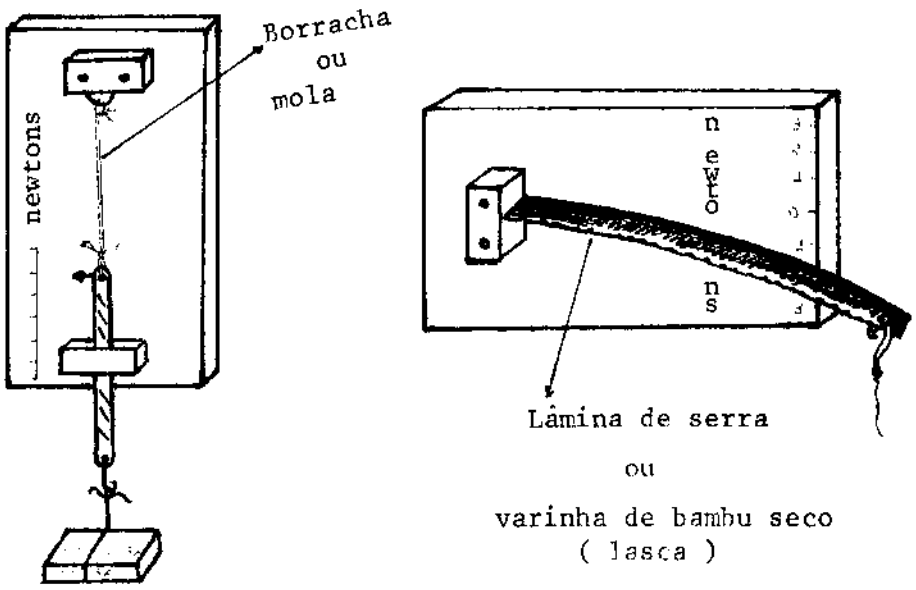
fig. 4.1

Esses aparelhos são quase sempre constituídos por um corpo elástico que se deforma com a aplicação da força (fig 4.1). Esse corpo pode ser uma mola, um elástico, uma vara etc. É importante que a força aplicada não vá além do limite de reversibilidade elástica do corpo. Quando esse limite é ultrapassado, o corpo , mola, elástico etc., já não volta à posição inicial ou ZERO, quando a força é retirada.

Você já deve ter reparado que uma vara de pescar enverga com o peso do peixe. Quanto maior o peso do peixe, mais a vara enverga. Retirado o peixe, a vara volta a sua forma primitiva.

Você pode aferir seus dinamômetros na unidade de força que você quiser. Você poderá inventar sua unidade de força. Entretanto, o sistema mais usado em Física é o sistema em que as unidades fundamentais são o metro (m), o quilograma (kg) e o segundo (s). Nesse sistema, a unidade de força chama-se newton e equivale à força que você faz para sus

tentar aproximadamente o peso de 100 gramas. Será fácil então aferir o seu dinamômetro em newtons.



É importante ter entendido que você dispõe de meios para medir, de maneira simples, uma força que você está aplicando.

Agora que você tem idéia de como obter forças iguais e mesmo medir outras forças, vejamos que relação existe entre a força aplicada a um corpo e o tipo de movimento que esse corpo adquire. Você já sabe que quando nenhuma força atua sobre um corpo, este não altera o seu estado de repouso ou de movimento (1a. Lei da mecânica ou Lei da Inércia).

Queremos saber o que acontece quando se aplica uma força a um corpo livre. É preciso então que a força que estamos aplicando seja a única responsável pelos efeitos que observamos.

Sabemos da seção anterior que, quando nenhuma força age, um corpo em movimento segue com velocidade constante e em linha reta. Quando atiramos uma bolinha ou carrinho, ele tende a parar. Isso quer dizer que sobre ele está atuando uma força. A essa força chamamos de atrito.

A força da gravidade da Terra atua sempre sobre todos os corpos, fazendo-os ir na direção do seu centro (cair). No entanto, quando o corpo está apoiado, na mesa ou no chão, por exemplo, a força da gravidade (peso) fica equilibrada pela rea

ção do apoio. Dessa maneira, um carrinho ou uma bolinha, com pequeno atrito e sobre uma mesa bem lisa, podem ser considerados bastante livres. Vamos aplicar, sobre corpos assim, uma força e vejamos o que acontece.

ATIVIDADE : RELAÇÃO ENTRE FORÇA E ACELERAÇÃO

Utilize um carrinho em que o atrito seja pequeno. Verifique isso dando, ao carrinho (sobre uma mesa) um pequeno empurrão. Ele segue com velocidade razoavelmente constante?

- No percurso da mesa o movimento é mais constante quando a velocidade é alta ou baixa?

- Use agora um dinamômetro para aplicar ao carrinho uma força constante. Procure empurrar ou puxar o carrinho com uma força que seja realmente constante. Isto quer dizer que o dinamômetro deve marcar o mesmo valor durante todo o percurso.

Depois de ensaiar algumas vezes, repita a experiência para, desta vez, observar o movimento. Enquanto você aplica uma força constante, seus colegas devem observar atentamente o movimento do carrinho. Você e seus colegas devem se revezar na aplicação da força e na observação do movimento.

Como foi o movimento do carrinho, quando sujeito a uma força constante?

- Observe os movimentos para uma mesma força e com cargas diferentes.

- O aumento de massa teve influência sobre o movimento do carrinho? Qual foi a influência?

Você deve ter percebido então que, para uma determinada força, aumentando-se a massa do sistema (carrinho + carga), a aceleração diminui. Para uma mesma massa, aumentando-se a força, a aceleração aumenta.

Essas suas experiências deram a você uma idéia quantitativa do fenômeno.

Observe as duas séries de fotografias de números 1,2,3,e 4 e números 4,5,6 e 7. A primeira série de fotografias foi feita mantendo-se as forças iguais entre si (foi sempre a mesma), e variando-se a massa a ser acelerada.

Você aí, perceberá como a aceleração varia quando se varia a massa a ser acelerada, mantendo-se a força constante. A segunda série foi feita variando-se apenas a força que age sobre a massa a ser acelerada. Você poderá então, ver como a aceleração se modifica quando se varia a força que atua sobre uma mesma massa.

Você já verificou que, para uma mesma força, a aceleração diminui quando você aumenta a massa. Agora você ficará sabendo não só como a aceleração diminui mas também quanto ela diminui.

Meça o valor da aceleração em cada uma das fotografias em que a força ficou constante e com esses dados, faça um gráfico da aceleração (a) em função da massa (m) (Não prossiga sem ter feito o gráfico).

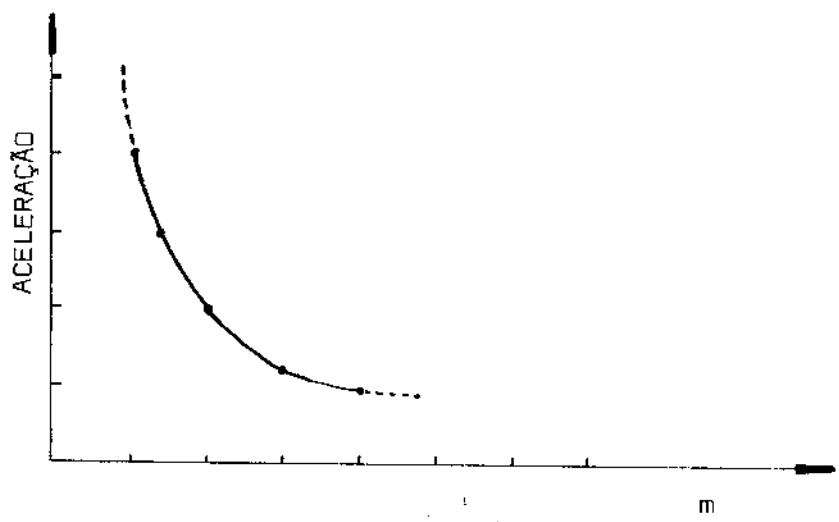


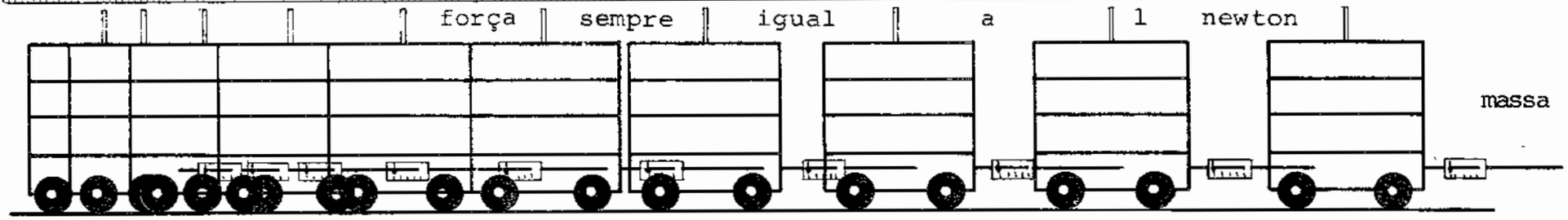
Fig.4.3

Unindo os pontos que você obteve, ficará bem visível como a massa influi na aceleração.

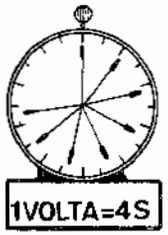
O que aconteceria se a massa se tornasse muito

1

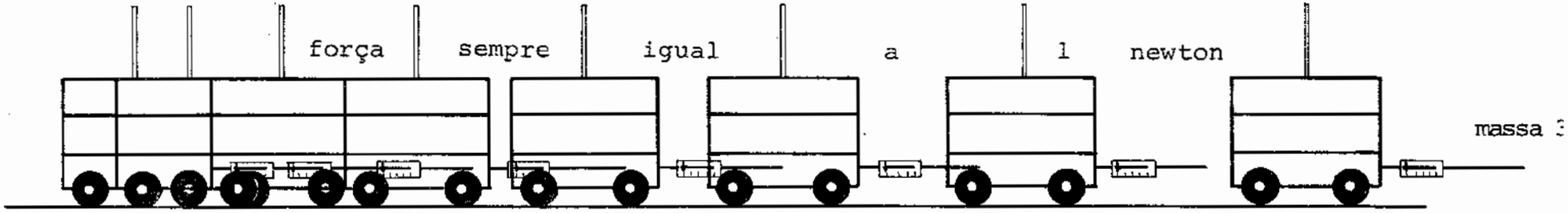
$\Delta t = 0,4$ seg



2

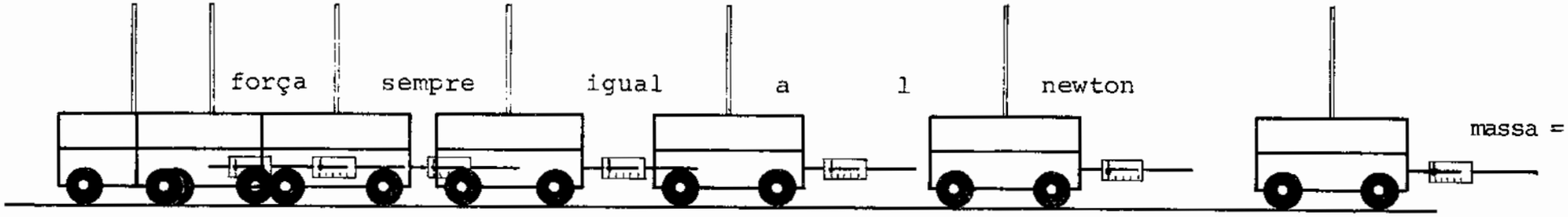


$\Delta t = 0,43$ seg



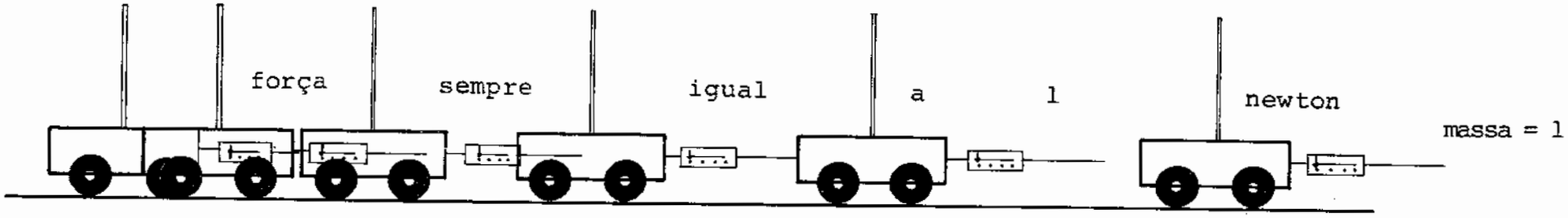
3

$\Delta t = 0,4$ seg

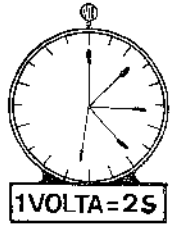


4

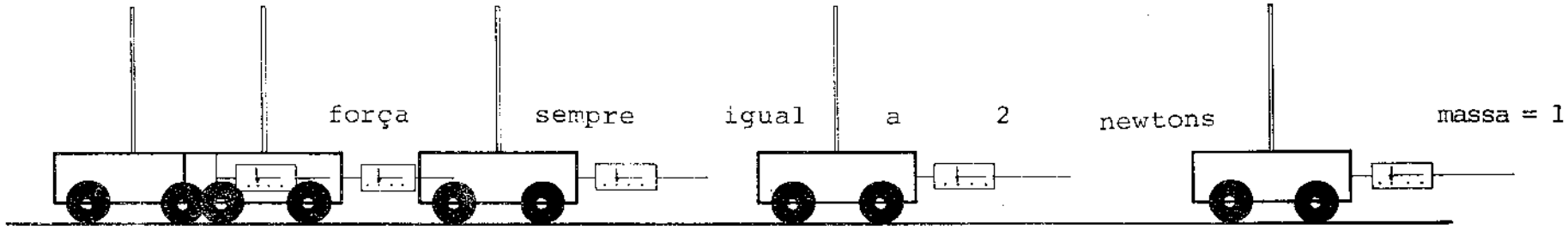
$\Delta t = 0,32$ seg



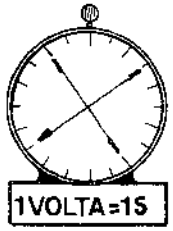
5



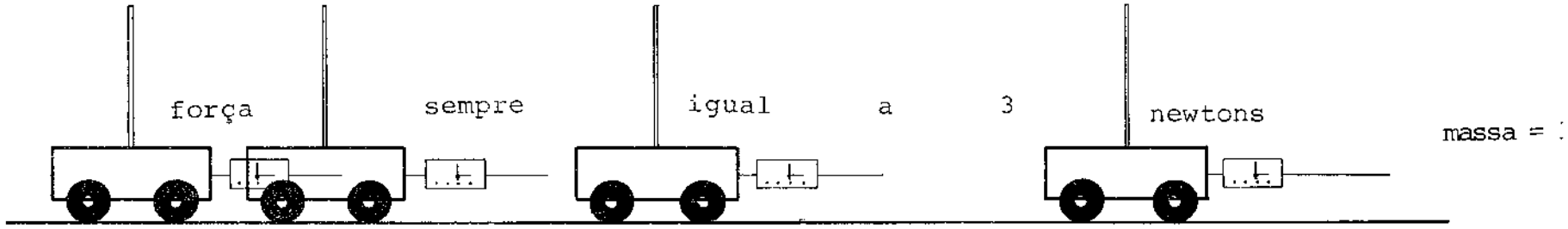
$\Delta t = 0,26$ seg



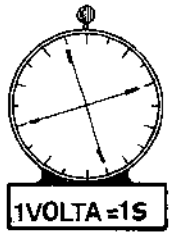
6



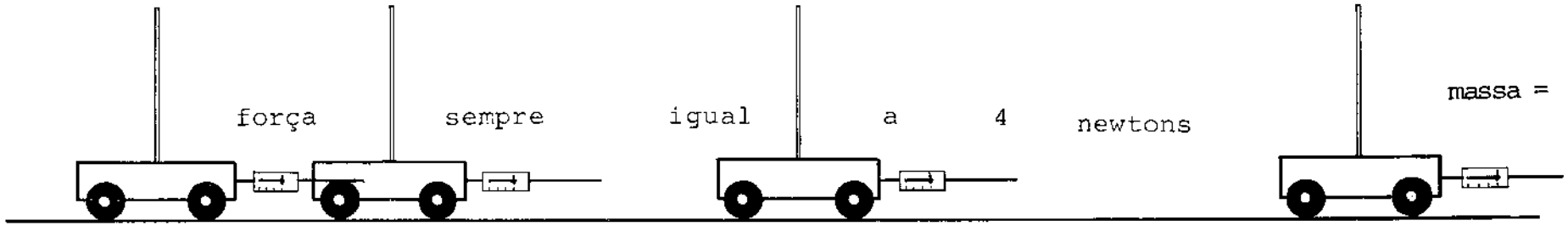
$\Delta t = 0,25$ seg



7



$\Delta t = 0,25$ seg



grande? Como seria a aceleração? Agora fica bem visível que se a massa do corpo for muito grande, a força modificará muito pouco sua velocidade, isto é, a acelereção será quase nula.

O que acontece com a aceleração quando a massa passou a ser duas vezes maior?

O que você espera que aconteça quando essa mesma força atuar sobre um corpo de massa bem grande?

Você já percebeu que a massa de um corpo é coisa muito importante, quando se trata de saber como o corpo se comporta, quando fazemos agir uma força sobre ele.

Observe agora a segunda série de fotografias. Nessa série se manteve constante a massa e se variou a força que atua sobre o corpo.

Meça nas diferentes fotografias, o valor da aceleração.

Com esses valores, faça um gráfico das forças versus acelerações do corpo, ou seja, os eixos do gráfico deverão ser FORÇAS (vertical) ACELERAÇÕES (horizontal).

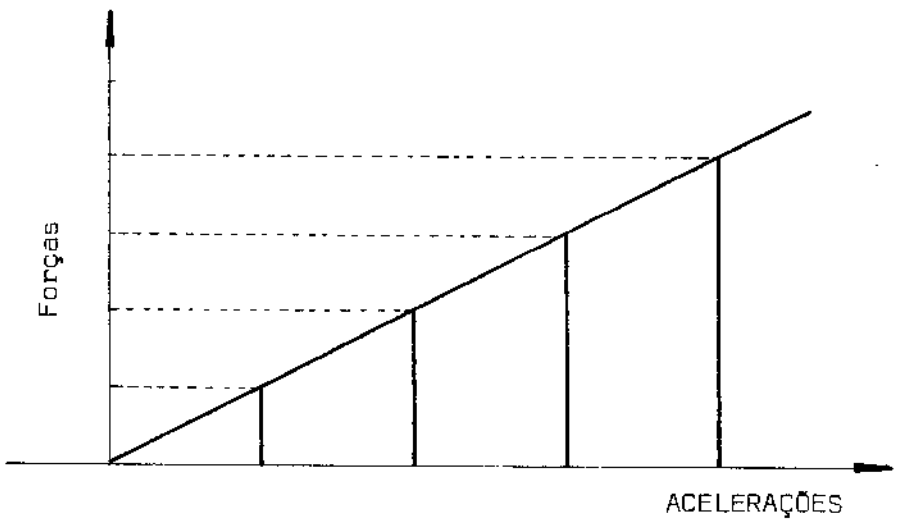


Fig. 4.4

Como se comportam forças e acelerações, isto é, como estão relacionadas? São Proporcionais?

Lembre-se de qual é a equação de uma reta que passa pela origem.

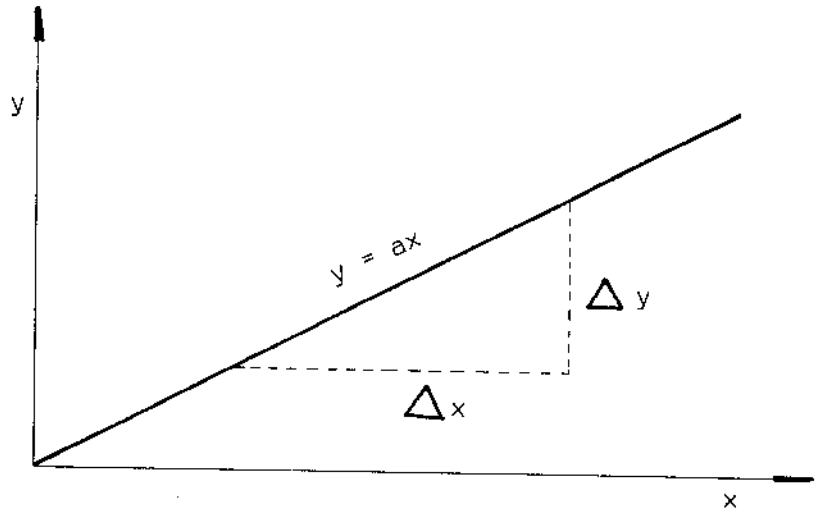


Fig. 4.5

Não é y = a x ? O coeficiente angular da reta não é

$$\Delta y / \Delta x ?$$

O que você obteve para forças e aceleração não foi também uma reta? Só que no lugar de y está f e no lugar de x está a.

O que é o coeficiente de proporcionalidade entre a FORÇA e a ACELERAÇÃO? Verifique cada par de valores (f e a) do gráfico e olhe para a correspondente fotografia - Percebeu? É isso mesmo, o coeficiente de proporcionalidade entre FORÇA e ACELERAÇÃO é a MASSA do corpo.

Então:

$$F = m a$$

Com esta atividade, você entendeu a mais importante lei sobre o movimento dos corpos e uma das mais importantes leis de toda a Física.

Os exemplos aqui apresentados envolveram forças exercidas por molas ou as forças gravitacionais. No entanto, essa lei vale para forças de qualquer tipo. Essas forças podem ser de atrito, magnéticas ou elétricas, por exemplo.

Os corpos que aqui foram submetidos a forças fo

ram carrinhos ou bolinhas. Essa lei que você acaba de aprender vale, no entanto, para corpos de qualquer tamanho. Talvez nenhuma outra lei da Física tenha aplicação tão grande. Essa lei, conhecida como 2a. lei de Newton se aplica a corpos tão pequenos como os átomos ou a corpos tão grandes como as estrelas.

CAPÍTULO 1 - OS MOVIMENTOS

1.5 - ALGUNS MOVIMENTOS IMPORTANTES

Com as seções anteriores, você sabe as coisas fundamentais para o estudo de qualquer movimento.

São indispensáveis os conceitos de velocidade e aceleração, assim como na segunda lei de Newton ou segunda lei da Mecânica. E a primeira lei ou Lei da Inércia? Já sabe que a primeira está contida na segunda. Assim, quando usamos a segunda lei, estamos usando também a Lei da Inércia.

CORPO LANÇADO HORIZONTALMENTE EM COMPARAÇÃO COM UMA QUEDA LIVRE

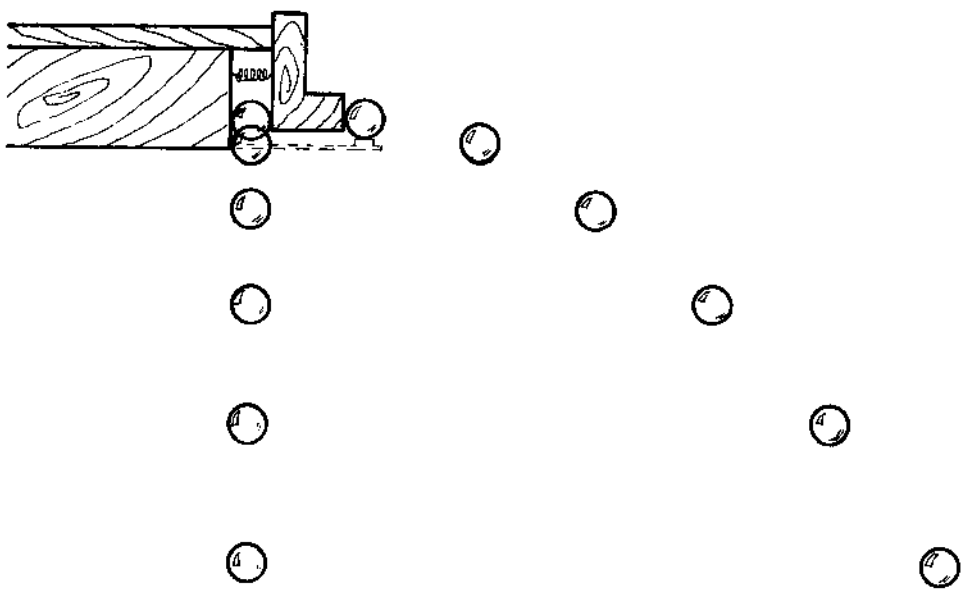


fig. 5.1

A primeira coisa a fazer no estudo deste movimento será determinar os vetores velocidade (velocidade média em cada intervalo). Os intervalos de tempo entre as posições da bola são todos iguais. Então, os vetores velocidade podem ser representados pelos vetores deslocamento. Os deslocamentos são as distâncias entre cada um par de posições sucessivas.

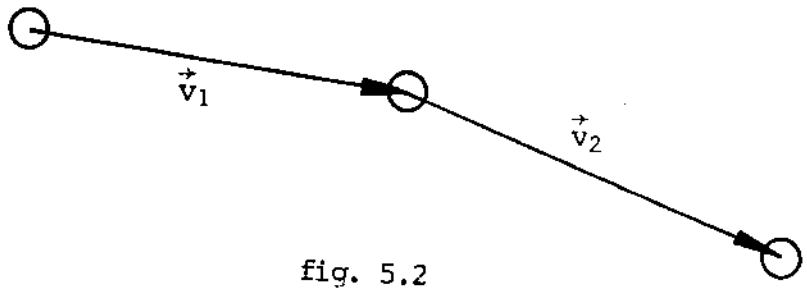


fig. 5.2

Se o espaço entre cada par de posições sucessivas é muito pequeno, você pode escolher de duas em duas ou de três em três (ou mais) posições da bola como sendo suas posições sucessivas. O importante é que você adote o mesmo intervalo para todo esse movimento.

Você sabe também que a aceleração é:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Também para as acelerações os tempos são iguais, isto é, os Δt são os mesmos. Então as acelerações são proporcionais aos $\Delta \vec{v}$.

Para obter os $\Delta \vec{v}$ basta fazer as <u>diferenças</u> sucessivas entre os vetores velocidade, pois

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

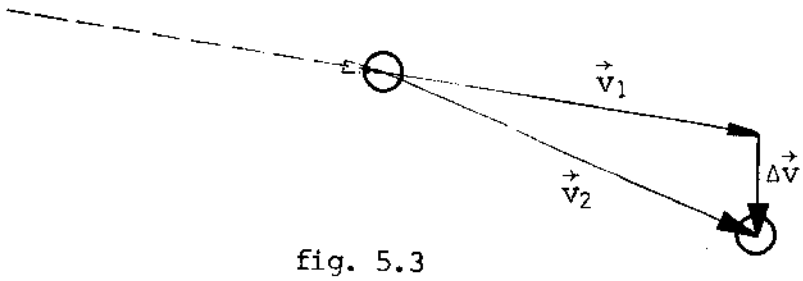


fig. 5.3

Obtenha os valores dos $\Delta \vec{v}$ para os pares de valores de $\vec{v}$ sucessivos.

1. A velocidade do corpo variou em módulo (tamanho), em direção ou em ambos?

2. O valor de $\Delta \vec{v}$ mudou em módulo, em direção ou em ambos?

3. Se $\Delta \vec{v}$ permanecer constante e os Δt são todos iguais, como permaneceu a relação $\Delta \vec{v} / \Delta t$ em todo o percurso examinado?

4. Se a aceleração permaneceu constante, como foi a força durante o percurso?

5. Que tipo de força está agindo sobre a bolinha?

6. Você verificou que, apesar do movimento não ser nem horizontal nem vertical, a aceleração foi somente vertical?

7. Existiu, sempre, uma força atuando sobre o corpo?

8. Que direção ou direções tem essa força?

9. A força permaneceu constante em direção, em módulo ou em ambos?

10. Você acha que a componente horizontal da velocidade variou?

11. A força, que atuou sobre o corpo durante o movimento, tem componente horizontal?

Se você não tiver percebido, decomponha cada velocidade em suas componentes horizontal e vertical. Faça medidas do tamanho da componente horizontal da velocidade ($\vec{v}_h$) nos diversos pontos.

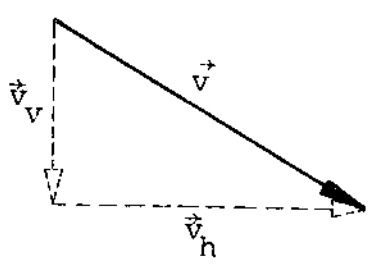


fig. 5.4

Você percebeu que todas as respostas estão contidas na expressão:

$$\vec{f} = m \vec{a} \ ?$$

A aceleração tem sempre a mesma direção e o mesmo sentido da FORÇA. Se o peso é a única força, a aceleração só pode ter a direção do peso (vertical). Como uma força vertical não tem componente horizontal, não pode haver componente da aceleração. Se não há aceleração

na horizontal, a velocidade horizontal (componente) não muda.

Considere, agora, a bola que caiu verticalmente enquanto a outra descreveu a curva (parábola).

12. A velocidade da bola permaneceu constante em módulo? Em direção? Em sentido?

13. E quanto ao módulo, direção e sentido da aceleração dessa bola?

14. Você percebeu que as bolas têm movimentos diferentes (velocidade e trajetórias diferentes) mas que a aceleração das duas é a mesma?

LANÇAMENTO OBLÍQUO DE UM PROJETIL

Imagine agora uma pedra lançada obliquamente, isto é, numa direção que não é nem vertical nem horizontal. Observe a figura 5.5, que é um esquema de uma fotografia estroboscópica desse movimento.

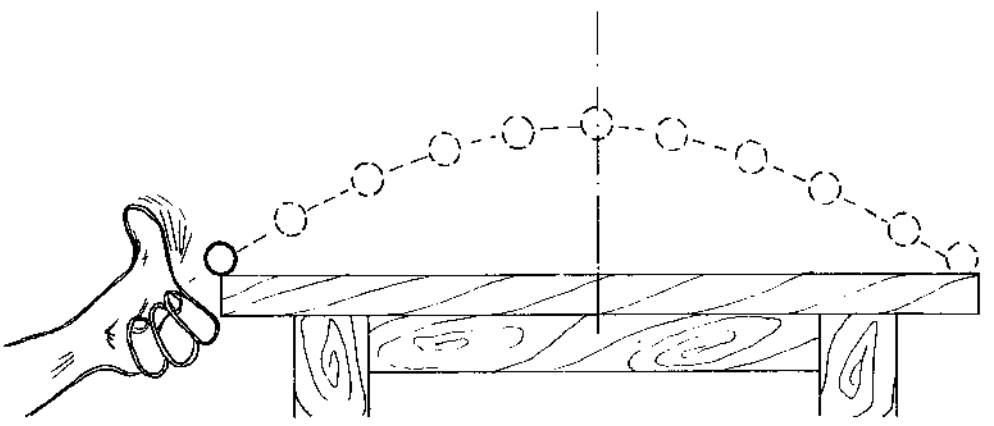


fig. 5.5

Comece determinando os vetores velocidade e os vetores aceleração em diferentes pontos da trajetória.

Agora, você vai responder, para esse movimento, as mesmas perguntas feitas no estudo do movimento anterior. Depois de responder às perguntas, continue a ler. Haverá algum ponto

da trajetória em que a componente vertical da velocidade é nula? Nesse ponto, a força é maior, menor ou igual à força que atua nos outros intervalos?

Você acha que a única força que atua sobre esse movimento é a força peso? Você não espera que atue uma força de resistência do ar? Se essa existir, em que direção você acha que ela atua? Ela poderia alterar somente a componente vertical ou somente a horizontal? Por que?

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

O estudo desse movimento pode ser mais interessante se tratado com linguagem matemática.

Aqui nós vamos levar em conta a força resistente do ar. Podemos negligenciar essa força quando as velocidades não forem muito grandes. Isso equivale a dizer que, também, as distâncias não deverão ser grandes. Essas condições valem, por exemplo, para uma pedra que atiramos com a mão ou para um jato de água com que regamos o jardim.

Imaginemos que o corpo está sendo lançado com uma velocidade inicial v_o e que forma com a horizontal um ângulo θ.

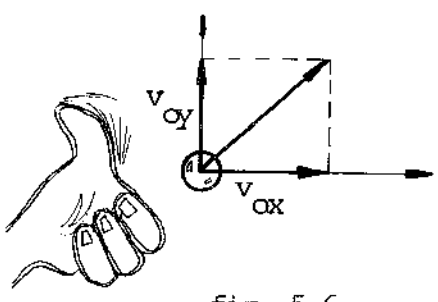


fig. 5.6

As componentes horizontal e vertical da velocidade inicial são respectivamente:

$$v_{ox} = v_o \cdot \cos \theta$$

$$v_{oy} = v_o \cdot \operatorname{sen} \theta$$

Como não há força atuando no sentido horizontal, a componente horizontal da velocidade v_x não se altera e a componente vertical, v_y, será alterada pela força peso.

Então em qualquer instante t, v_x e v_y são dados por:

$$v_x = v_{ox} = v_o \cdot \cos\theta$$

$$v_y = v_{0y} - gt$$

ou

$$v_y = v_o \cdot \text{sen}\ \theta - gt$$

onde **g** é a aceleração da gravidade.

As coordenadas do objeto (bolinha) são dadas em qualquer instante por

$$x = v_{ox} \cdot t$$

$$y = v_{oy} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot gt^2$$

ou

$$x = v_o \cdot \cos\theta \cdot t$$

$$y = v_o \cdot \text{sen}\ \theta \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (M.C.U.)

Você já sabe que, em um movimento circular uniforme, o módulo da velocidade permanece o mesmo (percorre arcos iguais em tempos iguais). Nesse movimento, apenas a direção da velocidade varia, como você verá adiante.

Você já sabe, também, que se há variação da velocidade, ou em módulo ou em direção, é porque uma força está atuando.

Examine a figura 5.7. Você percebe alguma evidência de que está sendo exercida uma força sobre o corpo que está descrevendo um M.C.U.?

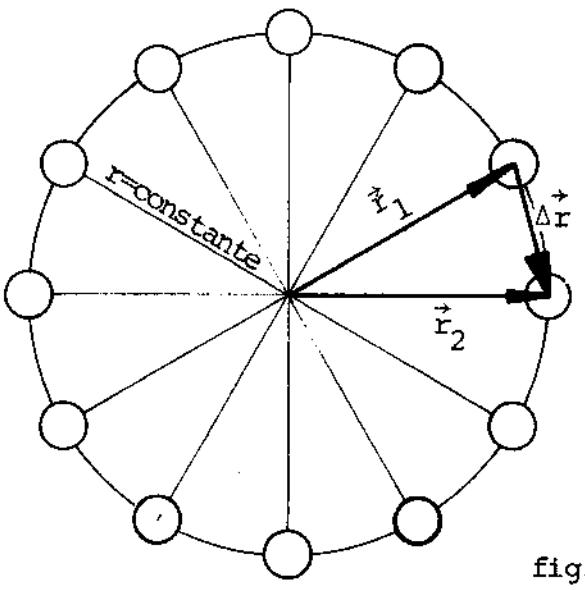


fig. 5.7

Em que direção o movimento é acelerado?

Você espera que haja alguma relação entre a direção, em que está atuando a força, e a direção da aceleração?

Vejamos como achar a aceleração. Primeiro considere os vetores que determinam a posição do móvel em relação ao centro (origem) em cada instante. Em cada instante a posição é diferente. Se a posição varia, há uma velocidade que é a taxa com que está variando a posição (**vetor r**) em relação ao tempo.

Então,

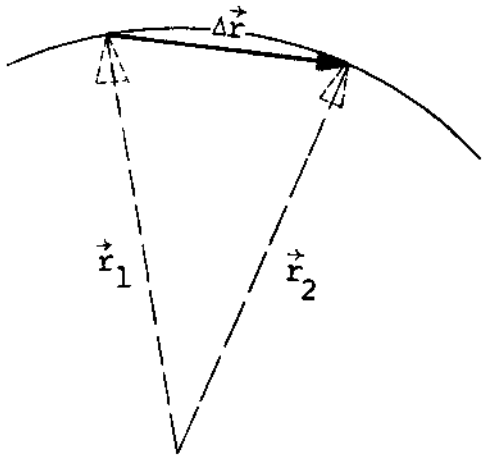


fig. 5.8

$$\vec{V}m = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Onde:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

Observe como a velocidade média tem a direção e sentido dos $\Delta \vec{r}$ que são cordas da circunferência. A velocidade instantânea, ou velocidade, simplesmente, é o limite para o qual tende a relação $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ quando Δt tende a zero:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Então, a direção das cordas $\Delta \vec{r}$ passa, no limite, quando $\Delta t \to 0$, à direção da tangente a circunferência. Portanto, a direção da velocidade, num movimento circular uniforme, é tangente a circunferência descrita pelo móvel. Tanto assim que, no momento em que a força deixar de agir, o corpo "sai pela tangente" (figura 5.9), isto é, a força não altera mais a velocidade do corpo e por isso ele continua com a velocidade que tinha naquele instante.

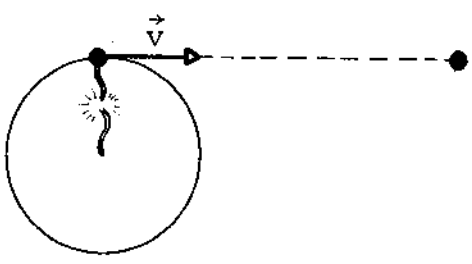


fig. 5.9

Note, então, que o vetor velocidade $\vec{v}$ é perpendicular ao vetor posição $\vec{r}$ (figura 5.10).

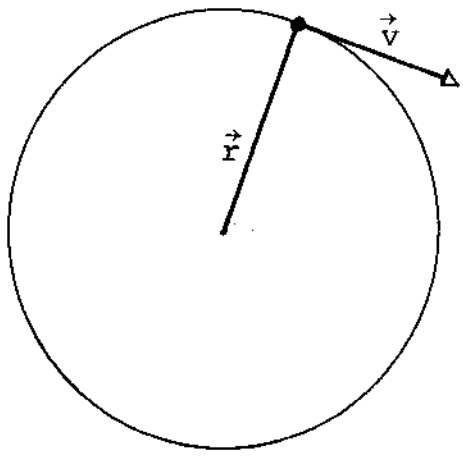


fig. 5.10

Uma vez que sabemos a direção da velocidade, vejamos quanto vale o seu módulo. Sabemos que o período (T constante) é o tempo para uma volta completa. Como, porém, os tempos são proporcionais aos arcos por ser uniforme o movimento, o módulo da velocidade é o mesmo, qualquer que seja o tamanho do arco ou do Δt. Escolhemos, então, o arco que corresponde ao comprimento da circunferência $2\pi R$, que é o espaço que o móvel percorre em uma volta. Para percorrer esse espaço ele gasta um tempo T (período).

$$v = v_m = \frac{\text{espaço total}}{\text{tempo total}} = \frac{2\,\pi\,R}{T}$$

Agora, nós podemos pensar sobre a aceleração. A aceleração média em um intervalo de tempo Δt no qual a velocidade passa de $\vec{v}_1$ a $\vec{v}_2$ é:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

Note que a aceleração média tem a direção e sentido dos $\Delta \vec{v}$.

