



OFICINA DE ASTRONOMIA

Prof. Dr. João Batista Garcia Canalle

Instituto de Física
UERJ

OFICINA DE ASTRONOMIA

Prof. Dr. JOÃO BATISTA GARCIA CANALLE

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UERJ

INSTITUTO DE FÍSICA

Rua São Francisco Xavier, 524/3023-D, Maracanã
20559-900 Rio de Janeiro - RJ

Tel/fax (021) 587 - 7150

Tel/fax (021) 587 - 7447

canalle@uerj.br



NOTA EXPLICATIVA

Esta é uma apostila e como tal é um material inacabado. O objetivo é justamente fazer com que a aplicação das atividades aqui descrita sejam testadas nas mais diversas situações e públicos, na esperança de receber críticas e comentários para aperfeiçoar o texto. Assim sendo, agradeceremos muito, a todos aqueles que manifestarem suas sugestões no sentido de dar clareza, correção e melhor compreensão a este texto.

O PROFESSOR E SEUS EXPERIMENTOS

O professor que constrói um experimento para explicar um fenômeno qualquer aos seus alunos consegue: 1º) ser diferente do outro professor que nada fez; 2º) motivar o aluno a participar de suas explicações; 3º) consolidar o próprio conhecimento 4º) ter melhores condições de fazer o aluno entender o que ele está explicando e 5º) quando o aluno percebe que está entendendo as explicações do professor e que este está preocupado com seus alunos, os mesmos retribuem ao professor, dando-lhe mais atenção, respeito, admiração e carinho. O professor, por sua vez, acaba ficando ainda mais motivado para fazer novos experimentos e com isso ainda mais reconhecimento terá pelo seu trabalho, o qual passará, então, a fazer com muito mais prazer.

O professor que sentir este prazer, terá despertado em si o dom da criatividade, porque durante as montagens dos experimentos ele freqüentemente terá que testar e improvisar materiais, para compatibilizar custo, rigidez, segurança e desempenho para explicar o fenômeno desejado. Depois de alguns experimentos montados e testados junto a seus alunos, ele perceberá que consegue uma das coisas mais fundamentais do ser humano, isto é, ele perceberá que consegue CRIAR. Só a partir deste instante ele poderá fazer seus alunos serem criativos também.

O autor

SUMÁRIO

DADOS GERAIS DO SISTEMA SOLAR	8
A LUNETAS COM LENTE DE ÓCULOS.....	9
<i>Resumo.....</i>	<i>9</i>
<i>Introdução.....</i>	<i>9</i>
<i>As lentes da luneta e seus encaixes.....</i>	<i>10</i>
<i>Descrição de Material</i>	<i>11</i>
<i>O tripé.....</i>	<i>13</i>
<i>Conclusão</i>	<i>15</i>
<i>Referências</i>	<i>15</i>
O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL	16
<i>Resumo.....</i>	<i>16</i>
<i>Introdução.....</i>	<i>16</i>
<i>As distâncias dos planetas ao Sol.....</i>	<i>17</i>
<i>O movimento dos planetas ao redor do Sol.....</i>	<i>17</i>
<i>O movimento das luas ao redor dos planetas.....</i>	<i>18</i>
<i>O movimento dos cometas ao redor do Sol.....</i>	<i>19</i>
<i>Conclusão</i>	<i>21</i>
<i>Referências</i>	<i>21</i>
TABELA COM AS DISTÂNCIAS MÉDIAS DOS PLANETAS AO SOL.....	22
COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL	23
<i>Resumo.....</i>	<i>23</i>
<i>Introdução.....</i>	<i>23</i>
<i>Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol através de esferas</i>	<i>23</i>
<i>Conclusão</i>	<i>24</i>

<i>Referência</i>	24
TABELA COM OS DIÂMETROS EQUATORIAIS DO SOL E DOS PLANETAS	25
COMPARAÇÃO ENTRE A ÓRBITA LUNAR E O DIÂMETRO SOLAR	28
<i>Resumo</i>	28
<i>Introdução</i>	28
<i>Atividade</i>	28
<i>Conclusão</i>	28
O SISTEMA SOLAR EM ESCALA	30
<i>Resumo</i>	30
<i>Introdução</i>	30
<i>Procedimento</i>	30
<i>Demonstração</i>	31
<i>Comentários</i>	31
<i>Resumo</i>	32
<i>Introdução</i>	32
<i>Atividade</i>	32
<i>Introdução</i>	35
<i>Os Pontos Cardeais</i>	35
<i>O Chapéu</i>	35
O MOVIMENTO APARENTE DO SOL	37
<i>Introdução</i>	37
<i>O experimento para visualizar o movimento do Sol</i>	37
<i>Manuseando o experimento</i>	38
<i>Conclusão</i>	38
ESTAÇÕES DO ANO	39
<i>Introdução</i>	39
<i>A Montagem do Experimento</i>	39
<i>A Explicação do Fenômeno</i>	39
<i>Resumo</i>	41
<i>Introdução</i>	41
<i>A Montagem do Experimento</i>	41
<i>Como o Experimento Funciona</i>	41
a) As fases da Lua	41
b) Os eclipses	43
c) O “São Jorge” lunar	43
d) As marés	43
<i>Conclusão</i>	43

