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 de 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. 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 Bilac - Rio Preto - 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

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

EPÍLOGO 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 quise - rem. 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 mantém 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 gire 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 pequenísimos 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.

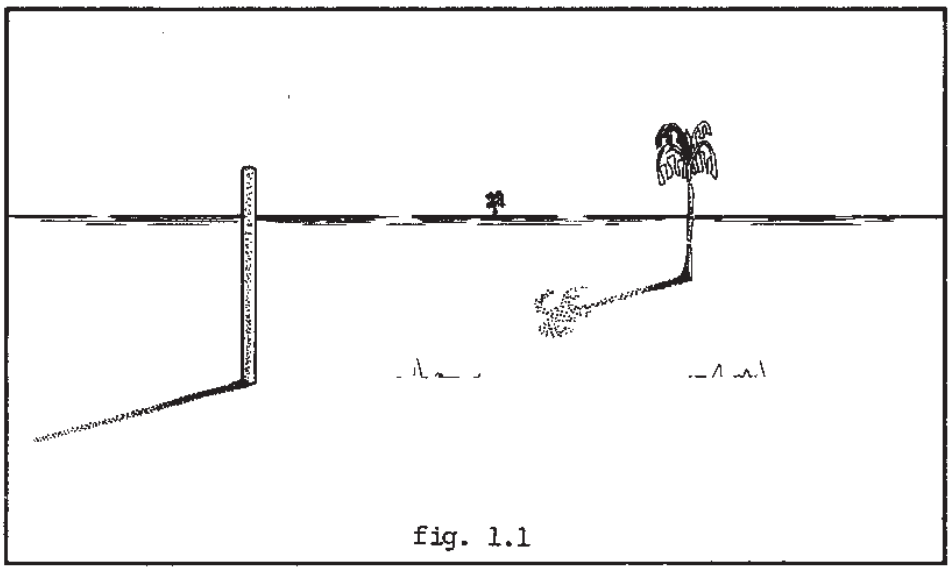


fig. 1.1

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.

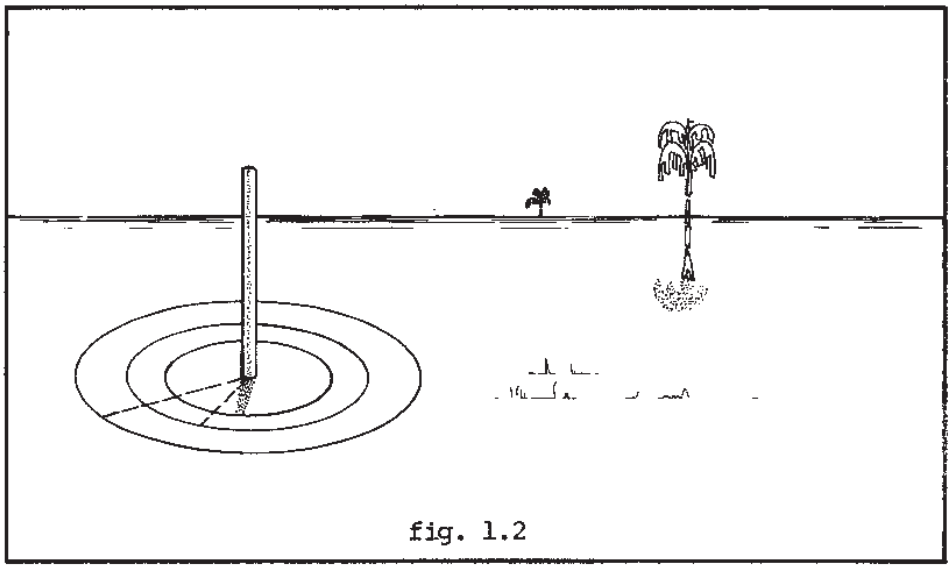


fig. 1.2

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.

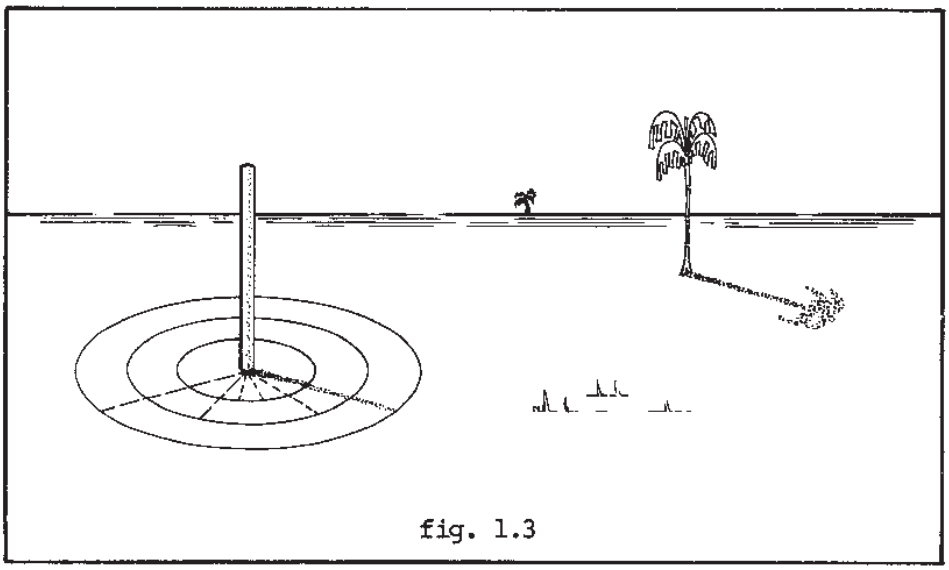


fig. 1.3

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.

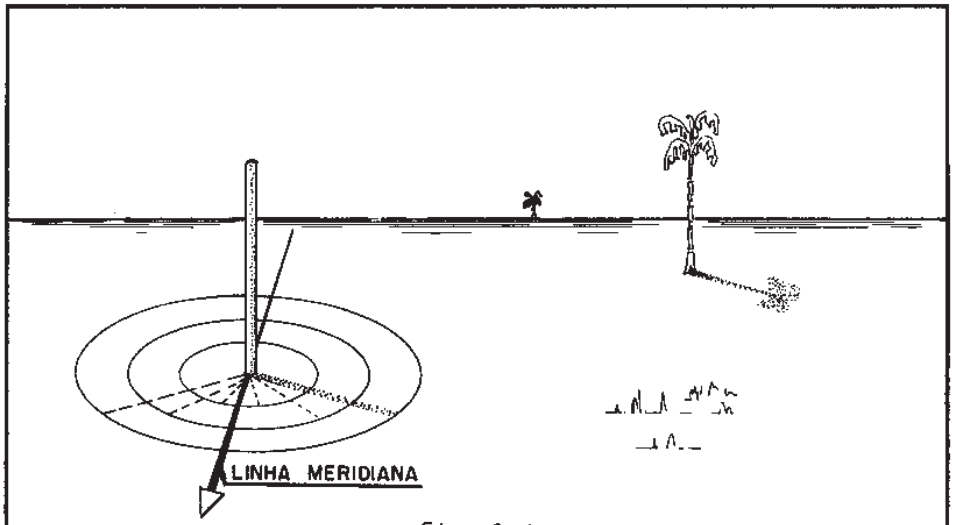


fig. 1.4

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.

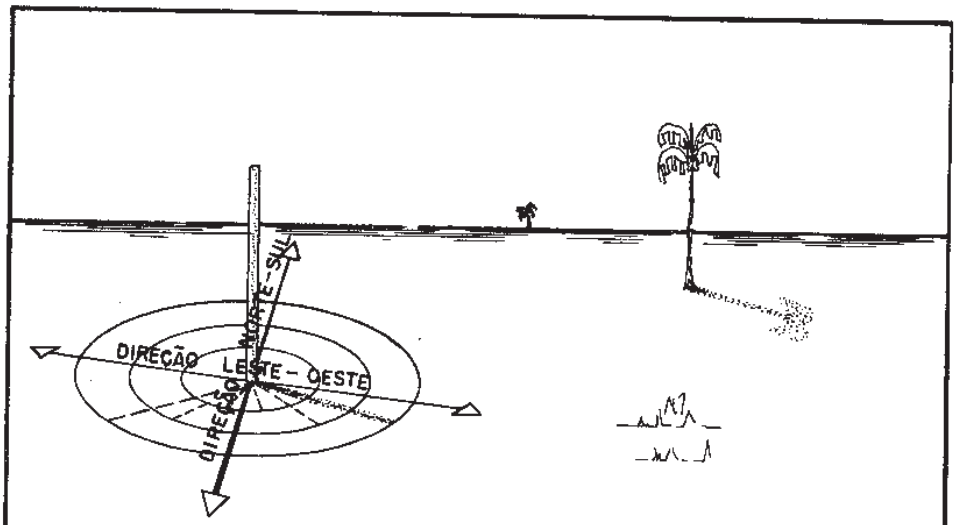


fig. 1.5

Esse plano que você acaba de determinar é fundamental 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".

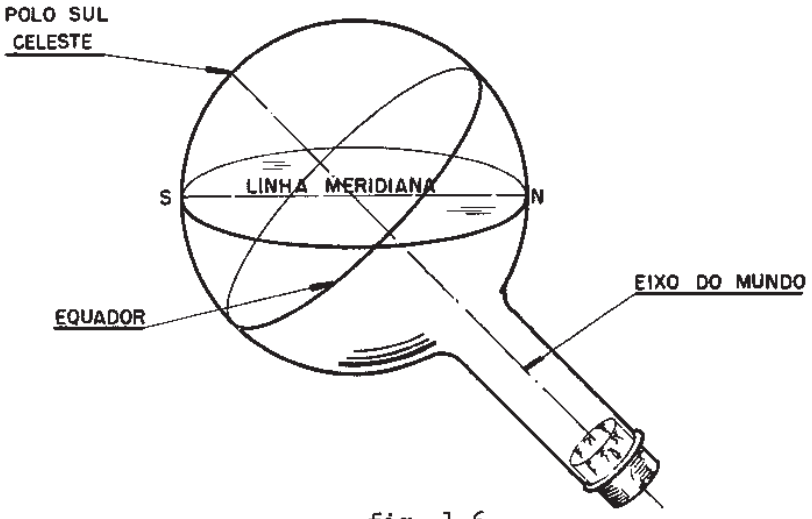


fig. 1.6

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.

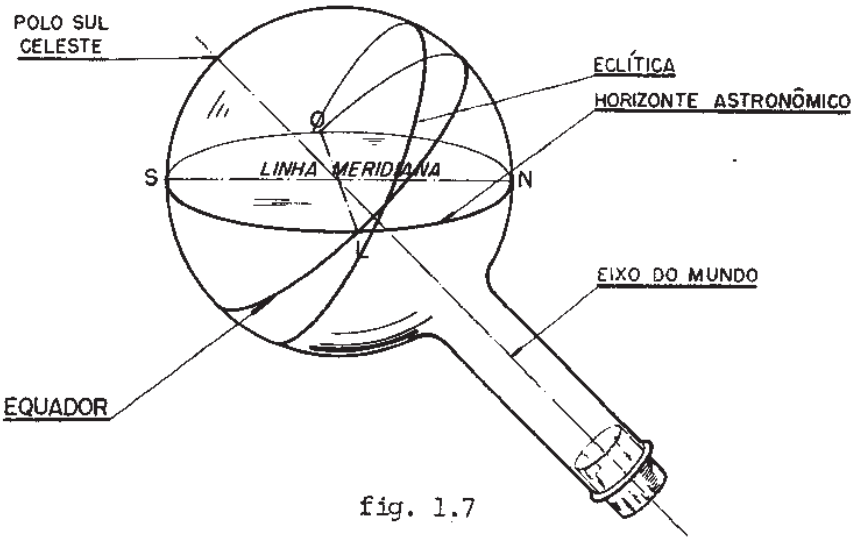


fig. 1.7

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.

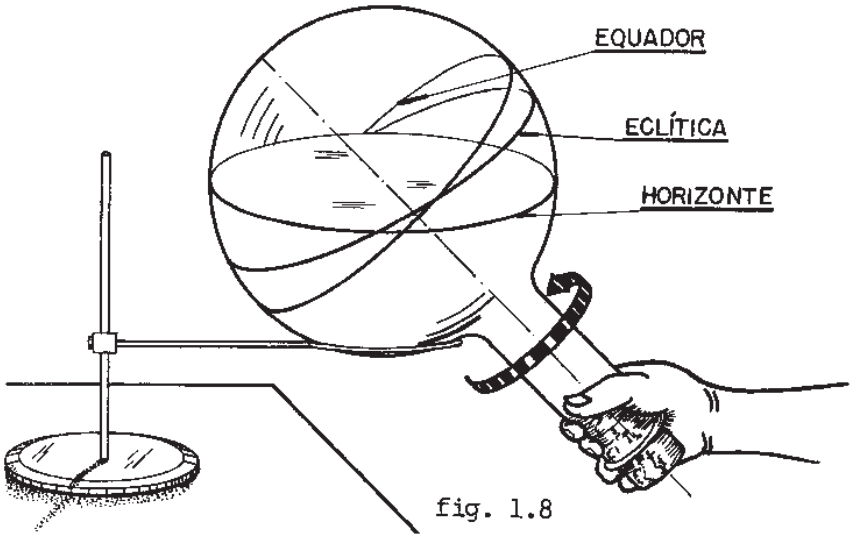


fig. 1.8

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.

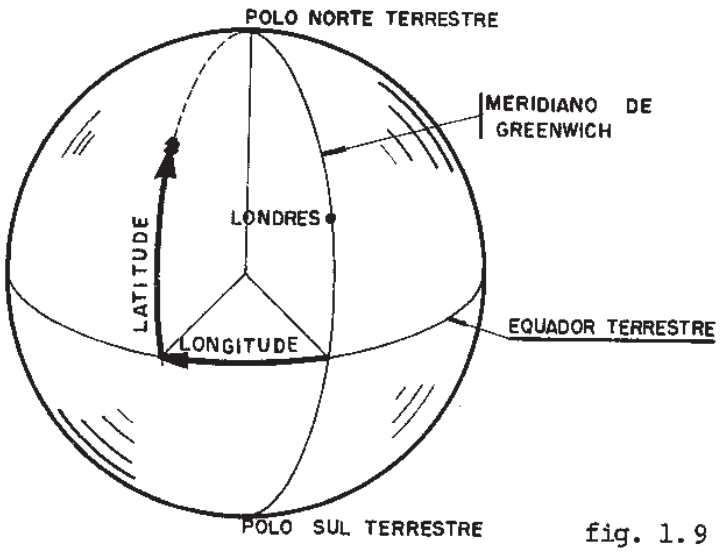


fig. 1.9

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.

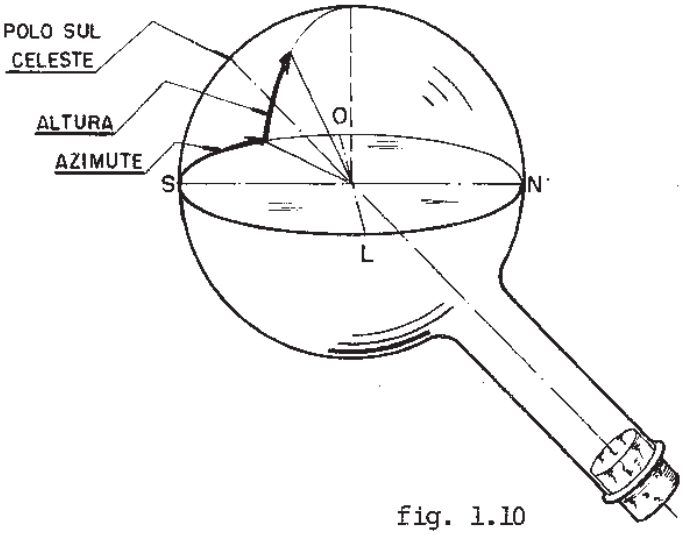


fig. 1.10

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^{o} (zero). Todos os astros ao nascer e no seu ocaso têm altura 0^{o} (zero). O Zenite que é o ponto exatamente sobre nossas cabeças tem altura 90^{o}.