Note, pela figura 5.11, que $\Delta\vec{v}$, e consequentemente o vetor aceleração, está dirigido para o centro da circunferência, tendo, portanto, a mesma direção do vetor $\vec{r}$.

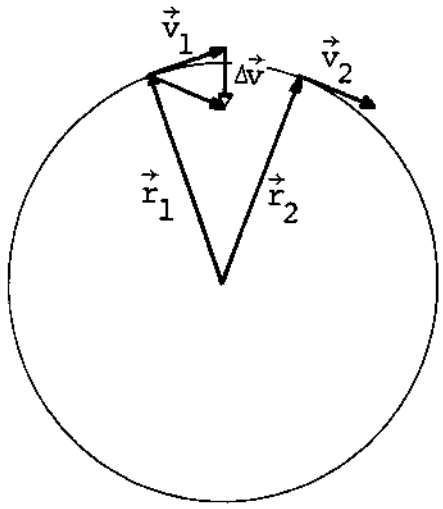


fig. 5.11

Uma vez que sabemos a direção e o sentido da aceleração, vejamos quanto vale o seu módulo.

Na figura abaixo, reunimos em um ponto as origens de todos os vetores velocidade durante um período (T).

(Esse tipo de figura chama-se Hodógrafo). Aqui o tamanho do "raio" é o tamanho (módulo) do vetor velocidade.

O vetor velocidade está variando de maneira uniforme. Por isso, o módulo da aceleração é o mesmo que o da aceleração média, e é dado pela relação abaixo:

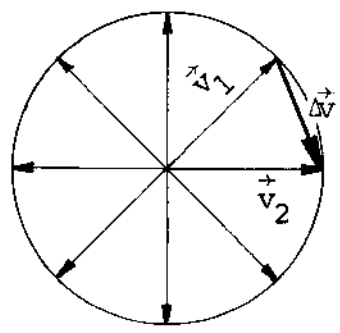


fig. 5.12

$$a = a_m = \frac{v}{t} \quad \frac{\text{variação total numa volta}}{\text{tempo total numa volta}}$$

$$a = \qquad = \frac{\dfrac{2\Pi(2\,\Pi\,r)}{T}}{T} = \frac{4\,\Pi^2\,r}{T^2}$$

Sabemos que o vetor aceleração tem a mesma direção do vetor posição ($\vec{r}$) mas sentidos contrários. Logo:

$$\boxed{\vec{a} = -\frac{4\,\Pi^2\,\vec{r}}{T^2}}$$

MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (M.H.S.)

Chama-se movimento harmônico simples a um movimento em que a aceleração tem a forma:

$$\vec{a} = -k'\vec{x}$$

O $\vec{x}$ representa a posição do móvel (corpo), contado a partir da posição central. Nesta posição, o valor de $\vec{x}$ é zero. O k' significa que a aceleração ($\vec{a}$) é proporcional ao afastamento (x). O sinal $-$ (menos) significa que a aceleração é sempre de sentido contrário de $\vec{x}$. Quando o corpo está à direita da posição central, a aceleração é para a esquerda. Quando o corpo está à esquerda da posição central, a aceleração é para a direita.

Você já sabe que a aceleração em qualquer movimento tem a mesma direção e o mesmo sentido da força. Ainda mais, a aceleração ($\vec{a}$) e a força ($\vec{f}$) são proporcionais ($\vec{f} = m\,\vec{a}$).

Se um corpo descreve um M.H.S., ele tem uma aceleração do tipo $\vec{a} = -k'\vec{x}$, e a força que está atuando sobre ele é do tipo $\vec{f} = -k \cdot \vec{x}$, porque a aceleração é proporcional à força.

Isso significa que um corpo que descreve um M.H.S., está sujeito a uma força que é proporcional ao afastamento da posição de equilíbrio ($\vec{x} = 0$). Quanto maior $\vec{x}$, maior a força. Se se dobrar o valor de $\vec{x}$, a força também dobra. O sinal menos indica que, quando o corpo é deslocado para a direita, a força se exerce para a esquerda e, reciprocamente, quando o corpo está para a esquerda, a força se exerce para a direita.

Com as atividades a seguir, você vai ver alguns exemplos de M.H.S.

MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (M.H.S.)

Chama-se movimento harmônico simples a um movimento em que a aceleração tem a forma:

$$\vec{a} = -k' \vec{x}$$

O $\vec{x}$ representa a posição do móvel (corpo), contado a partir da posição central. Nesta posição, o valor de $\vec{x}$ é zero. O k' significa que a aceleração ($\vec{a}$) é proporcional ao afastamento (x). O sinal $-$ (menos) significa que a aceleração é sempre de sentido contrário de $\vec{x}$. Quando o corpo está à direita da posição central, a aceleração é para a esquerda. Quando o corpo está à esquerda da posição central, a aceleração é para a direita.

Você já sabe que a aceleração em qualquer movimento tem a mesma direção e o mesmo sentido da força. Ainda mais, a aceleração ($\vec{a}$) e a força ($\vec{f}$) são proporcionais ($\vec{f} = m\,\vec{a}$).

Se um corpo descreve um M.H.S., ele tem uma aceleração do tipo $\vec{a} = -k' \vec{x}$, e a força que está atuando sobre ele é do tipo $\vec{f} = -k \cdot \vec{x}$, porque a aceleração é proporcional à força.

Isso significa que um corpo que descreve um M.H.S., está sujeito a uma força que é proporcional ao afastamento da posição de equilíbrio ($\vec{x} = 0$). Quanto maior $\vec{x}$, maior a força. Se se dobrar o valor de $\vec{x}$, a força também dobra. O sinal menos indica que, quando o corpo é deslocado para a direita, a força se exerce para a esquerda e, reciprocamente, quando o corpo está para a esquerda, a força se exerce para a direita.

Com as atividades a seguir, você vai ver alguns exemplos de M.H.S.

ATIVIDADE: EXAME DE UM M.H.S.

Use uma lâmina de serra (dessas que nas oficinas são jogadas fora) e prenda firmemente uma das extremidades, de tal maneira que ela possa vibrar e sustentar algum peso na extremidade livre.

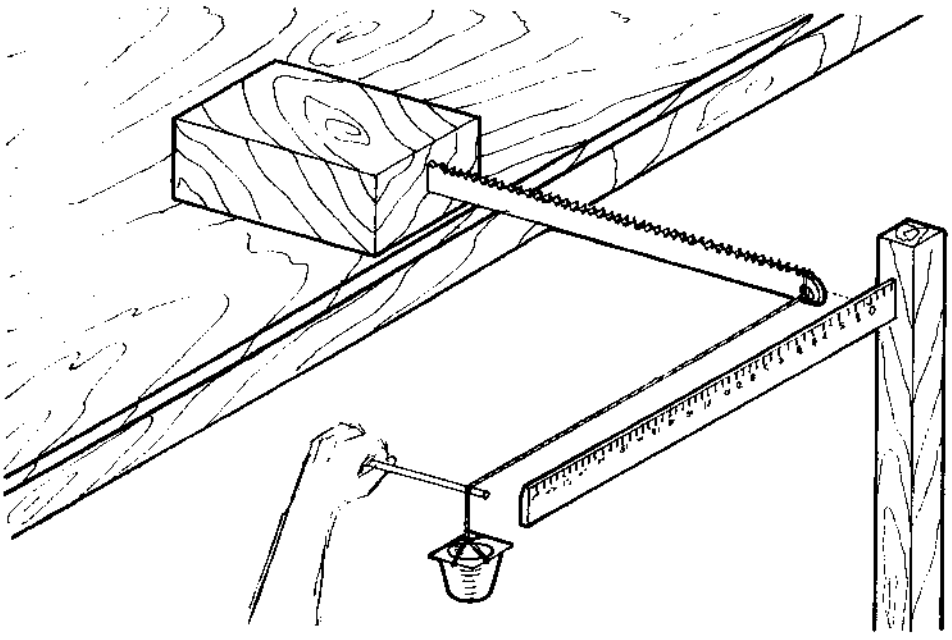


fig. 5.13

Use um barbante no qual você possa dependurar pequenos pesos (unidades de força) iguais. Antes de colocar pesos na extremidade do barbante, acerte o "zero" de sua escala. Nela vão ser medidos os afastamentos (x), contados a partir da posição de repouso (x = 0). Coloque um peso na extremidade do barbante e meça o afastamento da lâmina sobre a escala dos x . Vá acrescentando pesos e lendo os respectivos afastamentos.

Coloque os valores da força (número de pesos) no eixo vertical e os afastamentos (valores de x) no eixo horizontal.

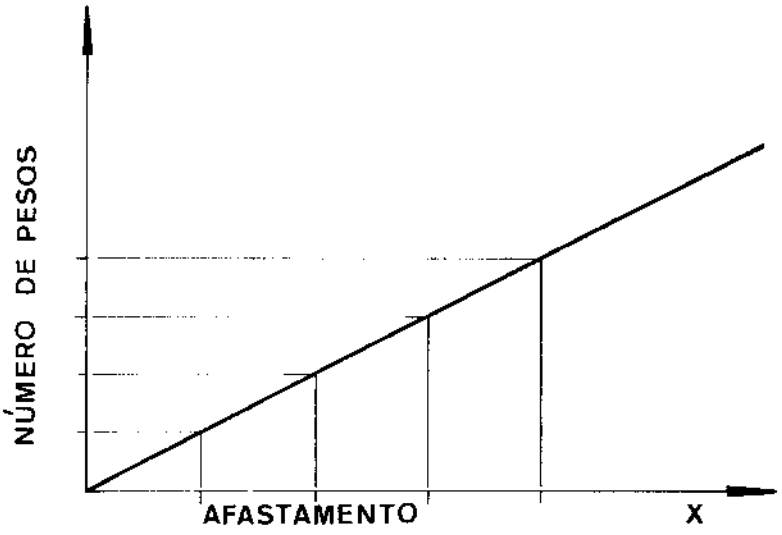


fig. 5.14

Você verificou que os deslocamentos são proporcionais à força (pesos colocados)?

O "comportamento" da força ($\vec{f}$) em função do deslocamento ($\vec{x}$) é do tipo

$$\vec{f} = -k\,\vec{x}$$

Quando você deslocou a lâmina (ou haste) para um lado, ela estava puxando para o outro. A força sempre estava dirigida em sentido contrário ao do deslocamento da lâmina. (Você mediu a força que a lâmina estava fazendo, aplicando outra igual e contrária). A lâmina fêz força na direção contrária à do deslocamento.

Agora, você vai colocar uma massa na extremidade livre da haste.

Observe que essa massa não seja tão pesada a ponto de envergar a haste para baixo. É importante, também, que ela fique bem firme. Pode ser de barro, massa de vidraceiro (ou de moldar) ou mesmo uma batata (pequena).

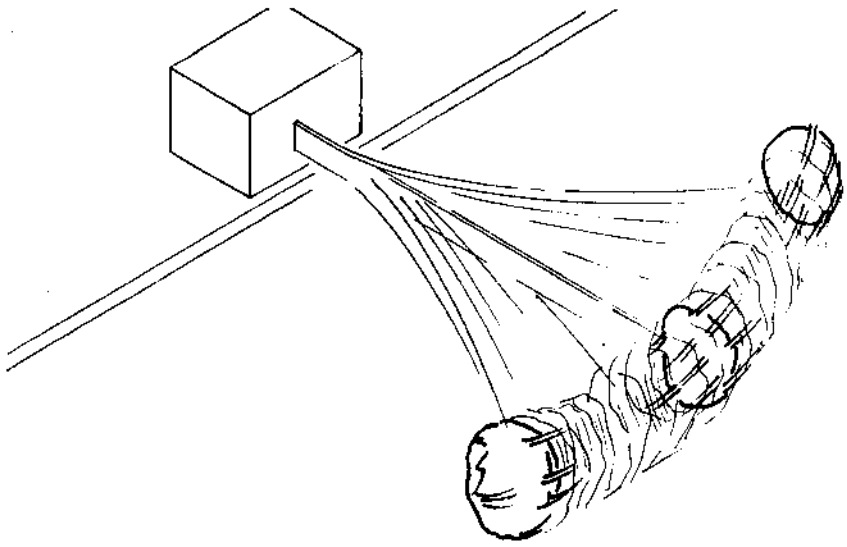


fig. 5 .15

Que tipo de movimento você espera que o corpo, colocado na extremidade da mola (batata, talvez), faça ?

Empurre a "batata" um pouco para um lado e solte-a. Observe o movimento. Em que ponto de "vai-vem", a velocidade é maior? Em que ponto, ou pontos, a velocidade é nula?

Em que ponto você acha que a força (que faz a batata ir e voltar) é maior? Existe um ponto em que essa força (exercida pela lâmina ou haste) é nula? - Qual é esse ponto?

Em que ponto você acha que a aceleração (da batata) é nula?

Então:

No ponto em que a velociadade é máxima, a aceleração é ..... .

No ponto em que a aceleração é máxima, a velocidade é ..... .

Você está lembrado de uma coisa que lhe foi dita anteriormente: a força não determina a velocidade, mas sim a mudança de velocidade.

Tanto é assim que você acaba de constatar que, no caso desse movimento (M.H.S.), quando a velocidade é máxima, a aceleração é ZERO (pois a força é ZERO) e quando a velocidade

é ZERO a aceleração é máxima (pois a força é máxima).

Você irá, a seguir, substituir o corpo, que está preso à lâmina, por um de massa maior (batata maior). Antes de trocar de massa (batata) responda: você acha que a lâmina, com a batata maior, oscilará mais depressa ou mais devagar? Ou, talvez, da mesma maneira?

Agora, aumente a massa sobre a lâmina (troque a batata).

Afaste o sistema (batata com lâmina) da posição de equilíbrio (ponto central) e solte.

As oscilações são mais rápidas ou mais lentas? Aumentando, então, a massa, o tempo de uma oscilação completa fica maior ou menor?

O tempo de uma oscilação completa chama-se período e se costuma designar por T. É o tempo depois do qual tudo se repete no movimento: posição, velocidade (mesmo sentido) e aceleração.

O número de oscilações completas feitas por unidade de tempo é o que se chama frequência. Quanto maior o período, menor a frequência.

O período (T), é maior com a batata grande (grande massa) ou com a batata menor (massa menor) ?

E a frequência, é maior com a massa maior ou com a menor?

Você acha que o período depende do tamanho da oscilação (amplitude)? - Verifique, fazendo medidas!

Com a mesma massa, conte a duração de uma oscilação grande e depois de uma oscilação pequena. Você acha que será mais fácil e mais precisa sua medida se você contar o tempo de 10 (ou mais) oscilações completas e dividir o tempo total por 10 ou mais? - Usando um relógio (pontêiro dos segundos), meça o período (T) de uma oscilação grande e de uma oscilação pequena.

Qual foi o resultado? Essa importante descober

ta foi feita pelo grande Galileu, nos primeiros anos do século XVII.

Se você não tiver um relógio com ponteiros de segundos (Galileu não tinha), ou se você quiser medir os tempos pelo mesmo processo usado por Galileu, as instruções estão mais adiante.

Você já verificou que, a massa aumentando, aumenta também o período? Porém como aumenta?

Você irá verificar isso agora.

Procure medir o período de vibração de sua lâmina (ou haste) carregada com uma unidade de massa.

Depois faça o mesmo com a lâmina "carregada" com 4 unidades de massa.

Quando a massa ficou 4 vezes maior, quantas vezes ficou o T (período)?

Se possível, faça medidas com a massa 9 vezes maior. Você verá que o período fica multiplicado por três.

Você descobre que:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}}$$

os períodos são proporcionais às razões das massas.

Quando você passou de uma massa menor para outra massa maior, a frequência passou a ser menor, assim como a velocidade do móvel (batata). A força exercida pela lâmina foi maior sobre a massa maior ou sobre a massa menor? Ou igual sobre ambos?

E a aceleração, sobre qual dos corpos ela foi maior? Ou foi independente das massas.

Se você tivesse tempo, poderia, ainda, verificar que o T depende do k que é a característica da lâmina. Quanto maior

o k , mais dura a mola e menor o T , e a frequência ficará maior. Ou

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{k_2}}{\sqrt{k_1}}$$

Até aqui, apresentamos um caso de movimento harmônico simples (M.H.S.) realizado por um corpo espetado a uma lâmina.

Entretanto, esse tipo de movimento é muito importante e também muito comum. Sempre que um corpo esteja sujeito a uma força do tipo $\vec{f} = - k \vec{x}$, ele executa um movimento harmônico simples. Esse tipo de movimento tem algumas características independentes do tamanho e da natureza do corpo que o está realizando:

1. quando o corpo está passando pela posição central, a velocidade é máxima, enquanto, a aceleração, nesse ponto, é nula.

2. quando o corpo está passando pelo ponto de maior afastamento (máxima elongação), a velocidade é nula (ponto de parada), enquanto, a aceleração é máxima.

3. a medida que o tempo vai passando, a amplitude (tamanho) do movimento vai diminuindo. No entanto, o tempo empregado em uma oscilação completa (período), continua o mesmo.

Essas propriedades valem para forças e corpos de qualquer tamanho, seja ele um grande corpo preso a uma mola ou um elétron.

ATIVIDADE: PÊNDULO SIMPLES

Amarre uma pedrinha, ou qualquer outro pequeno objeto, a uma linha ou barbante fino. Dependure a linha a qualquer lugar firme e faça o sistema oscilar. Isso é um pêndulo simples.

Você deverá descobrir as leis do pêndulo.

Para medidas de tempo você poderá usar um cronômetro, um relógio que tenha ponteiro de segundos ou, de preferência, o relógio de Galileu. (logo a seguir).

Ponha o pêndulo a funcionar e comece a observar.

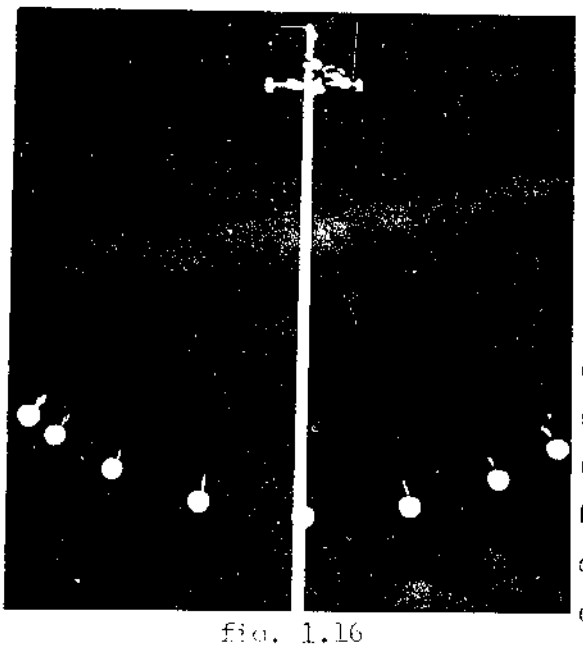


fig. 1.16

Você acha que o tamanho da oscilação (amplitude) influi no tempo de oscilação (T)? Essa foi uma das descobertas feitas por Galileu e é o que você vai verificar. Faça as medidas então. Você já sabe que fará medidas mais precisas e mais fáceis contando, não uma, mas 10 ou 20 oscilações. Faça as medidas... Você acha que o peso do corpo dependurado faz variar o período (T) ?

Experimente com corpos de massas diferentes. Tenha o cuidado de que os comprimentos sejam os mesmos.

Você acha que o período (T) depende do comprimento da linha? Verifique.

* UM RELÓGIO DE GALILEU *

Se você não dispõe de um relógio com ponteiro de segundos ou se você quiser fazer medidas de boa precisão com um "relógio" bem barato, construa um "relógio" de Galileu. Foi com esse método que o grande Galileu Galilei descobriu importantes leis sobre movimentos.

Você sabe que, quando a "velocidade" de saída da água é constante, a quantidade de água que sai é proporcional ao tempo. Quer dizer: no dobro do tempo sai o dobro da água, no triplo do tempo sai o triplo de água e assim por diante.

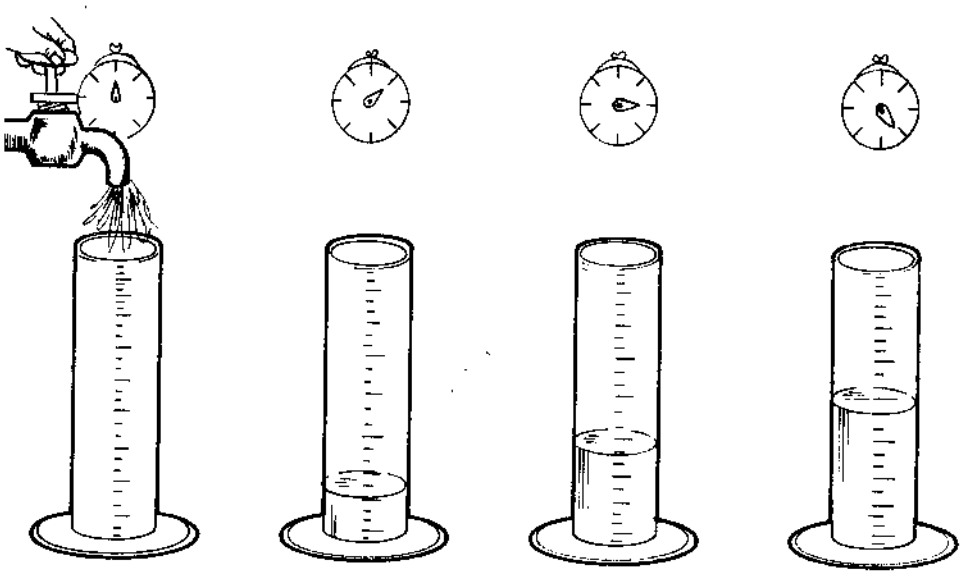


fig. 5.17

Uma coisa importante, então, será, dispor de uma "bica" que despeje água com a mesma velocidade. Você sabe, também, que para a água sair com "velocidade" constante, é preciso que seja mantida constante a diferença de nível entre a saída da água e o nível da superfície da água.

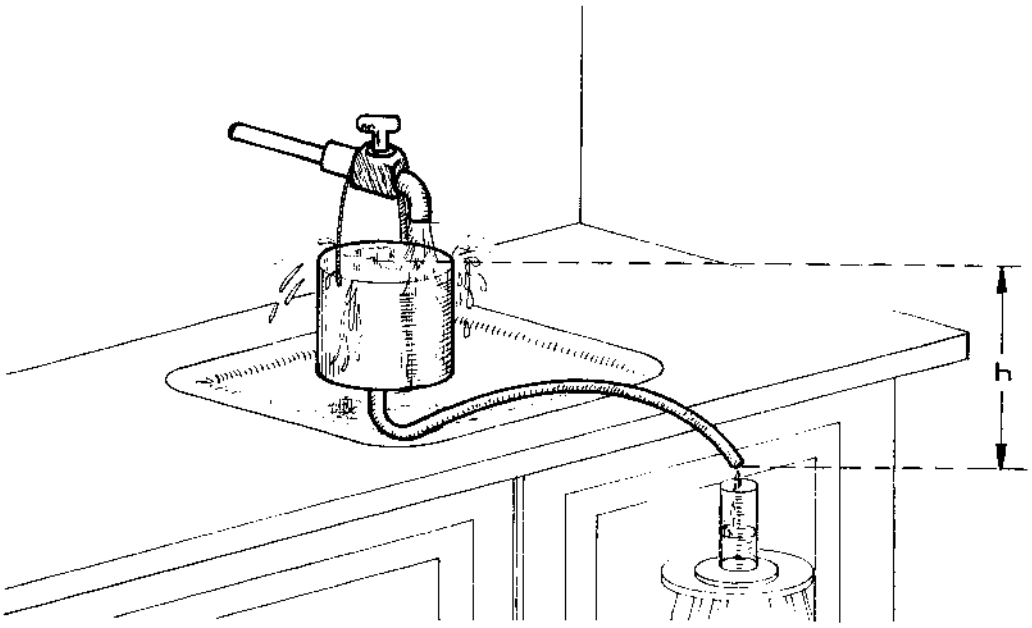


Fig.5.18

Uma maneira de conseguir isso será manter a sua "caixa" (lata) sempre transbordando.

Assim o nível será sempre o mesmo.

Outra maneira será com um reservatório bem grande (lata de 5 ℓ ou mais) e com uma saída bem pequena. Dessa forma, o nível vai se alterar pouco com a saída de, apenas, um "fiozinho" de água e a "velocidade" será constante.

O seu tempo será medido em cm^3 (centímetros cúbicos) de água recolhida. Você poderá medir o tempo em uma unidade que você quiser criar. Se você quiser fazer as medidas em segundos, bastará calibrar seu relógio em segundos, uma vez. Meça, por exemplo, a quantidade de água (cm^3) que saiu em um certo número de segundos e você ficará sabendo a constante do seu relógio. Por exemplo, cada cm^3 de água vale 2 segundos.

Se você fizer essas medidas com cuidado, você poderá montar um relógio que lhe proporcione pequenas frações de segundos.

Para maior facilidade, você poderá, também, fazer um gráfico, que caracterize o seu relógio e lhe permita transformar diretamente a leitura do relógio (cm^3) em segundos. Faça várias vezes a medida, por exemplo, de quanta água (cm^3) sai em 20 segundos; tire a média das várias medidas e coloque isso

num gráfico de volume em função do tempo.

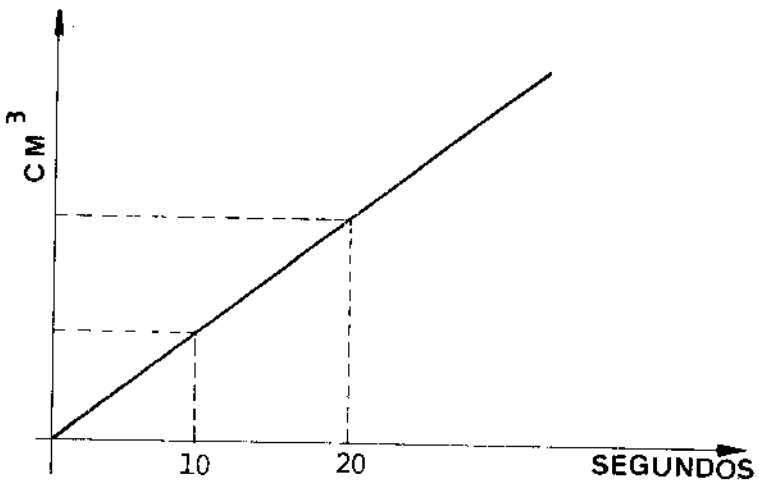


Fig.5.19

Você sabe que esse gráfico é uma reta porque a água é proporcional ao tempo (escoamento constante da água).

Você sabe, também, que essa reta passa pela origem (0,0), ou encontro dos dois eixos. Isso porque o zero cm^3 de água corresponde, também, tempo zero.

Daqui por diante, bastará ler os cm^3 e consultar o seu gráfico de calibração. Entre no eixo vertical com os cm^3 obtidos. Vá horizontalmente até encontrar a reta e daí tire uma perpendicular até o eixo dos tempos. Aí estará o tempo medido.

Se você fizer com algum cuidado em **ATIVIDADE**, ela lhe proporcionará uma porção de idéias de medida de tempos. Você poderá criar relógios muito interessantes.

CAPÍTULO 2 - INTERAÇÕES

2.1 - IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO (MOMENTUM)

Você já deve ter muitas vezes usado a expressão "dar um impulso". Essa expressão você provavelmente usou quando ia ter que correr para pular um obstáculo ou quando queria que um objeto adquirisse uma certa velocidade. Sempre que essa expressão foi ou é usada, está envolvida uma força e um tempo. Força e tempo são as duas coisas que definem um impulso. A força é a que você fêz para que seu corpo ou outro objeto passasse de parado a uma certa velocidade. O tempo é o quanto durou o seu "fazer força".

Na Física, impulso (I) tem o mesmo sentido que você provavelmente já conhecia e que foi ilustrado com os exemplos acima. Em Ciência, no entanto, os conceitos devem ser bem precisos, de maneira que não dependam somente da intuição. Esta pode ter sentidos diferentes para diferentes pessoas. Tornando mais precisos esses conceitos, podemos aplicá-los mesmo a exemplos muito diferentes dos que nos ocorrem na vida diária.

Na Física, pode-se dizer que sempre que um corpo altera sua velocidade, ele recebe um impulso. Você também já sabe que se um corpo tem alterada sua velocidade, é porque sobre ele está ou esteve atuando uma força, durante algum tempo.

Para se medir um impulso, então, é preciso que sejam conhecidas as duas coisas: a FORÇA e o TEMPO durante o qual a força estaria atuando.

A expressão que define o Impulso é o produto ou multiplicação da Força pelo Tempo.

Impulso = Força x Tempo

ou $I = F \times \Delta t$

ou $I = F \Delta t$

Você logo pode verificar uma coisa que talvez já lhe ocorreu. Um mesmo impulso pode ser obtido com forças e tempos diferentes. Um mesmo impulso pode ser obtido com uma Força (F) grande atuando durante um intervalo de tempo (Δ t) pequeno ou com uma força pequena e um Δ t grande. Essa idéia é fácil de perceber.

Impulsos iguais $\begin{cases} I = F \cdot \Delta t \\ I = F \cdot \Delta T \end{cases}$

Isso você também já deve ter percebido. Se você precisa tomar uma certa velocidade, você poderá fazê-lo de muitas maneiras diferentes: fazendo pouca força por muito tempo, ou muita força por pouco tempo.

Geralmente as forças (F) em Física são medidas em newtons e os intervalos de tempo (Δ t) em segundos. Nesse caso, então, um impulso (I) é medido em newton vezes segundo.

$$I = [\text{newton} \times \text{segundo}]$$

Sempre que a velocidade de um corpo se altera, ele está recebendo um impulso. Quando um corpo muda de direção no seu movimento, ele está tendo alterada sua velocidade. Pode estar mudando apenas a direção da velocidade. Neste caso, também há alteração da velocidade e, portanto, há também impulso.

Então: um impulso sempre altera ou a direção ou o módulo (tamanho) da velocidade, ou ambos. Isto quer dizer que o impulso é uma grandeza Física que tem tamanho (módulo) direção e sentido. Estas propriedades resumimos quando dizemos que o Impulso é uma grandeza vetorial. Sempre que uma grandeza é vetorial, sobre a letra que a simboliza, colocamos uma pequena seta.

Então,

$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t$$

Quando um corpo qualquer está se movendo, dizemos que ele tem uma quantidade de movimento. Essa quantidade de movimento ou simplesmente momentum é definida como o produto da massa do corpo pela sua velocidade e costuma ser designada pela letra P.

Podemos dizer então,

$$P = m\,v$$

Geralmente designamos a massa (m) em quilogramas (kg) e a velocidade (v) em metros/segundo. Dessa maneira o momentum (P) de um corpo fica definido ou medido em kg m/seg.

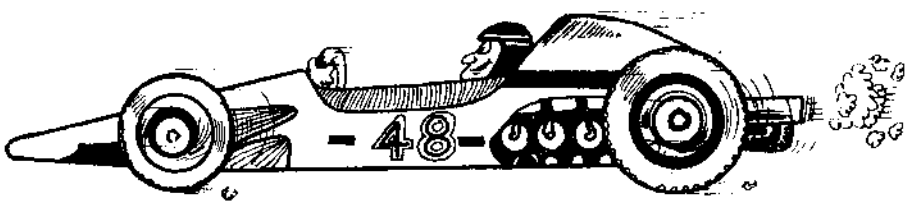


fig. 1.1

Assim, um carro que tenha 300 kg de massa e uma velocidade de 100 m/seg terá uma quantidade de movimento.

$$P = 300 \text{ kg} \times 100 \text{ m/seg}$$

$$P = 30.000 \text{ kg m/seg}$$

Ou

$$P = 3 \times 10^4 \text{ kg m/seg}$$

A quantidade de movimento (P), como o impulso, é o produto de uma grandeza escalar (a massa) por uma grandeza vetorial (a velocidade). Sempre que em um produto de duas

g randezas, uma delas é escalar e a outra vetorial, o produto é vetorial.

A quantidade de movimento (P) é então uma grandeza vetorial.

Então:

$$\vec{P} = m \times \vec{v}$$

ou simplesmente

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

Uma mesma quantidade de movimento pode ser obtida com uma grande massa e uma pequena velocidade ou vice-versa.

Vejamos agora como a quantidade de movimento de um corpo pode variar.

Para que se altere o produto $m\vec{v}$, será preciso que ou m, ou $\vec{v}$, ou ambos variem. Realmente tanto podem variar a massa, a velocidade ou ambos. As variações de massa, no entanto, são menos frequentes. Quase sempre a variação do momentum ocorre devido à variação da velocidade. E como pode variar a velocidade? - sabemos que sempre que se varia a velocidade de um corpo é porque uma força está atuando sobre ele.

Lembre-se de que, quando queremos indicar que uma grandeza está variando, usamos a letra grega Δ (delta).

Então podemos dizer que

$$\overrightarrow{\Delta P} = \Delta \ (m\vec{v})$$

Se considerarmos um sistema em que a massa não varia, podemos dizer

$$\overrightarrow{\Delta P} = m \overrightarrow{\Delta v}$$

Então a variação de momentum ($\overrightarrow{\Delta P}$) de um corpo é o produto de sua massa pela variação de sua velocidade ($\overrightarrow{\Delta v}$)

Você já sabe o que se entende por variação da velocidade em um certo intervalo de tempo. É a diferença entre a

velocidade final ($\vec{v_f}$) e a velocidade inicial ($\vec{v_i}$), isto é:

$$\vec{\Delta v} = \vec{v_f} - \vec{v_i}$$

Lembre-se de que aqui a velocidade é tomada vetorialmente, portanto $\vec{\Delta v}$, $\vec{v_f}$ e $\vec{v_i}$ são vetores.

Agora você sabe o que é variação da quantidade de movimento ($\vec{\Delta P}$) e sabe medi-las.

$$\vec{\Delta P} = m (\vec{v_f} - \vec{v_i})$$

ATIVIDADE: IMPULSO SOBRE UMA BOLA

Nós vamos trabalhar com 3 fotos de bolinhas. Nessas fotos, as bolinhas têm massa 0,1 kg.

Examine a foto nº 1.

- Que tipo de movimento teve a bolinha antes de começar a cair?

- Se a mesa não tivesse "acabado" em que pontos você acha que a bola estaria? - Desenhe essas posições que você imaginou para a bola.

O que essas posições têm de igual às posições durante a queda da bola? Variou a componente horizontal da velocidade da bola?

A força que está atuando é o peso.

- Essa força foi sempre a mesma?

- A bola recebeu algum impulso? - Quanto tempo durou esse impulso (queda)?

- Quanto vale o impulso total que a bola recebeu durante o tempo da queda?

Procure agora medir a alteração da quantidade de

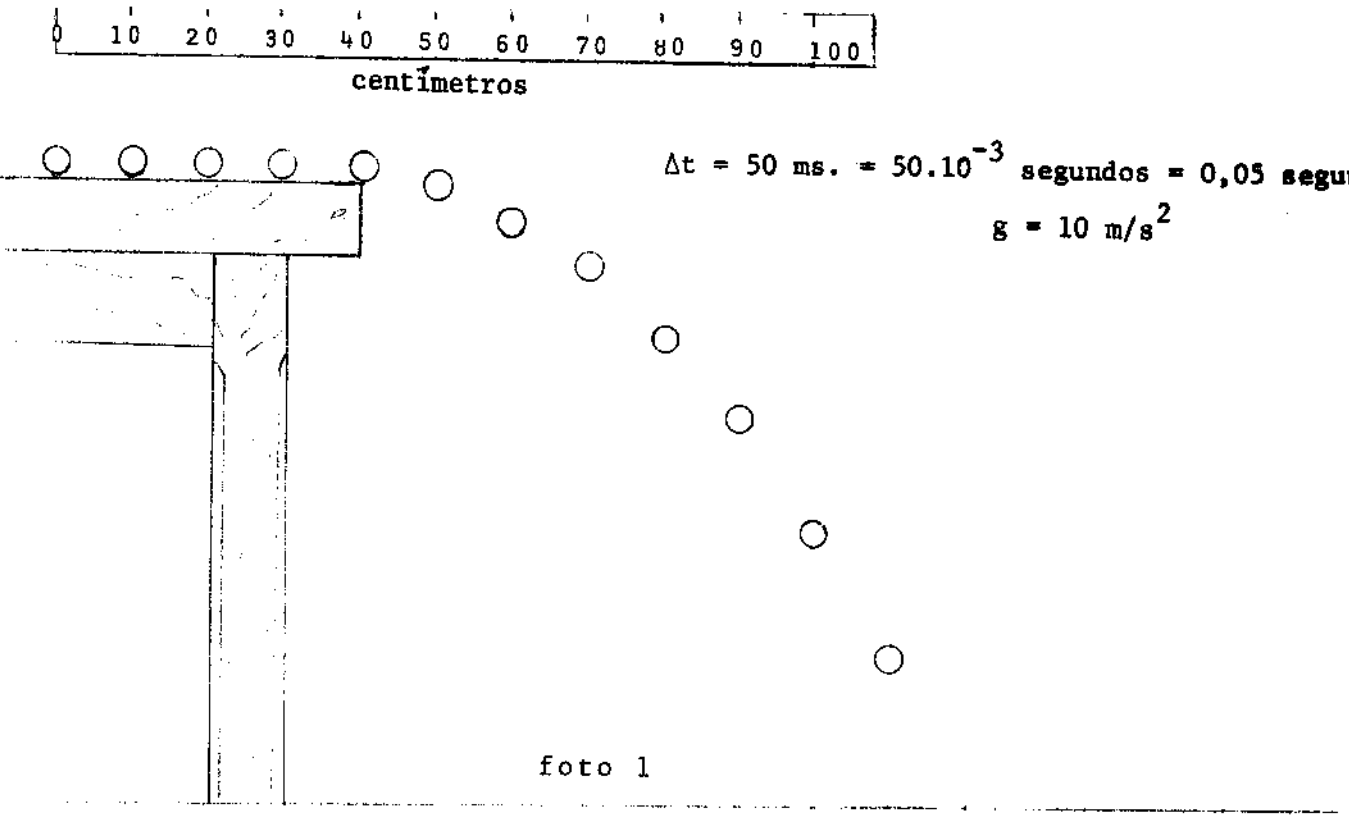


foto 1

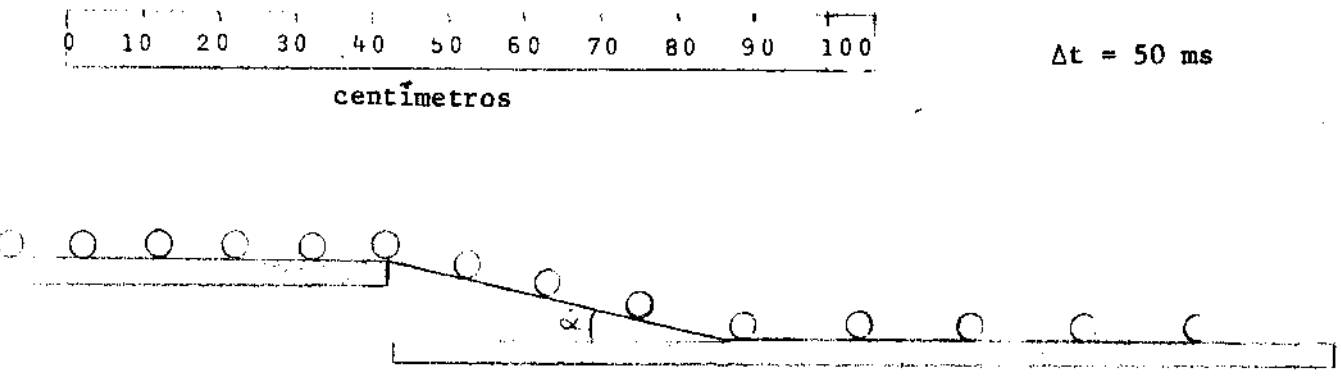


foto 2

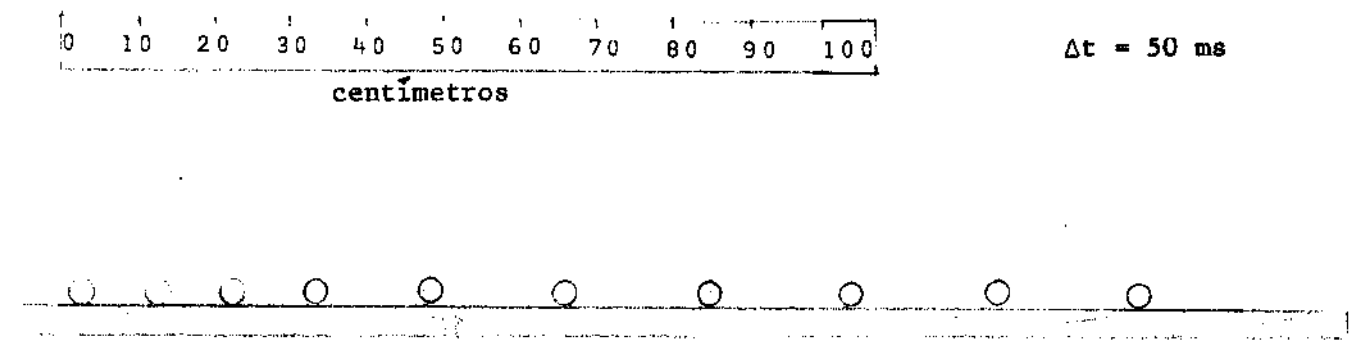


foto 3

movimento ($\overrightarrow{\Delta P}$) da bolinha.

Você já sabe que

$$\overrightarrow{\Delta P} = m (\vec{v}_f - \vec{v}_i)$$

Seu trabalho aqui será principalmente o de medir a variação na velocidade vetorial da bolinha.

- Veja quanto vale a diferença $\overrightarrow{\Delta v}$.

Compare o valor que você encontrou para o produto $m (\vec{v}_f - \vec{v}_i)$ com o produto $\vec{f} \Delta t$.

- Verificou que são iguais?

- Repita todo o processo para a foto nº 2, lembrando-se de que no caso de uma rampa(plano inclinado) a força que atua sobre o corpo é peso x seno do ângulo que a rampa faz com o plano horizontal. Neste caso, o peso da bola é 0,1 newton.

Procure medir primeiro o Impulso ($\vec{f} \Delta t$).

Depois procure medir o $\overrightarrow{\Delta P}$ ($m \overrightarrow{\Delta v}$). Compare os dois valores, isto é, veja como

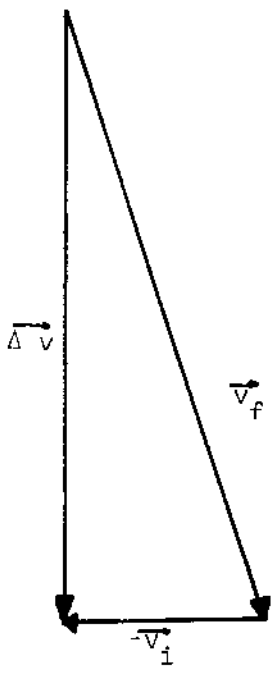


fig. 1.2

$$\vec{I} = \overrightarrow{\Delta P} \quad \text{ou}$$

$$\vec{f} \Delta t = m \overrightarrow{\Delta v}$$

Sabendo então que

$$\vec{f} \Delta t = m \overrightarrow{\Delta v}$$

Você poderia calcular a força que atuou na bola durante a tomada da foto nº 3. Essa força dificilmente poderia ser medida por ou

tros meios.

$$\text{Se } \vec{f}\,\Delta t = m\,\Delta\vec{v}$$

Então

$$\vec{f} = m\,\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$ e você

ficará sabendo quanto foi a força ($\vec{f}$) que atuou sobre a bola.

Fazendo uma série de experimentos desse tipo Newton (séc. XVIII) descobriu que sempre obtinha

$$\vec{f}\,\Delta t = m\,\Delta\vec{v}$$

Você certamente já ouviu falar nessa expressão, porém escrita de maneira diferente.

Ela poderia ser escrita assim

$$\vec{F} = m\,\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Mas $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ é a relação entre a variação da velocidade ($\Delta\vec{v}$) e o intervalo de tempo (Δt) em que se deu a variação do tempo. Dito de outra maneira: $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ é a taxa de variação da velocidade em relação ao tempo. É a essa relação que chamamos de <u>ACELERAÇÃO</u>.

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{a}$$

Então, temos:

$$\vec{f} = m\,\vec{a}$$

Essa expressão é obtida a partir de uma grande série de experimentos desse tipo. O grande número de vezes que ela se evidenciou e a possibilidade de verificá-la sempre que quisermos, faz com que ela seja chamada uma lei da Natureza.

É essa uma das leis de maior aplicação em toda a Física. Ela se aplica tanto a bolinhas ou carrinhos como a partículas muito menores que o átomo como também a corpos muito maiores que o Sol, as Estrelas.

CAPÍTULO 2 - INTERAÇÕES

2.2 - TRABALHO: UMA DAS MANEIRAS DE MEDIR A TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Você já realizou algum trabalho hoje? É certo que sim. Que você entende por trabalho? Todos nós temos uma idéia intuída do que é trabalho. Você sabe o que é trabalhar muito e o que é trabalhar pouco. Trabalhar muito produz em nós a sensação do cansaço. Depois de trabalhar muito, sentimos necessidade de repor alguma coisa que saiu de nós. Os alimentos e o descanso nos repõe aquilo que saiu de nós quando trabalhamos: A ENERGIA. Na linguagem comum, trabalho tem sentido vago e que deve ser mais preciso quando usado numa linguagem científica.

Para medir trabalho, são importantes duas outras medidas físicas: força e distância. Em termos físicos o trabalho se define como o produto da força exercida pelo espaço percorrido sob a ação da força.

(W) Trabalho = (f) força exercida x (d) distância percorrida

ou

$$W = f \times d$$

Isto é uma definição. Escolheu-se essa maneira de definir trabalho. Poderia ter sido adotada alguma outra definição. Essa, entretanto, foi adotada por ser muito útil e coerente.

Medir forças é fácil através de dinamômetros que você pode construir.

Com eles você poderá medir os trabalhos com bastante precisão. Medindo as forças em newton e as distâncias em metros, o TRABALHO SERÁ MEDIDO EM JOULES. Um Joule é então

a unidade em que vão ser medidos os trabalhos.

Com a próxima atividade, você ficará com muitas idéias novas e bem entendidas sobre o que é e como se mede um trabalho.

ATIVIDADE: MEDINDO TRABALHOS

Usando seu dinamômetro, arraste sobre a mesa ou no chão um objeto. Esse objeto deve ser arrastado lentamente com uma força que possa ser medida na escala do dinamômetro. Aplique uma força constante e veja quanto ela vale. Meça a distância percorrida em metros.

Quanto vale em joules o trabalho que você realizou? - Repita a operação arrastando um corpo maior (massa maior) e na mesma distância. O trabalho agora foi o mesmo? Se você colocar esse corpo sobre rodas ou mesmo sobre lápis, o trabalho necessário para arrastá-lo será menor. Os egípcios sabiam disso; e os jangadeiros também sabem. Eles arrastam suas jangadas nas praias sobre toras.

Arraste agora objetos com uma força constante, porém de tal maneira que a força que você está exercendo faça um certo ângulo com a direção do movimento.

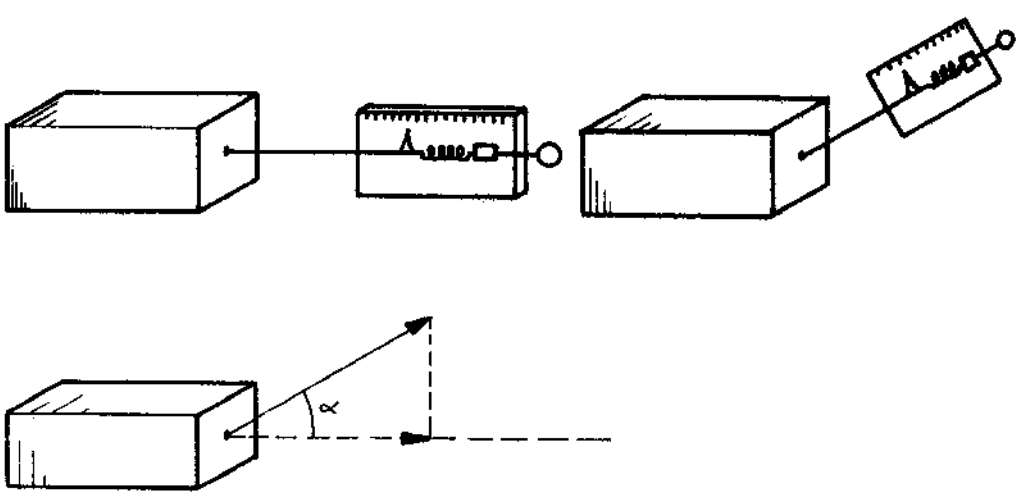


Fig. 2.1

Você percebeu que quando a força faz um certo ângulo com a direção do movimento, para realizar o mesmo trabalho, isto é, para levar o mesmo objeto numa mesma distância, a força deve ser maior? Isto quer dizer que quem realiza mesmo o trabalho é a componente da força que é paralela ao deslocamento. A força que realiza o trabalho é

$$f = f \cos \alpha$$

Poderíamos então definir o trabalho (W) como

$$W = f_{//} \times d \qquad \text{ou}$$

$$W = f \cos \alpha \times d$$ em que α é o ângulo formado pela força com a direção do movimento.

Você irá agora medir trabalhos efetuados ao longo de planos inclinados.

Puxe ou empurre lentamente um carrinho ou uma bola ao longo de um plano inclinado (mesa ou tábua). Você deve puxar o carrinho lentamente para que a energia de movimento (cinética) que depende da velocidade seja a menor possível. E, com "lentamente", queremos dizer que você deve puxar o carrinho com velocidade constante. Faça a experiência com ângulos diferentes porém com a mesma altura. Em cada caso, meça a força em newtons e a distância em metros.

Os deslocamentos ou distâncias percorridas foram as mesmas? E as forças foram as mesmas?

Compare o trabalho feito em cada um dos diferentes planos.

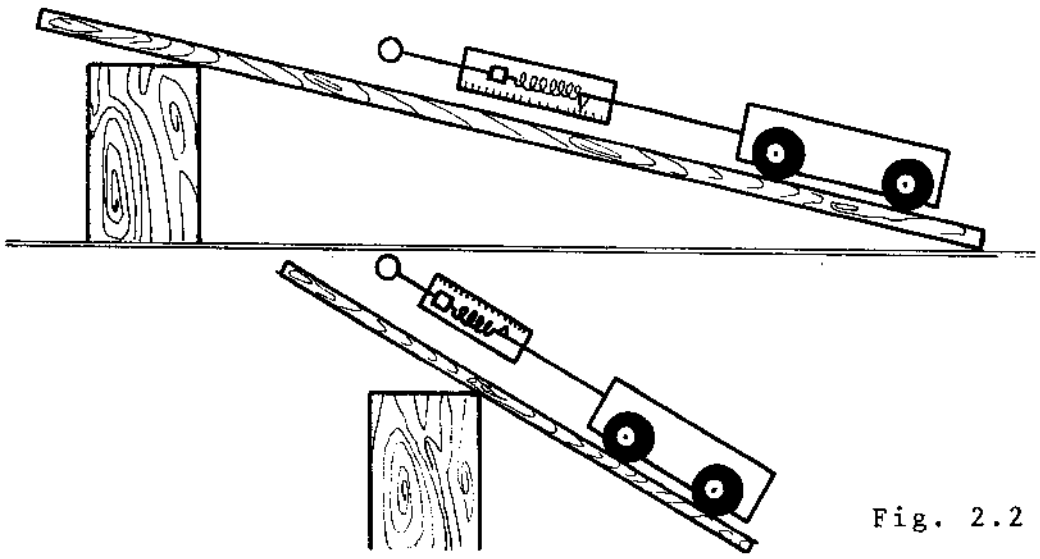


Fig. 2.2

Você percebeu que, apesar das forças e distâncias serem diferentes, os trabalhos são iguais, se as alturas forem iguais? Quando usamos uma rampa menos inclinada, tem-se que "fazer" menos força, mas, teremos que "fazer" essa força menor por um espaço maior. Apesar de forças e deslocamentos diferentes, o trabalho realizado foi o mesmo, para um mesmo corpo e para uma mesma altura.

Se o trabalho realizado não depende do ângulo mas somente da diferença de altura, ele deverá ser o mesmo se o percurso for feito verticalmente. Será que é? Experimente.

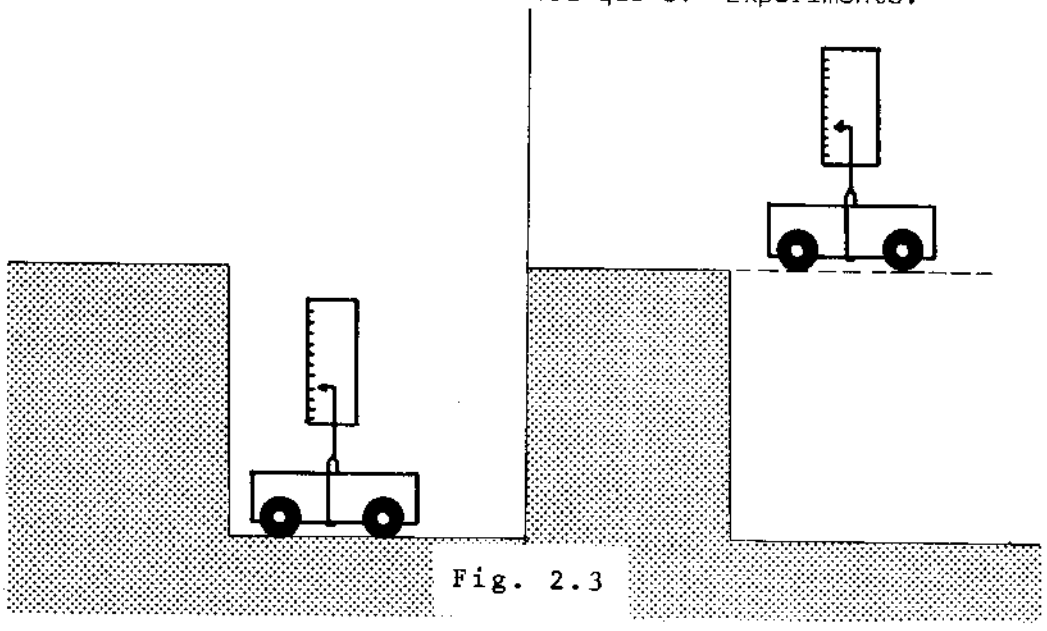


Fig. 2.3

A força agora é o peso do carrinho. A distância é a altura em que o carrinho foi elevado e que é a mesma do plano inclinado. Quanto dá o produto do peso do carrinho (em newtons) pela altura (h)?.

Você verificou que é o mesmo dos casos anteriores?

Quando você quiser exprimir o trabalho necessário para elevar um corpo a uma certa altura você já sabe:

O trabalho é o produto do peso do corpo pela altura que o corpo deve ser elevado.

$$W = \text{peso} \times \text{altura}$$

Como o peso é o produto da massa (m) pela aceleração da gravidade (g), o trabalho será

$$W = m\,g \times h$$

Aqui também o trabalho será expresso em Joules, se você exprimir a massa em Kg, a aceleração da gravidade (9,8)em m/seg^2 e a altura em metros (m).

Quando você levanta um corpo de 1 Kg numa altura de 1 metro, você realiza um trabalho de aproximadamente 10 Joules, pois

$$W = 1\ kg \times 9{,}9\ m/seg^2 \times 1\ metro$$

$$W = 9{,}8\ Joules$$

Na atividade que você acabou de realizar, as forças com que você lidou foram forças gravitacionais, isto é, forças devidas à atração gravitacional que se exerce entre a Terra e os corpos. Estes conceitos, no entanto, se aplicam a forças de qualquer outro tipo como forças elétricas ou magnéticas. Estes conceitos se aplicam também a corpos de quaisquer tamanhos. São conceitos que se aplicam e que nos permitem entender e con

trolar as leis da Natureza. Com eles, podemos medir o trabalho realizado por um caminhão carregado em uma ladeira, como também medir o trabalho de um elétron em um minúsculo campo elétrico.

CAPÍTULO 2 - INTERAÇÕES

2.3 - ENERGIA POTENCIAL, A ENERGIA ARMAZENADA

Você já sabe que para se realizar qualquer tarefa é preciso dispor de energia. ENERGIA é o ingrediente necessário à realização de qualquer trabalho. Quando realizamos um trabalho, estamos transferindo energia de um lugar para outro. O trabalho não é mais que a medida da transferência de energia.

A energia é uma coisa que não se cria nem se perde; apenas se transfere ou se transforma.

O que chamamos de energia POTENCIAL é a energia que fica armazenada e que PODE ser aproveitada ou transferida posteriormente.

Alguns exemplos ajudarão você a entender o que chamamos de energia potencial. Quando você eleva um certo peso a uma certa altura, o trabalho que você realiza é o produto do peso pela altura a que o peso foi levantado. Quando o peso tiver sido levantado, você poderá prendê-lo a um gancho.

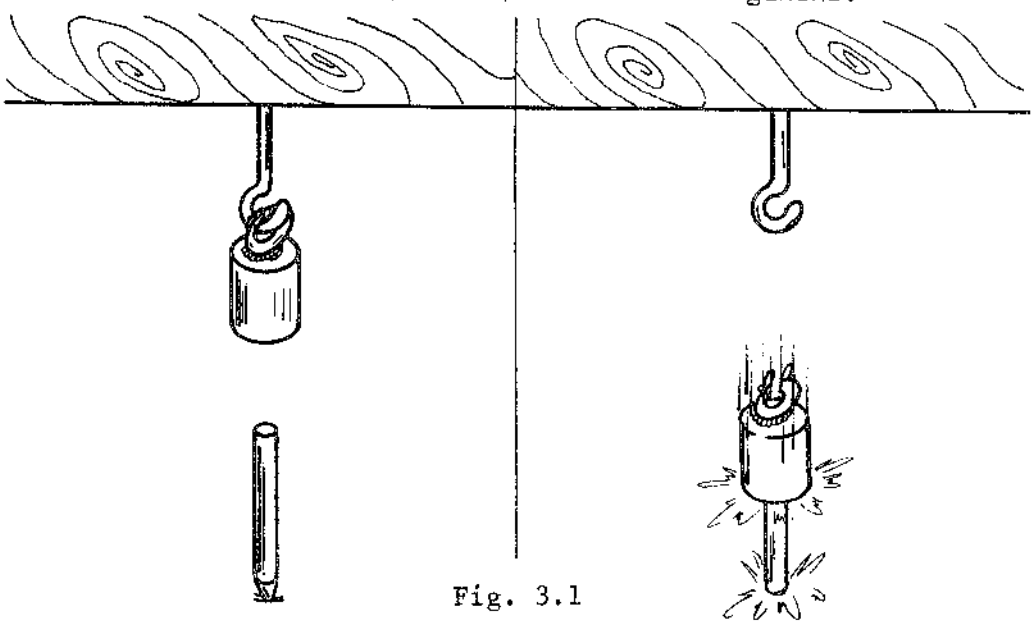


Fig. 3.1

Assim, a energia que você transferiu ou, o que é a mesma coisa, o trabalho que você realizou, fica guardado enquanto o peso ficar dependurado. Depois de muito tempo, você soltaria o peso do gancho e ele (o peso) poderia realizar um tra

balho nessa queda. Esse trabalho poderia ser o de mover um relógio (cuco), cravar uma estaca etc. Quando você eleva um balde de água a uma certa altura, a água elevada tem uma certa energia POTENCIAL, isto é, uma energia que poderá ser aproveitada. Quanto mais água e quanto mais elevada ela for, maior será sua energia potencial. Ao descer, a água poderá realizar algum trabalho, isto é, poderá transferir sua energia para algo aproveitável. É isso que fazem as usinas hidroelétricas.

Quando comprimimos ou distendemos uma mola, realizamos um trabalho. Se prendemos a mola na sua posição comprimida ou distendida, a energia que transferimos para a mola, com o trabalho de comprimi-la, ficará guardada. Essa energia pode ficar armazenada até quando você quiser. Essa energia também é potencial.

Você deve estar notando que o que caracteriza a energia potencial é o fato dela poder ser restituída ou voltar a uma forma de energia. Isso independendo do tipo de força que realizou o trabalho ou de como se criou a situação. Talvez também aqui alguns exemplos ajudem a esclarecer o que estamos querendo dizer. Ao invés de comprimirmos uma mola, forçamos dois ímãs que se repelem, um contra o outro. Depois de "obrigar" os ímãs a ficar um contra o outro, amarraríamos o conjunto. O conjunto teria agora uma energia potencial, isto é, uma energia armazenada. A energia deste modo seria guardada indefinidamente, se quiséssemos. Após algum tempo, essa energia poderia ser liberada ao cortarmos o barbante que prendia os ímãs. Uma coisa semelhante pode ser feita com corpos carregados eletricamente com cargas de igual nome, isto é, cargas que se repelem.

Isso não acontece só com corpos de tamanho comum. Essas mesmas idéias também valem nas dimensões das moléculas e dos átomos.

Tanto com as moléculas como com os átomos ocorre uma coisa semelhante ao que acontece com uma ratoeira armada. Quando você arma uma ratoeira de mola, você faz um esforço contra a mola para colocá-la para trás. Posta a mola na posição de máxima deformação, você engancha o gatilho onde está uma isca, o peda

ço de queijo. A grande quantidade de energia que você transferiu, ou o trabalho que você realizou ficará armazenado até que o rato desarme a ratoeira, fazendo a energia ser transferida toda para a cabeça do rato.

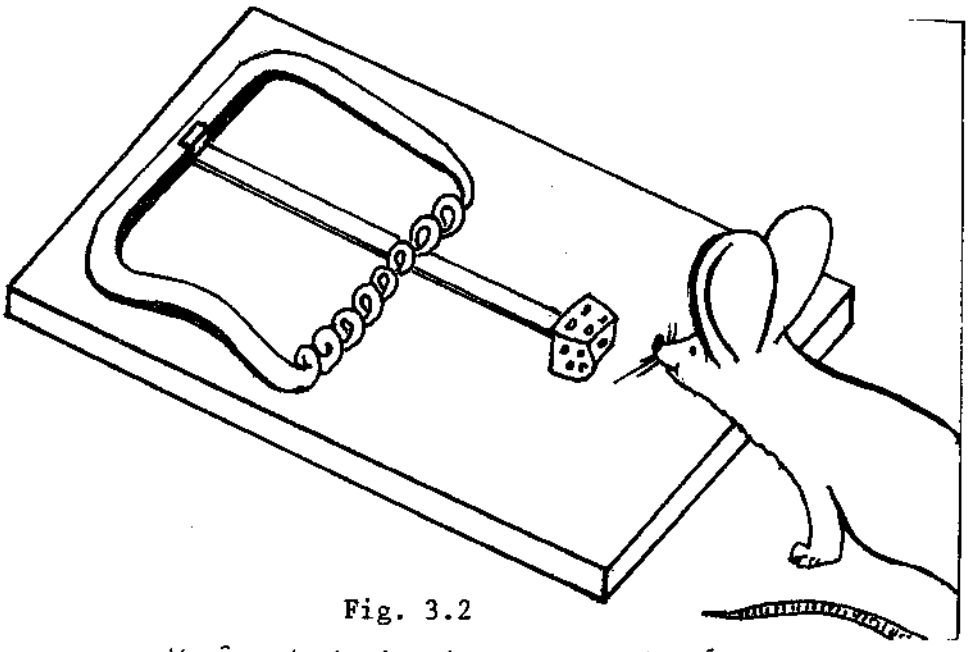


Fig. 3.2

Você poderia imaginar um grande número de ratoeiras já armadas e colocadas umas próximas das outras. Quando uma ratoeira for desarmada ela saltará e fará com que sejam desarmadas as outras. Essas outras farão outras se desarmarem e o processo se propaga fazendo com que todas as ratoeiras libertem sua energia. No entanto, será preciso que alguém forneça a energia necessária para que seja desarmada a primeira delas.

É uma coisa semelhante o que ocorre com as moléculas dos combustíveis. Essas moléculas têm grandes quantidades de energia potencial, isto é, grande quantidade da energia armazenada. Essa energia resulta das posições relativas ocupadas pelas cargas elétricas na estrutura da molécula. Quando você põe fogo no combustível, você está fornecendo um pouco de energia que é necessária para "desarmar" as primeiras moléculas. Estas liberam grande quantidade de energia que estava em forma de energia potencial, o que fará com que mais moléculas se "desarmem". E o processo se propaga. No caso ainda das moléculas dos combustíveis, a energia, na maioria das vezes, foi fornecida pelo Sol. Você já pensou que quase toda a energia que move os seres vivos, os nossos meios de transporte e as nossas indústrias é energia que veio do Sol e que estava armazenada em forma de energia potencial

hidroelétrica ou molecular? Essa energia que agora move, a nós e aos nossos engenhos neste momento, é energia que estava armazenada, às vezes por milhões de anos (carvão e petróleo). É energia potencial.

Você já deve ter ouvido falar em potencial energético de um país. O potencial energético de um país é constituído pela energia potencial que ele contém. Essa energia potencial é dada principalmente pela quantidade de energia que esse país tem e que pode ser aproveitada através de suas quedas d'água (potencial hidroelétrico) e pelas suas jazidas de combustíveis (carvão e petróleo).

Quase toda energia que utilizamos esteve armazenada durante muito tempo. Enquanto essa energia esteve armazenada, ela se chamou energia potencial.

ATIVIDADE: MEDIDA DE UMA ENERGIA POTENCIAL

Arranje uma série de pequenos pesos, como os que são usados de chumbada nas linhas de anzol, pelos pescadores. Determine a massa média em gramas de cada um. Se você não dispuser de uma balança, veja quantos pesinhos você deve usar para equilibrar o peso conhecido de um objeto qualquer, como na figura seguinte.

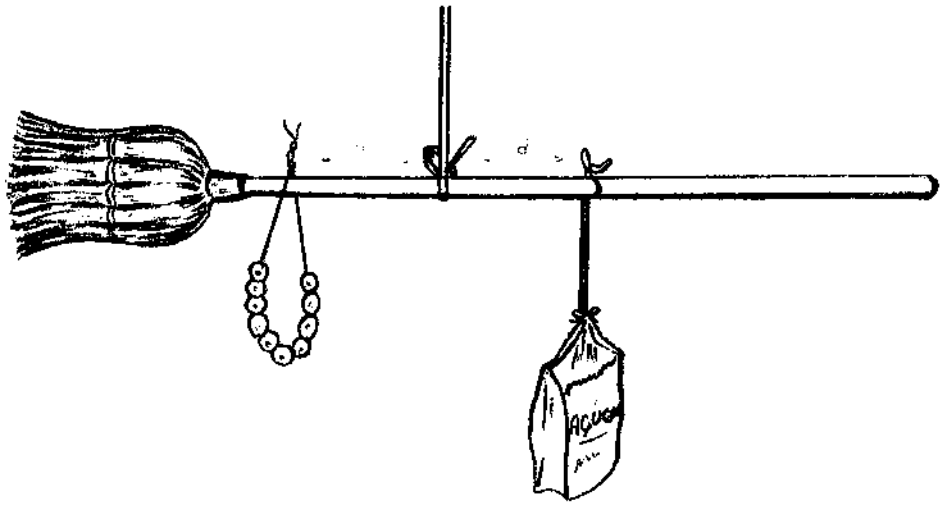


Fig. 3.3

Agora você sabe a massa de cada chumbinho em gramas.

Faça com os chumbinhos e uma linha, uma fiada que seja de comprimento igual ou menor que a altura de sua mesa ou carteira. Verifique também que a fiada toda não tenha um peso maior que a capacidade do seu dinamômetro. Se o seu dinamômetro não estiver funcionando, você poderá medir as forças, sabendo que, para sustentar um kg onde aceleração da gravidade é normal (9,81 m/seg^2), você deve fazer uma força 9,81 newtons. Isso equivale a dizer que, quando você levanta 1 kg, você está fazendo uma força de aproximadamente 10 N.

Passe a ponta da linha da fiada por uma roldana fixa na extremidade de uma haste ou régua.

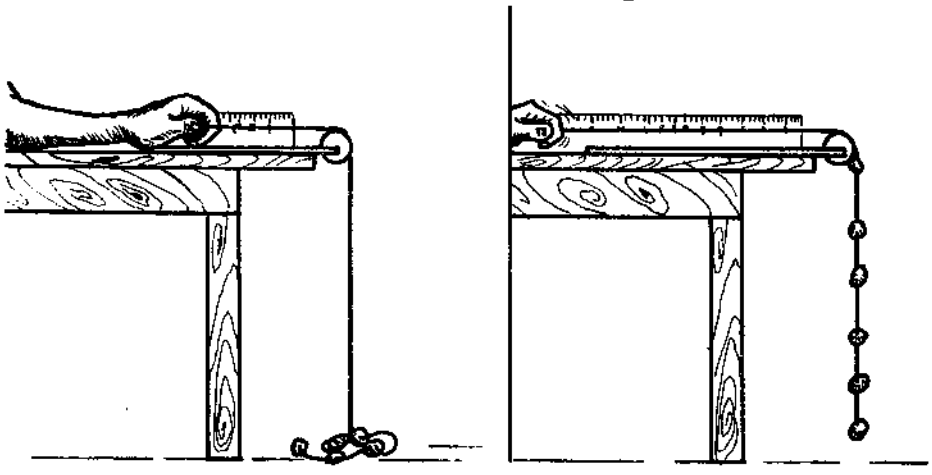


Fig. 3.4

Comece a puxar a linha da fiada. Quando o primeiro pesinho começar a ser levantado, comece a registrar os dados. Os dados importantes são: o tamanho da força, em newtons, que você está fazendo e a distância durante a qual você faz essa força.

Quando o primeiro pesinho chegar na roldana, fixe o sistema. Anote agora os valores dos pesos e as alturas de cada um ao solo.

Meça então a energia potencial de toda a fiada. A energia potencial de um corpo de massa m levantado de uma altura h, em um lugar em que a aceleração da gravidade vale g, é dada pela expressão

$$E_{pot} = m\,gh$$

Essa energia será expressa em JOULES quando m for dada em kg, a altura h em metros e g em m/seg^2.

A energia potencial do sistema será a soma das energias potenciais de cada corpo.

Faça então a soma das energias potenciais das partes que constituem o seu sistema, isto é, a fiada.

Agora você vai medir o trabalho que você realizou para que o sistema adquirisse essa energia potencial.

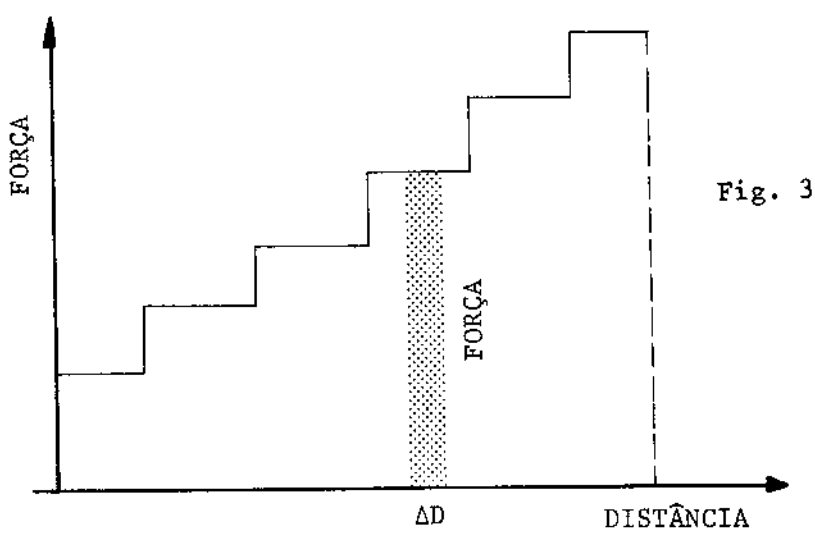


Fig. 3.5

Com os dados que você tomou e o tamanho da força, a distância em que ela agiu, faça um gráfico como o da fig. 3.5. Nesse estarão representadas as forças em função das distâncias. Você acha que as áreas, como as achureadas na figura, têm um significado especial nesse gráfico? Uma força vezes (x) um deslocamento resulta num trabalho. Nesse gráfico, então, as áreas medem o trabalho, isto é, as áreas são proporcionais aos trabalhos realizados pela força.

O trabalho que realizamos quando exercemos uma força por uma certa distância é o produto dessas duas grandezas.

$$W = f \times d$$

Nesse caso, o trabalho total que você realizou ao puxar a fiada deve ser proporcional à área debaixo da curva força x distância.

Exprimindo a força em newtons e a distância em metros, você terá medido o trabalho feito em JOULES.

Compare o valor que você obteve para o trabalho feito, com a energia potencial do sistema.

A pequena diferença corre por conta das imprecisões das medidas feitas.

Você percebeu que o trabalho que você realizou pode ficar guardado indefinidamente?

Essa energia guardada é que se chama energia potencial do sistema. Quando você quiser, você poderá dispor dessa quantidade de JOULES para realizar um trabalho. Esse trabalho poderia ser o de fazer funcionar um relógio.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Na atividade anterior, você determinou a energia potencial de um sistema em que a força é constante, pelo menos em certos intervalos. Existem, no entanto, muitos casos em que a força não é constante. É o caso de uma mola, por exemplo. Quanto mais distendida ou comprimida a mola, mais "dura" ela fica para ser deformada.

Geralmente as molas ou outros objetos elásticos exigem esforços proporcionais às deformações. Esse fato pode ser expresso por uma fórmula simples conhecida como "LEI DE HOOK".

$$\vec{f} = -k\,\vec{x}$$

O sinal menos (-) significa que a força é de restituição. Isso significa que a força é sempre contrária ao deslocamento. O k é a constante de proporcionalidade e a característica da mola (ou de outro sistema elástico).

Quanto maior o k, mais dura é a mola.

A energia com que o carrinho vai ser lançado vai depender do K da mola e de quanto ela foi comprimida.

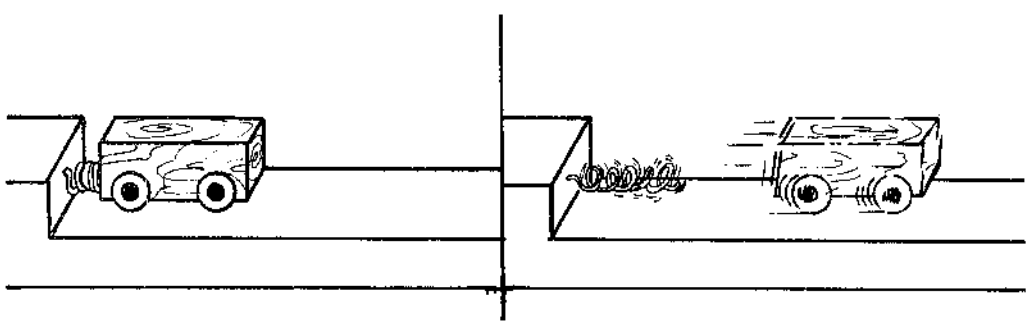


Fig. 3.6

Imagine que você comprime ou distende a mola até um certo comprimento. Assim deformada, a mola ou elástico tem uma energia potencial. Esta energia pode ficar armazenada por muito tempo ou pode ser liberada imediatamente.

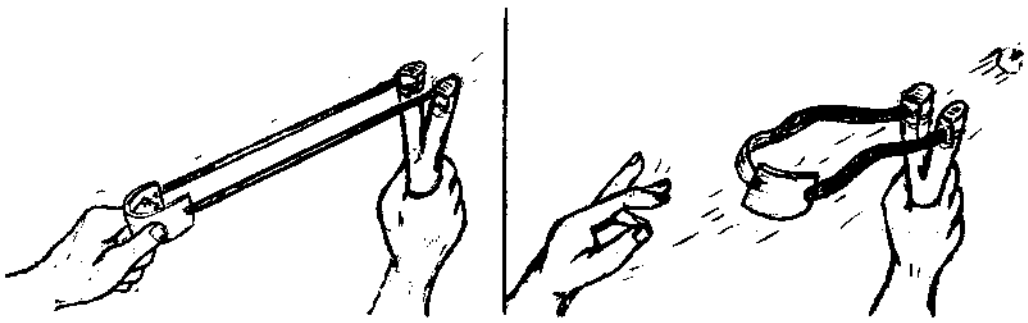


Fig. 3.7

Esta pode ser transferida para um corpo qualquer. É o caso de um estilingue ou de uma atiradeira, que transfere sua energia à pedra.

Que energia a mola (ou elástico) pode transferir, ou, qual a energia potencial do sistema da mola ou elástico comprimido?

Se a força é do tipo $\vec{f} = - k \vec{x}$, o gráfico da força ($\vec{f}$) em função do alongamento ($\vec{x}$) é uma reta.