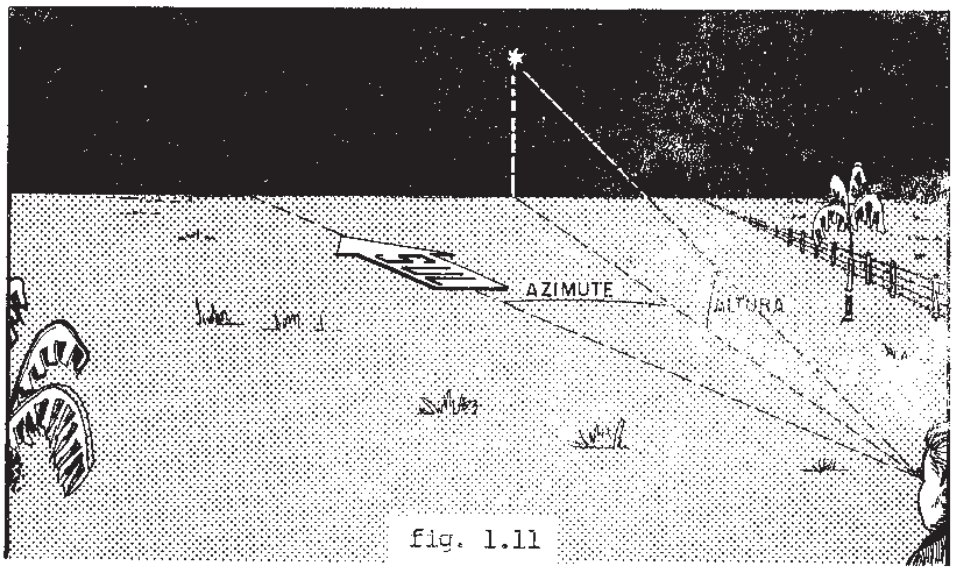


fig. 1.11

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.

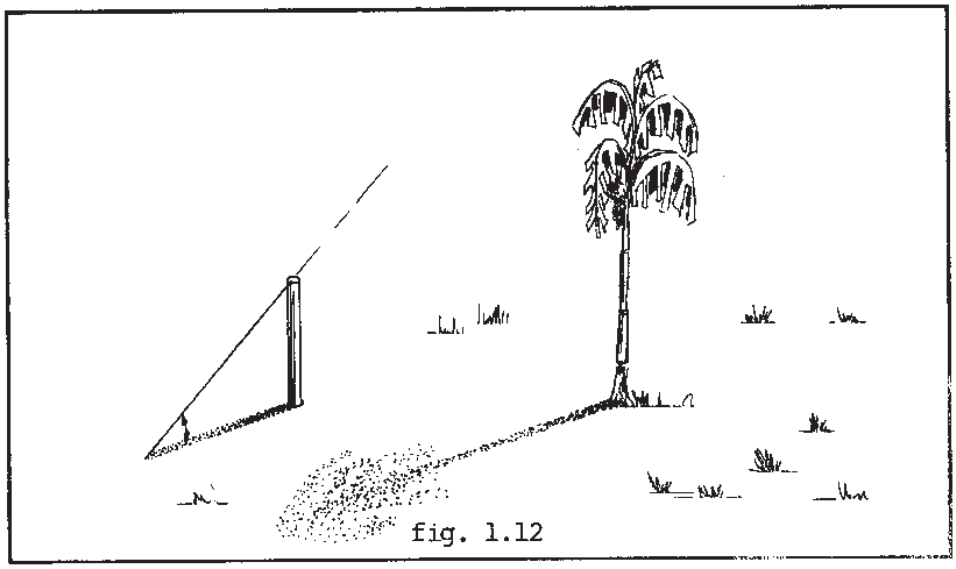


fig. 1.12

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^{o} (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.

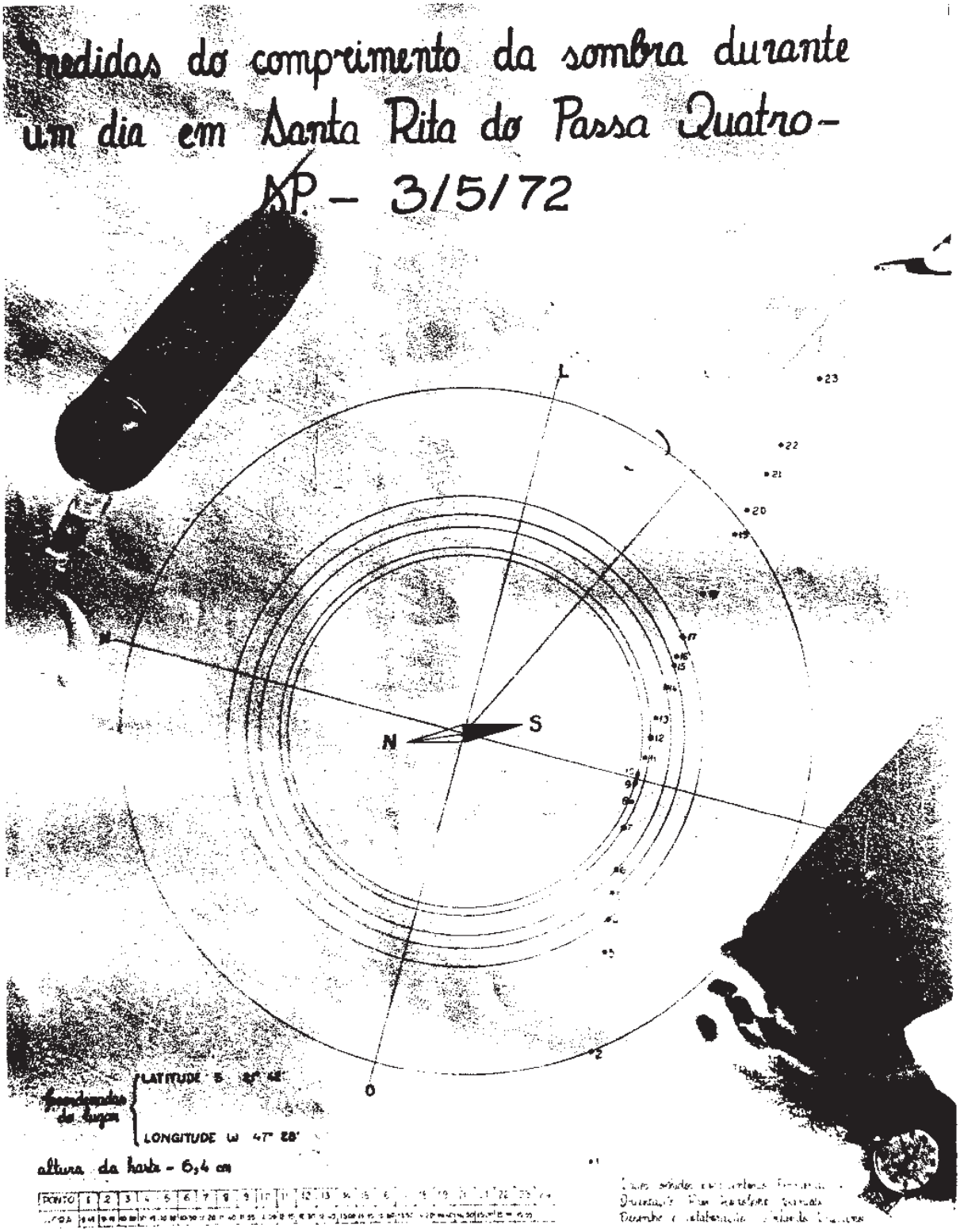
HORA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
AZIMUTE												
ALTURA												

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^{o}?
6. Você não esperava que o Sol passasse todos os dias pelo Zeni - te?
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^{o}? 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



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^{o}. Os polos celestes são pontos de declinação igual a 90^{o}. O Equador celeste é o lugar dos pontos cuja declinação (δ) é de 0^{o} (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^{o}.

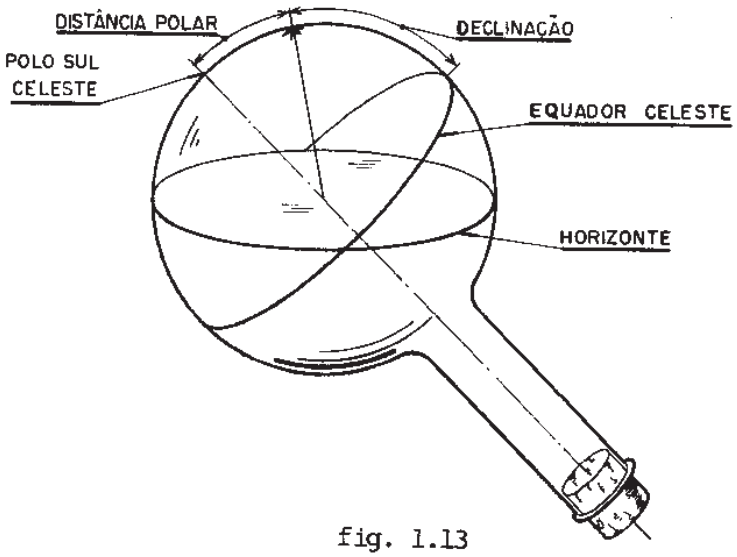


fig. 1.13

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.

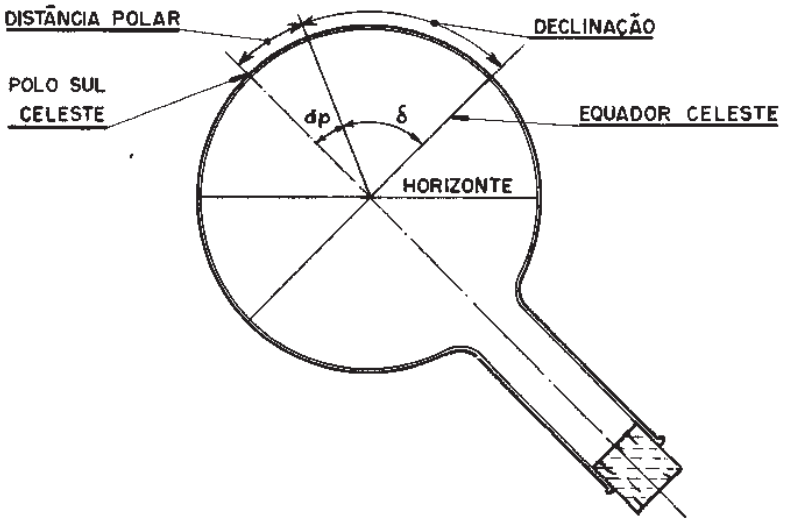


fig. 1.14

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).

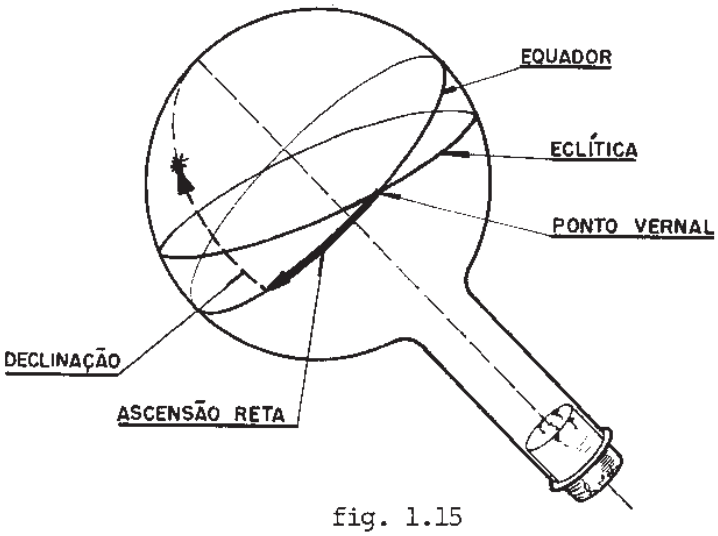


fig. 1.15

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 ($360^{\circ} \div 24$) 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^{o}. 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^{o} deve coincidir com o equador e a 90^{o} 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^{o} 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^{o}. 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.

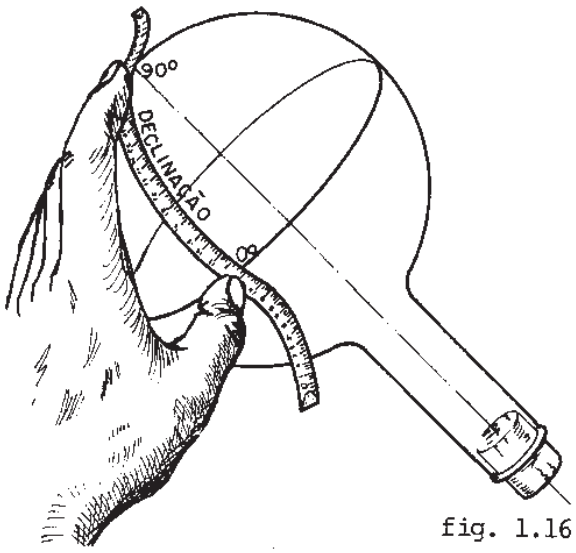


fig. 1.16

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".

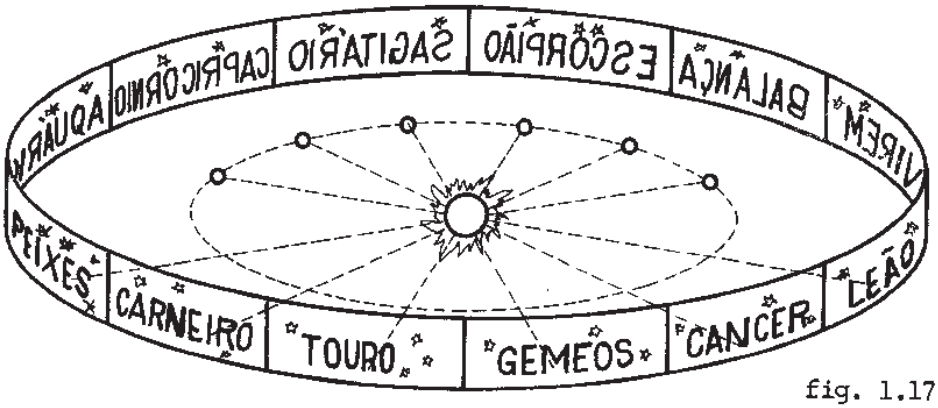


fig. 1.17

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^{o} a 360^{o} 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^{o} a 90^{o} para o lado Sul e para o lado Norte.

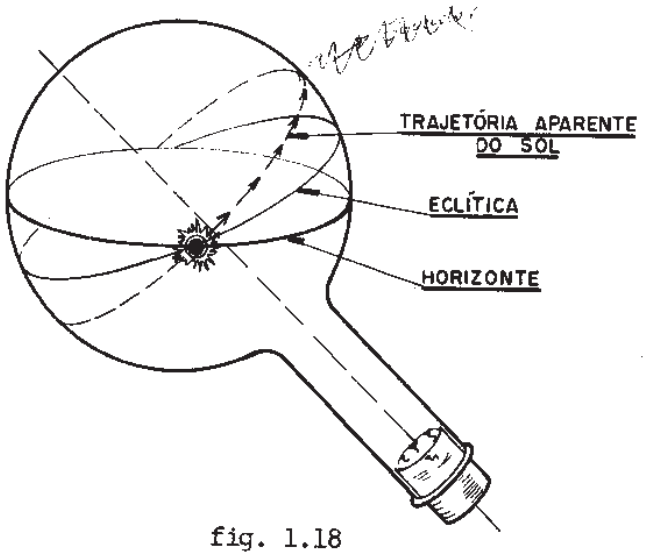


fig. 1.18

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^{o}.