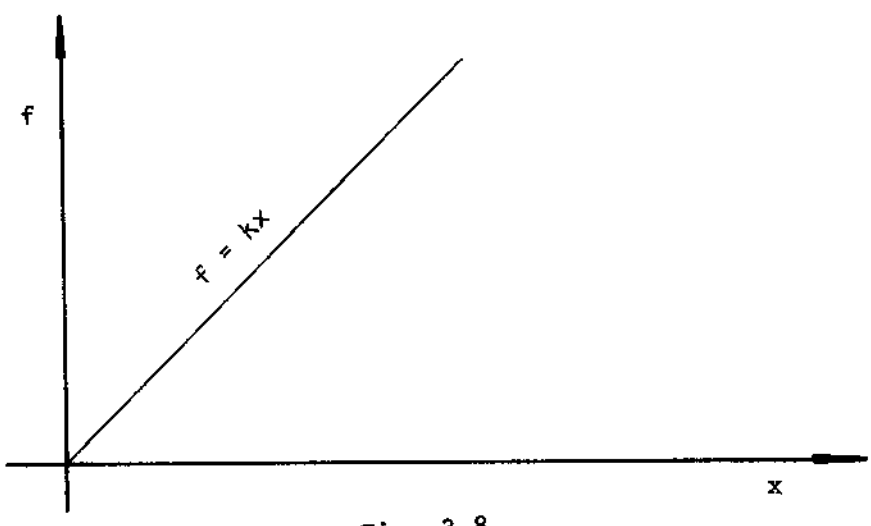


Fig. 3.8

Você já sabe que, num gráfico da força pelo alongamento, as áreas sob a curva medem as energias.

Então a área entre a reta $f = k\,x$ e o eixo dos x representará o trabalho realizado com a compressão ou distensão da mola. Essa energia transferida é que fica guardada. É a energia potencial.

Mas quanto é a área delimitada pela reta ($f = k\,x$) e pelo eixo dos x ?

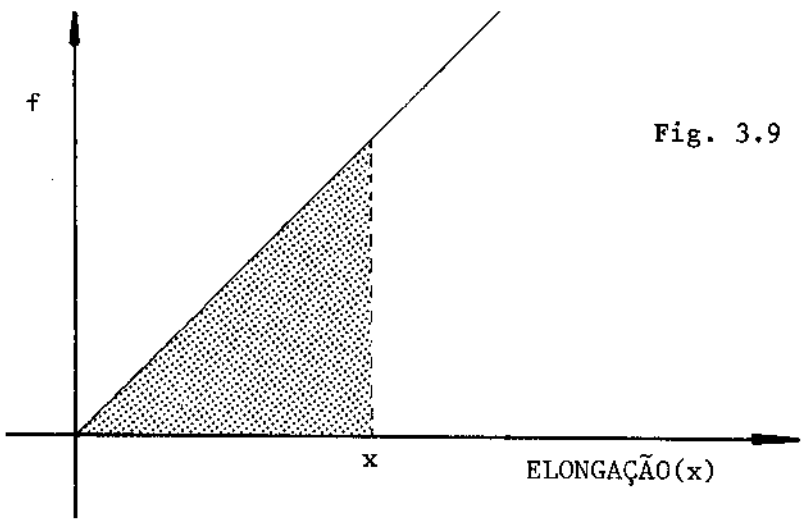


Fig. 3.9

Essa área é a área de um triângulo que vale base x altura.

Neste caso a base é x e a altura é kx. Então a energia potencial é

$$E = \frac{x \cdot kx}{2}$$

$$E = \frac{1}{2}\,k\,x^2$$

Dessa maneira, você saberá que energia você coloca em uma mola (ou elástico) quando comprime ou estica a mola (ou elástico) de um certo comprimento. É preciso também que você saiba o k da mola. Como em geral as molas têm um comporta-

mento "direito", isto é, linear, basta conhecer uma força e um alongamento.

Basta dizer que $f = k\,x$; logo $k = \frac{f}{x}$

Com isto, você pode saber quanta energia será dada à pedra que sai do estilingue (atiradeira). Você poderá também saber qual a energia com que sai um carrinho, ao ser cortado o barbante.

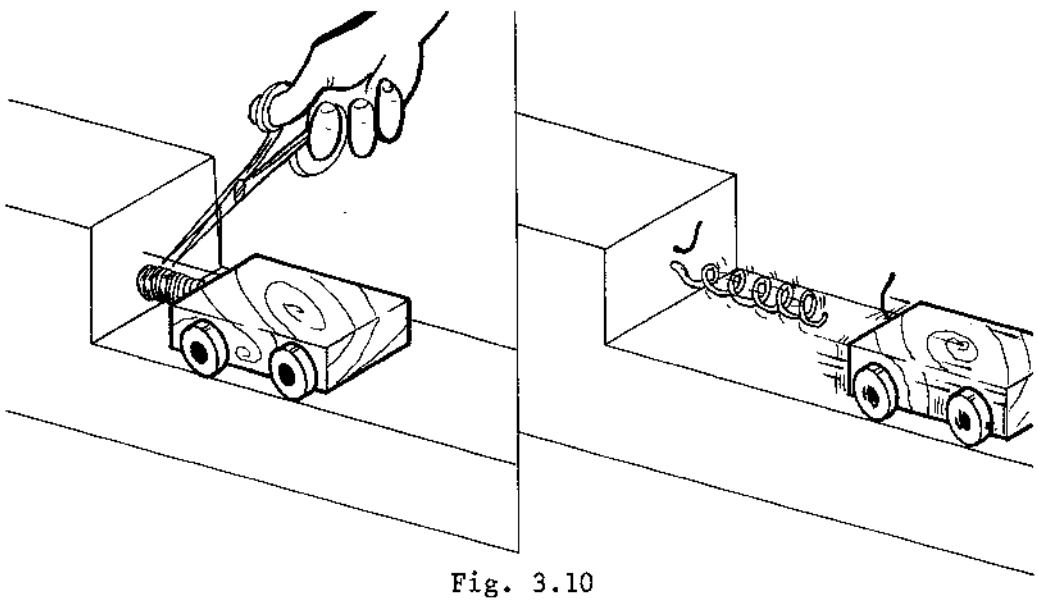


Fig. 3.10

Com que velocidade vai sair a pedra do estilingue? Você deve ter percebido que para uma mesma distensão ou compressão (energia) a velocidade varia com a massa do objeto que está sendo impulsionado.

Como você acha que estão relacionadas a energia de movimento que o corpo adquire, com sua massa (m) e sua velocidade?

A energia de movimento ou **ENERGIA CINÉTICA** de um corpo é dada pela expressão:

$$E_{cin} = \frac{1}{2}\, m\, v^2$$

Você já viu como pode aproveitar a energia potencial acumulada em algum lugar. Você sabe também que essa energia pode se transformar em energia de movimento ou energia CINÉTICA. Sabendo agora a expressão da energia cinética, você dispõe de uma linguagem extremamente eficiente para descrever e prever uma série de tipos de interações. E o interessante é que essas idéias se aplicam a objetos do tamanho de um estilingue, de um planeta ou de um átomo.

Quando um corpo cai, por exemplo, a energia potencial se vai transformando em energia cinética. Depois de cair uma altura h, a energia potencial dessa altura se transformou em energia cinética.

Então:

$$m\,gh = \frac{1}{2}\,m\,v^2 \qquad \text{ou}$$

$$g\,h = \frac{1}{2}\,v^2$$

$$v^2 = 2\,gh \qquad \text{ou}$$

$$v = \sqrt{2\,gh}$$

No caso de uma mola a energia potencial é:

$$E\ pot = \frac{1}{2}\,k\,x^2$$

$$\frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{1}{2}\,k\,x^2$$

$$m\,v^2 = k\,x^2$$

$$v^2 = \frac{k\,x^2}{m} \qquad v = \sqrt{\frac{k\,x^2}{m}}$$

Então a velocidade da pedrinha ao sair do estilingue vai depender da característica do elástico (k), do quadrado da deformação ou alongamento da borracha (x) e da massa da pedrinha (m).

Nos exemplos vistos até aqui, a força ou era constante ou variava de forma muito regular. Existem, no entanto, casos em que a força varia com a distância de uma maneira irregular.

Nesse caso, o único recurso é medir a área debaixo da curva. Você já sabe que num gráfico de força em função da distância, as áreas medem os trabalhos ou energia armazenada ao deformar-se o sistema.

CAPÍTULO 3 - O COMPORTAMENTO DOS GASES

3.1 - O QUE VOCÊ SABE SOBRE OS GASES ?

Nosso objetivo neste capítulo é que você entenda as principais propriedades dos gases. Em primeiro lugar, queremos que você perceba quanta coisa você já sabe e que pode ser aproveitada. Você aprenderá também como pode ser usado o que você conhece para construirmos, mais adiante, um MODELO sobre o comportamento dos gases. MODELO aqui não tem absolutamente o sentido de miniatura. MODELO, aqui, é usado no sentido de teoria.

Quando se pretende construir um MODELO ou uma TEORIA, a primeira coisa que temos a fazer é reunir todos os fatos que conhecemos sobre o assunto.

Talvez você esteja pensando: por que uma teoria sobre os gases e não uma teoria sobre sólidos ou líquidos? A razão é a seguinte: os gases apresentam algumas propriedades muito importantes e que são comuns a todos eles. Queremos com isso dizer que algumas propriedades muito importantes não dependem de qual o tipo do gás de que estamos tratando. Poderíamos dizer que essas propriedades estão ligadas não a determinados gases, mas ao estado gasoso.

Outra razão é que o estudo dos gases nos permite, com mais facilidade, elaborar uma teoria em que fica mais fácil entender a natureza de grandezas como calor e temperatura.

Vamos então começar a reunir os principais fatos que conhecemos sobre o comportamento dos gases e que são independentes do tipo de gás.

1. BAIXA DENSIDADE - Você sabe que a densidade de qualquer gás é baixíssima, se comparada à densidade de qualquer sólido ou líquido. Você alguma vez percebeu o peso de algum gás?

2. GRANDE MOBILIDADE - Você sabe que nos movemos no fundo de um "oceano" de gases que é a atmosfera, capa de gases que envolve toda a Terra. O ar não nos dificulta muito o movimento. À medida que nos movemos, o ar se desloca de onde estamos para onde não estamos. Você sabe também que um pequeno orifício pode deixar escapar todo o gás (ar) de um pneu como também o gás do botijão da cozinha.

3. DIFUSÃO - Difusão é sinônimo de espalhamento. Você sabe que tanto os cheiros bons como os ruins são desprendimentos de uma parte volátil (gás) das substâncias. É essa parte gasosa que atinge nosso olfato. Se o botijão de gás na cozinha apresenta vasamento, logo ficamos sabendo, mesmo estando na sala ou no quarto. Isso se deve à propriedade que os gases têm de se espalharem rapidamente. Os gases então se espalham rapidamente uns através dos outros.

4. GRANDE COMPRESSIBILIDADE - Tanto uma bexiga de festa como uma seringa de injeções ou uma bomba de bicicleta podem ser reduzidas em seus volumes, isto é, podem ser comprimidas, sem que o ar saia. Esse fato se pode verificar para qualquer gás. O volume dos gases pode então ser enormemente diminuído pela compressão. Isso não acontece com os líquidos.

5. GRANDE ELASTICIDADE - Comprimindo ou descomprimindo o êmbolo de uma seringa de injeções de vidro, você percebe como a elasticidade do gás (ar, por exemplo), faz voltar à posição inicial de forma elástica. O mesmo acontece quando se amarrota uma bexiga de festa, com ar dentro.

6. AUMENTO DA PRESSÃO COM O AQUECIMENTO - Nos dias muito quentes ou depois de horas de viagem, os pneus do carro se tornam mais duros, isto é, a pressão do ar no interior se torna maior. Quando um automóvel se incendeia, o aquecimento dos pneus acaba por fazê-los explodir violentamente.

7. GRANDE EXPANSÃO COM O AQUECIMENTO - Quando um gás se aquece, sem que sua pressão aumente, seu volume aumenta muito. É o aquecimento do ar que faz o balão de São João "inchar". A expansão do ar no interior do balão é feita com a pressão mantida constante pelo fato de permanecer aberta a "boca" do balão. É também o aumento do volume dos gases no cilindro que faz funcionar os motores a "explosão". O aquecimento dos gases no interior do cilindro é produzido pela queima do combustível.

8. AQUECIMENTO COM A COMPRESSÃO - Se você comprime fortemente um gás em um recipiente, você logo perceberá como ele se aquece. É isso que acontece quando você comprime sua "bomba" de encher pneu. É pela mesma razão que se aquece o radiador atrás de sua geladeira, que é o lugar em que o gás (freon, geralmente) foi comprimido pelo compressor. É também isso que acontece no interior de um motor Diesel. Aqui o grande aquecimento necessário à combustão é obtido exclusivamente pela compressão do ar. Por essa razão, um motor Diesel que tenha vazamento de pressão não funciona mesmo. A pressão não será suficiente para elevar a temperatura até o valor necessário à combustão do óleo Diesel.

9. COMPRESSÃO E DISTENSÃO PERFEITAMENTE ELÁSTICAS - Você já deve ter percebido como uma bola ou bexiga se deforma de maneira perfeitamente elástica. Com esta expressão, queremos dizer que a bexiga de ar, ou a bola de futebol, depois de deformadas voltam exatamente à mesma forma inicial, apesar do grande número de deformações sofridas, o gás continua sempre pressionando as paredes do recipiente. O gás nunca se "cansa" de exercer pressão.

Lembre-se de que todas as propriedades aqui mencionadas e que você conhece são comuns a todos os gases. Essas propriedades não são peculiares de alguns tipos de gases. Podemos dizer então que essas propriedades são características do estado gasoso. Tanto assim que, quando o ar ou qualquer outro gás se liquefaz ou se solidifica, já não possui mais as mesmas caracte -

rísticas. Isso faz então com que as propriedades aqui estudadas valham, mas dentro de um certo limite. Quando o gás ou parte dele já deixou de ser gás, as propriedades já não valem.

É com base nessas propriedades que se estabelece uma escala **ABSOLUTA** de temperaturas.

Uma escala absoluta não pode ser estabelecida com fundamento no comportamento dos sólidos ou líquidos. As propriedades dos sólidos e líquidos que variam com a temperatura, são diferentes para cada sólido ou líquido. Só nos gases, as variações de pressões e volumes se dão de maneira igual para todos os gases.

ATIVIDADE: PRIMEIRA PARTE: PROPRIEDADES GERAIS DOS GASES

Nesta fase do experimento, você irá usar uma seringa de injeções de vidro.

Verifique se o êmbolo pode se deslocar por grande parte da seringa sem "enroscar", ou emperrar. Verifique também se, quando você comprime o êmbolo e fecha o bico da seringa, não há vazamento.

Mova o êmbolo da seringa até aproximadamente a metade do seu percurso. Tape com o dedo o bico da seringa e comprima o êmbolo. Procure verificar se o esforço que você faz é maior no começo da compressão ou quando você já comprimiu bastante. Quando você deve exercer mais força?

Você não acha que realizando uma força para empurrar o êmbolo numa certa distância você realizou um certo trabalho? Esse trabalho poderia ficar "guardado"? De que forma esse trabalho poderia ser recuperado, isto é, aproveitado?

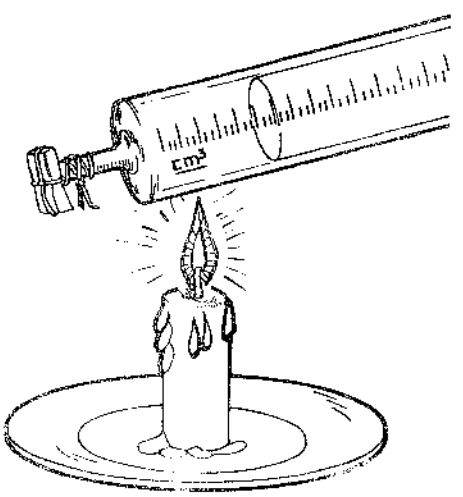
Depois de comprimir o êmbolo, com o bico fechado,

solte-o repentinamente. O que acontece?

Você percebeu que o gás além de compressível é também perfeitamente elástico?

Mova agora o êmbolo até aproximadamente 1/3 do comprimento. Tape o bico da seringa. Puxe agora o êmbolo para fora, isto é, descomprimindo o gás. Depois de descomprimir, solte bruscamente o êmbolo. Verifique se tudo o que se disse e se perguntou sobre a compressão vale também para a decompressão. Se você quiser e puder repita as mesmas coisas, substituindo o ar de dentro da seringa por outro gás. Esse gás poderá ser qualquer e tudo se passará da mesma maneira. Pelo comportamento físico você não conseguirá distinguir um gás do outro, a não ser que você chegue a temperaturas em que o gás possa mudar de estado. Facilmente você pode encher sua seringa com gás de algum extintor de incêndio (Verifique se é de CO_2). Para isso coloque o bico da seringa junto à saída do gás e desloque o êmbolo a partir de ZERO. O gás de petróleo (botijão) dá o mesmo resultado, porém é perigoso.

fig. 3.1



Agora você irá aquecer o gás que está dentro da seringa mantendo fechada a saída. Você poderá tampar o bico da seringa com o polegar. O que acontece com o êmbolo, enquanto o gás se aquece? Essa expansão do gás poderia realizar um trabalho? O que acontece quando a seringa que foi aquecida, volta à temperatura ambiente? Você pode apressar a volta do êmbolo com água ou gelo.

SEGUNDA PARTE: UM TERMÔMETRO A GÁS

Você poderá montar um termômetro a gás que funciona muito bem dentro de um certo intervalo de temperaturas. Você poderá até montar dois termômetros iguais porém com gases di

ferentes. Com isso, você perceberá como o comportamento dos dois gases diferentes é igual.

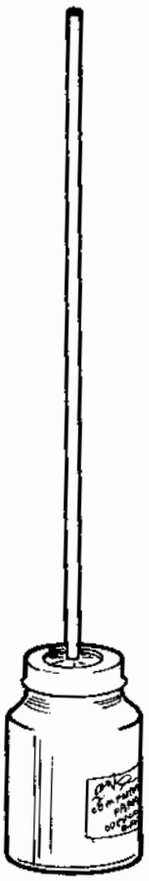


fig. 3.2

Cada um dos termômetros é constituído por um pequeno vidrinho de medicamentos, movido da tampa. Em volta da tampa você deve passar uma cola plástica para que não haja vazamento de ar. Com um pequeno prego quente, você faz um furo redondo no centro da tampa. Nesse furo vai ser colado um canudo plástico de refresco. Assim montado, já está pronto seu termômetro a gás (ar). O outro é igual em tudo, só que deverá conter outro tipo de gás. Esse gás poderá ser gás carbônico ou mesmo gás de iluminação (de botijão ou de rua).

Para encher o termômetro com um desses gases, você deverá fazer o seguinte. Faça com que o bico de uma seringa de injeções (sem agulhas) aspire diretamente o gás no bico de um fogão ou então de um extintor de incêndio. Você agora deve esquentar um pouco a agulha da seringa e enfiá-la pela tampa de plástico do "bulbo" (vidrinho) do seu termômetro. Adapte a seringa à agulha já espetada na tampa plástica do vidrinho e injete o gás para dentro do seu termômetro. Tampe o furo com cola, depois de retirar a agulha. Você agora tem prontos dois termômetros iguais a gases diferentes, que você vai fazê-los funcionar.

Coloque os dois dentro de um mesmo recipiente de água bem morna (uns 50°C). Agite a água de vez em quando durante 5 minutos. Depois desse tempo, com os termômetros ainda dentro da água morna, coloque, na extremidade de cada canudo, uma gota de água. Estão prontos os termômetros. Pode tirá-los da água. Se você puder medir com outro termômetro a temperatura da água morna, melhor ainda.

Baixando a temperatura, você notará que as gotas

em ambos os termômetros começam a descer.

Segure os bulbos dos termômetros, um em cada mão e você verá que as gotas ficarão outra vez na mesma altura. Você poderá fazer uma série de verificações. Coloque-os por exemplo, em baixo da água de uma torneira. Experimente colocá-los no sol.

Você percebe que a gota sobe e desce e de maneira igual nos seus dois termômetros?

Você percebeu que os dois gases diferentes se comportam de maneira igual? Você acha que a pressão no interior desses termômetros é constante? - Qual foi a coisa que variou para você observar?

O que você conclui sobre o comportamento dos diferentes gases?

TERCEIRA PARTE: UMA ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURAS

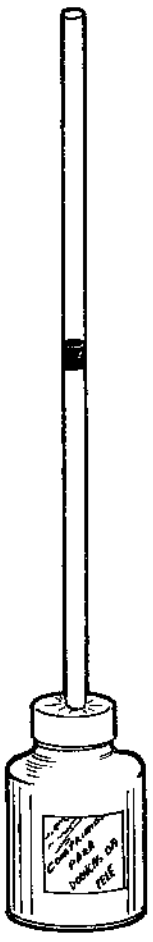


fig. 3.3

Agora você já sabe que, baixando a temperatura de um gás, seu volume diminui, se você mantiver a mesma pressão. Você já sabe também que o comportamento dos gases é igual no que se refere a variações do volume e pressão com a temperatura. Por essa razão, os gases são usados para se definir uma escala absoluta de temperaturas.

Uma das maneiras de se definir o ZERO absoluto é através de variação de volume de qualquer gás, quando a temperatura se modifica.

Você pode verificar que, quando a temperatura abaixa, a gota d'água da figura se move para dentro do recipiente. Isso significa que o volume do gás se torna menor quando a temperatura baixa (a pressão constante). Você não espera que haja uma

temperatura em que o volume do gás se tornará ZERO? - É a essa temperatura que chamamos de ZERO ABSOLUTO. - É a temperatura, em qualquer escala, na qual o volume deve ser ZERO quando a pressão se mantém a mesma. Use o tubinho plástico de aproximadamente 1 m de comprimento. Esse tubo deve ter um diâmetro interno que não seja maior que 2 mm. Se o tubo for um pouco menos ou muito mais comprido não importa. Se ele for exatamente 1 m será mais fácil para você.

Feche uma das extremidades do tubo, usando um palito redondo ou amarrando a ponta do tubo dobrada.

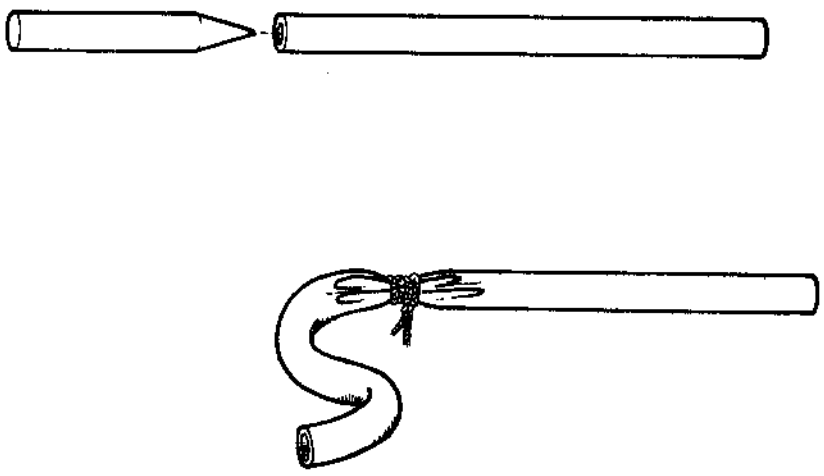


fig. 3.4

Essa extremidade deve ficar fechada de tal maneira que por ela não escape o ar. O tubo deve estar bem seco e limpo (para secar e limpar e lavar com álcool retificado).

Depois de ter fechado a extremidade do tubo, introduza-o numa latinha contendo água fervendo.

Mantenha o tubinho na fervura durante uns 3 minutos. Dessa maneira, o ar dentro do tubo tomará a temperatura da água em ebulição. Quanto é mesmo?

Você deve evitar que o vapor da ebulição entre no tubinho. Para isso, a extremidade do tubo deve ficar alguns centímetros fora da água e envolvida por uma mecha de algodão.

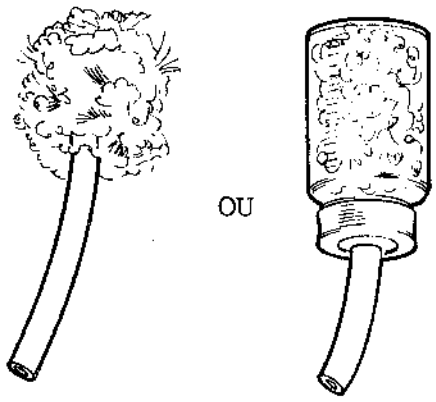


fig. 3.5

Será ainda melhor se você mantiver a extremidade do tubo dentro de um vidrinho de algodão.

Nesse caso, a extremidade do tubinho deve entrar através de um furo feito na tampa (prego quente) do vidrinho.

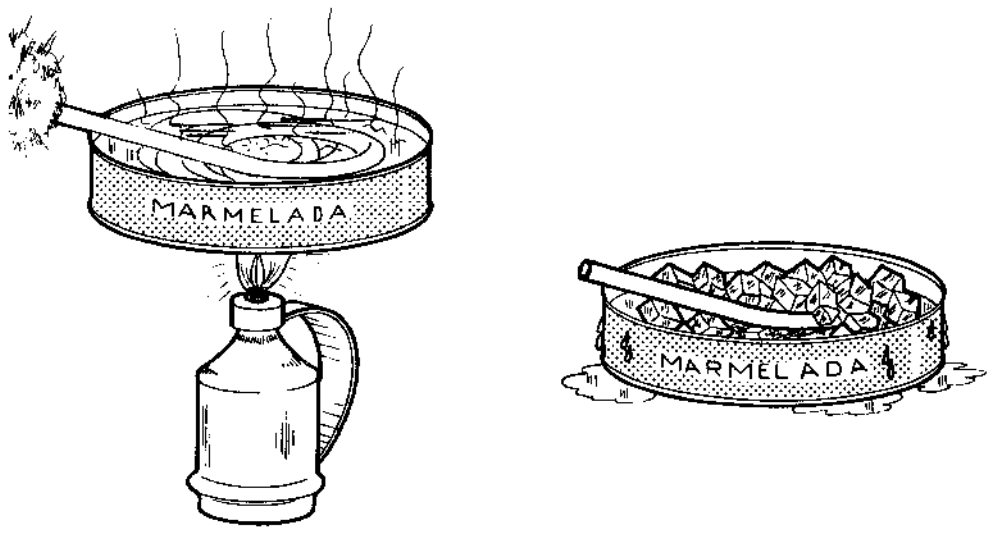


fig. 3.6

Depois de três minutos de fervura, retire a extremidade que estava protegida em algodão e introduza-a em um pouquinho de água colorida (com tinta de escrever). Logo que a água colorida tenha entrado cerca de 1 cm. no tubo, retire o tubo tanto da água colorida como da fervura. Não faça movimentos bruscos com o tubo.

Observe como a gota (água colorida) começa a entrar no tubo. Se você inverte o tubo, faz alguma diferença?

Coloque o tubo dentro de um banho de gelo, sem mergulhar a extremidade aberta. Espere até que a gota não mais

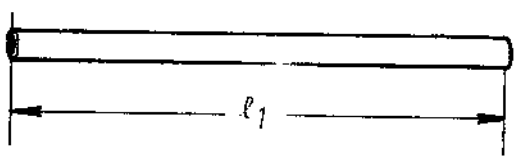
se mova.

Retire o tubo e meça o "comprimento" do gás. Esse comprimento é o que vai da extremidade fechada até a gota (água colorida).

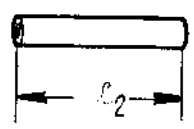
Você dispõe de duas temperaturas, a de ebulição da água e a da fusão do gelo. Essas duas temperaturas são chamadas de **pontos fixos** e são muito importantes para se definir uma escala de temperaturas. Esses pontos são as **referências** fundamentais. Na escala Celsius (centígrado) essas temperaturas recebem os "nomes" de $100^{o}C$ e $0^{o}C$, respectivamente.

Dispondo agora desses dois pontos fixos e sabendo que todos os gases se comportam de maneira semelhante, você pode determinar a temperatura em que todos os gases teriam seu volume reduzido a ZERO. Essa temperatura é definida como o ZERO absoluto de qualquer escala. Você agora vai determinar em que lugar da escala Celsius está esse ZERO de qualquer escala absoluta.

Faça um gráfico onde o eixo vertical representa as temperaturas e o eixo horizontal representa os volumes do gás. Neste caso, não será preciso medir os volumes porque, num tubo (cilindro), os volumes são proporcionais aos comprimentos. Você já percebeu por que? Por isso escolhemos um tubo em lugar de outro recipiente).



$V_1 = \Pi R^2 \ell_1$



$V_2 = \Pi R^2 \ell_2$

fig. 3.7

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\Pi R^2 \ell_1}{\Pi R^2 \ell_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$$

Depois de ter traçado os eixos e escolhido a escala para cada um deles, situe os dois pontos: temperatura da fervura e comprimento do gás nessa temperatura (comprimento total do tubo). O outro ponto é dado pela temperatura do gelo fundente e "comprimento" do gás nessa temperatura. Esses dois pontos determinam a reta que descreve o comportamento do ar e de qualquer outro gás. (Enquanto não deixar de ser gás).

Seu próximo trabalho será ver a que temperatura, no seu gráfico, o gás teria volume (comprimento) ZERO.

Como você vai fazer?

Se o gás, enquanto gás tiver o mesmo comportamento, este será representado pela mesma reta. A reta que une os dois pontos que você marcou. Então você deverá prolongar a reta para obter os volumes que o gás teria em temperaturas quaisquer.

Qual seria o volume (comprimento) da coluna de gás (ar) a 40°C?

Qual seria o volume (comprimento) da coluna de ar a 200°C, pelo seu gráfico?

Qual seria o "comprimento" do seu gás a 100°C?

Em que temperatura da escala Celsius o comprimento de sua coluna de ar se reduziria a ZERO?

Você obterá um número nas proximidades de -273°C. É a esta temperatura que o volume de qualquer gás se reduziria a ZERO. O valor que você obteve provavelmente difere deste. Isso não importa. Queremos que você tenha entendido a idéia e tudo que você fêz.

Se você estiver interessado, poderá entender ainda mais e melhor.

1. Que você obterá esse mesmo ponto qualquer que fosse a escala em que foi medida a temperatura tanto da ebulição quanto do gelo fundente (derretendo).

2. Que você pode criar qualquer escala absoluta. A única condição para que uma escala seja absoluta é que o seu ZERO es

teja nesse ponto que você acaba de determinar.

Use o mesmo gráfico que você já fêz e chame, com os números que você quiser, as temperaturas de ebulição e gelo fundente. Essa escala poderá ter o seu nome. Com seu nome essa escala é tão certa quanto qualquer outra. Só não é, ainda, muito conhecida. Prolongue essa escala com seus valores até o ponto que corresponderia ao ZERO absoluto, definido na sua escala. Sua escala é tão legítima quanto qualquer outra. Como a Celsius por exemplo. Só que não é uma escala absoluta, como a escala Celsius também não é.

Se você quiser criar uma escala absoluta também é fácil. A única condição é que ela tenha o seu ZERO na temperatura em que o gás teria o volume ZERO, a pressão constante. Esse valor é o que você já determinou tanto na escala Celsius ($-273^{o}C$) como na sua escala.

Qualquer escala que tenha o ZERO nessa temperatura e seja linear, isto é, tenha divisões iguais é uma escala absoluta.

É por essa razão que a temperatura de um corpo na escala Kelvin é a temperatura em graus Celsius mais 273. Isso equivale a baixar o eixo dos volumes para $-273^{o}C$. Esse ponto recebe então o nome de 0° Kelvin.

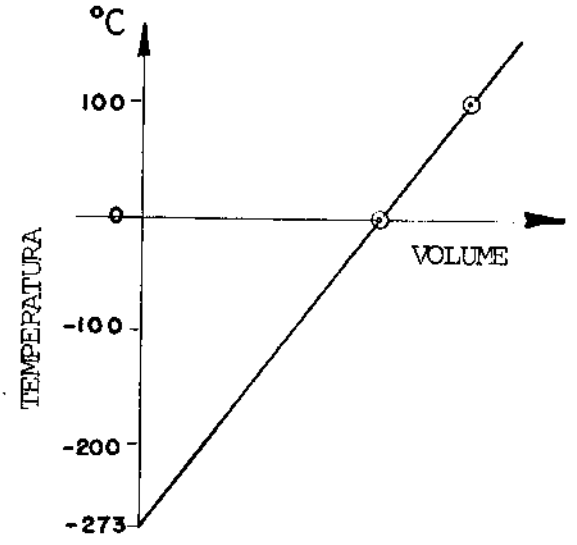


fig. 3.8

CAPÍTULO 3 - O COMPORTAMENTO DOS GASES

3.2 - MAIS ALGUMAS PROPRIEDADES DOS GASES

Você conhece uma série de propriedades comuns a todos os gases.

Você já sabe também que algumas dessas propriedades, como volume, pressão e temperatura estão ligadas umas às outras. No entanto, talvez você ainda não saiba como essas grandezas estão ligadas entre si. Vamos usar os fatos conhecidos e com eles tentaremos construir um modelo ou teoria, o que aqui significaria a mesma coisa.

Queremos que você perceba como podemos construir um modelo. Com o modelo, podemos explicar de maneira coerente todos os fatos conhecidos como também poderíamos fazer algumas previsões. Se as nossas previsões forem confirmadas pela experiência dos fatos, é sinal que o nosso modelo está funcionando. Dessa maneira, aprendemos a confiar em nosso modelo. Se as previsões não se confirmarem, nosso modelo deve ser rejeitado ou, pelo menos, reformado.

Vamos então começar a criar o modelo para explicar o comportamento dos gases. Vamos então aos fatos.

1. BAIXA DENSIDADE - Podemos imaginar que os gases sejam constituídos de pequeníssimas partes (átomos ou moléculas) bem separadas umas das outras. Isso por contraposição aos sólidos e líquidos em que a alta densidade deve ser devida à justaposição dessas partes (átomos e moléculas). Isso também leva a pensar que a maior parte do espaço seja vazio dentro do gás. Quase todo o espaço não teria nada.

2. GRANDE MOBILIDADE - Essa propriedade também poderia ser explicada pelo grande espaço livre entre as partículas que constituem o gás. Se há muito espaço livre, as partes podem se mover livremente. Ao contrário do que ocorre nos

sólidos em que as partículas estão presas umas às outras. Nos líquidos não estariam presas, mas para mover-se deveriam esfregarem-se umas contra as outras. Esse atrito entre as moléculas, quando o líquido se desloca, o que, em geral, se chama de viscosidade, é um atrito de escoamento.

3, DIFUSÃO - A grande facilidade com que os gases se interpenetram ou se espalham sugere mesmo que eles sejam formados por partículas entre as quais há espaço livre. E mais... isso sugere que, além do espaço livre, há também movimento. Aparece aqui então a necessidade de que as nossas partículas, que constituem os gases, devem também estar em movimento.

4. GRANDE COMPRESSIBILIDADE - Se existem muitos espaços livres entre as partículas que constituem o gás(átomos e moléculas) quando o comprimimos, essas partículas podem ocupar parte desse espaço, ficando mais juntas, o que quase não pode acontecer com sólidos e líquidos onde as partículas já estão juntas ou pelo menos muito próximas.

5. GRANDE ELASTICIDADE - Se admitimos que as partículas do gás estão muito separadas e em movimento, a pressão contra as paredes deve ser o resultado dos choques das partículas contra as paredes do recipiente. Nesse caso, quando comprimimos o gás, reduzimos o seu volume. Consequentemente, deve aumentar o número de choques contra as paredes. Com a rarefação, aconteceria o contrário: diminuiria o número de choques contra as paredes.

6. AUMENTO DA PRESSÃO COM O AQUECIMENTO - Já vimos que, neste nosso modelo, a pressão sobre as paredes do recipiente deve ser por conta dos choques das partículas contra essas paredes. Se o recipiente está fechado, quer dizer que não deve estar aumentando o número de partículas que se chocam contra as paredes. O que poderia causar então o aumento de pressão? Poderia estar aumentando a intensidade do choque contra as paredes. Mas de que coisas depende a "força" com que um corpo

bate contra a parede? - De duas: da massa (m) e da velocidade (v) do corpo. Da massa não deve ser; é pouco provável que as partículas estejam sozinhas aumentando ou diminuindo sua massa. E então o aumento da pressão deve ser por conta da velocidade com que as partículas se chocam contra as paredes. Neste caso,então,temperatura estaria associada a velocidade das partículas do gás.

Se o nosso modelo está certo, o conceito de temperatura,então,está ligado a idéia de velocidade das partículas do gás.

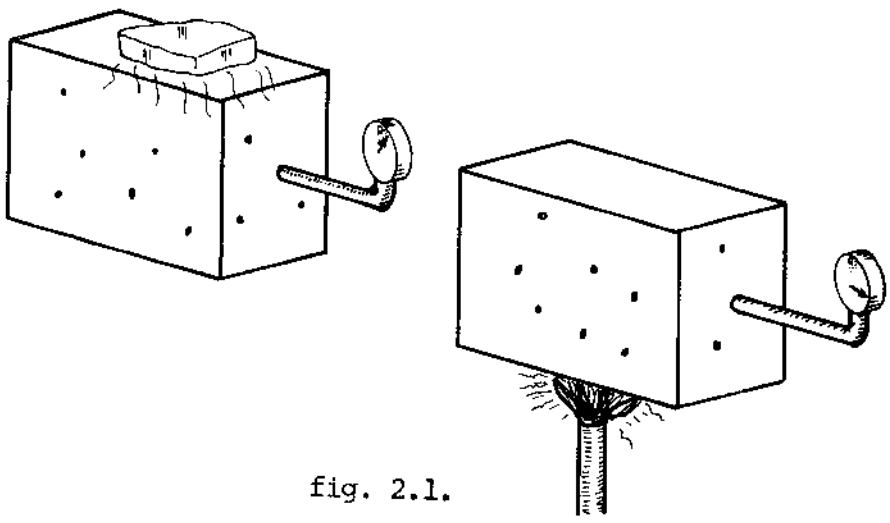


fig. 2.1.

Imaginamos,então,dois recipientes de igual volume (V) e com um número igual de partículas iguais. Quando dizemos que um está mais quente que o outro, imaginamos que, no recipiente mais quente,as moléculas estão com velocidade maior. Se estão com velocidade maior,devem colidir contra as paredes com mais força e devem colidir também mais vezes.

7. GRANDE EXPANSÃO COM O AQUECIMENTO - Segundo o modelo que estamos construindo,o aquecimento corresponde ao aumento da velocidade das partículas. Nesse caso é mesmo de se esperar que o aquecimento provoque a expansão do gás. Choques maiores e mais frequentes empurram mais as paredes do recipiente do gás, se o gás estiver em um recipiente. Se o gás não esti

ver em um recipiente, suas partículas "voam" mais livremente e mais depressa.

8. AQUECIMENTO COM A COMPRESSÃO - O nosso modelo comporta também uma explicação para esse fato. O que acontece se a bola de "ping-pong" vem de encontro a sua raquete parada? Ela bate na raquete e volta com a mesma velocidade (aproximadamente) com que ela bateu. O que faz você quando quer que ela volte com maior velocidade? Você move a raquete ao encontro da bola. Fazendo isso você aumentou a velocidade da bola. Você já deve ter percebido a aplicação desse exemplo ao caso dos gases. Quando movemos, por exemplo, o êmbolo da bomba de bicicleta, estamos trazendo uma parede do recipiente, ao encontro das partículas do gás. Com isso, aumentamos a velocidade delas (partículas). Mas, em nosso modelo, o que quer dizer aumentar a velocidade das partículas? Isso mesmo ! Aumentar a temperatura. Funciona também neste caso o nosso modelo ou teoria.

9. COMPRESSÃO E DISTENSÃO PERFEITAMENTE ELÁSTICAS: - Já sabemos explicar tanto a compressão ou aumento da pressão como a distensão que é o contrário, usando o nosso modelo de PARTÍCULAS EM MOVIMENTO. A pressão é exercida pelos choques das partículas. Se a pressão se mantém sempre, é porque a intensidade dos choques e o número deles continua sempre o mesmo. Mas, isso quer dizer que a velocidade das partículas, na mesma temperatura, se mantém sempre a mesma. Se a velocidade é sempre a mesma, apesar do grande número de choques , é porque esses choques são elásticos. Elástico aqui quer dizer isso: a velocidade antes do choque e depois do choque são iguais. Isso quer dizer que as partículas nunca batem e grudam. Nem diminuem sua velocidade. Elas saltam muito melhor que bolas de "ping-pong". Elas nunca param.

Você já tem até aqui uma série de idéias do que é um modelo e como no caso dos gases funciona esse modelo. No en

tanto,até aqui as nossas explicações foram todas qualitativas.Sabemos já explicar quase todas as propriedades dos gases. Sabemos que volume, pressão e temperatura são grandezas que estão ligadas entre si. Porém,ainda não sabemos como estão ligadas entre si essas grandezas.

Segundo o nosso modelo,a pressão do gás é o resultado dos choques das partículas (moléculas) contra as paredes do recipiente. Se é assim, deve ser importante o número de partículas que está próxima à parede. Em outras palavras: a quantidade de batidas contra uma certa área da parede, depende da concentração das partículas. Concentração das partículas é a relação entre o número (N) de partículas e o volume(V) no qual elas estão contidas. É uma espécie de densidade demográfica ou densidade de população de partículas.

Podemos ter dois recipientes diferentes, isto é, de volumes diferentes. Suponhamos que os dois estejam à mesma temperatura.

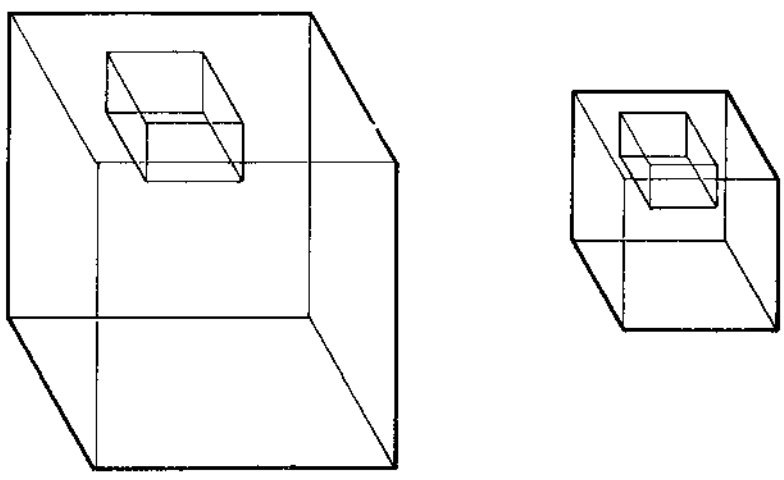


fig. 2.2.

Não importa que temperatura. Se os dois estiverem em contato é o suficiente. Um dos recipientes tem um certo volume V. O outro tem exatamente o dobro, isto é, um volume 2V. Suponhamos que no primeiro recipiente, existisse um número N de partículas de um gás e no segundo recipiente um número 2N de partículas. Nesse caso,nas vizinhanças de um pedaço de parede tan

to do recipiente grande quanto do pequeno haverá um mesmo número de partículas por unidade de volume (N/V).

A concentração de partículas é a mesma, pois,

$$\frac{2\,N}{2\,V} = \frac{N}{V}$$

Isso parece indicar que o N e o V não são importantes isoladamente. O importante parece ser a relação N/V.

Vejamos então como estão ligadas a pressão e a relação N/V. Para facilitar, vamos manter constante a temperatura.

ATIVIDADE: LEI DE BOYLE

Descrição e montagem do experimento. O equipamento que você vai usar para estudar a dependência da pressão em relação à concentração de moléculas é constituído de três partes:

1. Um manômetro que irá medir as pressões. Esse manômetro é constituído por dois tubos plásticos transparentes, paralelos, dispostos verticalmente e conectados em baixo através de um T de vidro e dois pedaços de tubo de borracha (latex cirúrgico). Na parte in

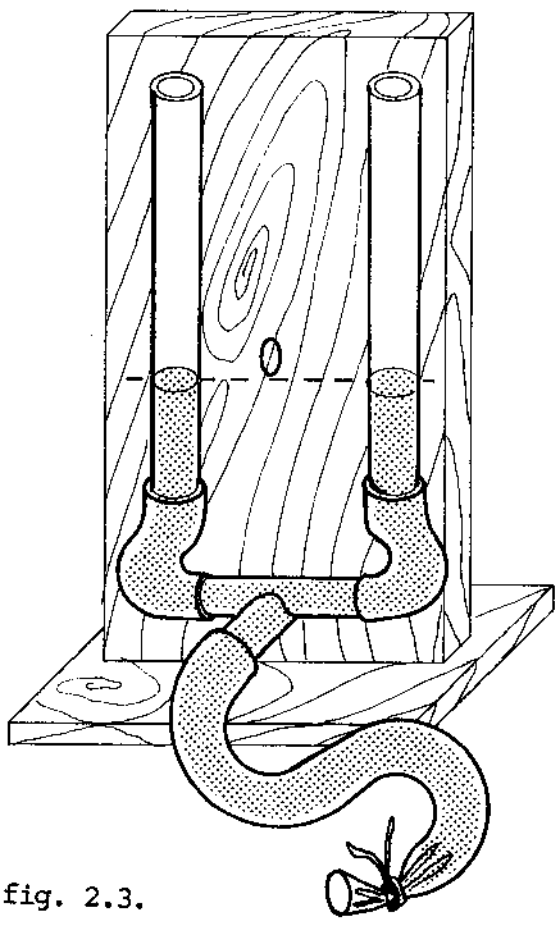


fig. 2.3.

ferior do T está conectada uma borracha com aproximadamente meio metro de comprimento. Através desse tubo de borracha, você deverá colocar água no manômetro. A água deverá encher todo o tubo inferior de borracha e deverá subir até aproximadamente 1/3 da altura dos tubos de plástico. Nessa altura, você poderá fazer um pequeno traço que será a referência ou o ZERO para a contagem das pressões. Colocada a água dentro do manômetro até a altura desejada (1/3 da altura total dos tubos plásticos), a extremidade livre da borracha deverá ser fechada dobrando-a e amarrando-a com um barbante. Se você quiser, poderá colorir a água com algum corante. O conjunto (par de tubos transparentes) deve ficar disposto de maneira vertical e estável.

2. Um recipiente qualquer, que vai conter o gás. Pode ser uma garrafa dessas de refrigerantes, pinga ou cerveja. Sobre a garrafa vai ser aplicada a rolha munida de um T de vidro. De um lado desse T está conectado um tubo de borracha que vai até um dos ramos do manômetro.

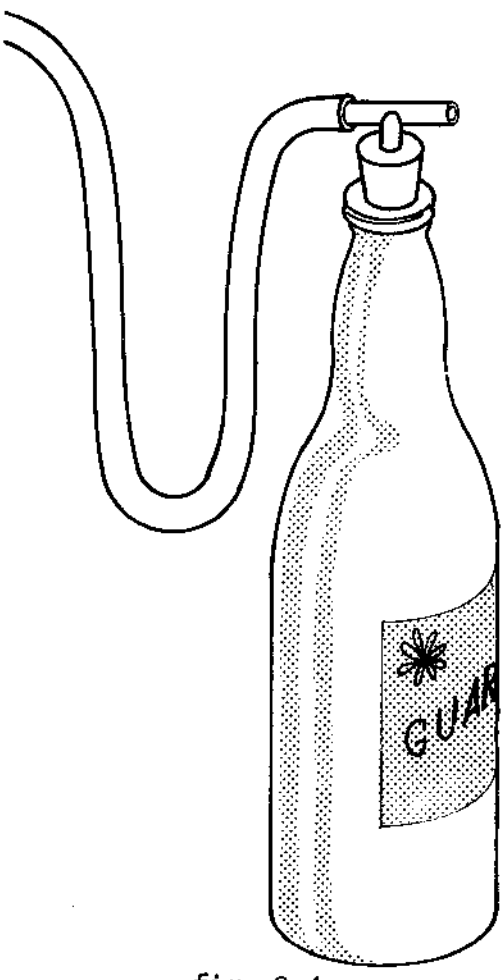


fig. 2.4.

3. Dispositivo para introduzir gás no recipiente. O ideal é dispor de uma seringa de injeções. Esta pode ser de vidro ou plástico, dessas vendidas nas farmácias e que só se usa uma vez. A conexão da seringa de injeção com o volume principal (garrafa) deverá ser feita através do T da rolha e por um tubo de borracha. Um barbante ou uma presilha vai ser usado para fechar a borracha.

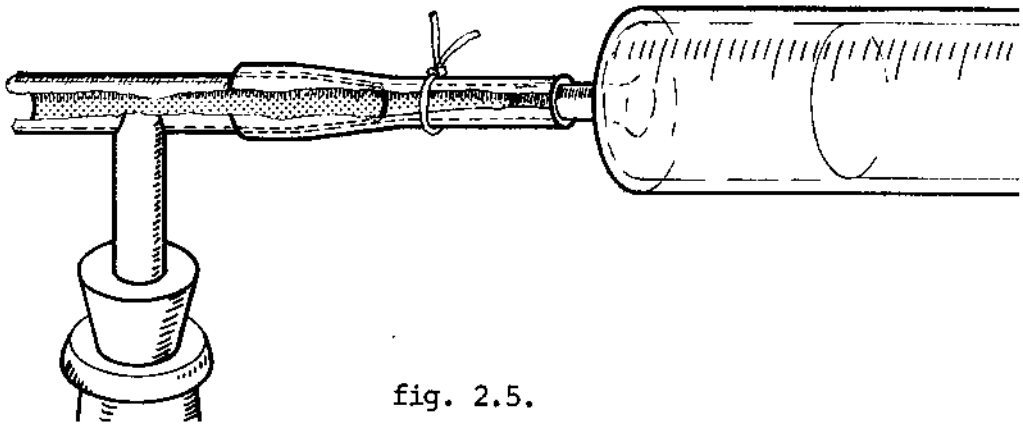


fig. 2.5.

Quando o gás for injetado com a seringa deve-se primeiro adaptar o bico da mesma à borracha, de maneira firme. Só depois solta-se o barbante ou a presilha. Depois disso, comprime-se o gás da seringa para dentro do sistema. Logo em seguida, fecha-se a borracha com o barbante ou a presilha. É importante que todas as conexões estejam bem firmes. Qualquer vazamento de gás compromete os resultados.

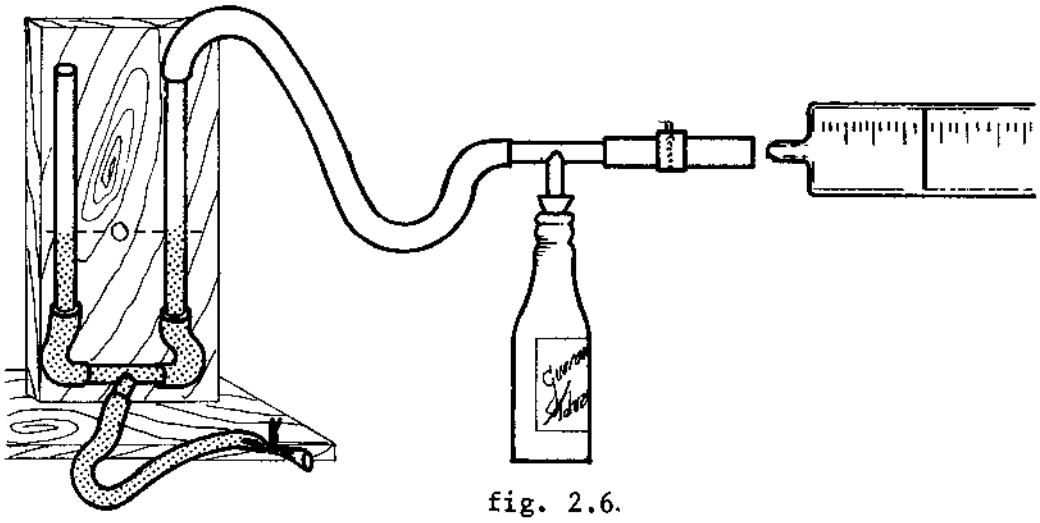


fig. 2.6.

REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS

Você irá colocar "doses" iguais (N) de moléculas de gás (ar é o mais fácil de se obter) dentro de um volume constante. A hipótese que estamos fazendo é que, em igualdade

de pressão e temperatura, volumes iguais contêm números iguais de moléculas. Essa é a hipótese feita por Avogadro e hoje conhecida como lei de Avogadro. A cada "dose" de moléculas que você aplica ao volume (constante) você deverá ler no manômetro a pressão que resultou.

Com os dados que você for obtendo, faça um gráfico da pressão dependente de N/V. As pressões, que você vai colocar no eixo vertical serão medidas em cm de água. Essa altura é sempre tomada a partir do "ZERO" que é o nível da água com o recipiente aberto. Para zerar, isto é, fazer a água da coluna da direita voltar ao nível zero, aperte o tubo de borracha cheio de água e que tem uma extremidade amarrada.

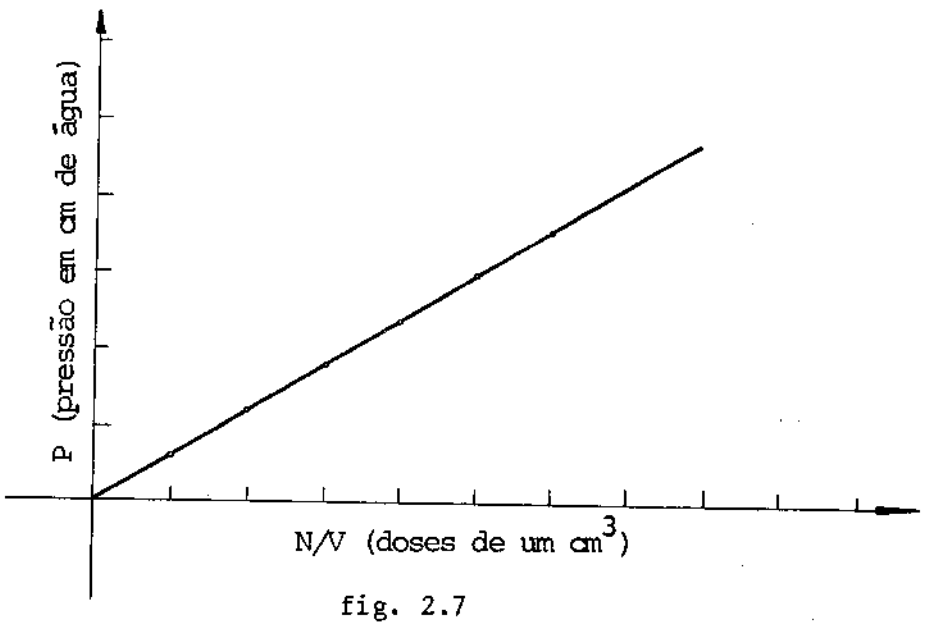


fig. 2.7

"As doses" de moléculas serão colocadas no eixo horizontal. Cada dose de 1 cm^3 poderá corresponder a uma divisão. Se o volume (garrafa) que você está usando é maior que uma garrafa de guaraná (aprox. 300 cm), suas doses poderão ser maiores.

- Não prossiga sem ter feito as medidas de p e N/V e o correspondente gráfico.

Você percebeu que os pontos estão bem alinhados, isto é, sobre uma mesma reta?

Como o V (volume) da garrafa se manteve constante, talvez você não esteja convencido de que as medidas de

penderam também desse volume. É fácil perceber. Reduza à metade o volume do gás (V) e você verá. Para isso, coloque água até a metade da garrafa. Assim o volume será reduzido à metade. Feche novamente a garrafa e coloque uma "dose" de moléculas igual às que você colocou antes. Leia a pressão resultante. Quanto foi?

- Não vá adiante sem ter feito o que se acabou de indicar.

Você verificou que a mesma "dose" provocou agora um aumento de pressão que é o dobro?

Você colocou a mesma "dose" em meio volume. Experimente agora colocar meia dose em meio volume. - Faça mesmo! Você poderia fazer tantas outras, dessas alterações, quanto quisesse. Você percebe que multiplicando (ou dividindo) tanto o volume (V) como a dose (N) pelo mesmo número, obtém-se o mesmo resultado. Isso indica que você está mesmo fazendo variar N/V. Isso se explica facilmente pois,

$$\frac{N}{V} = \frac{2\,N}{2\,V} = \frac{N/2}{V/2} = \ldots$$

O seu gráfico então está indicando que a pressão varia linearmente (reta no gráfico) com a variável N/V, não é?

Ora, se p (pressão) e N/V estão ligados por uma relação linear, isto é o mesmo que dizer que p e N/V são proporcionais

$$p \;\alpha\; N/V$$

Para exprimirmos esse fato em forma de uma igualdade, isto é, de uma equação, temos que adotar uma constante de proporcionalidade

$$p = Cte\; N/V$$

O valor dessa constante depende das unidades em que forem medidos p, N e V.

Podemos adotar uma letra qualquer para representar essa constante de proporcionalidade.

Então poderia ser o Θ (teta), e aí

$$p = \Theta \; N/V$$

Essa expressão a que você acaba de chegar é extremamente importante. Ela permite resolver quase todos os problemas ligados aos gases. Essa é a lei fundamental sobre o comportamento dos gases. Ela é muito importante porque descreve o comportamento não só de um gás. Assim se comportam todos os gases.

Até aqui, nada dissemos sobre quanto frio ou quanto quente estaria o gás enquanto fizemos essa experiência. Será que isso influi?

Na expressão que obtivemos temos p (pressão), N (Nº de moléculas ou doses de moléculas) e o V que é o volume. Talvez Θ, a constante de proporcionalidade entre pressão e N/V, esteja ligada à temperatura, isto é, a propriedade que chamamos de frio ou quente.

Repita o experimento, isto é, coloque certas doses de moléculas e veja qual o aumento, porém, mantendo o gás (a garrafa) a uma temperatura menor.

Você perceberá que, para os mesmos N/V, isto é, para as mesmas doses de moléculas, você obteve pressões menores? Podemos definir temperatura como sendo a constante de proporcionalidade entre p e N/V na lei de comportamento dos gases.

Dessa expressão derivam quase todas as coisas para se descrever o comportamento dos gases. Ela poderia ser escrita também assim:

$$p \, v = \Theta \, N$$

Isso quer dizer que, em um recipiente fechado, o produto p v é constante. Como sabemos que a pressão varia com a temperatura, também podemos ver que o produto p V é o mesmo

para cada temperatura. Para que o produto $p\,V$ se torne ZERO, é preciso que um deles se torne ZERO, ou p ou V.

O que chamamos de ZERO absoluto é justamente o valor de θ em que o produto $p\,V$ se torna ZERO. Você pode verificar com seu aparelho que esse ZERO não é o da escala em graus Celsius, que é a temperatura do gelo fundente.

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

PRÓLOGO

Este capítulo pretende dar a você uma idéia das principais leis da Física que hoje constituem os mais poderosos instrumentos de trabalho no campo da Física.

As leis de conservação podem ser consideradas como as leis mais amplas e gerais de toda a Física. Elas não foram descobertas repentinamente. Elas foram surgindo pelo grande acúmulo de evidências colhidas na experimentação durante muito tempo em muitas áreas diferentes.

É também interessante que, sendo essas leis as mais amplas e as mais importantes, elas não foram descobertas por nenhum cientista individualmente. Não aconteceu com essas leis o que ocorreu com muitas outras. Nenhuma delas foi descoberta por qualquer dos grandes nomes como Galileu, Newton ou Einstein. É também interessante que tanto Galileu como Newton trabalharam tanto em tantas áreas da Física sem ter conhecimento dessas grandes leis. A primeira, talvez a mais usada dessas leis de conservação, a da massa, começou a ser evidente com os trabalhos de Lavoisier ao tempo da revolução francesa: "Na natureza nada se cria e nada se perde; tudo se transforma".

Hoje as leis de conservação constituem as mais importantes ferramentas com que conta a Física para resolver muitos dos seus grandes problemas.

*** ***

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

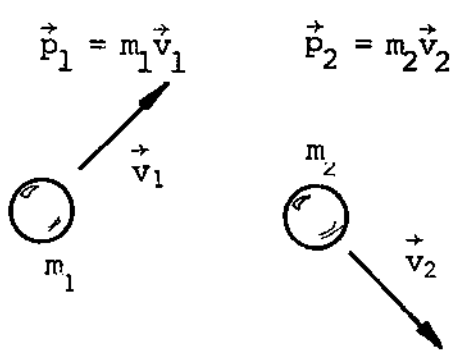
4.1 - A CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Para se entender bem o sentido desta importante lei de conservação, é fundamental que esteja bem claro o conceito de quantidade de movimento.

Chamamos de quantidade de movimento ($\vec{p}$) ao produto da massa (m) de um corpo pelo **vetor** velocidade desse corpo ($\vec{v}$). Então,

$$\vec{p} = m \times \vec{v}$$

Essa definição indica que a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial, isto é, uma grandeza que tem **módulo** (tamanho), **direção** e **sentido**. O módulo é o produto da massa pela velocidade. A direção e o sentido são dados pelo vetor velocidade.



$$m_1 = m_2$$
$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2|$$

fig. 1.1

Por exemplo, imaginemos duas bolas com massas iguais e o módulo de suas velocidades iguais, porém com direções diferentes.

As duas bolas têm quantidades de movimento diferentes, ou

$$\vec{p}_1 \neq \vec{p}_2$$

Quando apenas os sentidos das velocidades são diferentes, as duas quantidades de movimento podem se anular. Isso porque a soma de vetores de igual módulo (tamanho) e sinais

contrários é nula.

Como outras grandezas, a quantidade de movimento pode ser expressa em diferentes unidades, tanto para a massa como para a velocidade. No entanto, é preferível que a massa seja expressa em quilogramas (kg) e a velocidade em metros por segundo (m/s). Estas unidades pertencem ao sistema MKS que é o sistema mais usado na Física e o único sistema legalmente adotado no Brasil.

Afinal, em que consiste essa importante lei da conservação da quantidade de movimento? - Essa lei diz o seguinte:

NA AUSÊNCIA DE FORÇAS EXTERNAS, A QUANTIDADE DE MOVIMENTO DE UM SISTEMA PERMANECE CONSTANTE.

Imagine uma bola bem redonda e lisa rolando sobre uma superfície bem plana. Se nenhuma força externa atuar sobre a bola, sua quantidade de movimento não se altera. Até aqui, nada de novo. A primeira lei da mecânica ou lei da inércia também diz isso e foi descoberta por Galileu no início do séc.XVII.

Imagine agora que a bola leva dentro de si uma bomba que explode durante o movimento. A explosão faz com que pedaços da bola se espalhem por todas as direções. Ainda assim, a quantidade de movimento da bola permanece constante, mesmo depois da explosão. Isso se nenhuma força externa agir. A quantidade de movimento da bola (antes da explosão) é igual a soma vetorial das quantidades de movimento dos estilhaços da bola depois da explosão.

Nessa explosão da bola há uma outra coisa interessante. Há um ponto especial que "não toma conhecimento da explosão", se nenhuma força externa agir. Esse ponto especial é que se chama CENTRO DE MASSA.

É fácil para você imaginar que se a bola lisa não é "atrapalhada", ela seguirá sempre com a mesma velocidade. Como sua massa não varia, se a velocidade não se altera, a quantidade de movimento também não se altera. Também é fácil imaginar o que é o centro de massa antes da explosão da bola; é o centro

da própria bola. É o centro da massa que está distribuída ao redor do centro da própria bola. E quando a bola já não existe mais ? - Acontece que com a explosão, alguns pedaços foram empurrados para frente ao mesmo tempo que outros foram empurrados para trás. A soma vetorial das quantidades de movimento continua igual.

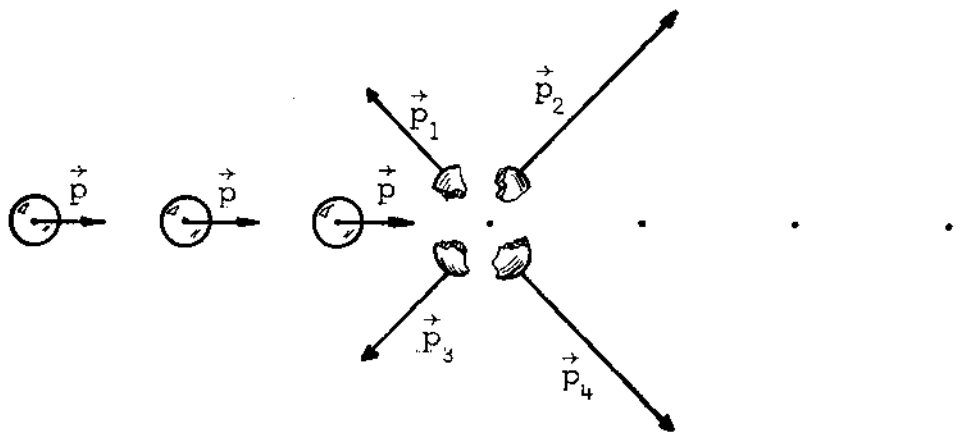


fig. 1.2

O centro de massa já não coincide com nenhum ponto material. Mesmo assim ele continua a existir e com a mesma velocidade que tinha antes da explosão.

No caso em que a bola está livre de outras forças, ela pode ser chamada de **SISTEMA ISOLADO.** Se nenhuma força externa age, o conjunto dos pedaços depois da explosão continua a ser um **SISTEMA ISOLADO.** Uma explosão é constituída de forças **internas.** Por essa razão, a explosão não altera a quantidade de movimento do sistema. O que se altera é a quantidade de movimento de cada pedaço.

Cada parte adquiriu uma quantidade de movimento para trás ou para frente, à custa do que, outra parte, adquiriu para frente ou para trás respectivamente.

Examinemos agora um caso, bem simples em que essas idéias podem ser bem percebidas. Imagine dois carrinhos que podem andar livremente sobre uma superfície bem lisa e plana.

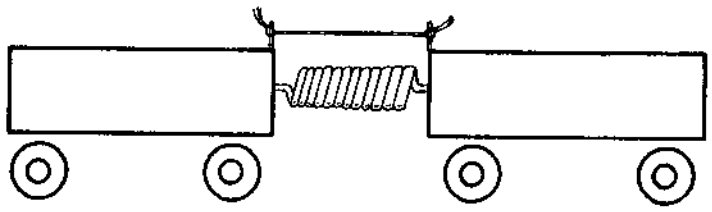


fig. 1.3

Entre os dois carrinhos há uma mola comprimida. Os dois carrinhos estão amarrados um ao outro de tal modo a manter comprimida a mola entre eles. Os carrinhos estão parados.

A quantidade de movimento do sistema formado pelos dois carrinhos é ZERO. O centro de massa do sistema é o ponto entre eles, e está em repouso. Agora você corta o barbante. Nessa "explosão" cada um dos carrinhos é empurrado para cada lado.

A quantidade de movimento do sistema continua a mesma de antes, o ZERO. O que um ganhar para um lado, o outro ganhou em sentido oposto, ou seja, com sinal contrário.

A lei de conservação da quantidade de movimento é extremamente útil porque se aplica a casos de todas as proporções. Ela vale para os maiores objetos que conhecemos, que são as estrelas, como também para partículas sub-atômicas.

Na astronomia, por exemplo, existe casos muito interessantes de aplicação dessa lei. Você já deve ter visto ou pelo menos ouvido falar do Sirius, a estrela que aparece mais brilhante no céu. Ao tempo em que Newton publicava suas leis da mecânica, os astrônomos estavam percebendo que aquela estrela, com o passar dos anos, se deslocava pelo céu. O curioso é que o movimento dessa estrela era em "zigue-zague".

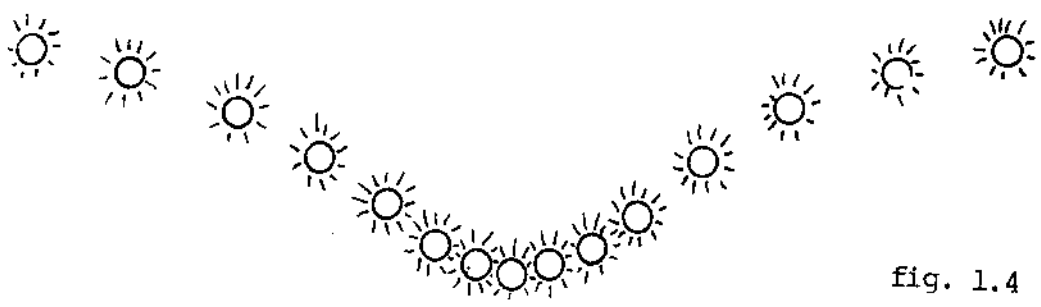


fig. 1.4

Sabendo-se que essa estrela está muito longe de qualquer influência, ela pode ser considerada como parte de um sistema isolado, isto é, livre de forças externas. Mas um sistema isolado não deve andar em "zigue-zague". Se não existem forças externas, a quantidade de movimento do sistema se conserva. O centro de massa do sistema deveria então ter um movimento retilíneo e uniforme. Esse conhecimento sugeriu aos astrônomos que o sistema deveria ser composto por alguma parte invisível. Seria possível então explicar o "zigue-zague" feito pela estrela Sirius, admitindo-se que ela tenha uma <u>companheira invisível</u>. Observe como tudo fica explicado, admitindo-se a existência de outra estrela que forme junto com Sirius uma estrela dupla.

A quantidade de movimento do sistema se conserva e a velocidade do centro de massa se mantém constante.

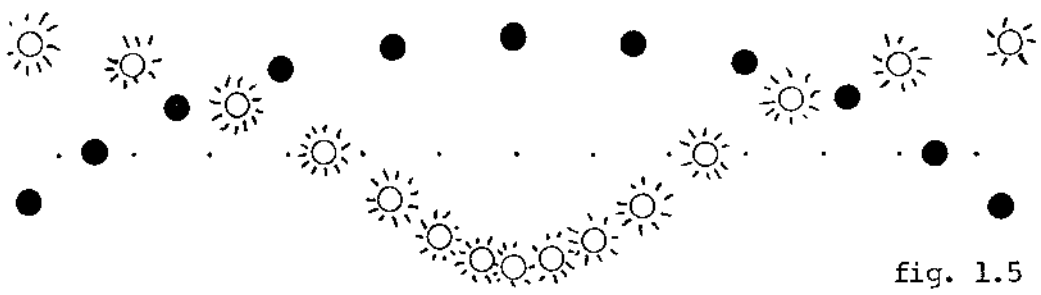


fig. 1.5

Realmente descobriu-se depois que existia essa <u>companheira de Sirius</u>. É uma estrela de grande massa mas de pequeno volume e fraco brilho. Por essa razão ela não havia sido vista antes. Ela foi descoberta graças ao conhecimento da Lei de Conservação da Quantidade de Movimento.

Foi também o conhecimento desta importante lei que permitiu que Chadwick descobrisse o neutron em 1934.

A lei da conservação da Quantidade de movimento é uma das grandes ferramentas teóricas que nos permitem entender, descrever e prever muitos fatos, mesmo que eles não sejam visíveis como é o caso das partículas que constituem o átomo.

ATIVIDADE: VERIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Você vai analisar a primeira série de esquema de fotografias estroboscópicas para verificar se a quantidade de movimento do sistema formado por dois carrinhos antes do choque é igual à quantidade de movimento do sistema dos carrinhos depois do choque.

Com a segunda série de fotografias estroboscópicas você vai verificar, também, se houve conservação da quantidade de movimento do sistema constituído pelas duas bolinhas antes e depois do choque. Note agora que o choque se deu em duas dimensões, isto é, num plano.

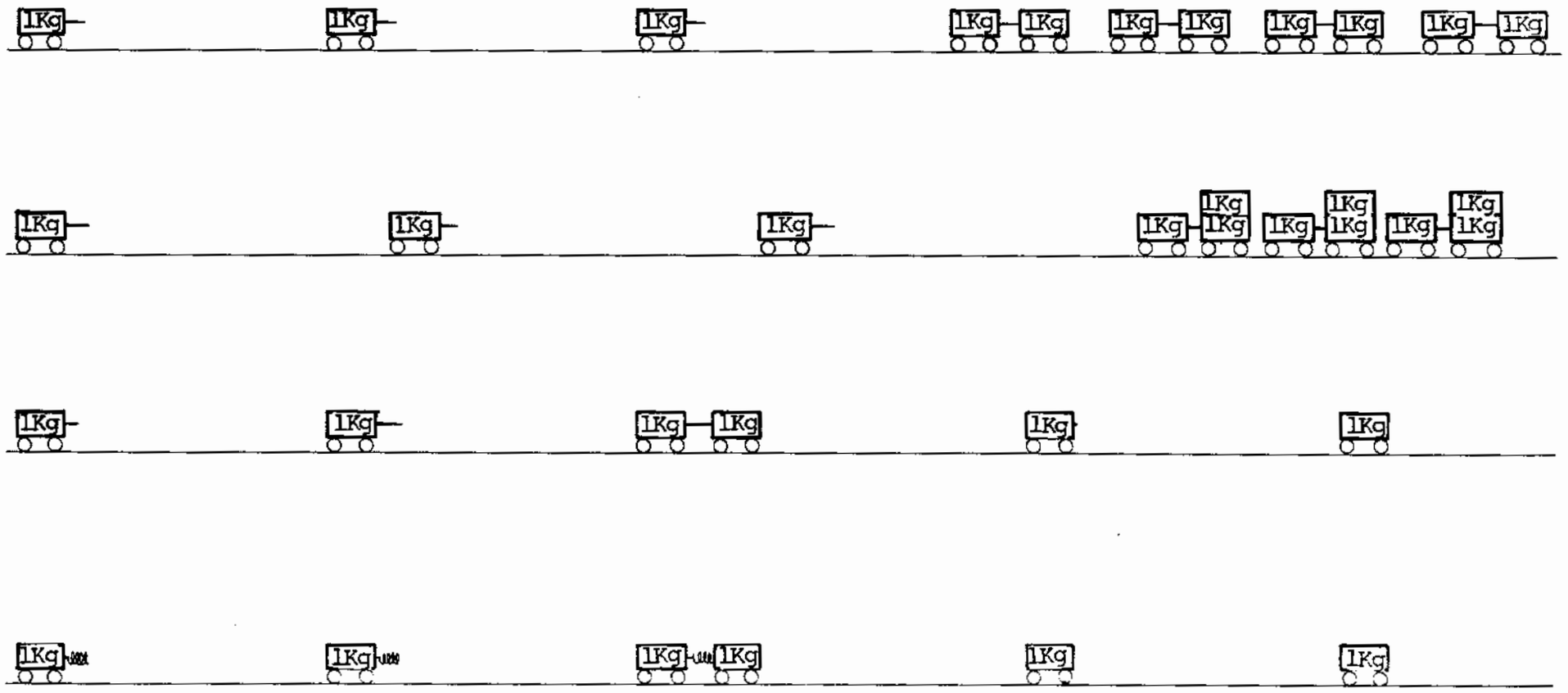
Não se esqueça que você está trabalhando com uma grandeza vetorial e, portanto, você terá que verificar a conservação de $\vec{p}$, isto é, se a soma vetorial de $\vec{p}$ antes da colisão é igual à soma vetorial de $\vec{p}$ depois da colisão. Outra maneira seria verificar a conservação das componentes de $\vec{p}$ nos eixos x e y do plano.

Você percebeu que a quantidade de movimento se conserva, não dependendo da massa das bolinhas nem do tipo de choque (elástico ou inelástico)? Choque elástico é aquele onde há a conservação da energia cinética (de movimento) do sistema antes e depois do choque. Choque inelástico é o contrário.