Durante o ano, a longitude do Sol varia de 0^{o}, em 20 de março, até 360^{o}, no dia 20 de março, novamente.

Durante uma lunação, a diferença das longitudes do Sol e da Lua varia de 360^{o}. 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^{o}. Nos "quartos", crescente e minguante, essa diferença de longitude é 90^{o}.

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

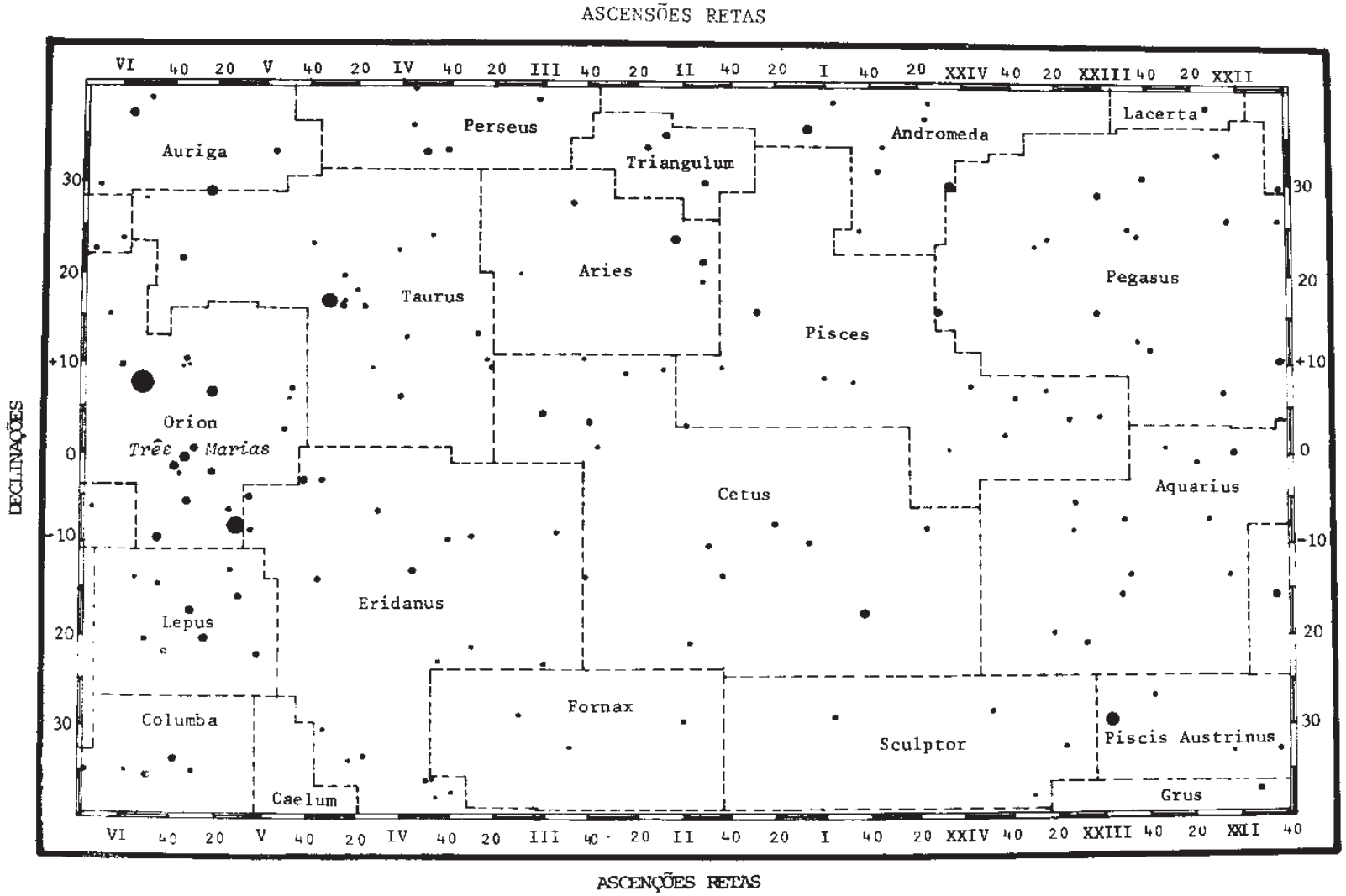
O mapa a seguir representa um pedaço do céu, ao longo da Eclítica.

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
VI 40 20 V 40 20 IV 40 20 III 40 20 II 40 20 I 40 20 XXIV 40 20 XXIII 40 20 XXII
Auriga
Perseus
Triangulum
Andromeda
Lacerta
Aries
Taurus
Pisces
Pegasus
Orion
Três Marias
Cetus
Aquarius
Eridanus
Lepus
Fornax
Columba
Sculptor
Piscis Austrinus
Caelum
Grus
30
20
+10
0
-10
20
30
DECLINAÇÕES
DECLINAÇÕES
VI 40 20 V 40 20 IV 40 20 III 40 20 II 40 20 I 40 20 XXIV 40 20 XXIII 40 20 XXII 40
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	18,0h	- 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".

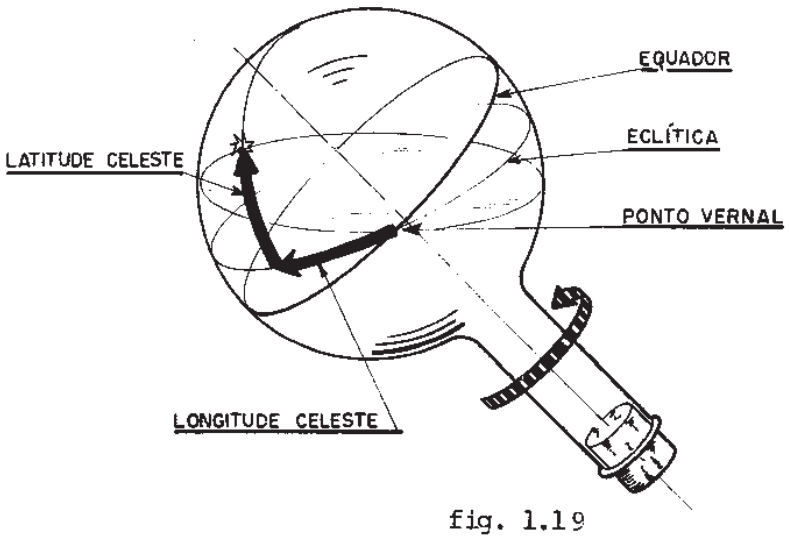


fig. 1.19

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.

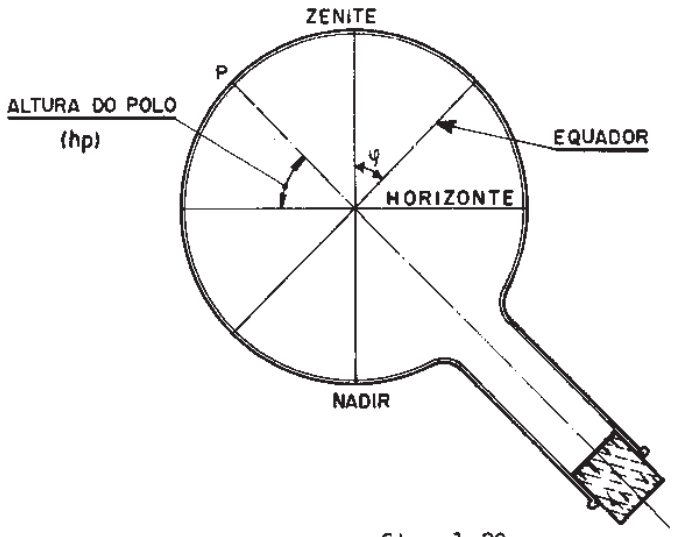


fig. 1.20

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).

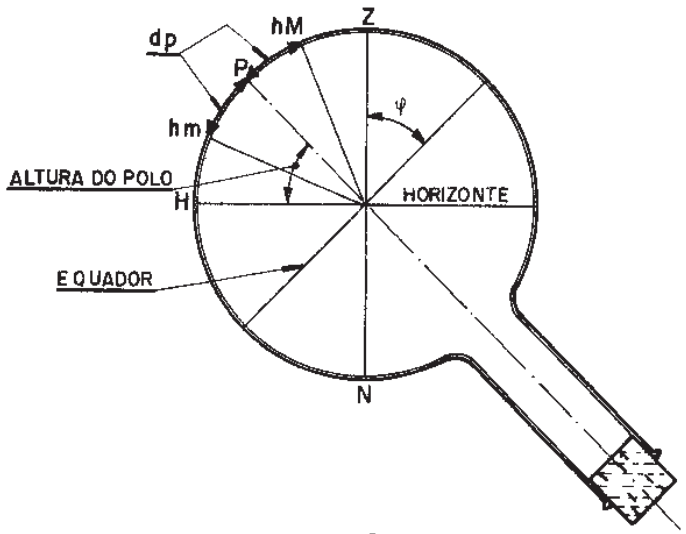


fig. 1.21

Então

$hp + P\hat{O}Z = 90^{o}$

ou

$hp = 90^{o} - P\hat{O}Z$ (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

$\varphi = 90^{o} - P\hat{O}Z$ (2)

Comparando a (1) com a (2) tem-se que $hp = \varphi$ (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. Como determinar a altura do polo?

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.

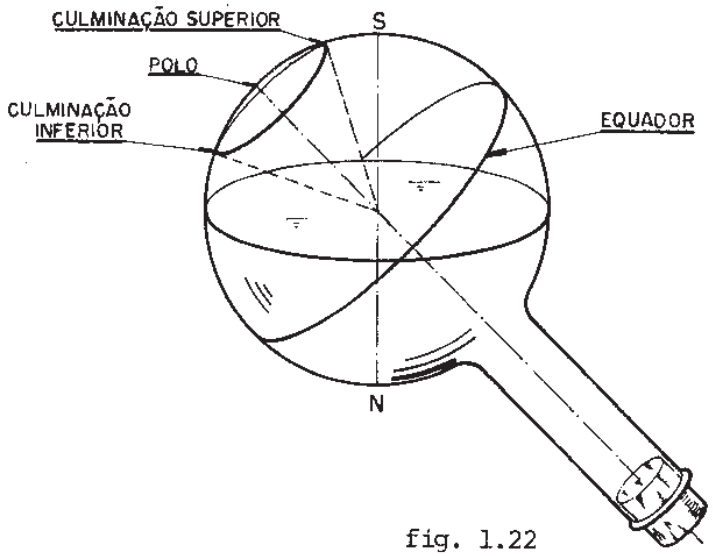


fig. 1.22

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 a 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:

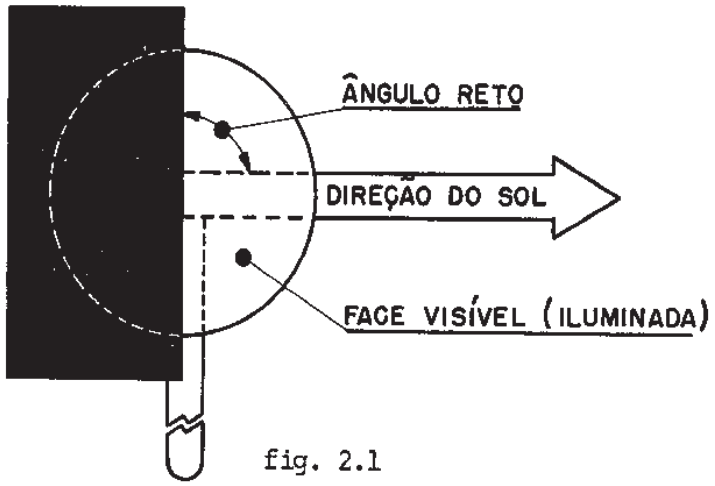


fig. 2.1

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)

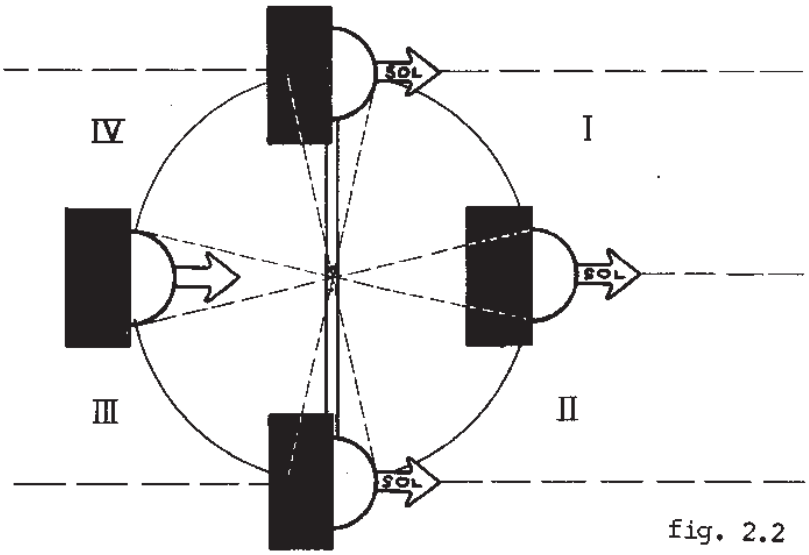


fig. 2.2

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^{o}.

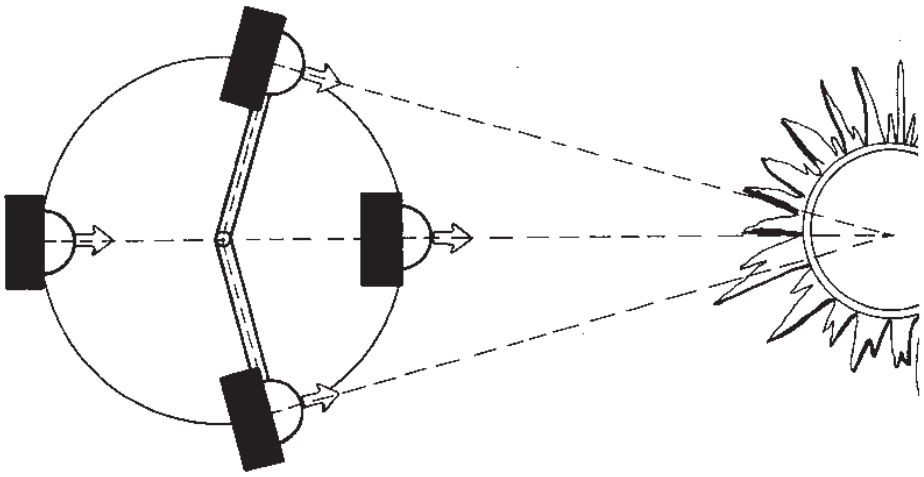


fig. 2.3

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 90° (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°.