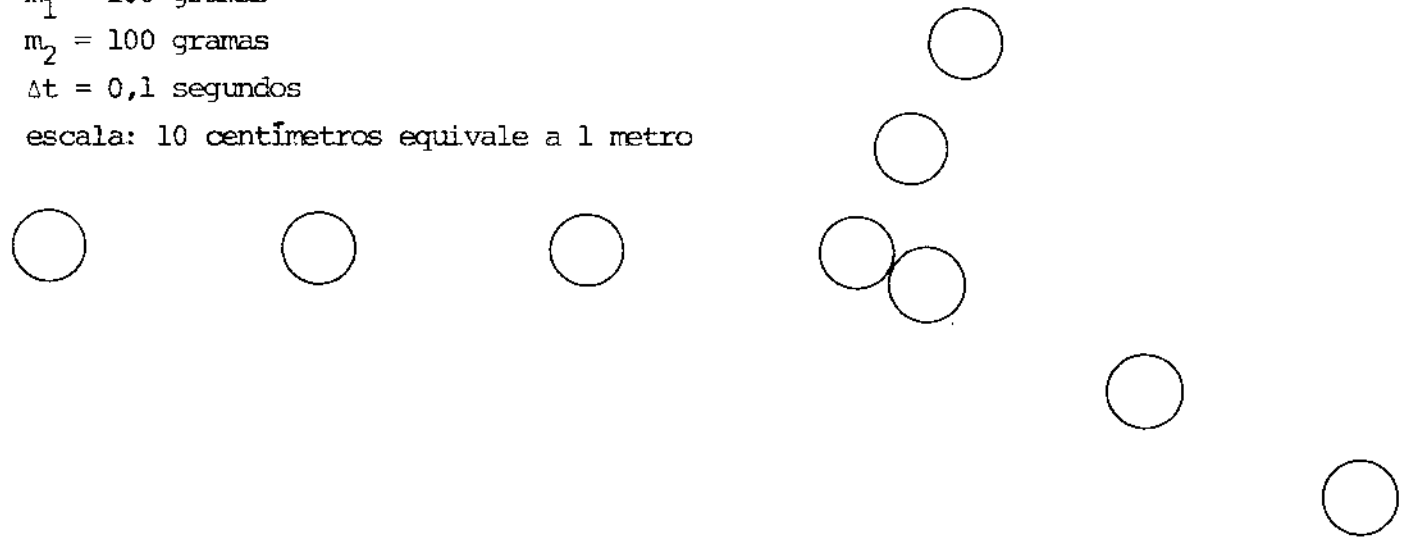
Você vai determinar também nas duas séries de fotografias como deve ser o movimento do centro de massa.

escala: 10 centímetros equivale a 1 metro

$\Delta t = 0{,}1$ segundos

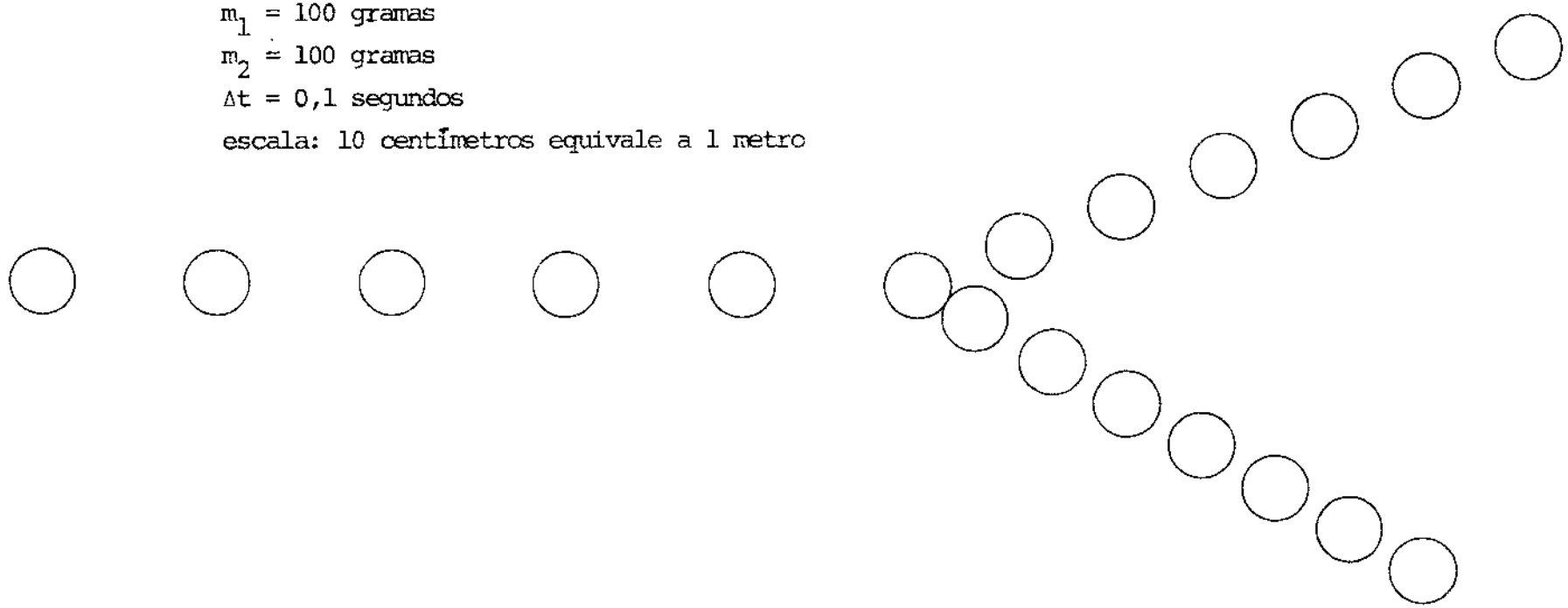


m_1 = 100 gramas
m_2 = 100 gramas
Δt = 0,1 segundos
escala: 10 centímetros equivale a 1 metro

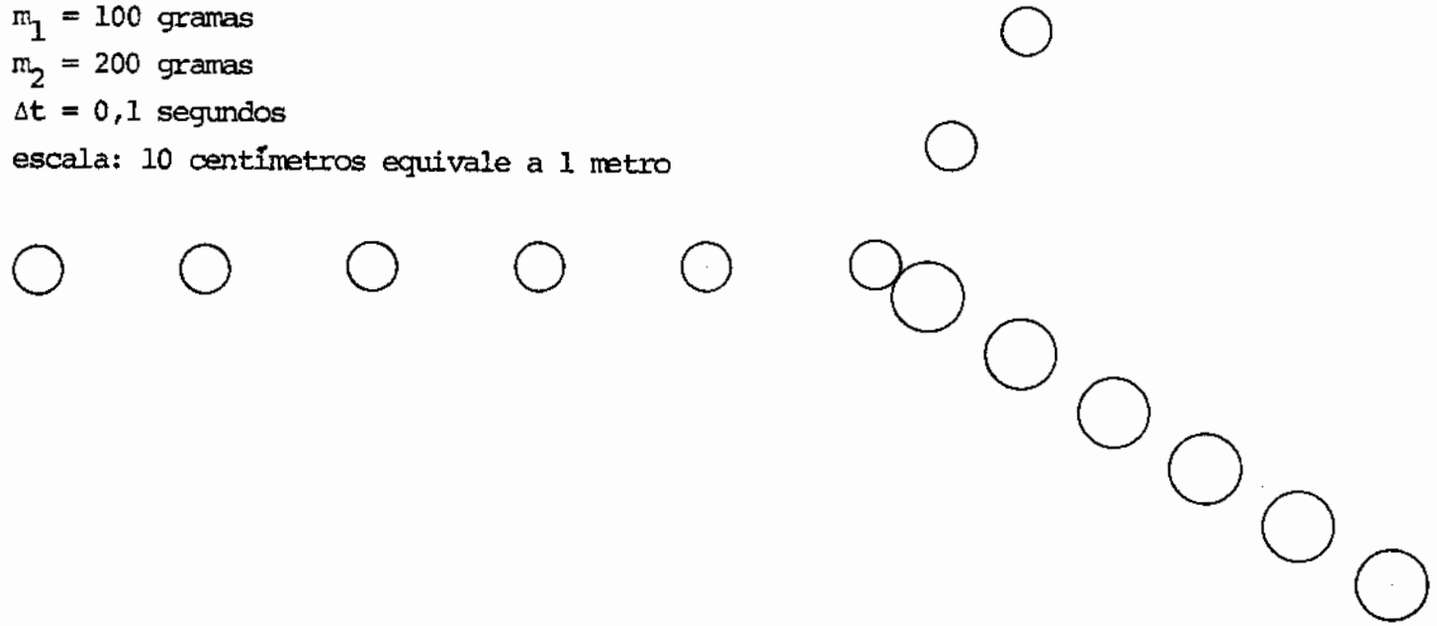


4.1.9

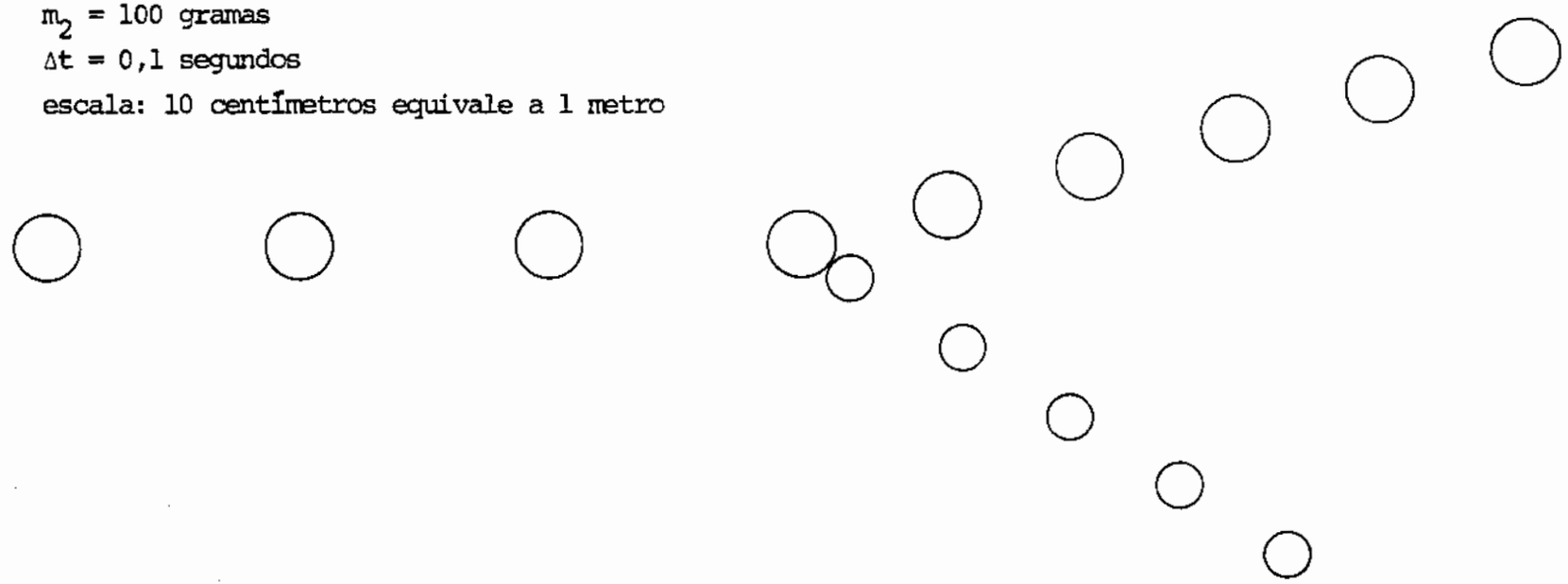
m_1 = 100 gramas
m_2 = 100 gramas
Δt = 0,1 segundos
escala: 10 centímetros equivale a 1 metro



m_1 = 100 gramas
m_2 = 200 gramas
Δt = 0,1 segundos
escala: 10 centímetros equivale a 1 metro



m_1 = 200 gramas
m_2 = 100 gramas
Δt = 0,1 segundos
escala: 10 centímetros equivale a 1 metro



AÇÃO E REAÇÃO

Você já deve ter ouvido falar numa lei que até agora não mencionamos: a 3a. lei de Newton ou lei da ação e reação. Essa lei diz o seguinte: a toda ação (força) corresponde uma reação (força) igual e contrária . Esta lei está inseparavelmente ligada à lei da conservação da quantidade de movimento. Admitida uma delas, a outra segue-se como consequência. Se admitirmos conhecida a lei de conservação da quantidade de movimento, a lei da ação e reação pode ser deduzida da primeira . Se, ao contrário, admitirmos como conhecida a lei da ação e reação a conservação pode ser obtida por dedução.

Alguns exemplos ajudarão você a entender o que é essa lei de ação e reação. Quando empurramos um carrinho para frente (ação), somos também empurrados (reação) para trás. Quando o remo empurra (ação) a água para trás, a água empurra o remo para frente (reação). Quando o carro empurra o chão para trás (ação), o chão empurra o carro para frente (reação) . Quando o foguete empurra os gases para trás (ação), os gases empurram o foguete para frente (reação).

É importante notar que a ação se aplica sobre um corpo e a reação sobre outro. Ação e reação nunca se aplicam sobre o mesmo corpo. No caso do foguete, a ação é sobre os gases, a reação é sobre o foguete.

Considere outro tipo de exemplo:

Uma maçã cai devido ao peso. Peso é a força com que os corpos são atraídos pela Terra. Essa força está dirigida para o centro da Terra. Neste caso, se chamamos de ação a força (peso) com que a maçã é atraída pela Terra, a reação é a força com que a Terra é atraída pela maçã. A ação é a força sobre a maçã, a reação é a força com que a maçã atrai a Terra.

Sim senhor, a maçã atrai a Terra com força igual à força com que a Terra atrai a maçã. Apenas o sinal das forças é diferente. Isto quer dizer que os sentidos são contrários.

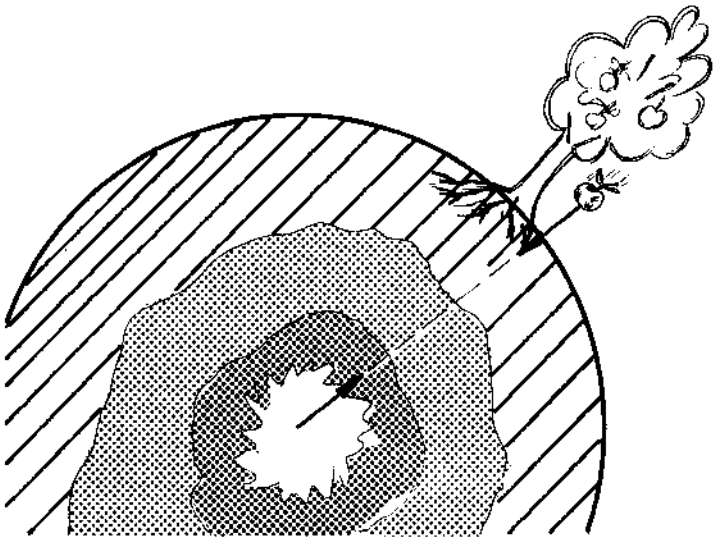


fig. 1.6

Imagine ainda o exemplo dos dois carrinhos entre os quais houve uma explosão.

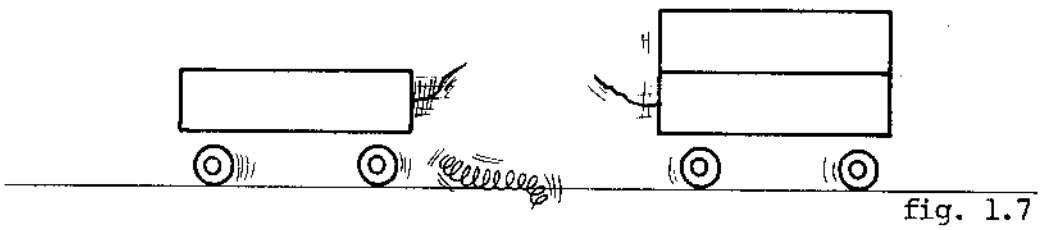


fig. 1.7

Mesmo que os dois carrinhos sejam diferentes, a força exercida sobre ambos é igual.

O mesmo ocorre se um "forte" e um "fraco" puxam as extremidades de uma mesma corda.

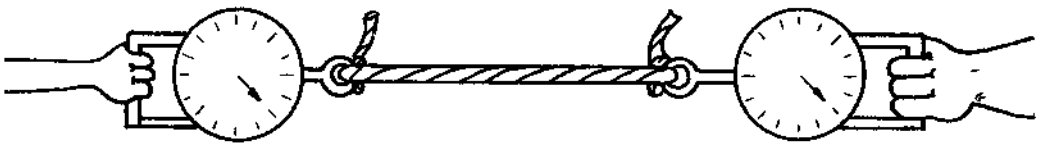


fig. 1.8

Por maior que seja a diferença de "força" dos dois "puxadores", os dois dinamômetros marcarão os mesmos valores pois,

A AÇÃO É IGUAL E CONTRÁRIA À REAÇÃO.

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Esperamos que os exemplos dados anteriormente sobre ação e reação tenham permitido que você entenda o significado dessa terceira lei de Newton. Poderíamos também dizer que, quando "fazemos força", estamos "fazendo" sobre, pelo menos, dois corpos. Quer dizer que nunca aparecem forças isoladas, isto é, forças que agem sobre um só corpo. As ações são sempre, ações entre, pelo menos, dois corpos. Por essa razão, seria mais adequado chamar-se de interações (ações entre).

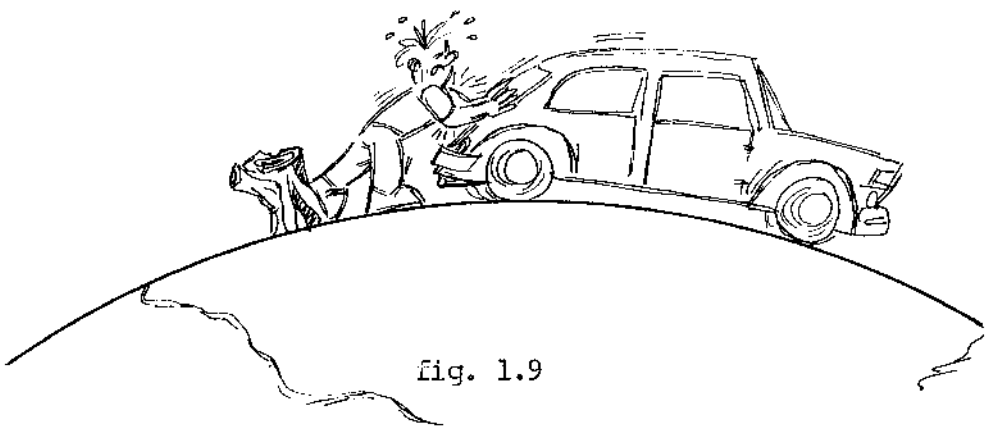


fig. 1.9

Quando você empurra o carro, você está realmente fazendo força entre o carro e a Terra.

Quando levantamos um objeto do chão, estamos é separando dois corpos que se atraem: objeto levantado e a Terra. Temos que agir entre os dois corpos que se estão atraindo. Nossa ação é entre os dois: é uma interação.

Já que você está interessado em saber um pouco mais, queremos que você perceba como a terceira lei de Newton (ação e reação) e a conservação da quantidade de movimento (linear) estão ligadas.

Dessas duas leis, uma pode ser obtida partindo-se da outra.

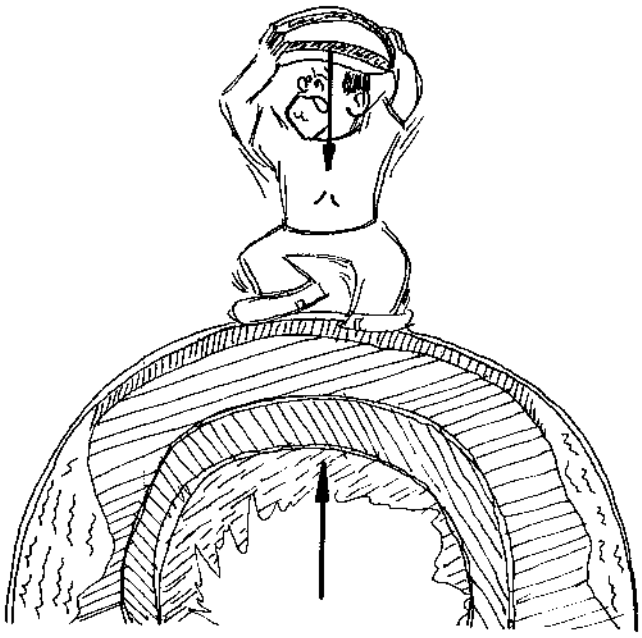


fig. 1.10

Imagine dois garotos sentados, cada um em um carrinho.

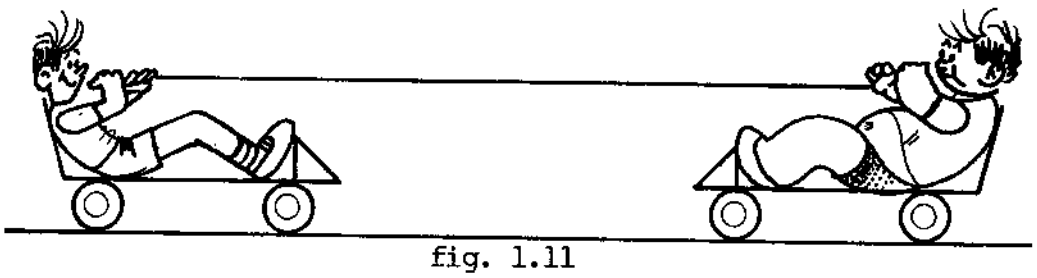


fig. 1.11

Ambas as cadeiras deslizam com pouco atrito sobre uma superfície horizontal e lisa. Os garotos são bem diferentes. O da direita pesa o dobro e é muito mais forte que o da esquerda.

Num certo instante, ordenamos aos garotos que puxem com toda força, cada um em uma das extremidades da corda Se você chamar a força feita por um deles (qualquer), de AÇÃO, a do outro será a REAÇÃO. Segundo a terceira lei de Newton, as duas, AÇÃO e REAÇÃO, são iguais. Os dinamômetros que estão nas extremidades da corda puxada comprovam isso.

Vejamos como a igualdade da ação e reação pode ser comprovada, partindo-se da lei da conservação da quantidade de movimento. Para isso, vamos considerar a quantidade de movimento do sistema constituido pelos dois corpos: cada garoto com seu carrinho. Os carrinhos que estavam em repouso ($v = 0$), vão

adquirir uma certa velocidade numa direção, o outro noutra. Antes de se puxarem, cada um tinha quantidade de movimento ZERO. A quantidade de movimento do sistema, constituído pelos dois também era ZERO.

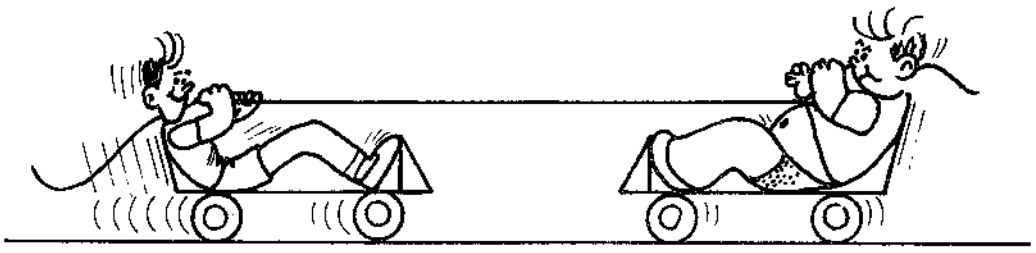


fig. 1.12

Δp é a alteração da quantidade de movimento de cada um. A alteração total da quantidade de movimento será a soma das alterações dos dois.

Como a quantidade de movimento do sistema se conserva, a alteração é ZERO.

Como

$$\Delta P = \Delta_{p1} + \Delta_{p2} = 0$$

Então

$$\Delta p_1 = -\Delta p_2$$

Por outro lado, já sabemos que a alteração da quantidade de movimento é também o impulso, ou seja

$$\Delta p = f \Delta t \qquad \text{e daí}$$

$$\Delta p_1 = f_1 \Delta t$$

e

$$\Delta p_2 = f_2 \Delta t \qquad \text{mas então}$$

$$f_1 \cancel{\Delta t} = - f_2 \cancel{\Delta t}$$

Então

$$f_1 = - f_2$$

Concluimos então que as forças que atuaram so

bre cada um (f_1 e f_2) são iguais. Elas são apenas diferentes no sinal (-), isto é, no sentido. Os sentidos são contrários.

Você acaba de perceber que, mesmo que um seja mais "forte" que o outro, as forças que atuam sobre ambos são iguais. É aliás o que marca os dinamômetros colocados na mão de cada um.

Você acabou de deduzir a terceira lei de Newton (ação é igual e contrária à reação) a partir da lei de conservação da quantidade de movimento. Poderíamos fazer o contrário, isto é, deduzir a lei de conservação da quantidade de movimento, a partir da terceira lei de Newton. Seria apenas fazer o mesmo porém na ordem inversa.

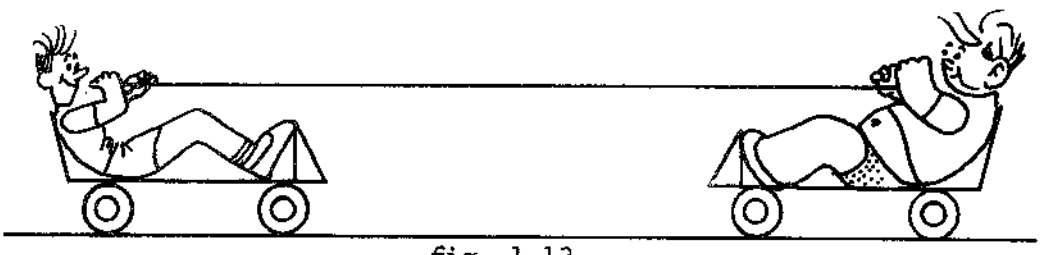


fig. 1.13

Pela terceira lei de Newton, sabemos que as forças (ação e reação) são iguais e contrárias. Se chamamos de f, a força exercida por um, a força sobre o outro será - f.

ou $f_1 = -f_2$

multiplicado por Δt , $f_1 \Delta t = - f_2 \Delta t$

mas $f_1 \Delta t = \Delta p_1$

e $f_2 \Delta t = \Delta p_2$

Então $\Delta p_1 = - \Delta p_2$

ou $\Delta p_1 + \Delta p_2 = \Delta P = 0$

Se Δp que é a variação total da quantidade de movimento é ZERO, é porque essa quantidade permaneceu a mesma, isto é, se conservou. Assim você pode também chegar à lei de conservação da quantidade de movimento, partindo da terceira lei de Newton.

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

4.2 - CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR

Você já deve conhecer ou pelo menos ter ouvido falar na lei das áreas de Kepler. Essa é uma das três importantes leis descobertas por aquele astrônomo sobre os movimentos dos planetas. Apesar da importância da descoberta dessa lei das áreas, Kepler julgava tratar-se de uma lei peculiar ao movimento dos planetas. Certamente, esse que pode ser chamado de o pai da mecânica celeste não pensava ter descoberto uma lei geral como é a lei das áreas.

Afinal, o que diz a lei das áreas de Kepler?

A RETA QUE UNE O SOL A UM PLANETA, VARRE ÁREAS IGUAIS EM TEMPOS IGUAIS.

Essa mesma lei poderia ser enunciada de forma um pouquinho diferente, mas com o mesmo sentido:

A RETA QUE UNE O SOL A UM PLANETA VARRE ÁREAS QUE SÃO PROPORCIONAIS AOS TEMPOS.

Essa lei de Kepler se tornou conhecida juntamente com outras duas leis do mesmo autor, para os movimentos dos planetas. Uma dessas outras leis, a 1ª, diz que os planetas descrevem órbitas elíticas (que são elípses) nas quais o Sol ocupa um dos focos.

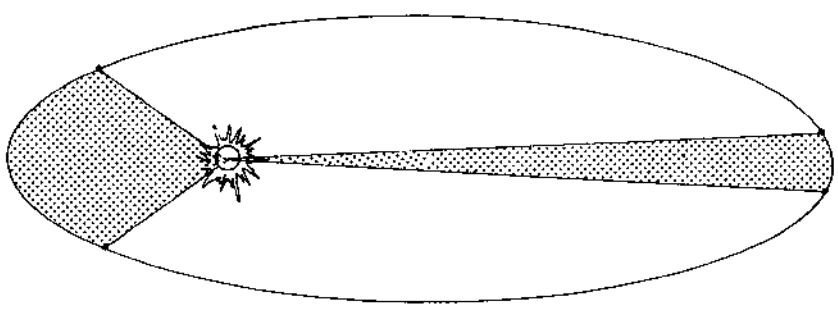


fig. 2.1.

Observe então a figura 2.1. A órbita ou caminho do planeta é a elípse. O Sol ocupa um dos focos. Se tomarmos dois intervalos de tempos (Δt) iguais, a reta Sol-planeta varreu áreas iguais em tempos iguais. Isso obriga que o planeta, quando está mais próximo do Sol, tenha uma velocidade maior.

Hoje sabemos que essa lei das áreas não vale apenas para os planetas. Ela é uma lei muito mais geral e que podemos verificar em inúmeros outros exemplos, independentemente do tipo de força ou do tipo de trajetória que um corpo descreve. Essa mesma lei das áreas é a manifestação de uma outra grande lei de conservação dentre as leis que regem o funcionamento de toda a Natureza: **A LEI DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR.** Como essas duas leis estão intimamente ligadas, achamos melhor que você continue a chamar de lei das áreas. Onde se verifica a lei das áreas está presente a grande lei de conservação da quantidade de movimento angular.

Apenas para que você perceba com um simples exemplo, como essa lei das áreas não se aplica só a planetas, observe a figura 2.2. que é um esquema de uma fotografia estroboscópica.

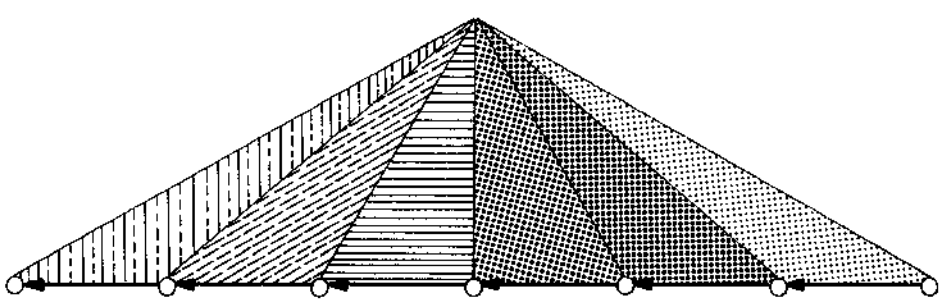


fig. 2.2.

Nessa figura, está surpreendida em tempos iguais uma bola que se movia livre de forças, isto é, caminhava em movimento retilíneo e uniforme. Você pode verificar que um corpo em movimento retilíneo e uniforme obedece à lei das áreas em relação a qualquer ponto. Realmente, todos os triângulos achuria-

dos (sombreados) têm áreas iguais. Em tempos iguais, a bola percorreu segmentos iguais (base dos triângulos). Como todos os triângulos têm bases iguais e alturas iguais, suas áreas são iguais. Então podemos dizer: a reta que une um corpo em movimento retilíneo e uniforme a qualquer ponto varre áreas iguais em tempos iguais. Isso em relação a qualquer ponto.

Com esse exemplo, só queremos que você perceba que a lei das áreas não é "privilégio dos planetas." No caso do movimento retilíneo e uniforme, não havia forças atuando ou, a resultante das forças atuando era ZERO.

E quando uma força está atuando? Também pode valer a lei das áreas? Sim ! Há uma única condição: A FORÇA (OU RESULTANTE DAS FORÇAS) QUE ATUA SOBRE O CORPO DEVE ESTAR DIRIGIDA SEMPRE PARA UM MESMO PONTO.

Imagine agora que um corpo está deslizando sobre uma mesa, com atrito muito pequeno.

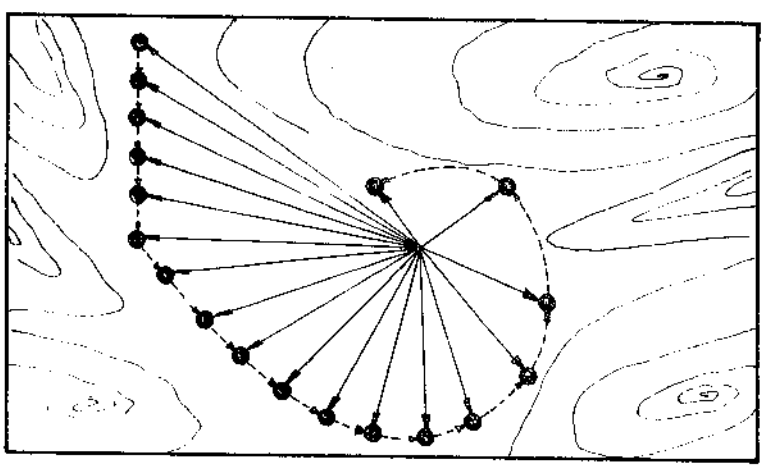


fig.2.3.

Preso ao corpo, está um fio muito fino e flexível e que pode ser puxado através do furo existente no centro da mesa.

Durante o movimento do corpo sobre a mesa, o fio pode ser puxado ou não. Se não foi puxado, o corpo descreve um movimento retilíneo e uniforme, valendo a lei das áreas, Quando o fio começa a ser puxado, a velocidade do corpo se altera. Como no entanto a força é sempre dirigida para o mesmo ponto (o furo

na mesa), o móvel obedece à lei das áreas. Procure medir e você verá como as áreas são realmente iguais. Durante todo o movimento, manteve-se a mesma frequência com que foram tiradas as fotografias. Isso é o mesmo que dizer que foi sempre igual o tempo que separa as posições sucessivas do móvel. Como os tempos são iguais e as áreas são iguais, podemos dizer que: o fio "varreu" áreas iguais em tempos iguais. Neste caso, nem sabemos como esteve variando a força sobre o corpo que se moveu. A única coisa especial foi que a força esteve sempre dirigida para um mesmo ponto, o furo na mesa. Essa é realmente a única condição necessária para que um corpo obedeça à lei das áreas: a força deve estar voltada sempre para um mesmo ponto. A uma força assim dá-se o nome de <u>força central</u>.

Essa mesma <u>lei das áreas</u> se manifesta em muitas outras situações. Sempre que se verifica a lei das áreas, está em vigor a lei da conservação da quantidade de movimento angular.

Imagine um pêndulo cônico: uma bolinha ou qualquer objeto dependurado a um barbante e que recebe um impulso lateral. Em qualquer ponto de sua órbita ele está sendo empurrado para o centro da elípse ou circunferência que ele está descrevendo.

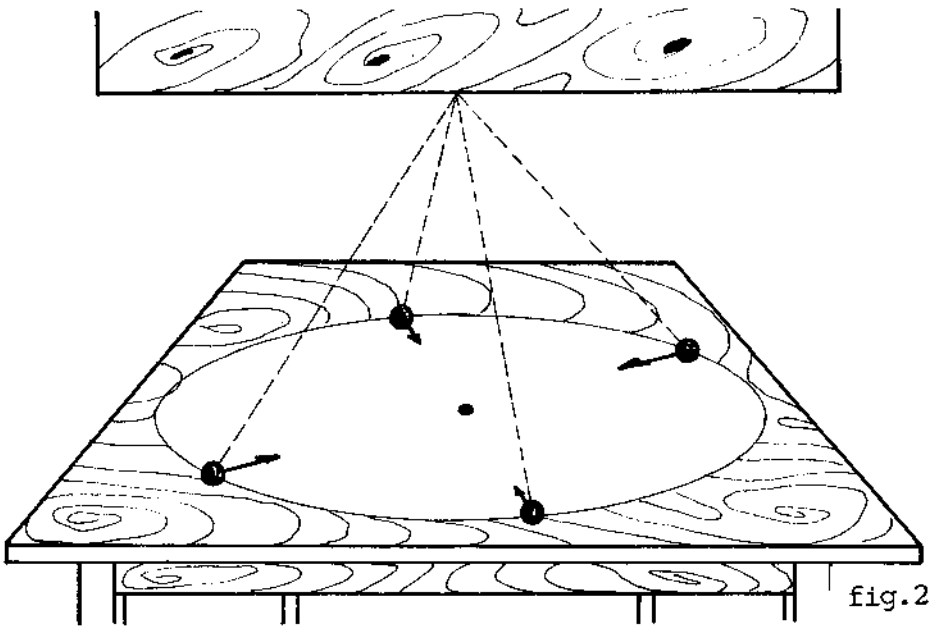


fig.2.4.

A força está então dirigida sempre para o mesmo ponto, neste caso o centro da elípse. Vale então a lei das áreas em relação a esse ponto: o centro da elípse.

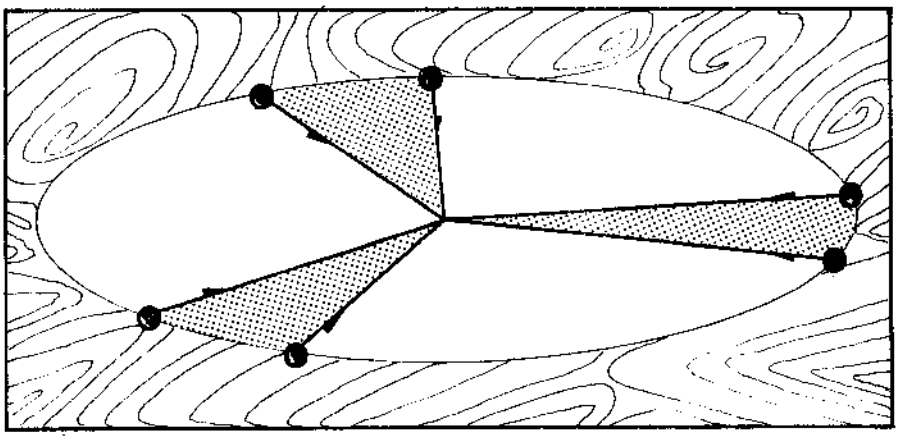


fig.2.5.

Imagine agora uma haste com duas massas que podem deslisar sobre essa haste, puxadas por um fio que passa pelo eixo central (figura 2.6).

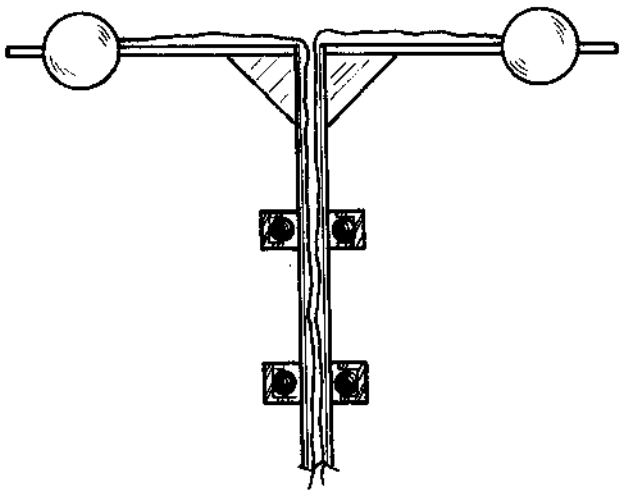


fig.2.6.

O eixo, juntamente com o par de bolas, está girando, depois de um impulso inicial.

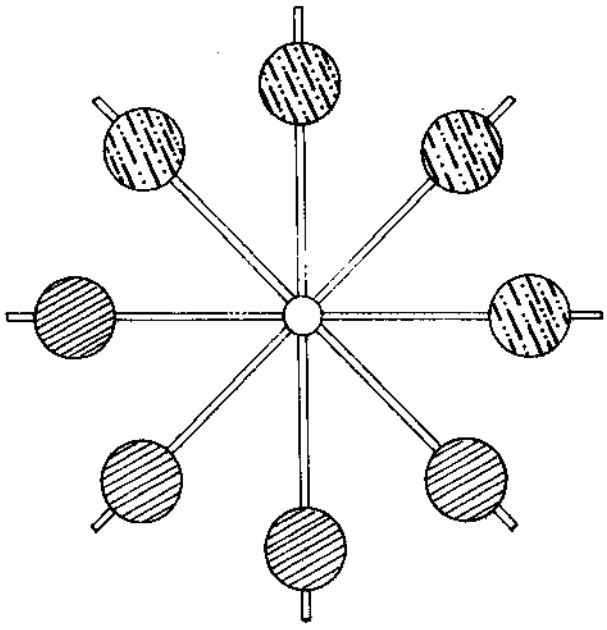


fig.2.7.

O conjunto está animado de uma certa velocidade angular. As bolas estão descrevendo um movimento circular uniforme. Se o movimento é circular e uniforme, é porque as bolas estão sujeitas somente a uma força centrípeta. Essa força está sempre voltada para um mesmo ponto, o centro. Então deve valer a lei das áreas? E vale mesmo ! Para qualquer movimento circular uniforme, vale também a lei das áreas: a reta que une o centro do móvel (cada bola) ao centro da circunferência descrita, isto é, o raio,"varre" áreas iguais em tempos iguais.

E se agora puxamos o barbante, o que você espera que aconteça? Ao puxar o barbante, as bolas serão puxadas para o centro. Isto quer dizer que a força que atua sobre ambas estará também voltada para o centro. Então deve valer a lei das áreas.

E vale mesmo ! Observe o que aconteceu.

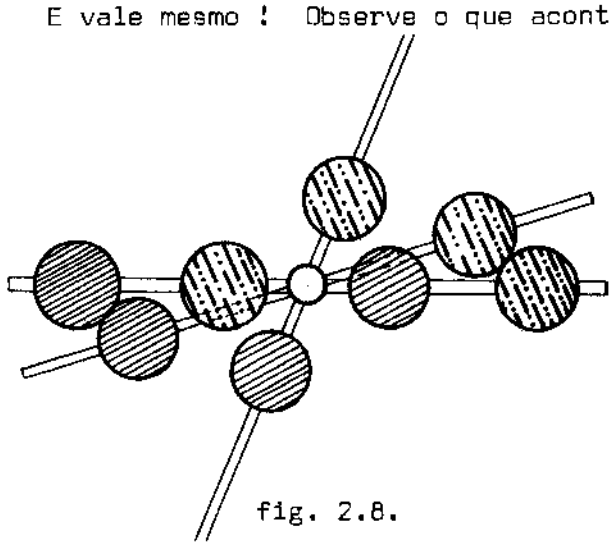


fig. 2.8.

À medida que as bolas se aproximaram do centro, a velocidade angular do conjunto aumentou. Em tempos iguais, os centros das bolas descreveram ângulos maiores. A reta que une o centro do sistema ao centro de cada bola "varreu" áreas iguais em tempos iguais. Verificou-se a lei das áreas, ou a quantidade de movimento angular conservou-se.

Você percebeu, então, que a velocidade de rotação aumentou sem que se desse nenhum impulso adicional às bolas? Isto é também parecido com o que aconteceu com o planeta. Quando o planeta está mais próximo do centro de forças, sua velocidade aumenta.

Outro exemplo bem parecido com o das bolas é o da bailarina. Um dos grandes efeitos conseguidos por grandes bailarinas é o fato de aumentarem a velocidade com que giram sobre a ponta de um dos pés, sem dar novo impulso. Geralmente a bailarina salta girando com braços abertos. Quando ela já está girando sobre a ponta de um dos pés, ela recolhe os braços. Isso faz sua velocidade de rotação aumentar, como aconteceu com as massas ou bolas do exemplo anterior. Querendo novamente diminuir sua rotação, basta que ela abra novamente os braços.

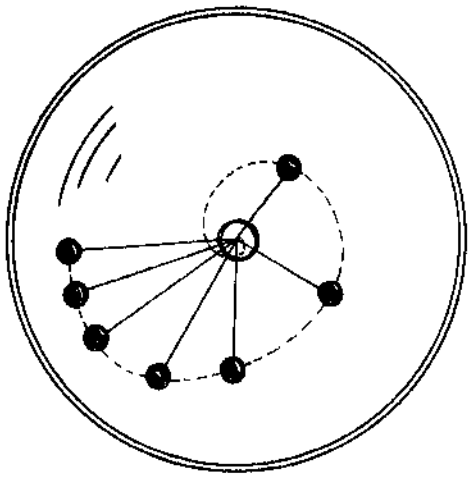


fig. 2.9.

Fatos como esses estão muitas vezes presentes sem que nos apercebamos. Você já observou o "redemoinho" que se forma na saída da água de um recipiente?

A água que girava lentamente, longe da saída, aumenta sua rotação à medida que se aproxima do centro para onde está escoando. Coisa semelhante pode ocorrer com o ar. Você nunca observou que papéis e poeira às vezes são arrastados violentamente em espiral?

Esperamos que através destes exemplos você tenha percebido que a lei das áreas é uma forma de uma das grandes leis da conservação que aprendemos, observando fatos e criando modelos que nos permitem explicar muitos fenômenos e às vezes prever outros.

ATIVIDADE: LEI DAS ÁREAS

A figura 2.10 apresenta um movimento de um disco que deslisa sobre um colchão de ar com muito pouco atrito. O móvel foi fotografado a cada segundo em seu movimento sobre uma mesa lisa e bem horizontal. Com o pequeno impulso recebido, o móvel se deslocaria em linha reta e com velocidade constante. Próximo ao centro da mesa, está assinalado o centro de forças. Qualquer força exercida sobre o móvel esteve sempre na direção desse ponto, podendo variar o sentido. As fotografias propositadamente coincidiram com os momentos em que o móvel estava recebendo um "puxão" ou empurrão a partir do ponto central. O ponto central é a origem a partir da qual são definidas as posições do móvel.

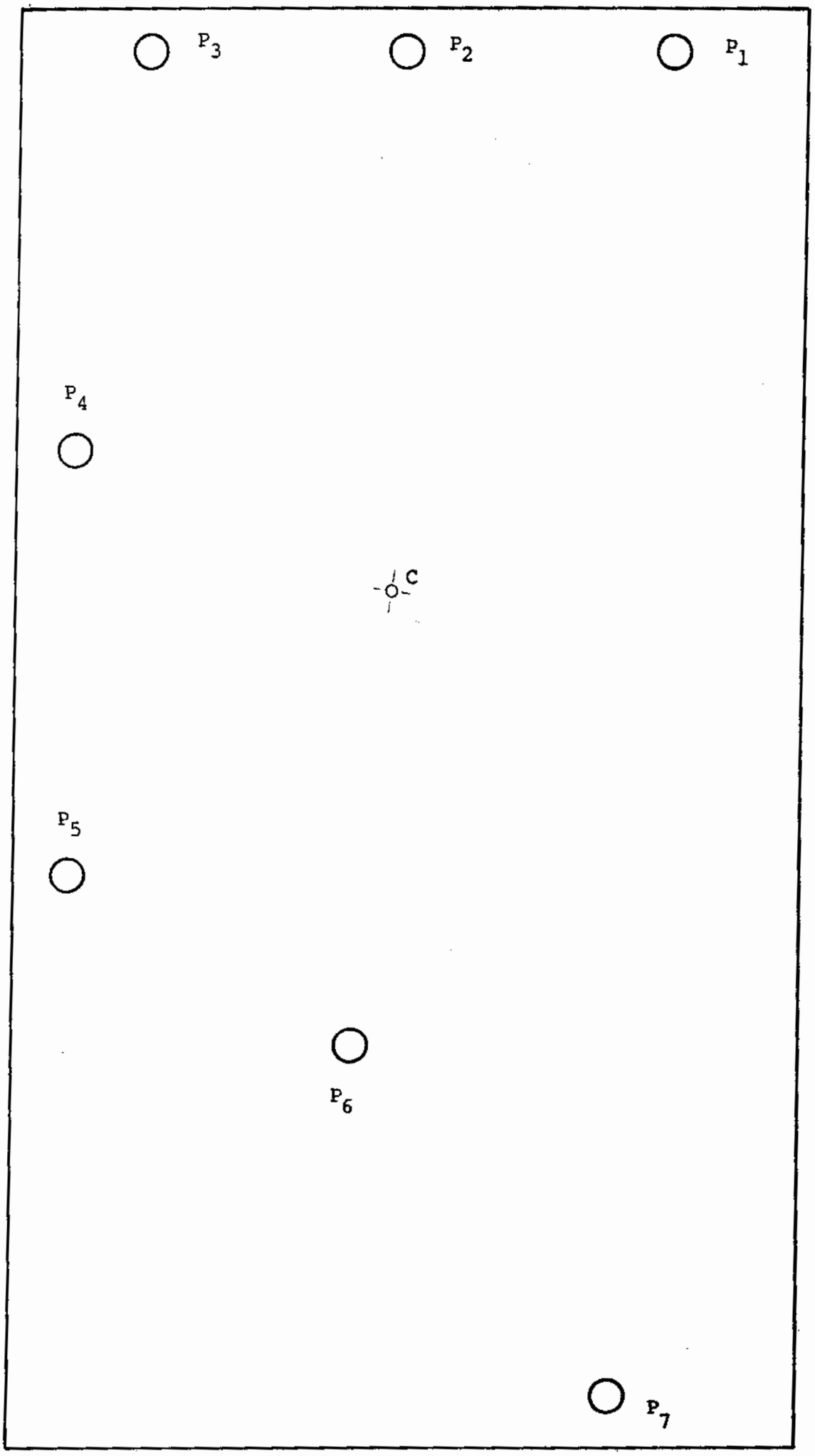
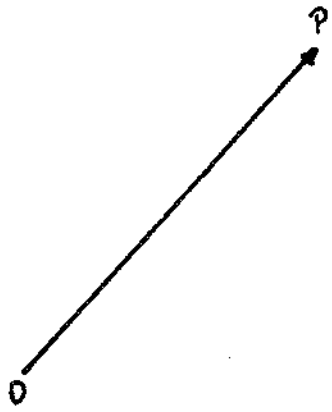


fig.2.10.



Chama-se vetor posição de um ponto P, a um vetor (flexa) que vai desde a origem (O) até o ponto cuja posição se quer definir, o móvel neste caso.

Desenhe o vetor posição do móvel quando na posição P_1.

fig. 2.11.

Desde o instante em que o móvel estava em P_1 até P_2, o móvel não sofreu nenhum puxão nem empurrão. Como foi o movimento nesse intervalo?

As três primeiras fotografias da bola confirmam a resposta que você acaba de dar?

O vetor posição se manteve constante em direção? E em módulo (tamanho) ?

Usando um lápis, sombreie a área varrida pelo raio vetor durante o primeiro segundo.

Meça a área varrida pelo <u>raio vetor</u> durante o primeiro segundo. Faça o mesmo com a área varrida no segundo. Compare a área varrida no primeiro segundo com a área varrida no segundo segundo. Verificou que são iguais ?

Desenhe os vetores posição de todas as posições do móvel que foram fotografados.

Sabendo-se que entre duas posições sucessivas não foi exercida nenhuma força (nem "puxão" nem "empurrão") , como foi o movimento entre duas posições sucessivas fotografadas?

Assinale, com diferentes tipos de sombreado , as áreas varridas pelo vetor posição nos diferentes intervalos de tempo.

Meça as áreas varridas pelo vetor posição nos diferentes intervalos de tempo. Eles são iguais ?

A área percorrida pelo móvel no último segundo (depois do empurrão) é igual às demais ?

Que você conclui então sobre as áreas "varridas" pelo vetor posição do móvel em todos os intervalos de tempos iguais ?

Procure agora, com suas palavras, e olhando para a fotografia, resumir o que você acaba de aprender sobre áreas varridas e tempos.

Qual é a área varrida pelo vetor posição depois de dois intervalos de tempo ?

E depois de três ? - E depois de quatro, de oito e de cinco?

Se a mesa continuasse indefinidamente e o móvel fosse abandonado, ele ainda seguiria a Lei das Áreas?

SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Até aqui procuramos que você entendesse a Lei das Áreas através de exemplos característicos e que você pode observar na vida diária. Queremos agora que você tenha uma demonstração que seja mais geral e convincente. Esta demonstração não envolve grandes complicações e fará você perceber quanto a lei das áreas é geral.

Nessa demonstração, usaremos apenas uma das expressões mais conhecidas e mais usadas de toda a FÍSICA:

$$\vec{f} = m\vec{a}$$

Essa lei, na sua forma vetorial, diz que a aceleração ou mudança de velocidade se faz somente na direção em que a força ($\vec{f}$) atua. Se aplicarmos uma certa força a um corpo já em movimento, a alteração da velocidade (aceleração) se verifica somente na direção em que a força atua.

Considere o exemplo abaixo em que uma força é aplicada a um móvel que já está com um movimento retilíneo e uniforme.

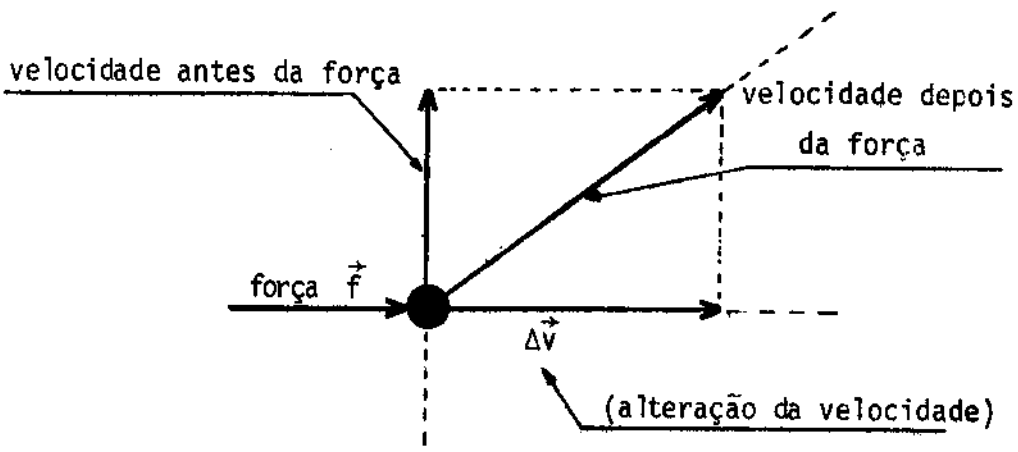


fig.2.12.

A força ($\vec{f}$) provocou uma alteração da velocidade ($\Delta\vec{v}$) no mesmo sentido e direção da força. As componentes da velocidade depois da aplicação da força serão: a alteração ($\Delta\vec{v}$) introduzida por causa da força e a velocidade que o móvel tinha antes da força. Esta não se alterou por ser perpendicular à força. A força não altera a componente da velocidade que lhe é perpendicular. Esta será a parte importante do raciocínio que você vai acompanhar.

Você vai imaginar que a figura 2.10 representa agora, em vez de um colchão de ar, uma quadra de patinação no gelo. Você vai estar no centro da quadra. Como estamos imaginando que a superfície é de gelo e, portanto, bem escorregadia, você poderia estar calçado com sapatos equipados com "cravos" na sola. Você irá ficar no ponto C. Você será o "centro de forças". Da sua posição, você poderá exercer uma força no móvel através de um fio

muito leve e flexível que você irá segurar. Podemos até combinar que você irá dar "puxões" no fio a cada intervalo, por exemplo, um segundo. A cada um segundo você dará um "puxão" sobre o móvel que deslisa sobre o gelo. O seu puxão poderá ser também de força "ZERO". Isto quer dizer que, no instante em que você deveria dar o "puxão", você pode não fazê-lo.

Vamos começar.

Você está na posição C e nós vamos dar o impulso no móvel que vai "aparecer em cena". Começamos a contar o tempo. A cada 1 segundo você poderá dar ou não um "puxão".

Nas primeiras posições P_1 e P_2 você ficou em dúvida e não puxou o fio. Então o móvel seguiu em movimento retilíneo e uniforme.

No instante em que o móvel esteve em P_3 você deu um puxão. Você exerceu uma força e por isso a velocidade sofreu uma alteração Δv na mesma direção e no mesmo sentido da força, isto é, do fio. Mas você ainda não sabe quanto vale essa variação de velocidade. Você sabe que o móvel muda a direção da velocidade. Sabe que a direção dessa nova velocidade depende da velocidade que ele tinha antes e da intensidade do puxão. Sabe também, isto é o mais importante, que o puxão não altera a componente perpendicular da velocidade ($\vec{f} = m\ \vec{a}$). Então você conhece a nova direção e uma das componentes: a componente perpendicular ao puxão. Esta é a mesma de antes do puxão.

Conhecendo uma das componentes e a direção da resultante você sabe exatamente qual é a nova velocidade (resultante).

Depois de 1 segundo, o móvel estará em P_4. Agora ele sofre outro "puxão", desta vez menor. Como o puxão é menor, é também menor a variação da velocidade. Em relação à velocidade, ocorre o mesmo que ocorreu na vez anterior (P_3). A velocidade muda em direção e módulo. Depois de mais 1 segundo, o móvel chega ao ponto P_5. Aí ela sofre outro puxão e portanto outra alteração da velocidade. Também aqui, como nos casos anteriores, a componente perpendicular a cada puxão não se altera. A

nova força (puxão) alterou outra vez a velocidade (aceleração) tanto no módulo como na direção. Depois de mais 1 segundo o corpo chegou ao ponto P_6.

Desta vez, ele vai levar não um "puxão " mas um "empurrão" na mesma direção do ponto em que você está. Só o sentido que é contrário. Agora também há variação de velocidade, porém em sentido contrário. Poderíamos dizer que até agora a força tinha sido de "atração" e agora foi de "repulsão". A partir do ponto P_7 o móvel foi abandonado.

Você se convenceu que nesses intervalos de tempos iguais o vetor posição "varreu" áreas iguais? Lembre que as <u>áreas</u> serão as áreas "varridas" pelo barbante.

Vejamos. Os triângulos A_1 e A_2 têm áreas iguais. Não é preciso medir suas áreas para saber. Eles têm mesma altura (CP_2) e as bases iguais, pois a velocidade não mudou. Os triângulos A_2 e A_3 também têm áreas iguais, pois têm a base ou um lado comum (CP_3) e alturas iguais. Essas alturas iguais são a componente da velocidade perpendicular ao "puxão" e que não mudou.

Da mesma maneira são iguais as áreas dos triângulos A_3 e A_4, pois eles têm um lado comum (CP_4) e as alturas iguais pelas mesmas razões.

O mesmo acontece com as áreas dos triângulos A_4 e A_5.

Será que também são iguais as áreas dos triângulos A_5 e A_6 ? Agora a força ou "puxão" foi para fora. Houve uma repulsão também a partir do mesmo centro C. Também essas áreas são iguais, pois os dois triângulos têm a base comum (CP_6) e as alturas iguais.

Portanto o segmento (ou melhor, vetor) que une o corpo ao centro de forças, em tempos iguais varrem áreas iguais.

Esperamos que isto tenha mostrado a você como a lei das áreas é mesmo uma lei muito geral e ampla.

Não importa a natureza ou tipo da força; não importa se a força é de atração ou de "repulsão ", isto é, para

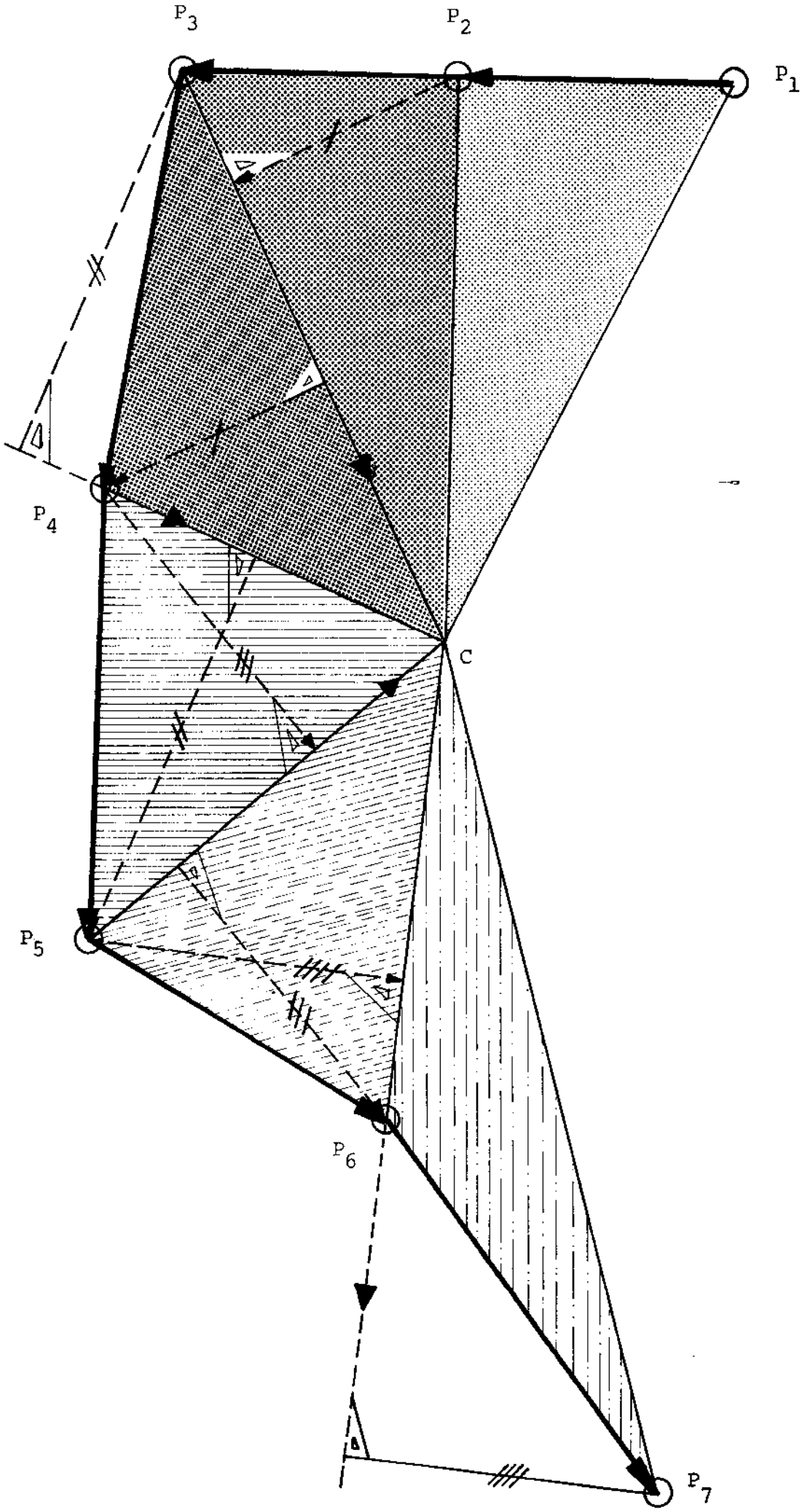


fig.2.13.

"dentro" ou para "fora"da curva.

Também não é preciso que a força seja única. Podem ser diferentes tipos de forças atuando de maneira contínua ou intermitente.

A única condição - esta é indispensável e suficiente - a força (se foi única) ou a resultante das forças que atuam sobre o corpo deve estar voltada sempre para um mesmo ponto, isto é, a força deve ser central.

Entendido?

Então você entendeu uma das grandes leis que regem a máquina do mundo.

Essa é uma das grandes leis de conservação que nos permitem entender e utilizar a Natureza.

UM POUCO MAIS AINDA

Até aqui, temos evitado dar realmente uma definição de momentum angular ou, o que é a mesma coisa, quantidade de movimento angular. Até aqui tratamos dessa lei de conservação utilizando a "lei das áreas" que é a manifestação da grande lei de conservação.

Entretanto, se você chegou até aqui, queremos que você receba um pouco mais.

Afinal, ao dizermos que quando a força que atua sobre um corpo é central a **QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR** se conserva, o que é que se conserva ou, o que é quantidade de movimento angular?

Sempre que definirmos a quantidade de movimento de um corpo, o fazemos em relação a um ponto determinado.

Imagine um certo corpo de massa m e com uma certa velocidade vetorial $\vec{v}$.

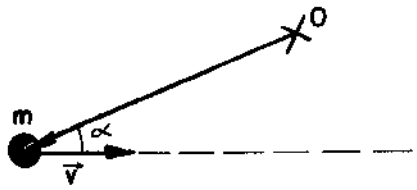


fig.2.14.

Define-se quantidade de movimento angular ou simplesmente momento angular ao produto da massa m do corpo pela sua velocidade vetorial ($\vec{v}$), pelo vetor posição ($\vec{r}$), pelo seno do ângulo formado pelos vetores $\vec{v}$ e $\vec{r}$

Chamando-se de L a quantidade de movimento angular e usando a linguagem sintética da matemática, repetiremos a definição.

$$L = m\,\vec{v}\,.\,\vec{r}\,.\,\text{sen}\ \alpha$$

Esse mesmo produto, e portanto a mesma grandeza (L), podemos escrever de algumas maneiras um pouco diferentes para que você possa entender melhor esse conceito.

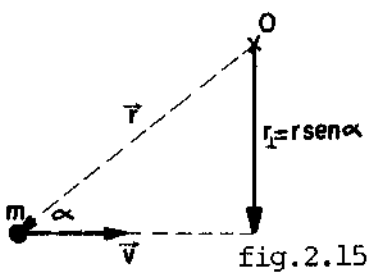


fig.2.15.

$$L = m\,v\,(\,r\ \text{sen}\ \alpha) = \vec{v}\,\vec{r}_{\perp}$$

onde r sen α é $r_{\perp}$ que está indicado na figura 2.15

Também poderíamos escrever:

$$L = m\,\vec{r}\,(\,\vec{v}\ \text{sen}\ \alpha\,) = m\,\vec{r}\,\vec{v}_{\perp}$$

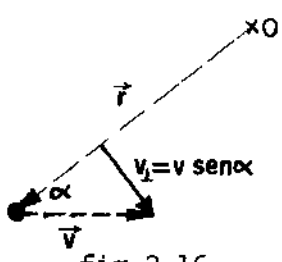


fig.2.16.

onde $\vec{v}_{\perp}$ é a componente da velocidade perpendicular ao vetor posição $\vec{r}$ como na fig. 2.16

Outra maneira de escrever seria:

$$L = (m\vec{v})\,\vec{r}\ \text{sen}\alpha = \vec{p}\,\vec{r}\ \text{sen}\ \alpha = \vec{p}\ \vec{r}_{\perp}$$

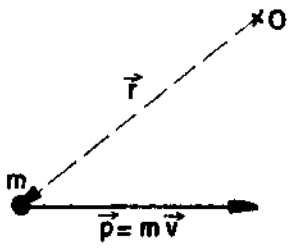


fig.2.17.

Você está lembrado que o produto $m\vec{v}$ é a quantidade de movimento linear do corpo ($\vec{p}$).

Esse produto é também um vetor e com a mesma direção e sentido do vetor velocidade.

Assim é possível escrever a expressão para L de outra forma:

$$L = (\vec{p}\ \text{sen}\ \alpha)\,\vec{r} = \vec{p}_{\perp}\ \vec{r}$$

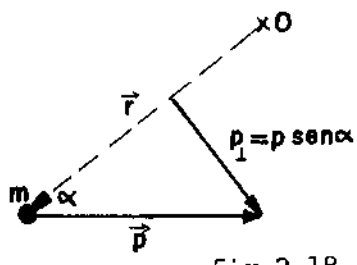


fig.2.18.

Basta olhar para a figura 2.18 e você perceberá que $\vec{p}$ sen α é a componente de $\vec{p}$ normal ao vetor posição ($\vec{r}$).

Você viu então de quantas maneiras diferentes se pode exprimir a grandeza quantidade de movimento angular?

$$L = m\ \vec{v}\ \vec{r}\ \text{sen}\ \alpha$$

$$L = m\ \vec{v}\ (\vec{r}\ \text{sen}\ \alpha)$$

$$L = m\ \vec{v}\ \vec{r}_{\perp}$$

$$L = m\ \vec{r}\ (\vec{v}\ \text{sen}\ \alpha)$$

$$L = m\ \vec{r}\ \vec{v}_{\perp}$$

$$L = \vec{p}\ \vec{r}\ \text{sen}\ \alpha$$

$$L = \vec{p}\ \vec{r}_{\perp}$$

$$L = \vec{p}_{\perp}\ \vec{r}$$

Todas elas são equivalentes.

Você está lembrado do exemplo de lei das áreas quando um móvel descreve um movimento retilíneo e uniforme?

Considere o móvel de massa m que está animado de uma velocidade $\vec{v}$ e cuja posição é definida em dois instantes diferentes.

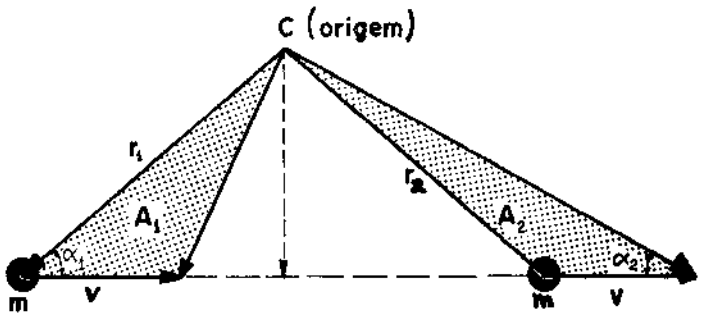


fig.2.19.

Considere as áreas A_1 e A_2. Podemos dizer que

$$A_1 = \frac{1}{2}\vec{r}_1\vec{v}_\perp = \frac{1}{2}\vec{r}_1\vec{v}\,\text{sen}\,\alpha_1 = \frac{1}{2}\vec{v}\vec{r}_1\,\text{sen}\,\alpha_1 = \frac{1}{2}\vec{v}\vec{r}_\perp$$

$$A_2 = \frac{1}{2}\vec{r}_2\vec{v}_\perp = \frac{1}{2}\vec{r}_2\vec{v}\,\text{sen}\,\alpha_2 = \frac{1}{2}\vec{v}\vec{r}_2\,\text{sen}\,\alpha_2 = \frac{1}{2}\vec{v}\vec{r}_\perp$$

Aplicando a definição de momentum angular ou quantidade de movimento angular, na primeira posição teremos:

$$L_1 = m\vec{r}_1\vec{v}\,\text{sen}\,\alpha_1 = m\vec{r}_1\vec{v}_\perp = m\vec{v}\vec{r}_1\,\text{sen}\,\alpha_1 = m\vec{v}\vec{r}_\perp$$

Na segunda posição teremos

$$L_2 = m\vec{r}_2\vec{v}\,\text{sen}\,\alpha_2 = m\vec{r}_2\vec{v}_\perp = m\vec{v}\vec{r}_2\,\text{sen}\alpha = m\vec{v}\vec{r}_\perp$$

Considerando que $\vec{v}$ é constante,

$$A_1 = A_2$$

e também

$$L_1 = L_2$$

Que relação existe entre L e A ? Vejamos,

$$\frac{L}{A} = \frac{m\,\vec{v}\,\vec{r}}{\frac{1}{2}\,\vec{v}\,\vec{r}} = 2\,m$$

ou

$$L = 2\,m\,A$$

Então, L e A diferem apenas por um fator $2\,m$ que é constante.

Se A é constante, segue-se que L é constante e reciprocamente.

No caso anterior, o movimento era retilíneo e uniforme, isto é, a resultante das forças que atuam sobre o objeto é Zero.

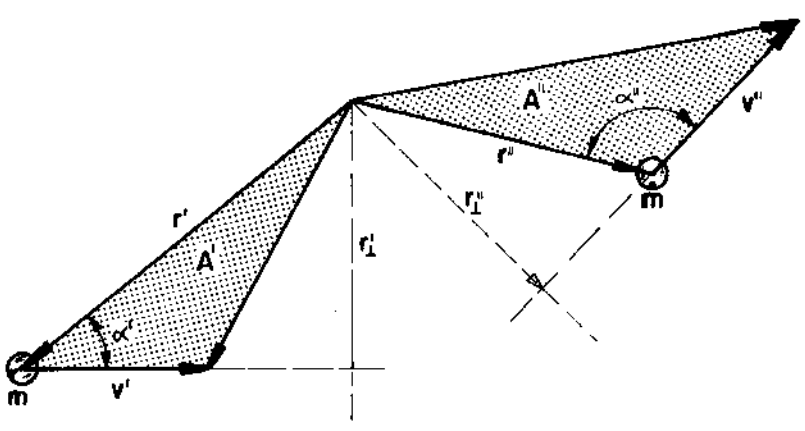


fig.2.20.

E quando atua uma força central? Já sabemos que vale a lei das áreas.

As áreas A' e A'' valem respectivamente.

$$A' = \frac{1}{2}\ \vec{v}'\ \vec{r}'_{\perp} = \frac{1}{2}\ \vec{v}'_{\perp}\ \vec{r}'$$

$$A'' = \frac{1}{2}\ \vec{v}''\ \vec{r}''_{\perp} = \frac{1}{2}\ \vec{v}''_{\perp}\ \vec{r}''$$

Como

$$A' = A''$$

segue-se que

$$\vec{v}'_{\perp}\ \vec{r}' = \vec{v}''\ \vec{r}''_{\perp}$$

Vejamos quanto vale o momento angular nos dois casos.

$$L' = m\ \vec{v}'\ \vec{r}'\ \text{sen}\alpha' = m\ \vec{r}'_{\perp}\ \vec{v}' = m\ \vec{r}'\ \vec{v}'_{\perp}$$

e

$$L'' = m\ \vec{v}''\ \vec{r}''\ \text{sen}\ \alpha'' = m\ \vec{r}''_{\perp}\ \vec{v}'' = m\ \vec{r}''\vec{v}''_{\perp}$$

como $\vec{v}'_{\perp}\ \vec{r}' = \vec{v}''\ \vec{r}''_{\perp}$

então $L' = L''$

Se $A' = A''$ segue-se que também $L' = L''$ ou reciprocamente.

Podemos dizer que uma igualdade implica na outra. Isto é verdade desde que a força ou as forças que atuam sobre o corpo estejam sempre voltadas para o mesmo ponto. O que é também, neste caso, a origem para definir as posições do corpo.

E neste caso, isto é, na existência de forças centrais, que relação existe entre a área A e a quantidade de movimento angular L ? Vejamos:

$$\frac{L}{A} = \frac{m\,\vec{r}\;\vec{v}}{\frac{1}{2}\,\vec{r}\;\vec{v}} = 2\,m$$

ou

$$L = 2\,m\,A$$

Quer dizer que também neste caso, quanto vale a lei das áreas, vale a lei da conservação da quantidade de movimento angular.

Verificando-se que uma dessas grandezas (L ou A) é constante, segue-se que a outra também é constante. Essas duas grandezas diferem apenas por um fator 2m que é constante.

Dessas duas grandezas, não podemos dizer que uma é a causa e a outra o efeito. Admitida uma delas, segue-se a outra.

Até agora não dissemos nada sobre o tipo de grandeza que é L. Será uma grandeza **ESCALAR** ou **VETORIAL?** Você já sabe que grandezas vetoriais são as que têm as características de um VETOR, isto é, grandezas que tem <u>módulo</u> (tamanho), <u>direção</u> e <u>sentido</u>.

A grandeza L é vetorial. Tem tamanho, direção e sentido.

Vejamos porque.

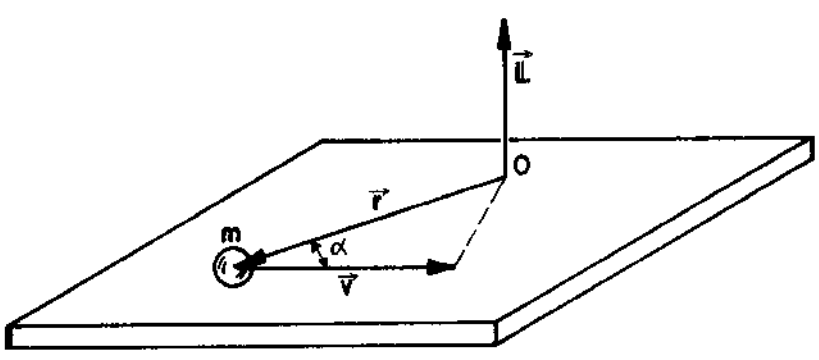


fig.2.21.

Imagine um corpo que está descrevendo um movimento retilíneo e uniforme sobre um plano, como na figura 2.21. Tanto o vetor $\vec{v}$ como o vetor $\vec{r}$ estão contidos no mesmo plano, o plano do movimento.

O plano do movimento fica sempre determinado pelos dois vetores $\vec{v}$ e $\vec{r}$.

O módulo da grandeza L é dada por

$$L = m\,\vec{v}\,\vec{r}\,\text{sen}\,\alpha$$

ou qualquer de suas equivalentes.

Qual a direção de $\vec{L}$? Perpendicular ao plano formado pelos vetores $\vec{v}$ e $\vec{r}$.

Qual o sentido do vetor $\vec{L}$? É o sentido convencionado pela regra da mão direita. É o sentido do polegar da mão direita quando a direção dos dedos representa a direção e o sentido do vetor velocidade. A parte da mão que une o polegar aos dedos neste caso representa o vetor posição.

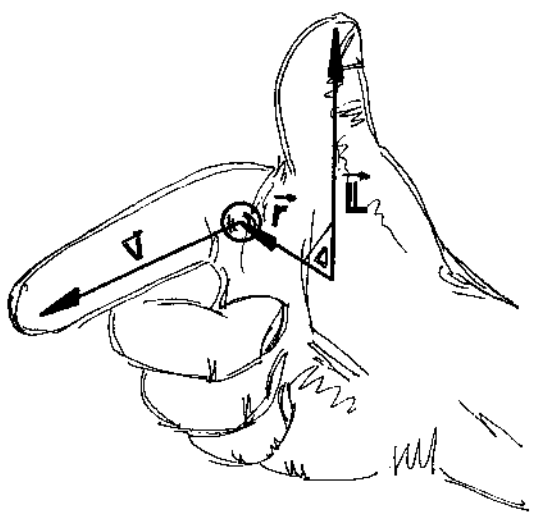


fig.2.22.

Você já viu que a quantidade de movimento angular se conserva mesmo que sobre o corpo atue uma força (se esta é dirigida sempre para um mesmo ponto). Portanto para alterar a quantidade de movimento angular é preciso aplicar uma força cuja direção não passe pelo ponto em relação ao qual está definida a quantidade de movimento angular.

Como será a quantidade de movimento angular de

um aro, por exemplo uma roda de bicicleta?

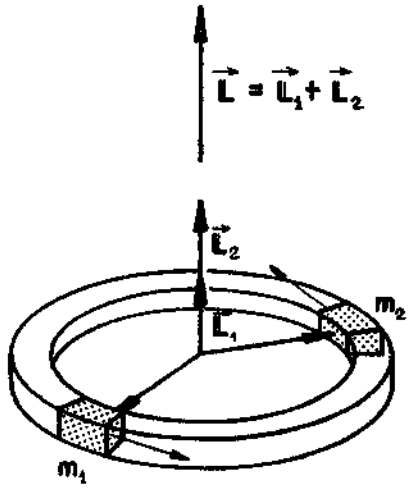


fig.2.23.

É a soma das quantidades de movimento de cada pedacinho.

Na figura estão representados dois desses pedacinhos. Os pedacinhos do aro têm quantidade de movimento angular iguais, em direção e sentido. Estes vetores ($\vec{L}_1$, $\vec{L}_2$) se somam.

A quantidade de movimento da roda é a soma das quantidades correspondentes a cada pedacinho.