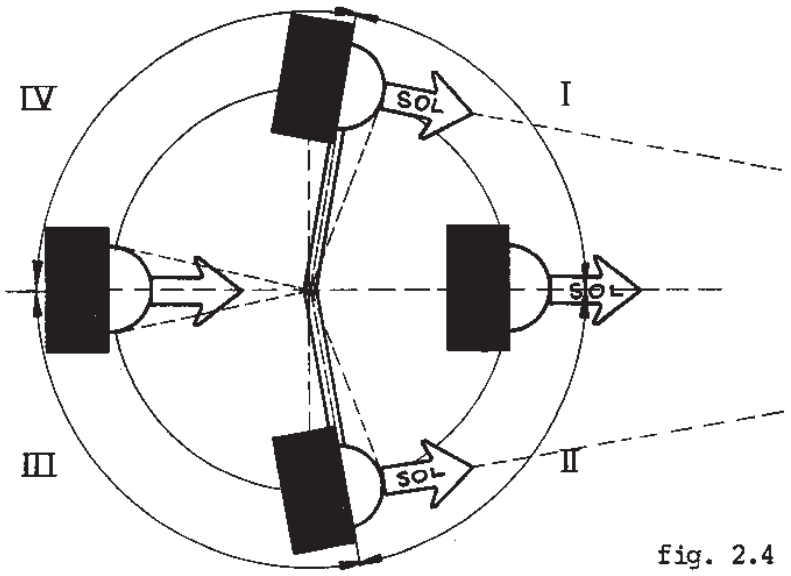


fig. 2.4

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.

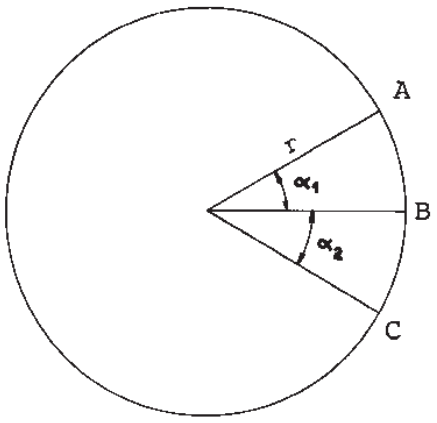


fig. 2.5

$$\frac{\alpha_1}{\overset{\frown}{AB}} = \frac{\alpha_2}{\overset{\frown}{BC}} = \frac{360^\circ}{2\,\pi\,r}$$

ou $$\frac{\alpha_1}{\overset{\frown}{AB}} = \frac{360^\circ}{2\,\pi\,r}$$

ou ainda:

$$\frac{2\,\pi\,r}{360^\circ} = \frac{\overset{\frown}{AB}}{\alpha_1}$$

Logo $$r = \frac{\overset{\frown}{AB} \times 360^\circ}{\alpha_1\ 2\,\pi}$$

Então se conhecemos um arco de circunferência ($\overset{\frown}{AB}$) e o ângulo central que ele subentende (α_1) ficamos conhecendo o raio dessa circunferência (r). Eratóstenes disputa de duas cidades próximas a um mesmo meridiano: Alexandria (A) e Siena (B), hoje Assuã, e cuja distância ($\overset{\frown}{AB}$) podia medir. O problema de Eratóstenes era medir o ângulo α_1 no centro da Terra.

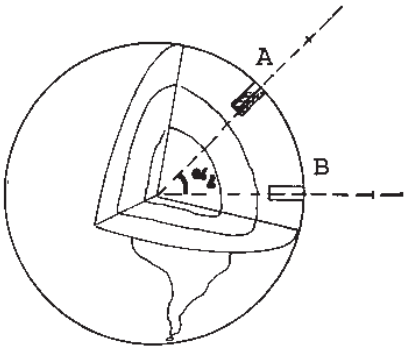


fig. 2.6

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.

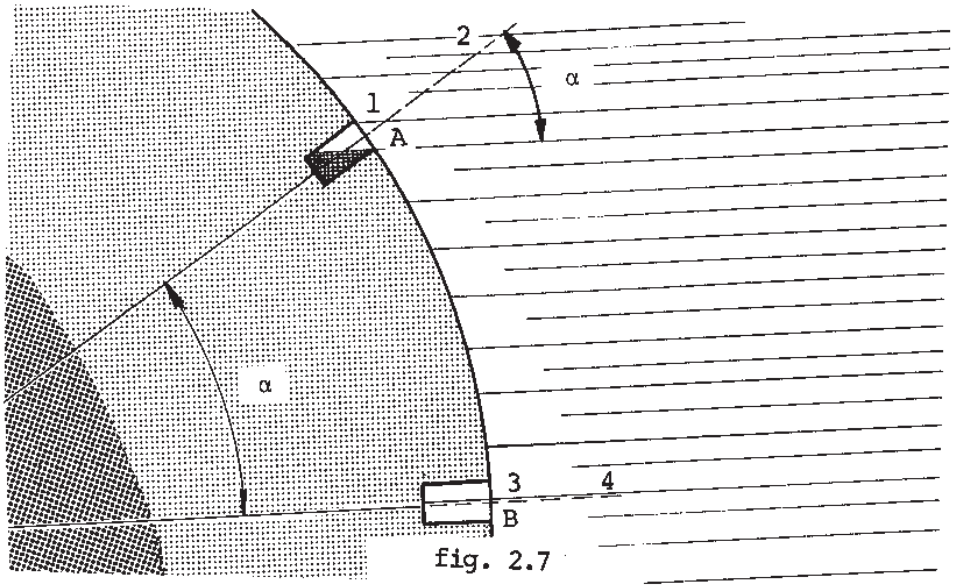


fig. 2.7

Todo o valor de α, que pode ser medido com um transferidor, e o arco $\overset{\frown}{AB}$ 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**.

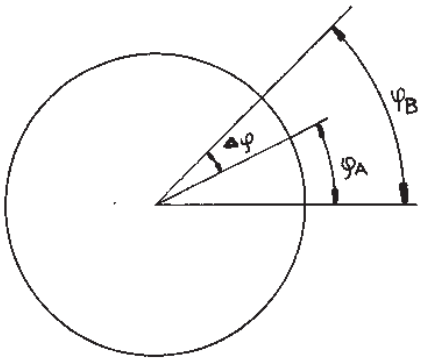


fig.2.8

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 $\overset{\frown}{AB}$)

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^{o} e 6^{o} 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^{o} (diferença entre 5^{o} e 6^{o}) 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).

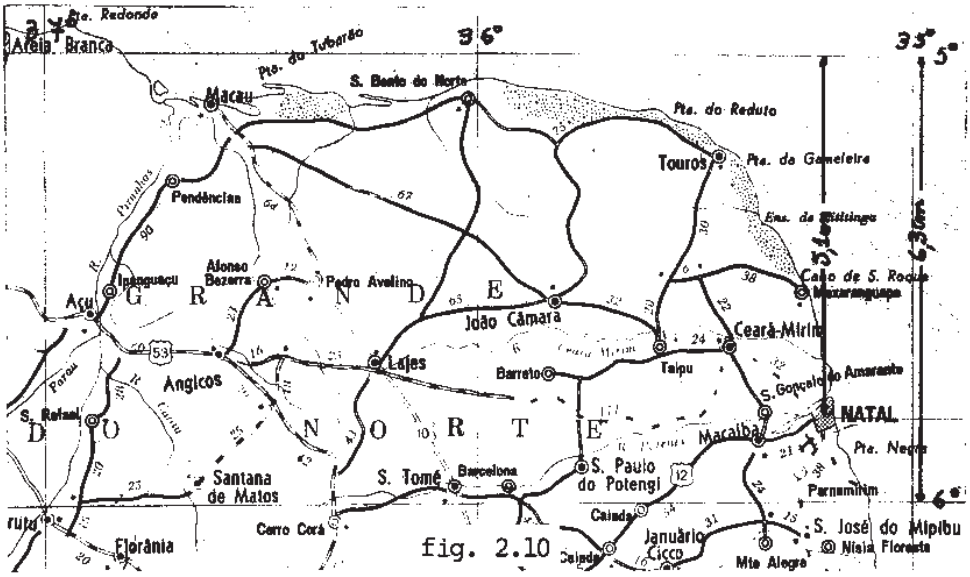


fig. 2.10

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

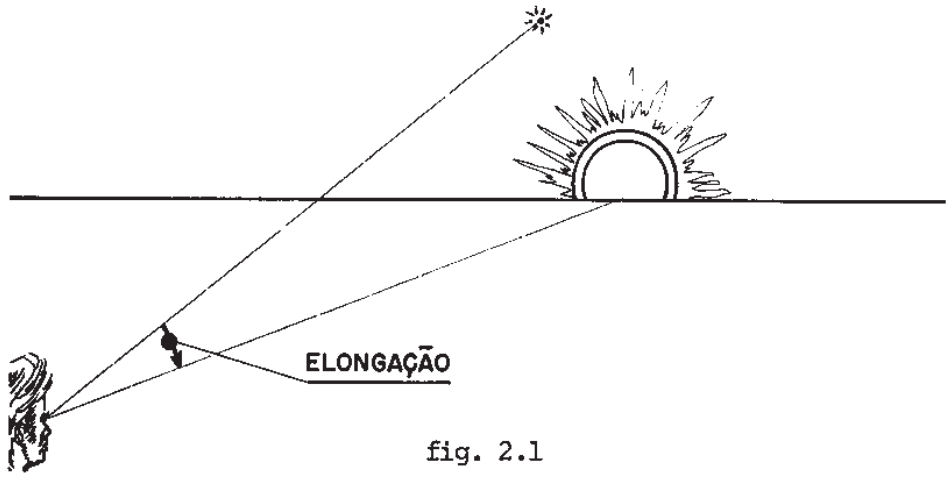


fig. 2.1

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

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

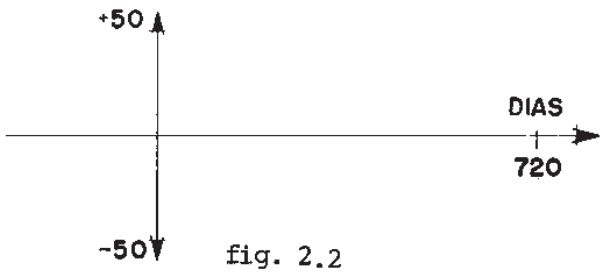


fig. 2.2

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:

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

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.

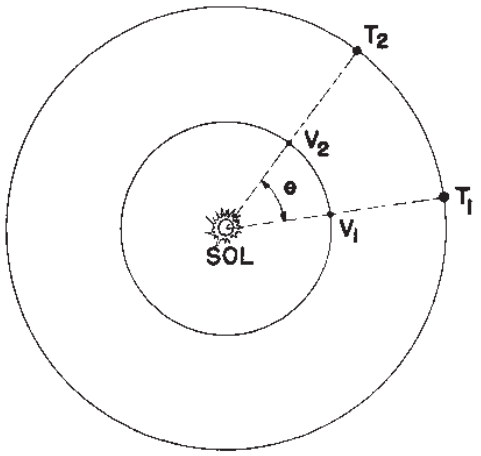


fig. 2.3

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_1T_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_1V_2 , a Terra percorre o arco T_1T_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:

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

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 :

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

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).

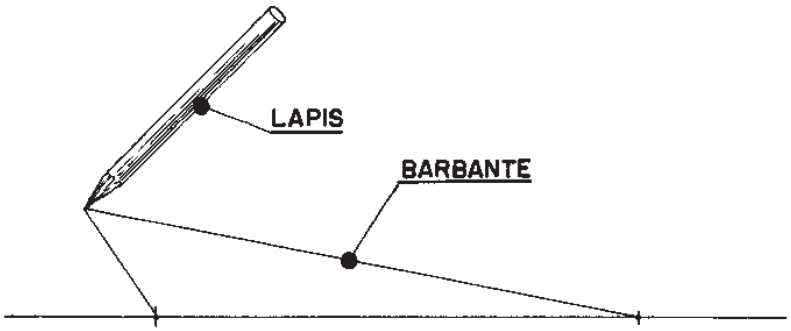


fig. 3.1

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.

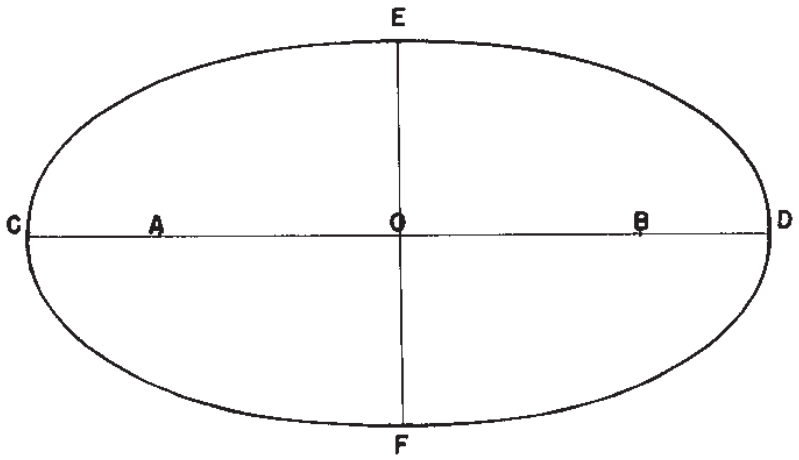


fig. 3.2

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.

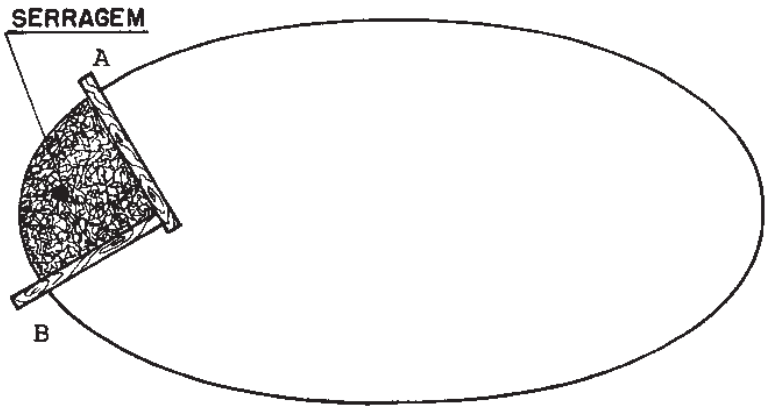


fig. 3.3

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.

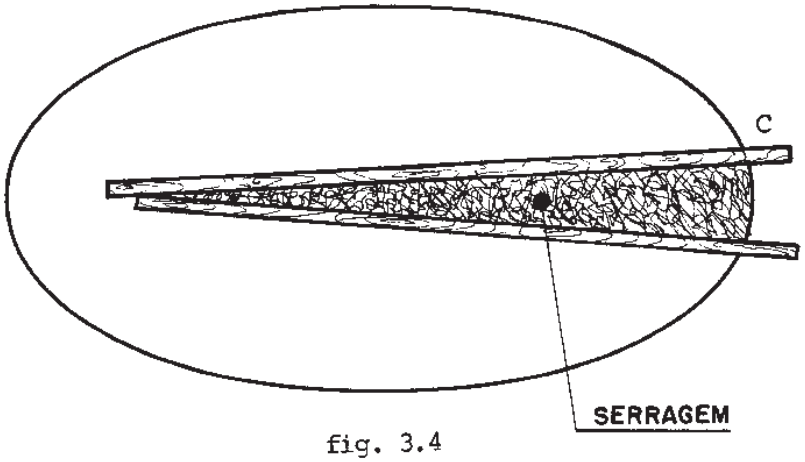


fig. 3.4

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.