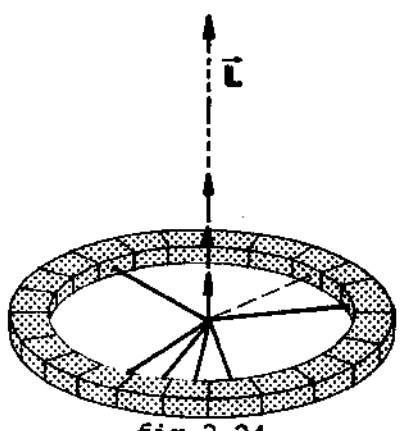


fig.2.24.

$$\vec{L}_1 + \vec{L}_2 + \vec{L}_3 + \dots \vec{L}_m = m_1 \vec{v} \vec{r}_\perp + m_2 \vec{v} \vec{r}_\perp + m_3 \vec{v} \vec{r}_\perp + \dots m_m \vec{v} \vec{r}_\perp$$

4.2.24

$$\vec{L} = (m_1 + m_2 + m_3 + \ldots + m_m) \vec{v} \; \vec{r}_\perp$$

Mas

$$m_1 + m_2 + m_3 + \ldots + m_m = M$$

isto é, a soma das massas dos pedacinhos é igual à massa total da roda M

Então:

$$\vec{L} = M \vec{v} \vec{r}_\perp = M \vec{v} \vec{r} \text{ sen } \alpha$$

pois tanto o $\vec{v}$ como o $\vec{r}$ são os mesmos para todos os pedacinhos. Mas $\vec{v}$ é perpendicular a $\vec{r}$, logo $\alpha = 90^\circ$ e sen $\alpha = 1$

Portanto:

$$\vec{L} = M \vec{v} \vec{r}$$

Você já reparou que uma roda só pode ser tirada do plano em que ela gira se for aplicada uma força? Por essa razão, um disco jogado girando mantém a direção em que foi lançado. É também por essa razão que uma bicicleta não fica em pé quando parada. As rodas andando possuem um momento angular que só pode ser mudado com a aplicação de uma força. Nesse caso, essa força chama-se **TORQUE**.

É por essa mesma razão que um pião fica em pé só quando está girando muito rapidamente. É também por essa razão que o eixo da Terra mantém sua direção constante. (Na verdade, ele gira como o eixo do pião, mas só dá uma volta cada 26.000 anos, aproximadamente).

O caráter vetorial da quantidade de movimento angular pode ser evidenciada de modo bem visível. Se você colocar uma roda (de carrinho ou de bicicleta) e fazê-la girar rapidamente, você verá que terá que fazer uma força considerável para mudar a direção do eixo de rotação. Se você puser 2 rodas iguais, girando com a mesma velocidade, perceberá que terá de fazer uma força ainda maior (o dobro) para mudar a direção do eixo. No

entanto, se sobre o mesmo eixo as duas rodas iguais forem postas a girar em sentidos contrários, você não precisará fazer mais esforço do que se as rodas estivessem paradas.

Os vetores $\vec{L}1$ e $\vec{L}2$ de cada roda são de igual tamanho, igual direção e sentidos contrários. Eles se anulam.

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

4.3 - A CONSERVAÇÃO DA MASSA

Entre os objetos que os arqueólogos têm encontrado e que nos revelam o grande desenvolvimento atingido pelos antigos egípcios, figura a balança de braços iguais. Essa parece datar de aproximadamente 7.000 anos atrás.

- O que fariam os egípcios com balanças 5.000 anos antes da nossa era? - Muito provavelmente pesavam ouro. Eles devem ter percebido que a balança é o melhor meio de se medir a quantidade de ouro. A balança lhes permitia saber quanto ouro obteriam depois de fundir (derreter) as pepitas ou torná-las pó de ouro. A previsão não se alterava se as pepitas eram trituradas ou reduzidas a pó, desde que a balança ainda indicasse a mesma coisa.

Os romanos, no apogeu de seu império, usaram a balança para fins comerciais. No entanto muitos séculos se passaram antes que a balança fosse introduzida como instrumento da ciência.

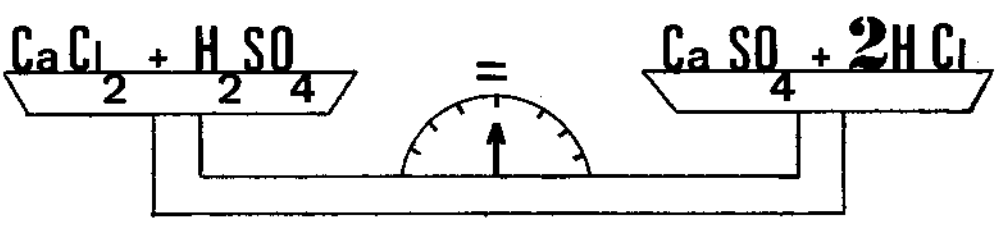
Só no início da idade moderna, depois da revolução francesa, é que a balança entrou definitivamente para o campo da ciência. A introdução da balança como importante ferramenta da ciência deve-se ao grande cientista francês Antoine Lavoisier.

Juntamente com a balança, Lavoisier introduziu o princípio da conservação da massa: "na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma". A evidência desse princípio apareceu quando Lavoisier buscava uma solução para o problema do flogisto. Flogisto era uma "substância" de propriedades misteriosas que se acreditava ser parte constituinte de todos os corpos. Pensava-se que todos os corpos fossem constituídos de flogisto e cal. Cal (cinza) era o que ficava depois que os corpos perdiam o seu flogisto, isto é, depois que eram queimados. Lavoisier percebeu que, mesmo quando queimava os corpos, a massa

não se alterava desde que todo o processo fosse mantido em um recipiente fechado. Em recipiente aberto, os metais até aumentavam de peso quando queimados. (Experimente queimar um "bom-bril". Depois de queimado ele pesa mais) O metal se oxida, isto é, absorve o oxigênio do ar. Lavoisier descobriu que o "algo" que fazia os metais aumentarem de massa era o oxigênio.

A partir do trabalho de Lavoisier, a balança passou a ser sistematicamente usada pelos químicos. Isto forçou os químicos a uma nova atitude diante das reações químicas. Elas deviam então ser tomadas como re-combinações dos ingredientes presentes e combinados de outras maneiras. Em poucas décadas depois de Lavoisier, já era geral a crença de que a massa se conserva nas reações químicas. Essa crença fêz as receitas dos antigos alquimistas evoluirem para as equações da química.

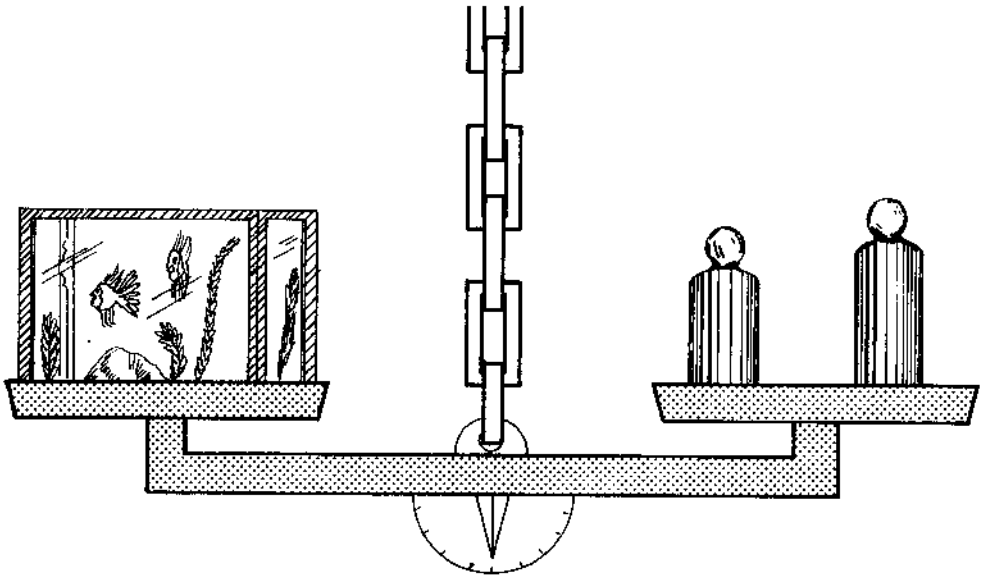
Quando você escreve uma equação química, você está realmente repetindo a Lei da Conservação da massa. Tudo o que está contido de um lado (antes) está também contido no outro lado (depois da reação). Os dois lados (membros) da equação podem representar os dois pratos da balança. O sinal de igual representa o fiel da balança.



Não é só nos processos da química que se conserva a massa. Também nos processos da vida (biológicos), que são extremamente complicados, a massa se conserva. Os processos da vida são processos também químicos e de grande complexidade. Você já imaginou a complexidade das reações químicas que estão envolvidas em processos como a nutrição ou a reprodução?

Imagine o seguinte experimento. Sobre uma balança colocamos um aquário que se possa fechar hermeticamente, isto é, fechado à prova de gás. Dentro do aquário vamos colocar

uma "família" de peixes e o suprimento de oxigênio e alimentos para algumas semanas. Durante esse tempo, os peixes vão comer os suprimentos, vão se reproduzir e vão eliminar detritos. Quando nascer uma "ninhada" de novos peixinhos, será que a massa se conserva? - Verificamos que sim. Depois de algum tempo o suprimento de oxigênio e alimentos terminou. Os peixes grandes e pequenos morreram.



- A massa ainda é a mesma? Verificamos que sim, pois a balança continua em equilíbrio. Depois de algumas semanas os peixes já se decompuseram.

- A balança continua como no início. A massa não se alterou, mesmo com as grandes transformações ocorridas com a nutrição, respiração, excreção, nascimento, morte e decomposição. Alterando-se a maneira como os diferentes tipos de átomos (elementos) estavam combinados, os átomos continuam os mesmos de antes.

À medida que se foram acumulando evidências de que a matéria não se cria nem se destrói, o homem foi entendendo que todas as coisas, vivas ou não, são constituídas de um pequeno número (92) de tipos de átomos elementares. Esse fato é semelhante a uma grande variedade de tipos e tamanho de casas de uma cidade. Apesar de diferentes, as casas podem ser feitas com um pequeno número de tipos de tijolos. Poderíamos dizer que, no

Universo que conhecemos, desde as salsichas até as estrelas, passando por nós e todas as coisas, tudo é constituído de uns poucos tipos de átomos. A grande diversidade das coisas podem ser explicadas pelas diferentes maneiras em que estão combinados esses poucos tipos de átomos (92 elementos). Esses tipos fundamentais de átomos é que são chamados elementos.

- Você está percebendo que toda evidência proporcionada pela balança é que nos tem levado a acreditar na conservação da massa?

- Você acha que a balança pode ser tomada como prova definitiva de que a massa não varia mesmo em nada?

- Você sabe que as balanças têm uma certa sensibilidade que varia de uma para outra. Isso quer dizer que as balanças só "tomam conhecimento" quando a variação de massa atinge um certo valor. Por exemplo, uma balança em que estão 100gramas de queijo, não se altera se sobre o queijo pousar ou levantar vôo uma mosca. No entanto,a massa total, com e sem mosca, é diferente. Isso significa que a balança não é suficientemente sensível para registrar essa variação de massa. Não podemos garantir então que não existem pequeníssimas variações !

Hoje podemos afirmar que o princípio da conservação da massa prevalece até a sensibilidade de uma parte em um milhão. Isso equivale a uma variação ou é proporcional à variação de um grama em um milhão de gramas ou uma tonelada . Se existe variação na massa,ela é menor que isso. As balanças de precisão usadas nos laboratórios de pesquisa têm sensibilidade a uma parte em um milhão ou em 10^6.

Você já deve ter lido ou ouvido falar de uma célebre equação introduzida pelo grande físico do século XX, Albert Einstein, um dos grandes gênios que a humanidade produziu. Essa equação é:

$$E = MC^2$$

Nessa equação E significa energia, M a massa e

C a velocidade da luz no vácuo (300.000 km/seg.). Essa equação estabelece uma equivalência entre massa e energia. Isso significa então que,quando um corpo irradia energia, ele está também perdendo massa. Como C é um número muito grande, e C^2 muito maior, resulta que a perda de massa nos casos comuns é pequeníssima. Tão pequena que está completamente fora do alcance das balanças mais sensíveis. Essas perdas de massa só começam a ser importantes quando a quantidade de energia é brutalmente grande. Isso acontece quando se altera a estrutura interna dos átomos.

Quando se trata de radiações nucleares,a energia emitida chega a ser tão grande que é capaz de afetar a quantidade de massa. Por exemplo, reações que se passam em uma bomba atômica. Mesmo que pudéssemos juntar todos os fragmentos e gases desprendidos, não obteríamos a massa inicial. Parte considerável de massa se transforma em energia e já não pode aparecer na balança. Essa energia se espalhou em forma de luz, calor e outras radiações eletromagnéticas. Essas coisas não podem ser colocadas nos pratos de uma balança.

Toda energia que recebemos do Sol, sob forma de luz e calor também se origina de transformações da matéria em energia. Nessas reações cada quatro átomos de Hidrogênio (H) se juntam para formar um átomo de Hélio (He). No entanto, a massa de 4 átomos de H é um pouco maior que a massa de um átomo de He. Essa pequena diferença de massa transformada em energia é responsável pela tremenda quantidade de energia que o Sol irradia. Por essa razão,o Sol pode irradiar tanta energia, perdendo pouco de sua massa. Esse mesmo processo é também o que ocorre em uma bomba H.

As reações em que ocorrem variações apreciáveis de massa são muito raras em relação à nossa vida diária.

Para efeitos práticos e no uso de nossas balanças, mesmo as de maior sensibilidade, a massa se conserva.

Mesmo sob as mais diversas transformações químicas e físicas que podemos realizar, a massa não se altera.

CONSERVAÇÃO DA MASSA E POLUIÇÃO

No exemplo que examinamos, o aquário, tanto os alimentos como os seres vivos e seus detritos estavam dentro de um sistema isolado. Aí a massa do sistema não se altera.

A Terra como planeta também pode ser considerada como um sistema isolado. Apesar da exploração das jazidas ou do aumento da população, a massa total da Terra não se altera. É da Terra que o homem tem que tirar o seu suprimento. É para a Terra que tem que voltar todos os detritos, orgânicos ou industriais. Toda atividade do homem sobre o meio ambiente, no entanto, não altera a massa total, apenas pode transformá-la. Neste caso também, o princípio da conservação da massa tem sérias implicações. Felizmente, de um lado, como a matéria (massa) não se destrói, o homem pode transformar em alimentos a matéria orgânica que já foi utilizada e se decompôs. Tal é o caso da utilização de esterco e fezes como adubos. Infelizmente, por outro lado, a massa se conserva, mas as transformações que a massa sofre às vezes são lentas, ou difíceis e dispendiosas.

Nos últimos anos o aumento explosivo da população da Terra tem provocado um aumento, também explosivo, nas necessidades de mais alimentos e bens de consumo. Ao mesmo tempo tem aumentado numa escala muito maior a quantidade de detritos resultante de um crescimento industrial e comercial.

É absolutamente necessário transformar mais coisas em alimentos e utilidades (lavoura e indústrias). É também necessário aumentar e tornar mais eficiente e completa a distribuição desses bens. Acontece que na natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma. Isso funciona também a nosso desfavor, isto é, contra o homem.

Nos últimos anos, o homem tem produzido muitas coisas que lhe podem ser altamente prejudiciais. Alguns exemplos dos agentes que começam a poluir de maneira alarmante o nosso meio ambiente são bem conhecidos de todos. A fuligem e os gases que resultam da combustão e processos industriais poluem

o ar que respiramos. Os produtos químicos resultantes de indústrias e uso doméstico (detergente) poluem os cursos d'água e acabam se concentrando no mar. O mar que poderia ser uma grande manancial de recursos já está seriamente ameaçado pela poluição. Os inseticidas, que se transformaram muito lentamente são altamente tóxicos, vão aumentando a contaminação dos cursos d'água e também chegam ao mar. Os produtos plásticos quase não se decompõem já são, em alguns países,um grande entulho que só tende a aumentar. Queimá-los polui ainda mais a atmosfera.

Tudo isso se passa sem que a massa total de planeta se altere. Se a humanidade desaparecer, fizer do seu planeta um lugar inabitável, ainda assim, a massa total se conservará. Só que aí já não estarão os homens para constatar essa trágica evidência de que a massa não se alterou, apenas se transformou.

- E qual a posição da ciência diante disso? - Poderia ficar indiferente ou neutro,o cientista ou mesmo o cidadão comum que sabe desses problemas?

Todos os problemas de maior produção de alimentos, de energia e de transportes só poderão ser resolvidos com a ciência e a tecnologia. Sabemos, entretanto, que isso não basta.Podemos também desaparecer da face da Terra por causa da ciência e da tecnologia.

É preciso que a ciência e a tecnologia sejam colocadas a serviço dos interesses da humanidade.

É da Terra, do ar e da água que deve sair a massa da qual são feitos nosso organismo e também para a terra, para o ar e para a água que têm que voltar os resíduos tanto do nosso organismo quanto de nossos objetos.

A maneira como exploramos os recursos da Terra ou a poluição que provocarmos, não modificarão a massa total do nosso planeta. Poderemos no entanto transformá-lo num lugar em que a vida, nossa ou de nossos descendentes ,se torne impossível ou muito difícil.

O que podemos fazer é colocar nossa ciência e nossa tecnologia a serviço de uma transformação a favor da humanidade, mesmo mantendo constante massa de nosso "aquário",da Terra.

CAPÍTULO 4 - LEIS DE CONSERVAÇÃO

4.4 - A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Todos os meses recebemos uma nova conta a pagar: a da luz. Nessa conta está a importância que devemos pagar pela energia elétrica que "gastamos" e que era da empresa distribuidora que "produziu" essa mesma energia.

- Será que a empresa produziu essa energia?
- Será que nós realmente gastamos a energia?

Certamente você já ouviu falar de que a energia não é produzida. E também não desapareceo. Você já sabe também que energia é o de que precisamos para realizar qualquer trabalho. Os seres vivos retiram energia dos alimentos. Os motores retiram energia dos combustíveis. Sempre a realização de qualquer trabalho exige energia. Chamamos então de energia a essa coisa que nos permite realizar tarefas de qualquer tipo.

Quando levantamos ou puxamos algo, estamos utilizando a energia que ingerimos com os alimentos. Quando um motor funciona,ele está utilizando a energia que está contida no combustível. Quando o chuveiro aquece a água,estamos utilizando a energia que nos chega das usinas através dos fios.

O grande princípio da conservação da energia não foi propriamente descoberto por ninguém. Ele só se evidenciou há pouco mais de 100 anos e desde então esse princípio tem sido uma das grandes ferramentas para resolver grandes problemas na Física.

Você deve estar mais familiarizado com dois tipos de energia: a energia potencial e a energia cinética. A energia potencial é a energia armazenada ou guardada. A energia potencial mais comum com que lidamos é a energia potencial gravitacional.Esta é a energia dada pela elevação de um corpo a uma certa altura (peso x altura = m g h).

O outro tipo comum de energia é a energia cinética ou energia de movimento. É a energia que o corpo tem e que depende de sua massa (m) e de sua velocidade (v).

Quando lançamos uma bola ou um carrinho sobre uma superfície lisa e horizontal, ele adquire um movimento retilíneo e uniforme. A velocidade sendo constante, a energia cinética se conserva.

fig. 4.1.

Quando soltamos uma bola (ou carrinho) de uma certa altura em uma rampa, ele transforma sua energia potencial (de altura) em energia cinética (de movimento).

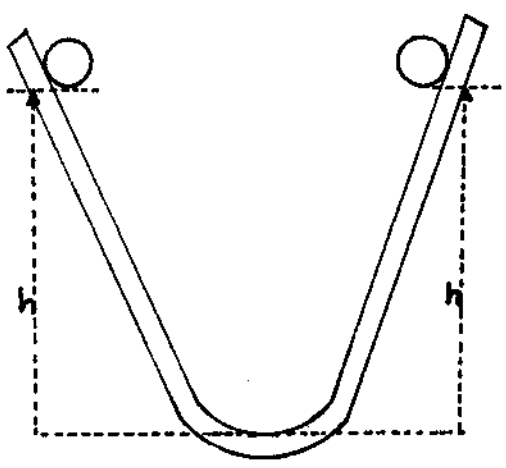


fig. 4.2.

Estando no topo da rampa, antes de começar a rolar, a bola tem uma certa energia potencial que depende de sua altura (h).

Ao rolar, essa energia potencial vai diminuir, pois a altura vai diminuir. Enquanto isso, a velocidade vai aumentar e, portanto, a energia cinética (de movimento) vai aumentar.

Ao chegar ao fundo da rampa, a energia potencial do corpo será ZERO (altura = 0). Nesse mesmo ponto será máxima sua velocidade e portanto sua energia cinética. Agora as coisas se invertem. A altura começa a aumentar novamente enquanto a velocidade começa a diminuir. À medida que a energia potencial vai aumentando, a energia cinética vai diminuindo. Aqui, como no caso anterior, a energia do sistema se conserva. A energia esteve passando de potencial a cinética. A soma

das duas se mantém constante.

Coisa semelhante ocorre quando um corpo oscila preso a uma mola ou qualquer outro corpo elástico.

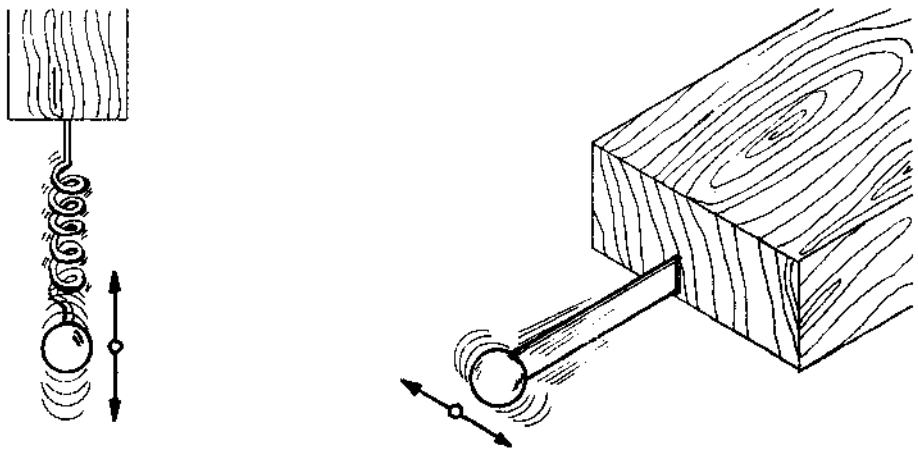


fig. 4.3.

Quando a mola estiver na sua máxima deformação, a energia potencial (elástica) é máxima. Nesse instante, é ZERO a velocidade e, portanto, NULA a energia cinética: o corpo para. Quando o corpo passa pela posição média, a mola (ou elástico)não está nem comprimida, nem distendida: sua energia potencial é ZERO. Nesse mesmo instante, a velocidade do corpo é máxima. É portanto máxima sua energia cinética. Ao chegar do lado oposto, o móvel recomeça o movimento em sentido contrário. Repetem-se as transformações de energia potencial em cinética e vice-versa.

Nessas transformações, a soma das energias potencial e cinética é constante, isto é, a energia se conserva.

Até aqui fizemos de conta que, tanto a bolinha na superfície lisa e horizontal, a bolinha na rampa ou as oscilações na mola continuassem indefinidamente. Para que a soma de energias potencial e cinética se mantivesse constante, os movimentos deveriam continuar para sempre.

- É isso que acontece?

- Sabemos que a velocidade da bolinha na superfície lisa também diminui.

- Sabemos também que a cada ida e volta as oscilações se vão tornando menores. As oscilações se vão amortecendo até parar.

Onde foi então a energia, se já não existem a energia potencial e a cinética?

Provavelmente você responda que a energia se espalhou em forma de calor.

- Mas o que é o calor?

É interessante como o calor, que já era utilizado pelo homem das cavernas, só recentemente tenha sido explicado de maneira coerente.

Foi próximo ao tempo da Revolução Francesa que apareceu a primeira teoria sobre o calor (James Black, 1728-1799) Essa teoria imaginava o calor como um fluido. Achava-se por exemplo, que a água era uma mistura de gelo e calor.

água = gelo + calor

Os corpos se tornavam frios quando deles saía o tal fluido, o **CALÓRICO**. No entanto, nessa teoria havia algumas coisas que intrigavam (Benjamin Thompson):

1. Os corpos, mesmo passando de muito quentes a muito frios, não mostravam nenhuma diferença de peso.
2. Atritando-se continuamente um corpo, continuamente ia saindo calor.
3. Mesmo depois de ter saído grande quantidade de calor de um corpo, não se alterava em nada sua constituição química.

Essas verificações feitas por Thompson enquanto observava a fabricação (perfuração) de canhões, levaram-no a acreditar que o calor é uma forma de movimento. Movimento não do corpo mas das partículas (moléculas) que constituem o corpo.

O passo definitivo para se considerar o **CALOR**

como uma forma de energia foi dado por JAMES PRESCOT JOULE (pronuncia-se JUL). Joule mostrou (não só) que havia uma direta proporcionalidade entre o trabalho mecânico e a quantidade de CALOR. Para isso ele realizou um experimento simples, mas muito claro e importante. Ele mediu a quantidade de calor que resultava de uma certa quantidade de trabalho mecânico. Isso foi feito com um aparelho que está esquematizado ao lado.

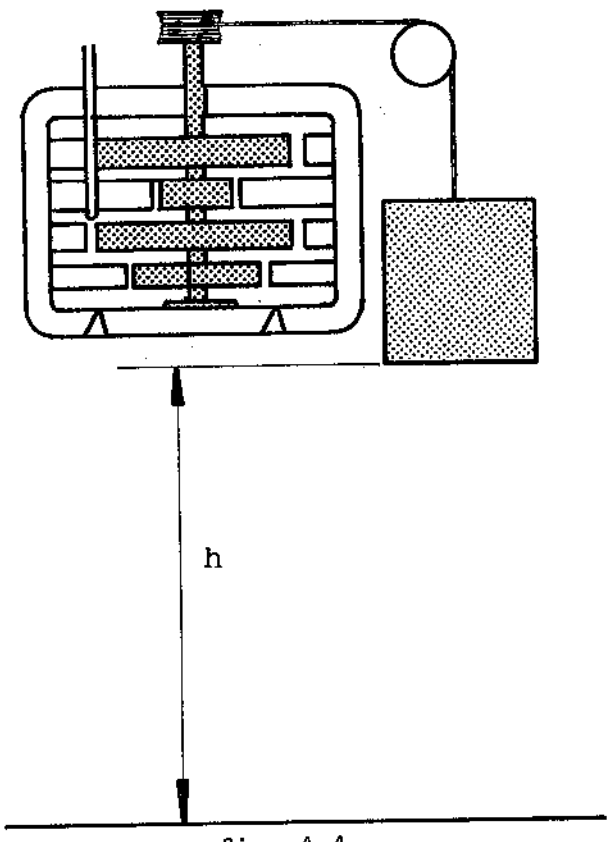


fig. 4.4.

O trabalho mecânico é realizado pelo peso que vai descer uma altura bem determinada. Através de uma roldana e um agitador, o peso vai agitar a água dentro do calorímetro. Com a agitação, a água terá sua temperatura um pouco aumentada. Conhecendo a massa (m) da água e o aumento da temperatura (ΔT), ficamos sabendo quantas calorias a água recebeu (1 cal = 1 gr de água x $1^{o}C$).

Nº DE CALORIAS = GRAMAS DE ÁGUA x AUMENTO EM GRAUS

Ou escrito de maneira mais breve

$$\Delta Q = m \times \Delta T$$

Por outro lado, é fácil saber-se o trabalho mecânico (ou energia) que se transformou. Esse trabalho foi realiza

do pelo peso que desceu bem devagar da altura h. É o mesmo que teremos que fazer para suspender o peso (P = mg) na altura h. O trabalho (w) é o produto do peso (força) pela distância (h).

Então:

$$\text{trabalho} = \text{força} \times \text{distância}$$

$$w = f \times h$$

Supondo então que todo o trabalho mecânico tenha sido transformado em calor, sabemos qual a constante de proporcionalidade quando se transforma trabalho mecânico em calor.

O resultado foi

4,18 JOULE = 1 caloria

4,18 J é então a constante de proporcionalidade nas transformações de energia mecânica para calor. Isso quando se exprime o trabalho em JOULES e o calor em CALORIAS.

Sabemos também que 1 JOULE (em homenagem a esse grande homem de ciência) é o trabalho que fazemos quando exercemos uma força de 1 newton pela distância de 1 metro. Quando um joule se transforma inteiramente em calor, obtemos o,24 calorias.

Depois de se saber que trabalho mecânico pode transformar-se em calor e vice-versa, as coisas se tornaram mais claras. A energia mecânica (potencial e cinética) que a bolinha vai perdendo na mesa, rampa ou nas oscilações pode ter sido transformada em calor. É essa aparente "perda" de energia que atribuimos ao atrito.

O papel dos lubrificantes (óleos e graxas) é diminuir a quantidade de energia mecânica que se transforma em calor. Os óleos e graxas evitam ou pelo menos diminuem o atrito mecânico.

Só depois do célebre experimento de JOULE(1843) os físicos puderam perceber que a energia se conserva.

Quando a energia desaparece da forma mecânica, ela aparece em forma de calor. Daí por diante, todas as ocasiões em que foram feitas medidas, mostraram que:

A ENERGIA SE CONSERVA

A conservação nem sempre é evidente. Por exemplo, quando você atira um objeto com uma certa velocidade. Uma colisão ou o atrito farão o corpo parar. E a energia cinética onde foi? A energia se espalhou em forma de calor. Se você fizer as contas (1 cal = 4,18 joules), vai ver que é preciso "gastar" bastante energia mecânica para que o aumento da temperatura seja perceptível.

Dobre um pedaço de arame grosso, umas 10 vezes de maneira que a dobra se faça sempre no mesmo lugar do arame.

Se você dobrar sobre o mesmo lugar,a temperatura do arame poderá ter subido bastante. Poderá até queimar seu dedo. O aumento de temperatura foi grande. A energia mecânica que você dispendeu se transformou em calor numa pequena região do arame. Se ela se tivesse distribuído por alguns metros de arame, você não perceberia o aquecimento.

Será que apenas a energia mecânica se transforma em calor? Você sabe que não. Você sabe que a luz do Sol também aquece.

Todas as formas de energia são transformáveis umas nas outras. Enumere as formas de energia que você conhece. Para falar só na energia que recebemos do Sol, veja quantas transformações acontece, desde que a energia do Sol chega à Terra e faz a água (vapor de água) subir para a cabeceira dos rios.

A água elevada pela energia do Sol aciona as usinas hidroelétricas. A energia elétrica faz funcionar uma verdadeira multidão de tipos de transformações de energias.

Entretanto, todas essas formas de energia acabam por se "deteriorar" em calor. O calor é a forma menos organizada da energia.

Depois de se saber que o calor é constituído pelo movimento desordenado das moléculas, ficou mais simples entender as transformações da energia.

Depois de se aprender também a medir quantidade de calor $\{ Q = m \cdot c \ (t_{final} - t_{inicial}) \}$ pode-se comprovar que a energia se conserva, mesmo em processos onde ela aparentemente sumiu.

ATIVIDADE: ONDE VAI A ENERGIA DAS LÂMPADAS?

Nesta experiência, você utilizará como fonte luminosa uma lâmpada. A lâmpada, que é um aparelho para transformar energia elétrica em energia luminosa, tem várias características. Uma delas, que vem inscrita no seu bulbo, diz quantos watts tem a lâmpada.

Para o experimento que você vai fazer, esse dado, o número de watts que a lâmpada tem, é importante; por isso, vamos investigar o que ele quer dizer.

Você sabe que quanto mais tempo as lâmpadas ficarem acesas em sua casa, mais alta vai ser a "conta da luz". Sabe, também, que quanto mais watts tiverem as lâmpadas, maior ainda será a "conta da luz", isto é, maior será o consumo de energia elétrica.

O consumo de energia elétrica, que é gasta em forma de energia luminosa, depende, então, dessas duas coisas, isto é, do tempo em que as lâmpadas ficam acesas e de quantos watts elas têm.

Um watt significa que a fonte de energia é capaz de fornecer um joule por segundo. O joule é uma medida de trabalho. Corresponde ao trabalho que você realiza quando faz uma

força de um Newton em 1 metro. Como a energia significa capacidade de realizar trabalho, esta unidade também é a usada para medir energia. Então, se você gastar um joule em um segundo você dispendeu um watt de potência.

Na nossa experiência, usamos uma lâmpada de 40 watts porque ela fornece menos potência, e assim, conseguimos um aumento de temperatura conveniente para o nosso experimento.

Quanta energia a lâmpada de 40 w vai "gastar", se ficar acesa durante 10 minutos? Essa energia se perdeu? Para onde ela foi?

A quantidade de calor que um corpo tem é uma medida da energia em forma de calor que ele possui, e é expressa em calorias. A caloria é a quantidade de calor que uma massa de água de um grama necessita para ter aumentada em um grau sua temperatura.

Essa experiência, que você vai fazer, deve ser isolada do meio circundante para que toda a energia luminosa e a energia em forma de calor que vem dela, não se espalhem. Assim, você pode fazer as medidas com mais precisão e sem influências externas. Um recipiente de isopor (baldinho de gelo), por exemplo, nos fornece uma boa isolação térmica.

Você vai agora medir a quantidade de calor em que se transformou a energia luminosa da lâmpada. Para isso vai mer

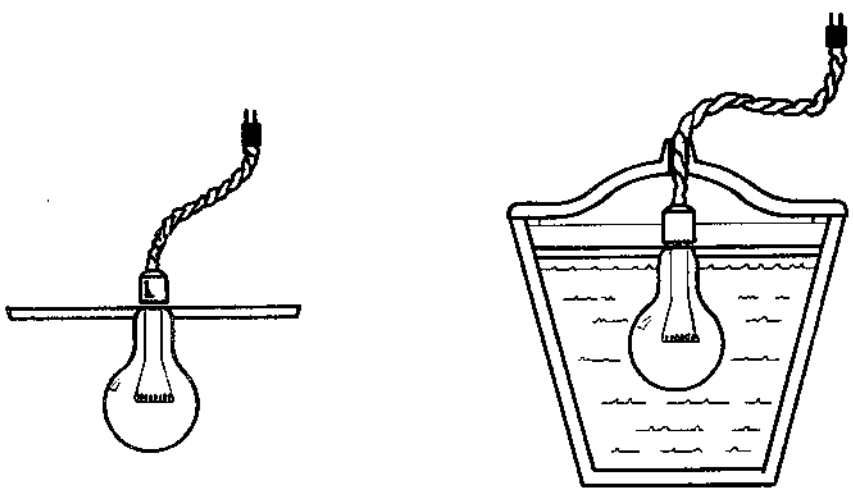


fig. 4.5

gulhá-la num certo volume de água que você colocará dentro do recipiente de isopor, como se vê na fig. 4.5. Você, então, acende a lâmpada e mede a variação de temperatura que ocorrerá com um termômetro que tem sua parte inferior mergulhado na água como mostra a fig. 4.6.

Você deve medir também o tempo em segundos durante o qual a lâmpada permanecerá acesa. Com esses dados, você pode calcular a quantidade de energia emitida pela lâmpada, e a quantidade de calor recebida pela água.

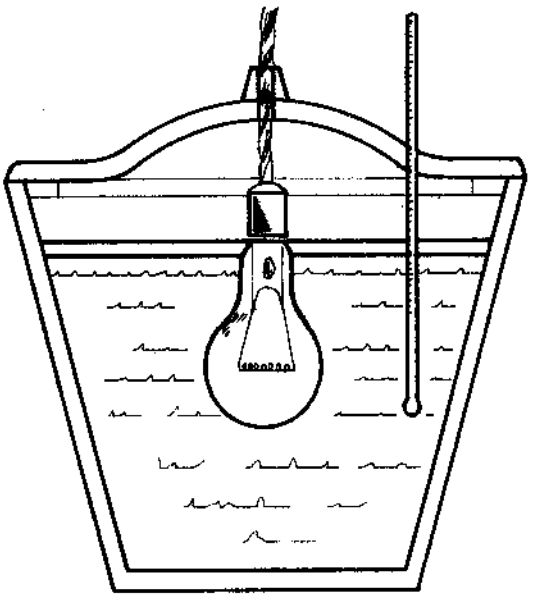


fig. 4.6

Compare os resultados dos cálculos. São iguais ? Qual é a razão entre esses dois valores?

Esse número que você obtém chama-se <u>equivalente mecânico</u>. É uma importante constante física e quando as medidas são feitas com cuidado o valor encontrado para o equivalente mecânico é de 4,16 joules/caloria.

Você percebeu que, multiplicando o valor da energia em forma de calor pelo equivalente mecânico, você obtém a quantidade de energia em joules que a lâmpada emitiu?

LISTA DO MATERIAL EMPREGADO

UNIDADE II: MECÂNICA

Seção 1.1

papel quadriculado 5 folhas
papel log-log 5 folhas

Seção 1.2

papel quadriculado 5 folhas
régua de medidas (30 cm)

Seção 1.3

régua de medidas (30 cm)

Seção 1.4

Dinamômetro : - mola, elástico, lâmina de cerra ou varinha de bambu seco (lasca)
- palito de sorvete ou equivalente
- barbante (30 cm)
- uma tabuinha de madeira de 10 x 50 cm

carrinho de pequeno atrito (qualquer)
cargas (bloquinhos de madeira ou pedaços de tijolo)
régua de medida

Seção 1.5

lâmina de serra de arco
barbante (3 cm)
régua de medidas (30 cm)
pote de iogurte ou eqùivalente
2 batatas iguais ou massa de moldar
pedrinhas de massas diferentes
proveta

lata de 1 a 10 litros

tubo de plástico ou borracha (mangueira de jardim)

Seção 2.1

régua de medidas (30 cm)

Seção 2.2

dinamômetro (já descrito na seção 1.4)

lápis

carrinho ou bola de pequeno atrito (bilhar ou boliche)

Seção 2.3

pequenos pesos (como chumbinhos de vara de pescar)

barbante (2 m)

balança: cabo de vassoura ou vassoura inteira
peso conhecido conhecido (1 k de açúcar por exemplo)

roldana

régua de medidas (30 cm)

papel quadriculado (5 folhas)

Seção 3.1

seringa de injeção de vidro com agulha (5 a 20 cc).

gás de extintor de incêndio (CO_2)

gás de fogão

vela de iluminação

gelo

vidrinho de remédio com tampa de plástico (5 a 10 cc)

cola plástica

prego de grossura de um canudo de refresco

canudo de refresco transparente

termômetro (se possível)

1 m de tubo plástico transparente (o diâmetro de canudo de refresco

palito redondo ou barbante (30 cm)

álcool

uma mecha de algodão

lamparina

tinta de escrever ou corante

régua de medidas (30 cm)

papel milimetrado (5 folhas)

Seção 3.2

2 pedaços de 60 cm de tubo plástico transparente (de 1 cm)

Manômetro: - 1 "T" ou "Y" de vidro

60 cm de tubo de borracha (latex cirúrgico)

suporte qualquer (sugestão na fig. 2.3)

50 cm de barbante ou presilha

garrafa de refrigerante

1 "T" ou "Y" de vidro

rolha furada (para o "T" ou "Y")

50 cm de tubo de borracha (latex cirúrgico)

papel quadriculado (5 folhas)

Seção 4.1

régua de medidas (30 cm)

Seção 4.2

régua de medidas (30 cm)

Seção 4.3

nenhum material

Seção 4.4

1 lâmpada de 40 watts

1 recipiente de isopor (sugestão, fig. 4.5)

1 termômetro