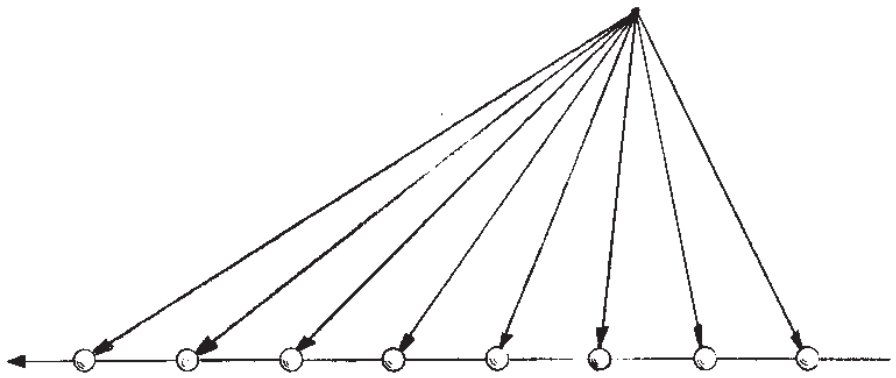


fig. 3.6

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.

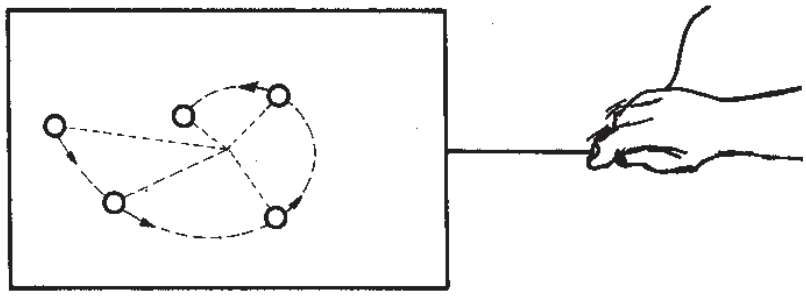


fig. 3.7

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.

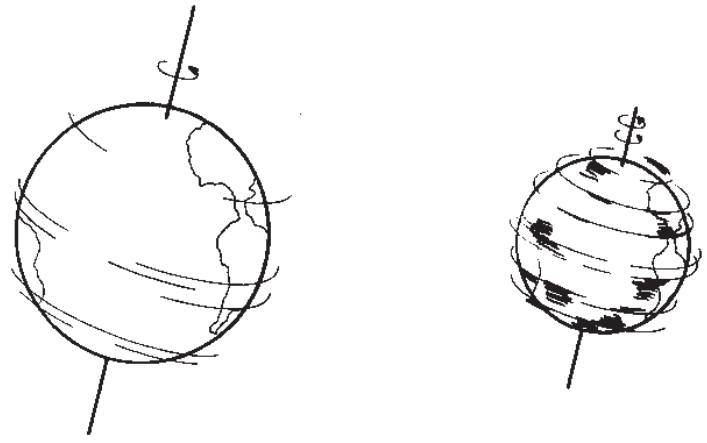


fig. 3.9

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

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 herética 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

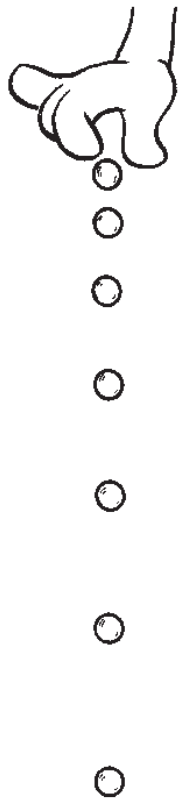


fig. 4.1

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).

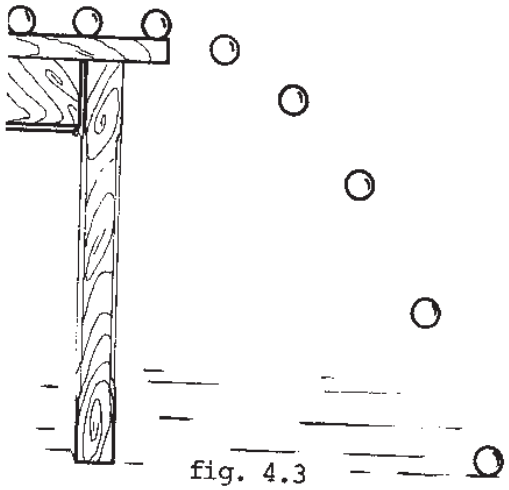


fig. 4.3

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 independentemente.

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 de cima. A segunda foi tomada de frente.

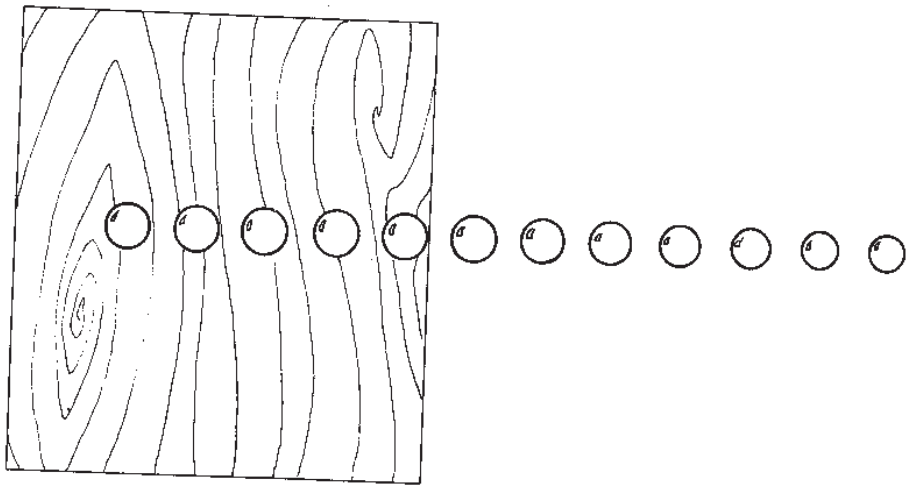


fig. 4.4

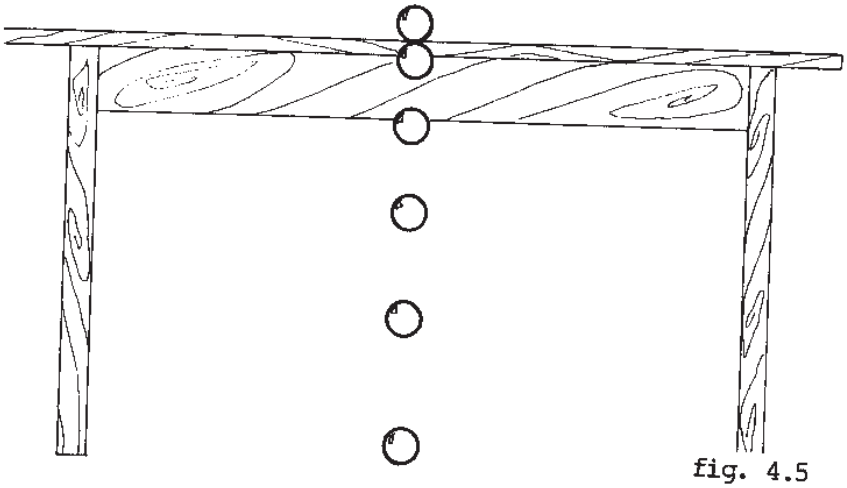


fig. 4.5

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 existência 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?

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?

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.

fig. 4.6

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.

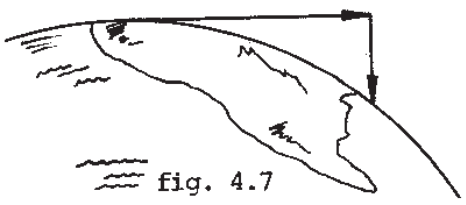
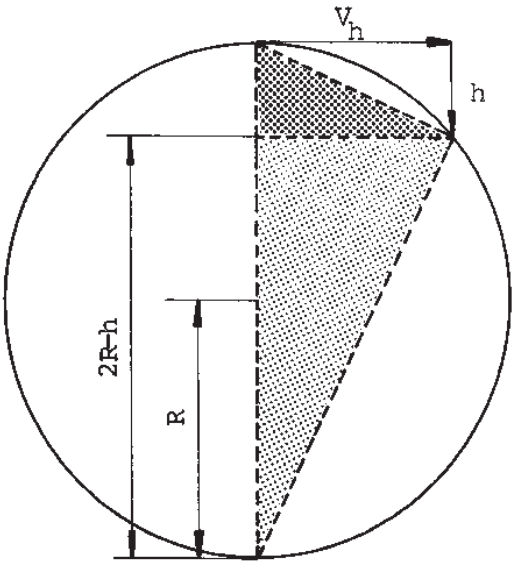


fig. 4.7

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.



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).

fig. 4.8

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) $2\,R - h \tilde{=} 2\,R$. Então:

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

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

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

$$V_h = 8 \times 10^3 \text{m}$$

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:

$$f = m\,a$$

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 cairem 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

$$a = \frac{4\,\pi^2\,R}{T^2}$$

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 torner 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	$3,80x10^{-6}$

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:

$$f = G \frac{M_s M_p}{R^2} \qquad (1)$$

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:

$$a = \frac{4 \pi^2 R}{T^2}$$ 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 pequenísimas 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.

$$a = \frac{4\,\Pi^2\,R}{T^2}$$

Sabemos também da 2a. Lei de Newton

$$f = m\,a$$

Se um planeta está orbitando ao redor do Sol, sabemos que sobre ele está atuando uma força centrípeta (f_c).

$$f_c = M_p\,a$$

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:

$$f_{\text{centrípeta}} = f_{\text{gravitacional}}$$

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_{tl}).

$$F_{st} = \frac{G M_s M_t}{R_t^2} = \frac{4 \Pi^2 R_t M_t}{T_t^2}$$

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.

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{G M_s M_t}{R_t^2} = \dfrac{4 \Pi^2 R_t M_t}{T_t^2} \\ \\ \dfrac{G M_t M_\ell}{R_\ell^2} = \dfrac{4 \Pi^2 R_\ell M_\ell}{T_\ell^2} \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} G M_s = \dfrac{4 \Pi^2 R_t^3}{T_t^2} \quad (1) \\ \\ G M_t = \dfrac{4 \Pi^2 R_\ell^3}{T_\ell^2} \quad (2) \end{array}$$

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

$$\frac{M_s}{M_t} = \frac{R_t^3 \cdot T_\ell^2}{T_t^2 \cdot R_\ell^3}$$

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).

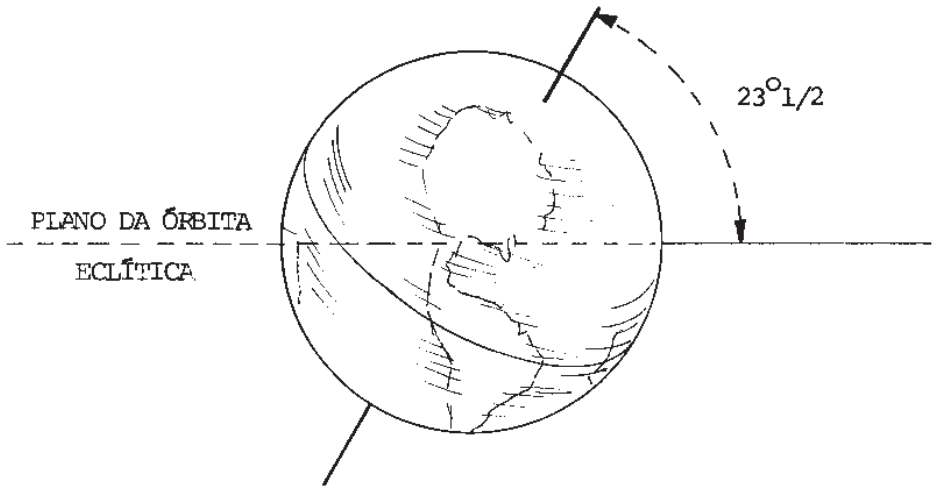


fig. 1.1

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.

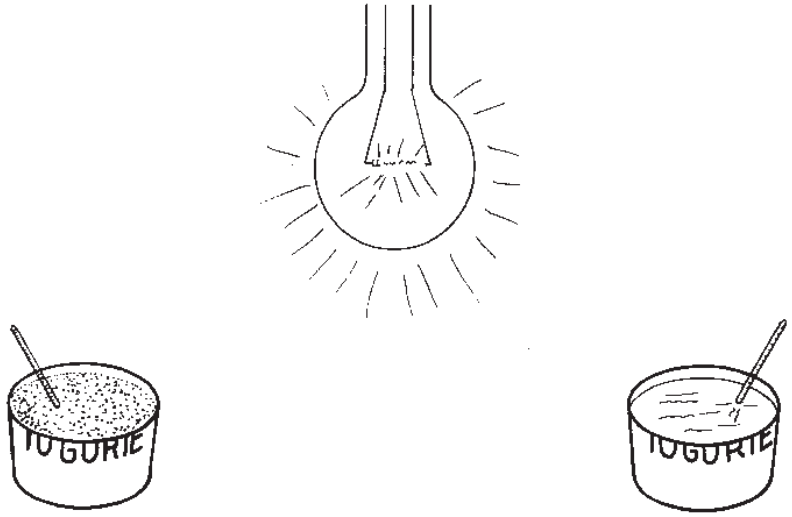


fig. 1.2

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 a 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.

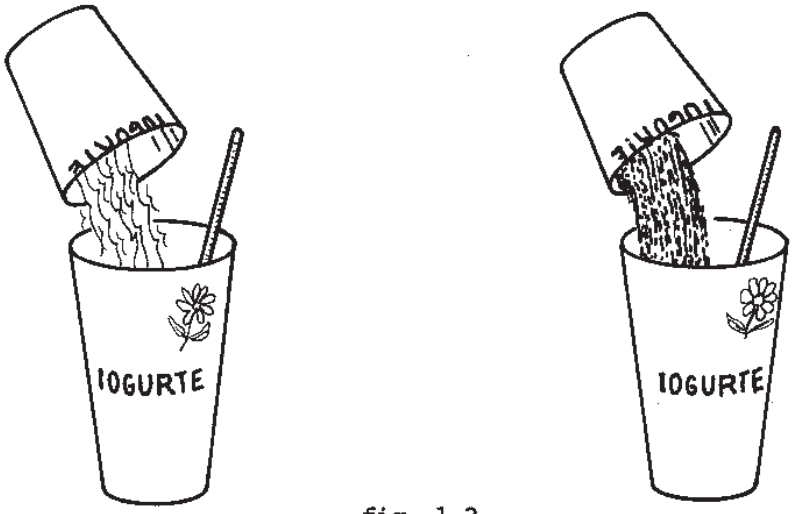


fig. 1.3

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 a 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 a 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 a temperatura ambiente. Despeje então a água fervente num desses tubos e os pregos no outro.

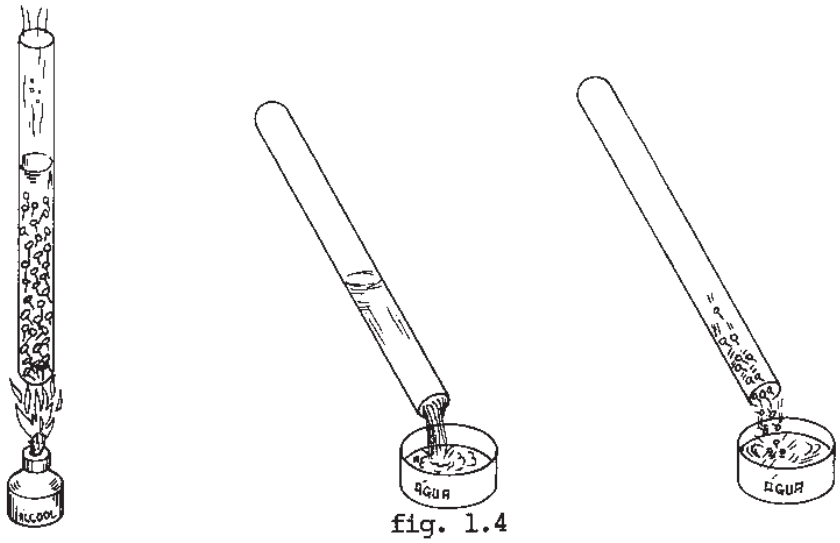


fig. 1.4

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.

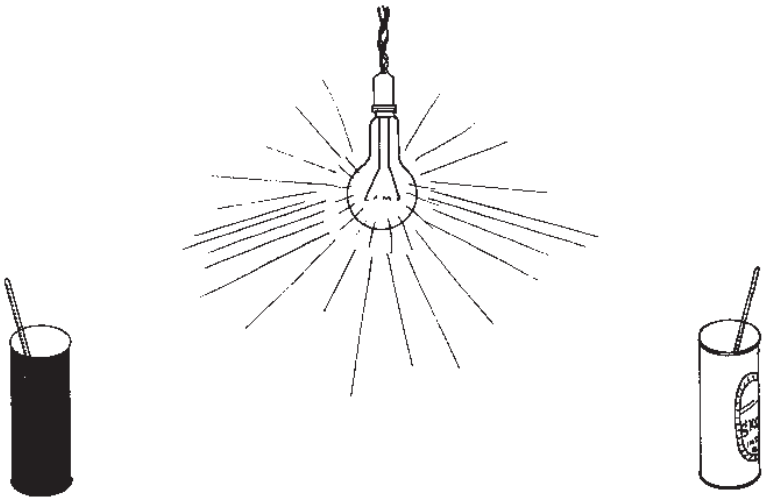


fig. 1.5

Qual delas se aquece mais rapidamente?

A que se aquece mais depressa é a mesma que se esfria mais depressa?

Qual delas <u>reflete</u> mais luz?

Qual delas <u>irradia</u> 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

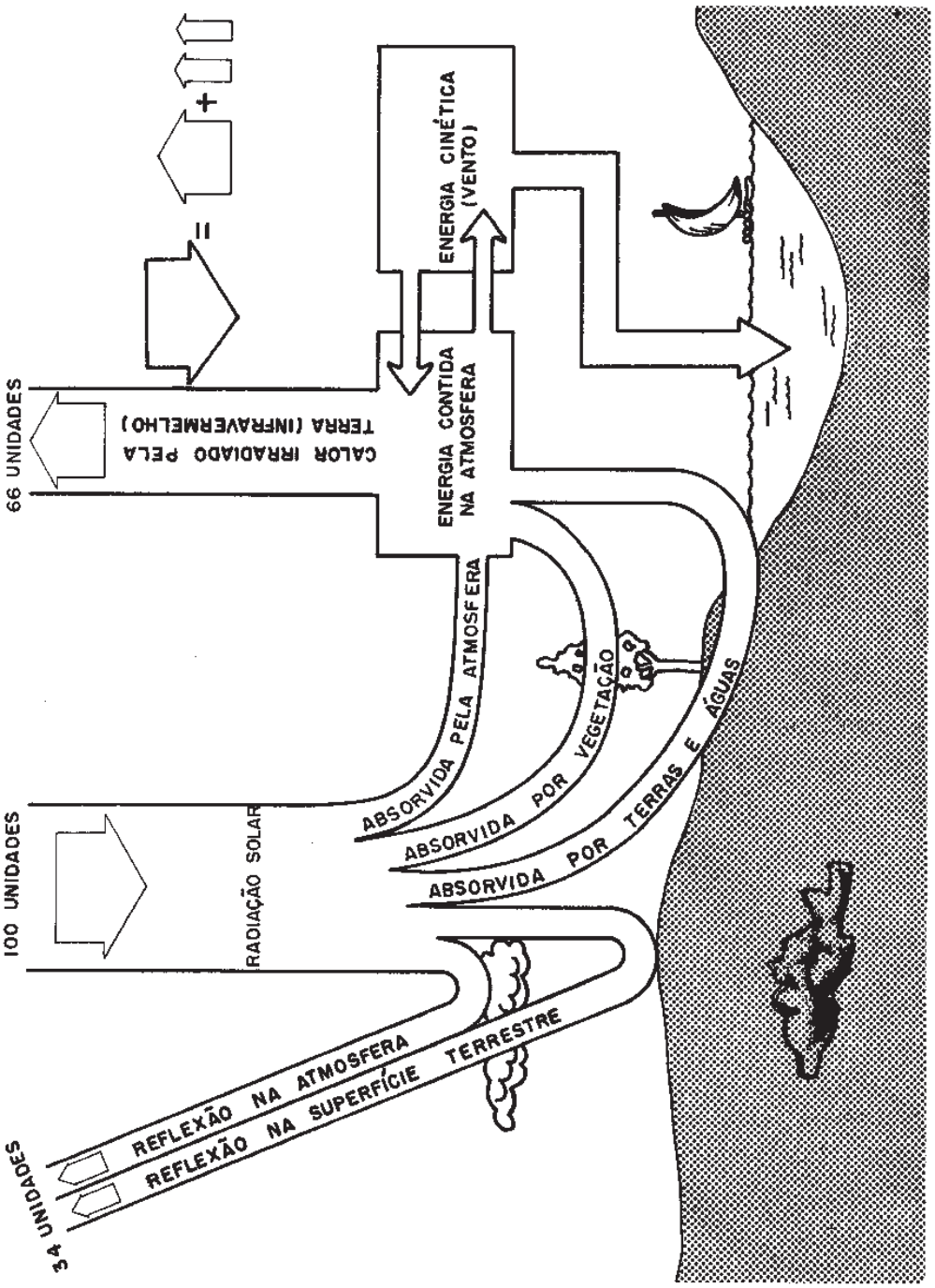
Já os chineses haviam descoberto o campo magnéti co terrestre e o usavam no século XI. No entanto só com William Gilbert, no século XVII, começou o estudo científico do grande ímã que é a Terra. Descobriu-se também que as partículas carregadas que vêm do Sol e outras regiões do espaço são desviadas e 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 -


100 UNIDADES
RADIAÇÃO SOLAR
34 UNIDADES
REFLEXÃO NA ATMOSFERA
REFLEXÃO NA SUPERFÍCIE TERRESTRE
ABSORVIDA PELA ATMOSFERA
ABSORVIDA POR VEGETAÇÃO
ABSORVIDA POR TERRAS E ÁGUAS
66 UNIDADES
CALOR IRRADIADO PELA TERRA (INFRAVERMELHO)
ENERGIA CONTIDA NA ATMOSFERA
ENERGIA CINÉTICA (VENTO)
+
=

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 trans - formação, 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 proble - mas 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^{o}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.

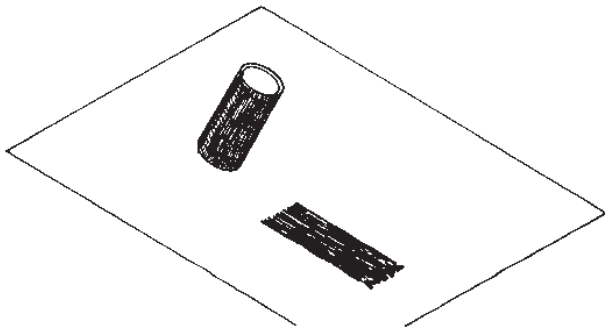


fig. 2.2

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

$$\Delta Q = M \times C' \times \Delta T$$

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

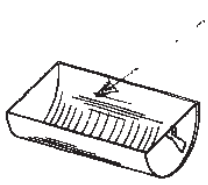
==========

(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.

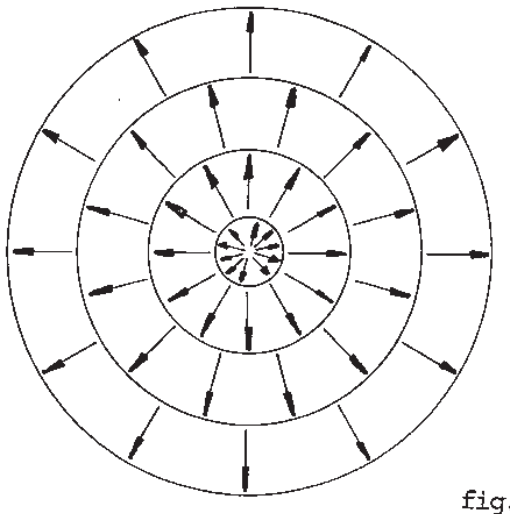


fig. 2.4

(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:

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

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

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

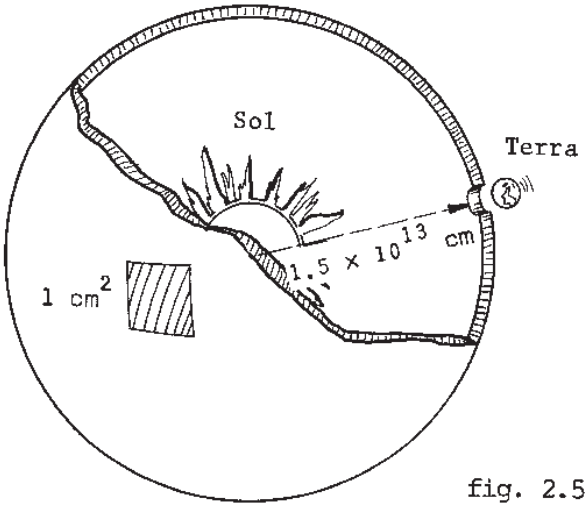


fig. 2.5

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:

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

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 pequenissima 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

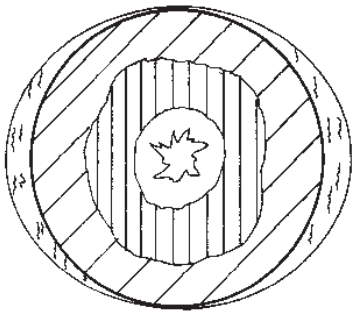
3.3 - A LUA, FILHA OU IRMÃ DA TERRA?

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.

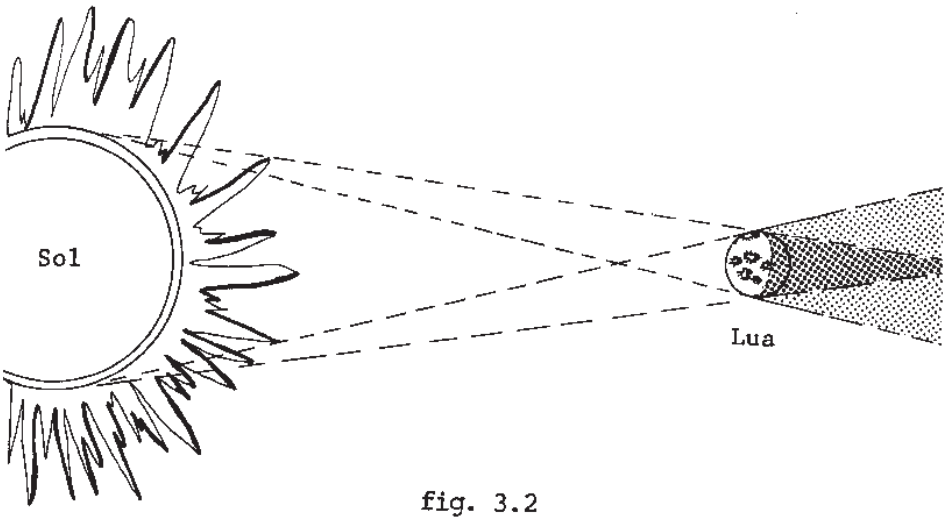


fig. 3.2

As temperaturas na superfície lunar variam dos $100^{o}C$ durante o dia, aos $-150^{o}C$ 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.

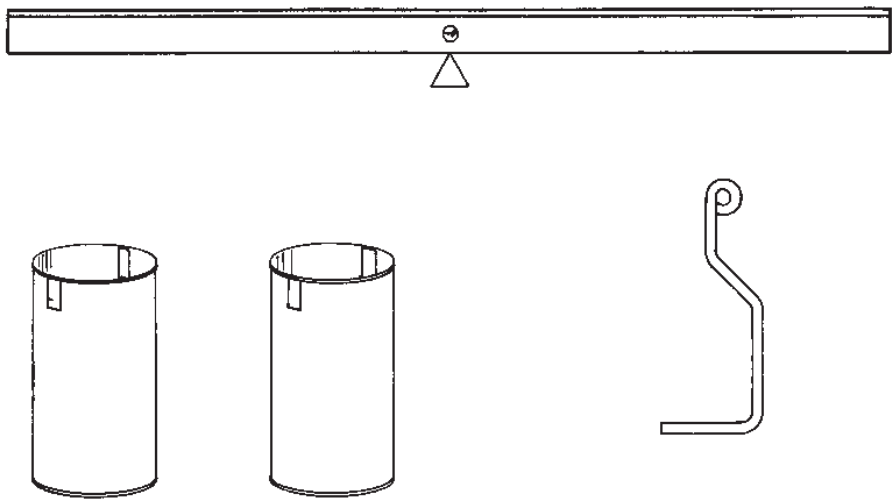


fig. 3.3

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 èlas. 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 quantidade 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.

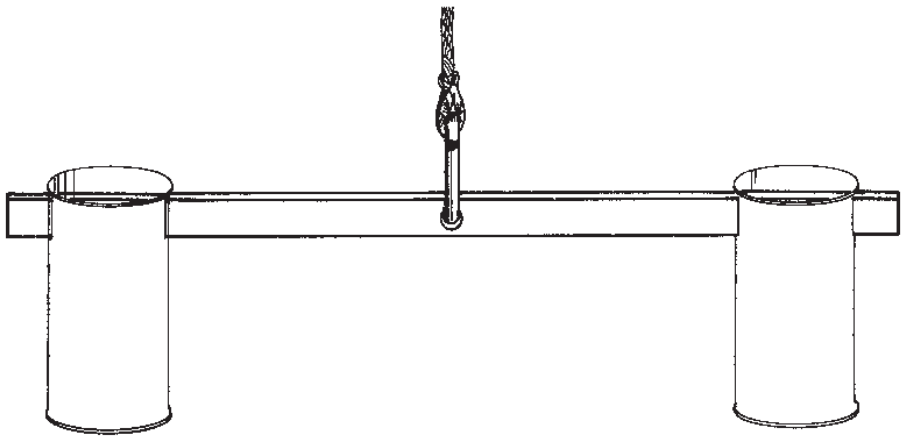


fig. 3.4

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?

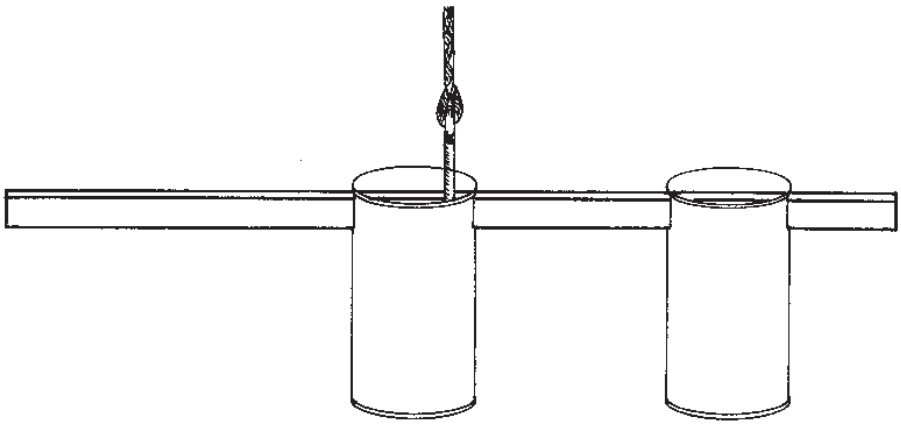


fig. 3.5

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^{o}, 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^{o} 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:

$$f_{SL} = G \frac{m_S \, m_L}{d_{SL}^2}$$

A força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua será

$$f_{TL} = G \frac{m_T \, m_L}{d_{TL}^2}$$

Dividindo essas equações entre si temos:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{\dfrac{\cancel{G}\, m_S \, \cancel{m_L}}{d_{SL}^2}}{\dfrac{\cancel{G}\, m_T \, \cancel{m_L}}{d_{TL}^2}}$$

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{m_S}{m_T} \times \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

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:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{2 \times 10^{30}\text{kg}}{6 \times 10^{24}\text{kg}} \times \frac{1}{(400)^2} = \frac{100}{48}$$

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = 2{,}1 \text{ ou } f_{SL} = 2{,}1\ f_{TL}$$

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:

$$\frac{m_S}{m_T} = \frac{K_S}{K_T} = \frac{\frac{R_T^3}{T_T^2}}{\frac{R_L^3}{T_L^2}}$$

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:

$$\frac{f_{SL}}{f_{TL}} = \frac{\dfrac{d_{SL}^3}{T_T^2}}{\dfrac{d_{TL}^3}{T_L^2}} \times \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

$$= \frac{d_{SL}^{\not 3\ 1}}{T_T^2} \times \frac{T_L^2}{d_{TL}^{\not 3}} \times \frac{d_{TL}^{\not 2}}{d_{SL}^{\not 2}} = \frac{d_{SL}}{d_{TL}} \times \frac{T_L^2}{T_T^2}$$

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.

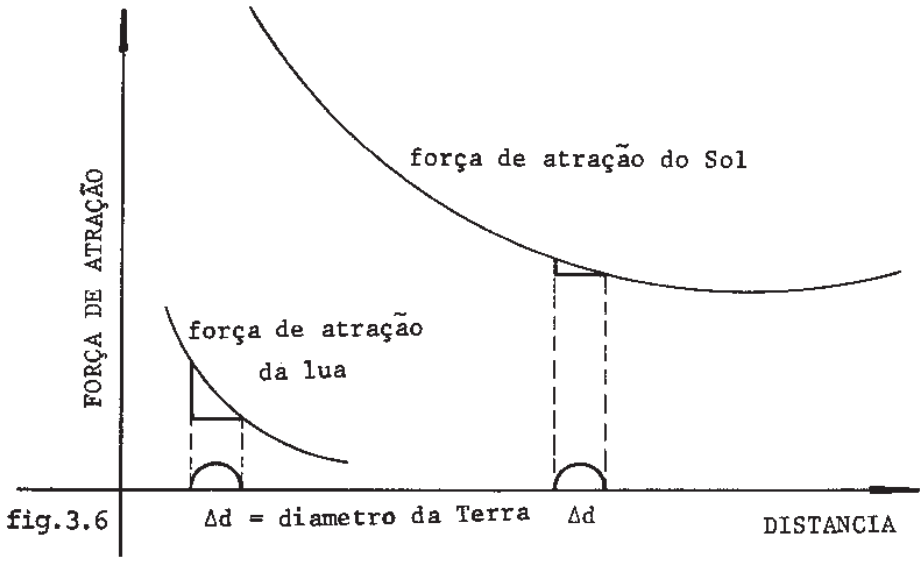


fig.3.6

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.

$$\frac{\Delta f_L}{\Delta d} > \frac{\Delta f_S}{\Delta d}$$

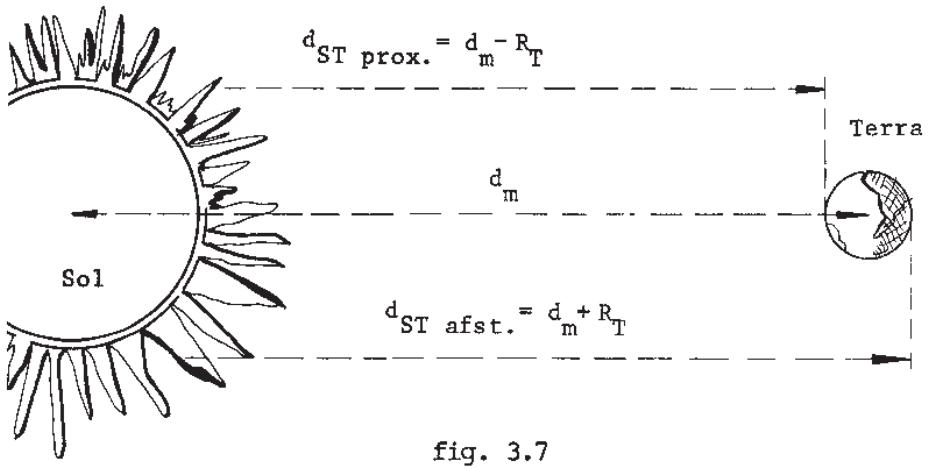


fig. 3.7

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,

$$\Delta f_S = f_{ST\ prox.} - f_{ST\ afast.}$$

$$\Delta f_S = G\, \frac{m_S\, m_T}{d^2_{STpróx.}} - G\, \frac{m_S\, m_T}{d^2_{ST\ afast.}}$$

$$\Delta f_S = G\, m_S\, m_T \left[\frac{1}{d^2_{ST\ próx.}} - \frac{1}{d^2_{ST\ afast.}} \right] \quad (1)$$

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 é a 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:

$$\frac{\dfrac{d\, f_{ST}}{d\, d_{ST}}}{\dfrac{d\, f_{LT}}{d\, d_{TL}}} = \frac{m_S}{m_L} \times \left[\frac{d_{LT}}{d_{ST}}\right]^3$$

$$= 27.000.000 \left[\frac{1}{400}\right]^3$$

$$= \frac{27.000.000}{64.000.000}$$

$$= 0,42$$

A ação do Sol é então menos que a metade da ação da Lua.

CAPÍTULO 3 - NOSSO LUGAR NO UNIVERSO

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-ré 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.

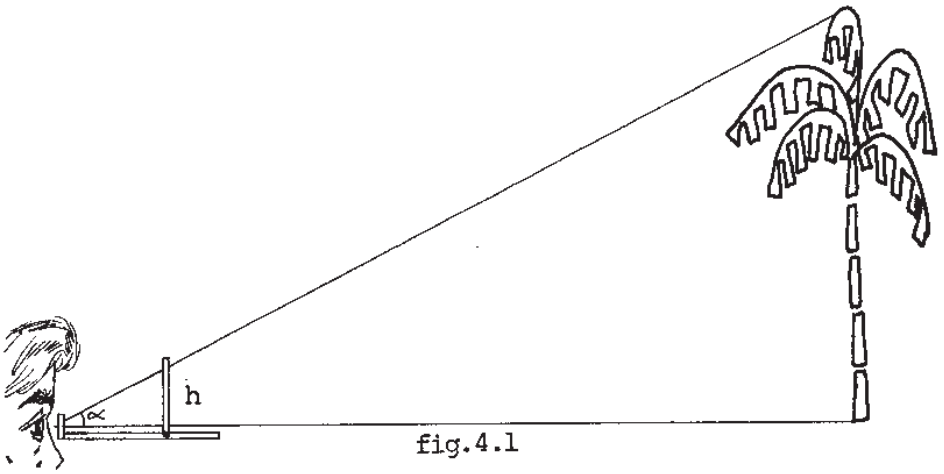


fig.4.1

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.

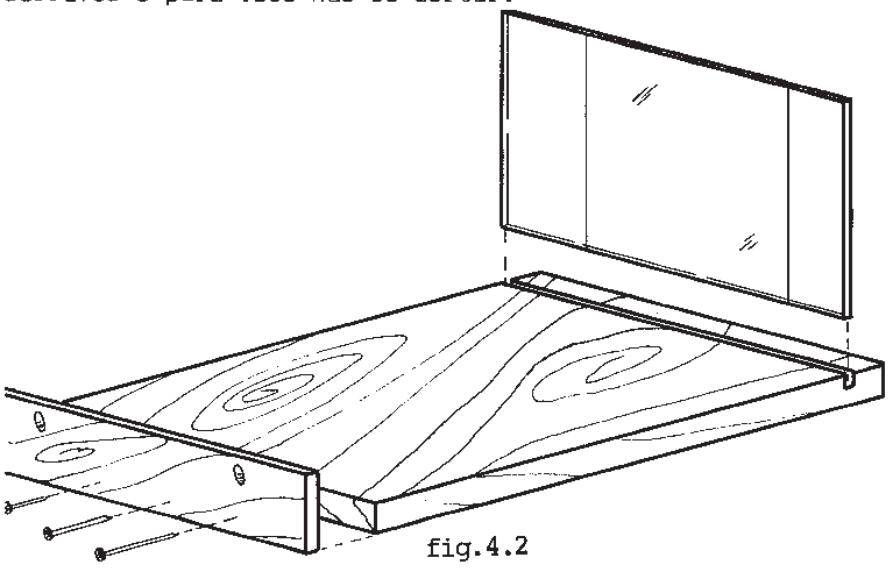


fig.4.2

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

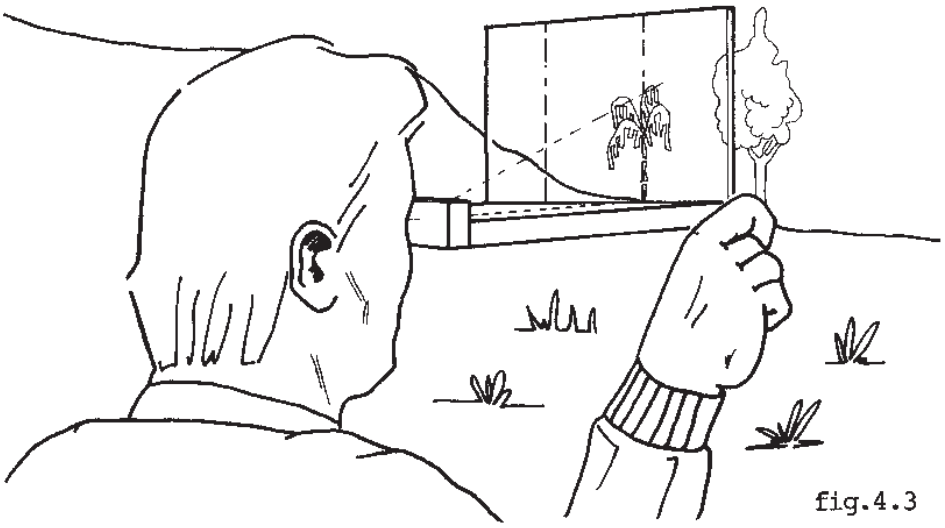


fig.4.3

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?

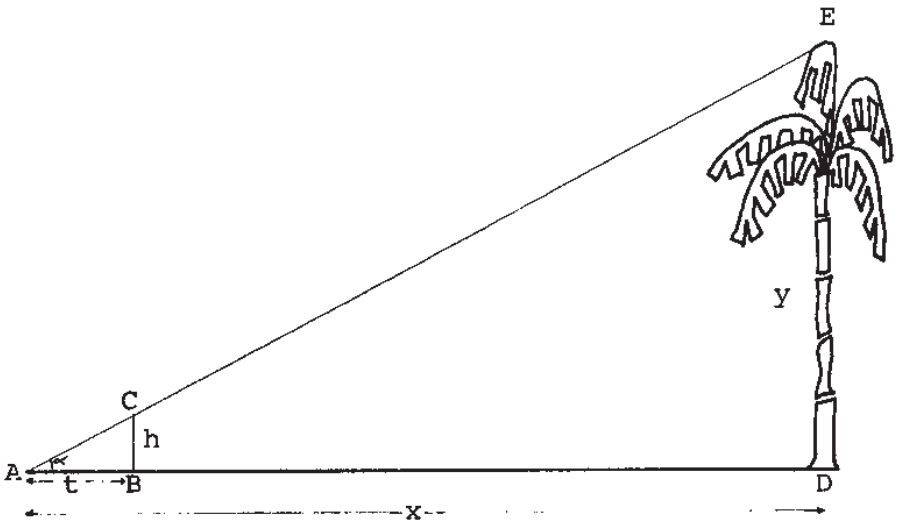


fig. 4.4

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 $\dfrac{h}{t} = \text{tg}\,\alpha$ 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 $\dfrac{t}{h} = \dfrac{1}{\text{tg}\,\alpha}$ e $\text{tg}\,\alpha \equiv \alpha$ (para ângulos pequenos)

Então $x = \dfrac{y}{\alpha}$

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) ?

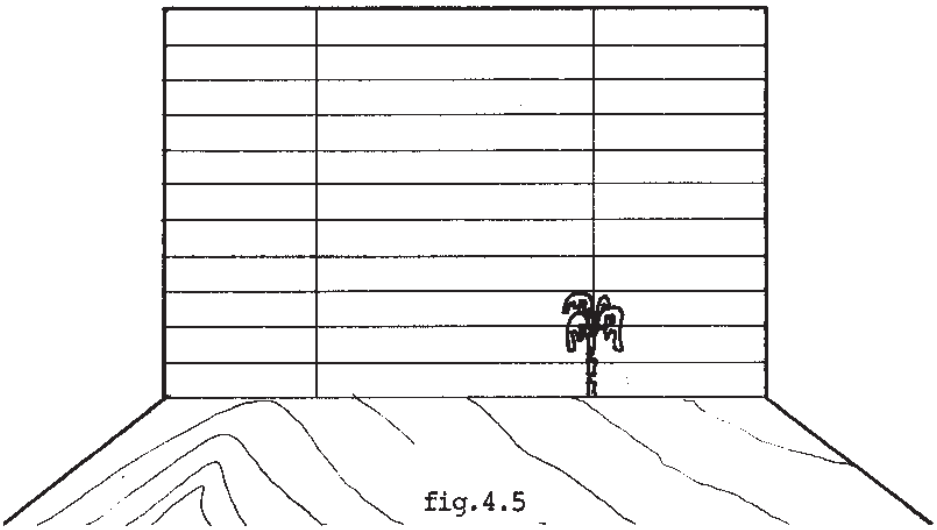


fig.4.5

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 $tg\,\alpha$. 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 $tg\ \alpha$.

Meça agora diretamente os ângulos, correspondentes aos diferentes h em graus (com um transferidor, por exemplo). Sabendo que 360^{o} correspondem a $2\ \Pi$ 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 jeto 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.

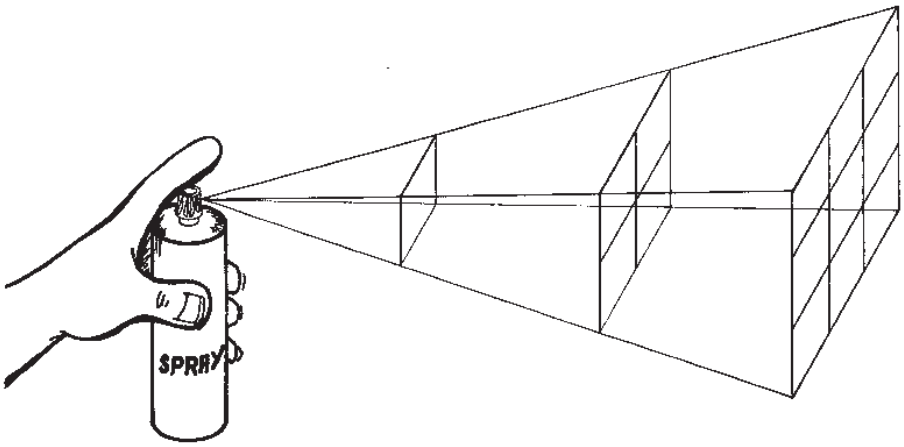


fig. 4.6

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?

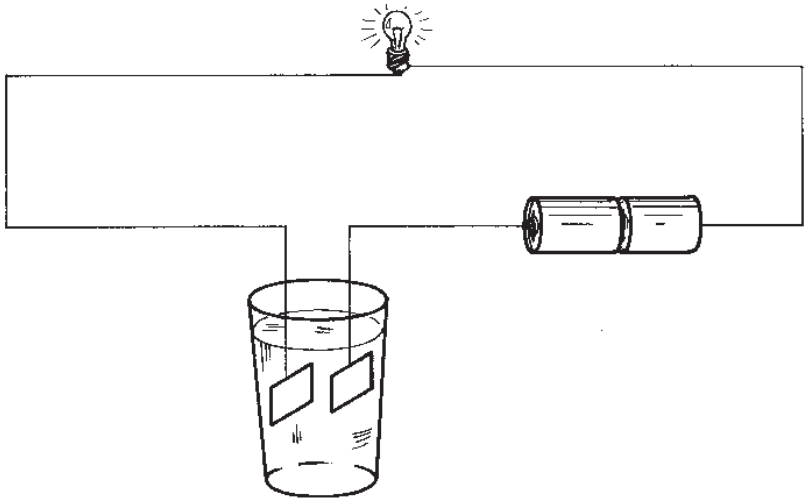


fig.1.1

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 jaboticabas 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 diferença 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.

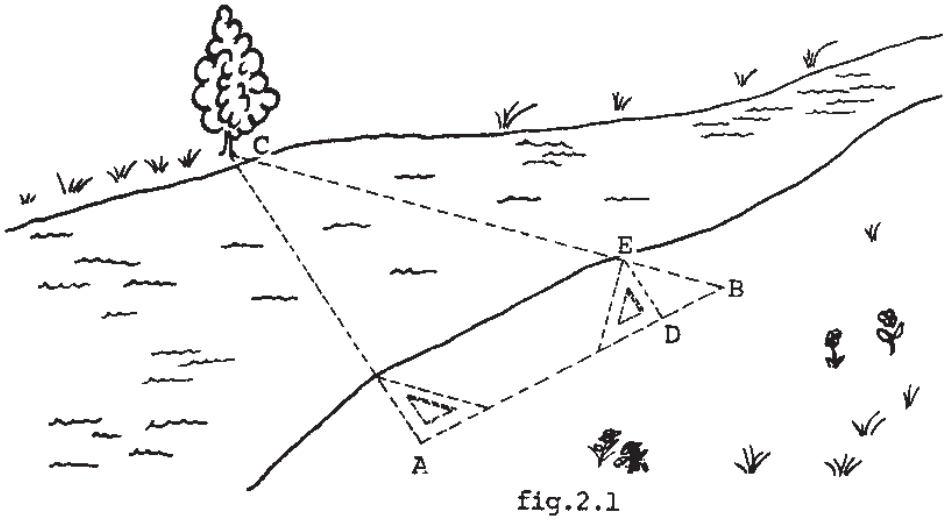


fig.2.1

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 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.

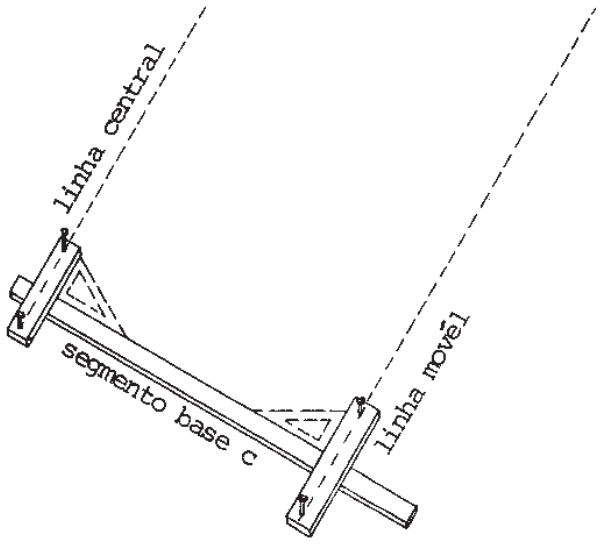


fig.2.2

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

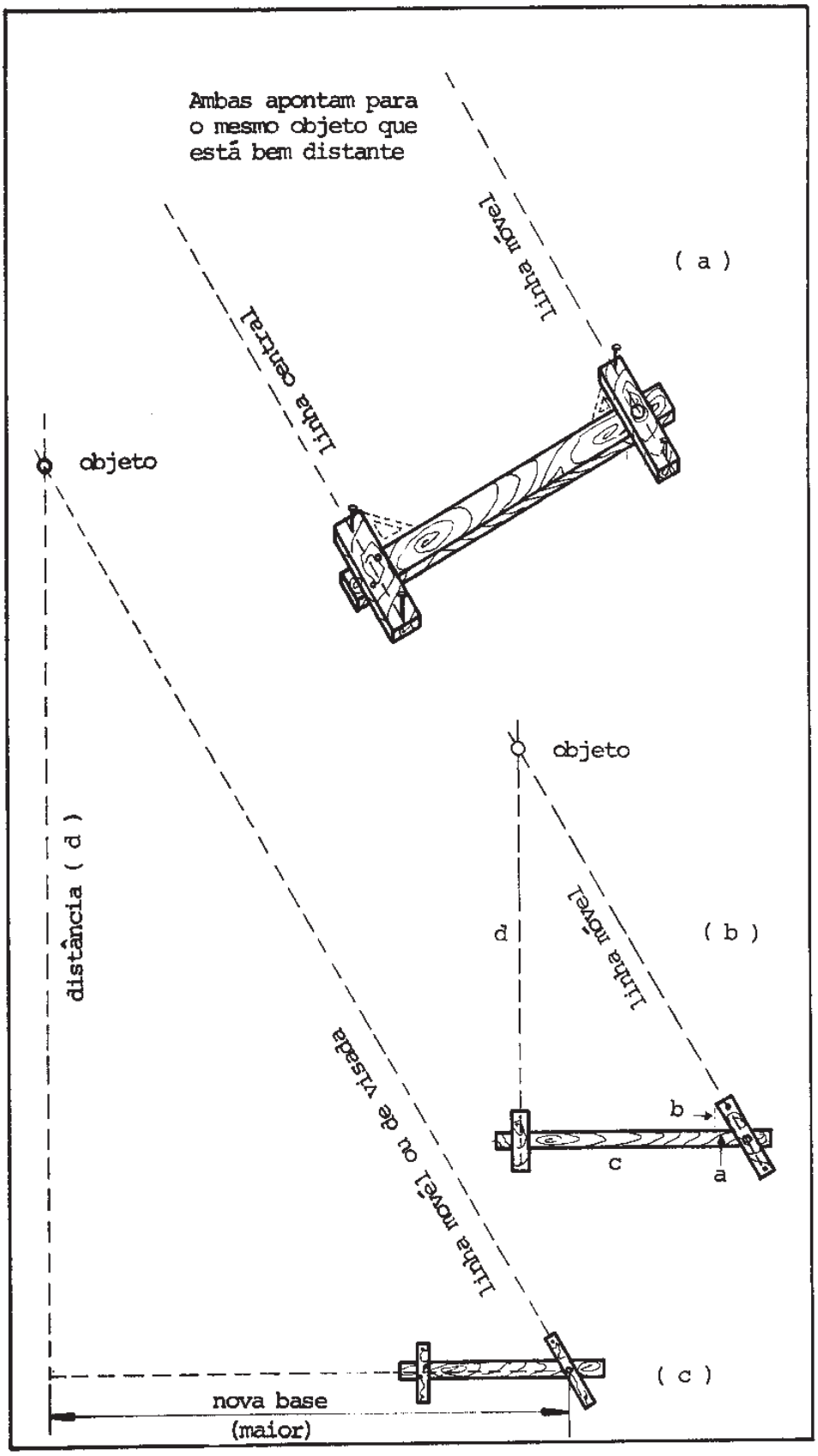

Ambas apontam para
o mesmo objeto que
está bem distante
linha móvel
(a)
linha central
objeto
objeto
distância (d)
d
linha móvel
(b)
linha móvel ou de visada
b
c
a
nova base
(maior)
(c)

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^{o}.

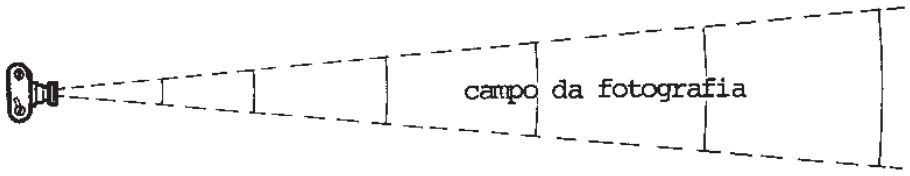


fig.2.4

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

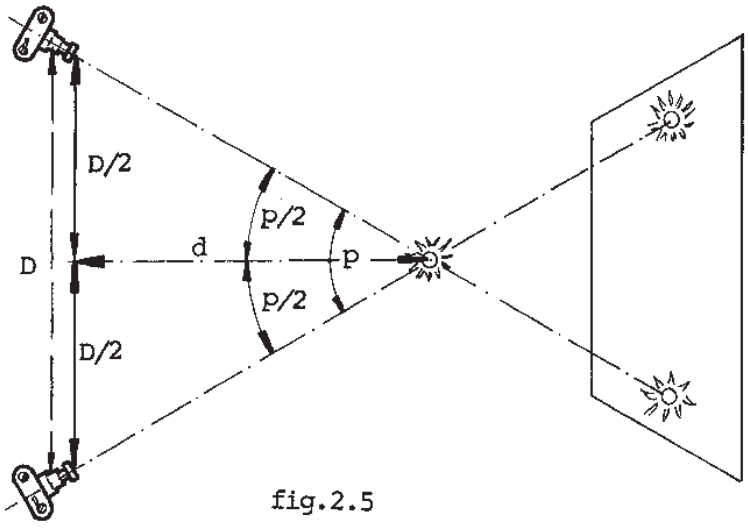


fig.2.5

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.

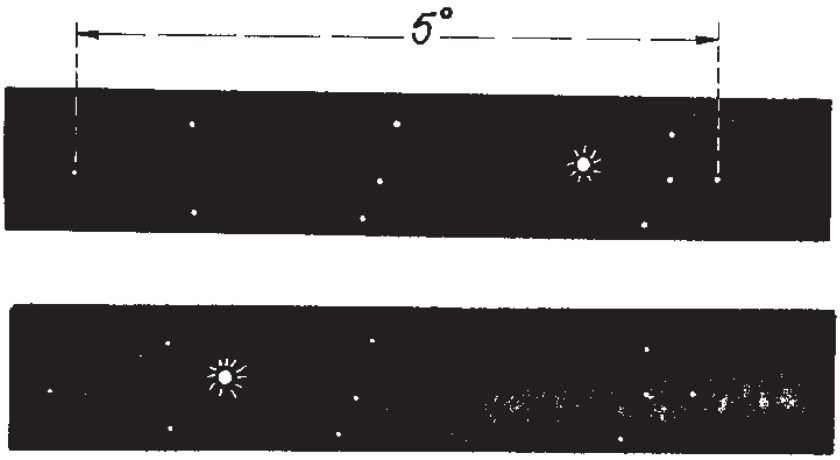


fig.2.6

Como o campo da fotografia é pequeno, aproximadamente 5^{o}, 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:

$2\,\pi$ radianos.

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

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

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

$$1 \text{ rd} = 57^{\circ},3 \times 3.600 = 206.265"$$

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

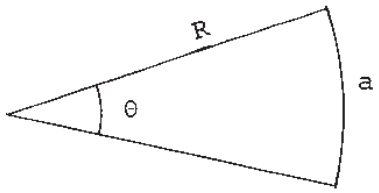


fig.2.8

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

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

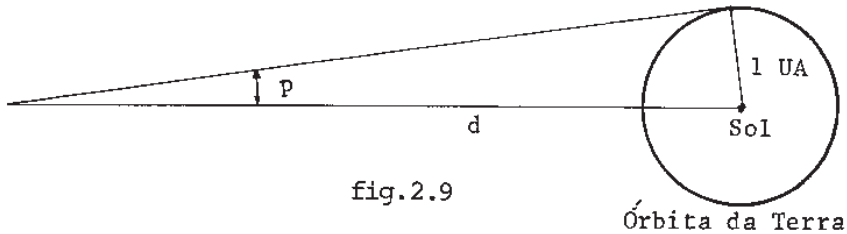


fig.2.9

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: **PAR**alaxe de um **SEG**undo.

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.

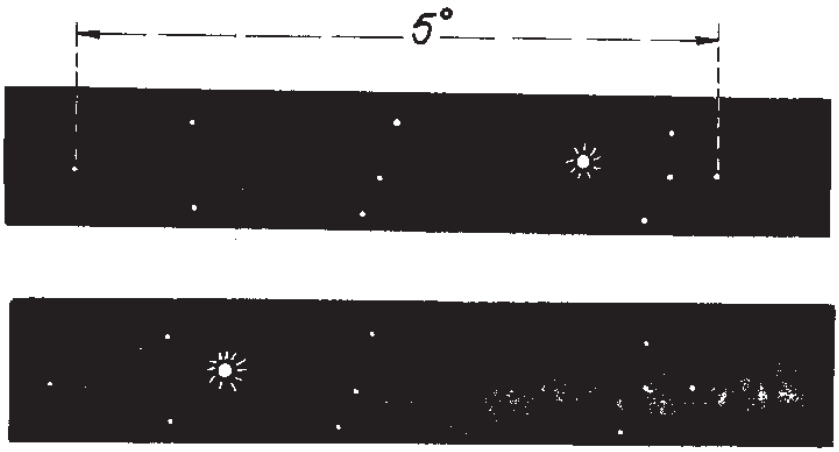


fig.2.6

Como o campo da fotografia é pequeno, aproximadamente 5^{o}, 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) AIFA	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:

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

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

$$1 \text{ rd} = 57^{\circ},3 \times 3.600 = 206.265"$$

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

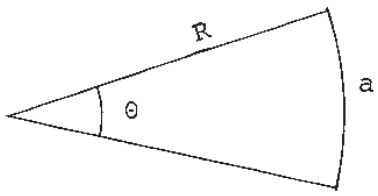


fig.2.8

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

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

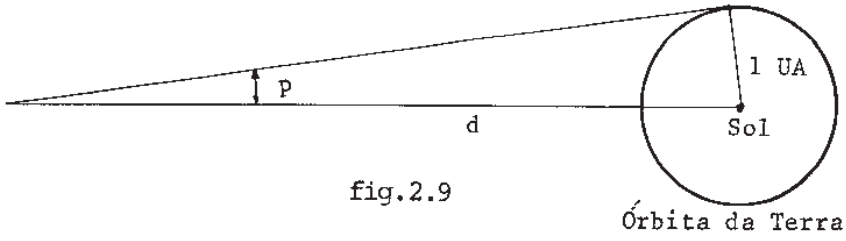


fig.2.9

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

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 quisássemos 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 filoso - fia 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 !

9.63

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.