EXPLICANDO ASTRONOMIA BÁSICA COM UMA BOLA DE ISOPOR.....	45
<i>Resumo.....</i>	45
<i>Introdução sobre as estações do ano.....</i>	45
<i>A bola de isopor na explicação das estações do ano.</i>	46
a) A lâmpada	46
b) A bola de isopor.....	47
c) O ambiente.....	47
d) A demonstração	47
<i>As fases da Lua</i>	52
<i>A Lua gira ou não gira sobre si?</i>	55
<i>Os eclipses solares e lunares</i>	56
<i>Conclusão</i>	58
<i>Referências</i>	58
<i>Introdução.....</i>	59
<i>O Mostrador</i>	59
<i>As Linhas Horárias.....</i>	60
<i>O Ponteiro</i>	61
<i>O Posicionamento do Relógio</i>	62
<i>Observando o relógio de sol.....</i>	62
<i>Conclusão</i>	62
ESPECTROSCÓPIO	63
<i>Introdução.....</i>	63
<i>Luz como fonte de observação astronômica.....</i>	63
<i>O Espectroscópio.....</i>	63
<i>Calibrando o espectroscópio.....</i>	64
<i>Observando com seu espectroscópio.....</i>	64
<i>Conclusão</i>	64
PRIMEIRA LEI DE KEPLER - LEI DAS ÓRBITAS	65
<i>Resumo.....</i>	65
<i>Introdução.....</i>	65
<i>Procedimento.....</i>	66
<i>Conclusão</i>	68
SEGUNDA LEI DE KEPLER - A LEI DAS ÁREAS	70
<i>Resumo.....</i>	70
<i>Introdução.....</i>	70
<i>Procedimento.....</i>	70
<i>Conclusão</i>	70
TERCEIRA LEI DE KEPLER - LEI DOS PERÍODOS.....	72

<i>Resumo</i>	72
<i>Introdução</i>	72
<i>Atividades</i>	72
<i>Conclusão</i>	73
O ACHATAMENTO DOS PLANETAS	74
<i>Resumo</i>	74
<i>Introdução</i>	74
<i>Atividade</i>	75
<i>Conclusão</i>	75
ATO DE FÉ OU CONQUISTA DO CONHECIMENTO?	76
FUNDAMENTOS DA HISTÓRIA DA ASTRONOMIA	80
<i>Modelos Geométricos do Sistema Solar</i>	80
<i>O Modelo Geocêntrico de Eudóxio</i>	81
<i>O Modelo Heliocêntrico de Aristarco</i>	82
<i>O Modelo Ptolomaico - Geocêntrico</i>	82
<i>Astronomia Medieval</i>	84
<i>O Modelo Heliocêntrico de Copérnico</i>	84
<i>O Modelo Tychônico do Universo</i>	87
<i>O Modelo de Ticho Brahe</i>	88
<i>As Contribuições Astronômicas de Galileu Galilei Para a Teoria Heliocêntrica</i>	88
<i>O Modelo Final do Sistema Solar por Johannes Kepler</i>	89
<i>Newton e a Lei da Gravitação Universal</i>	93
<i>A Lei da Gravitação Universal Para Órbitas Circulares</i>	94
<i>A Lua e a Maçã</i>	95
<i>Determinação do Valor de G</i>	96
<i>“Pesando” o Sol</i>	97
<i>“Pesando” a Terra</i>	99
<i>Método Para Determinar o Raio da Terra (R_T)</i>	99
TABELA COM DADOS DO SISTEMA SOLAR	102
OS NOMES: QUEM SÃO ELES?	104
BIOGRAFIAS	109
<i>Nicolau Copérnico</i>	109
<i>Galileu Galilei</i>	110
<i>Isaac Newton</i>	114
GLOSSÁRIO	119

DADOS GERAIS DO SISTEMA SOLAR

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno	Plutão
Massa (Terra = 1)	0,055	0,81	1	0,11	318	95,18	14,15	17,14	0,0022
Diâmetro equatorial (km)	4.878	12.103	12.756	6.786	142.984	120.536	51.118	49.528	2.300
Volume (Terra = 1)	0,056	0,86	1	0,15	1323	744	67	57	?
Densidade média (g/cm ³ ; água = 1g/cm ³)	5,42	5,25	5,52	3,94	1,33	0,69	1,27	1,71	2,03
Gravidade superficial equatorial (Terra = 1)	0,38	0,86	1	0,38	2,5	1,1	1,1	1,1	?
Velocidade equatorial de escape (km/s)	4,3	10,3	11,2	5	59,5	35,6	21,2	23,6	1,1
Inclinação axial (graus)	2	2	23,4	24	3,1	26,7	97,9	28,8	57,5
Período rotacional (duração do dia)	58,65 d	243,01 d*	23,93 h	24,62 h	9,92 h	10,67 h	17,23 h*	16,12 h	6,38 d*
Temperatura superficial média (°C)	-170 a 430	464	15	-40	-120	-180	-210	-220	-220
Número de anéis conhecidos	0	0	0	0	1	7	11	4	0
Número de luas	0	0	1	2	16	18	15	8	1
Magnitude máxima aparente	-1,4	-4,4	-	-2,8	-2,8	-0,3	5,5	7,8	13,6
Afélio (milhões de km)	69,7	109	152,1	249,1	815,7	1.507	3.004	4.537	7.375
Periélio (milhões de km)	45,9	107,4	147,1	206,7	740,9	1.347	2.735	4.456	4.425
Distância média do Sol (milhões de km)	57,9	108,2	149,6	227,9	778,3	1.427	2.869,6	4.496,6	5.900
Velocidade orbital média (km/s)	47,89	35,03	29,79	24,13	13,06	9,64	6,81	5,43	4,74
Inclinação orbital (graus)	7	3,39	0	1,85	1,3	2,49	0,77	1,77	17,2
Período orbital (duração do ano) / (a = ano terrestre; d = dia terrestre)	87,97 d	224,7 d	365,26 d	1,88 a	11,86 a	29,46 a	84,01a	164,79 a	248,54 a

* = rotação retrógrada

A LUNETTA COM LENTE DE ÓCULOS¹

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma sugestão de como construir uma luneta astronômica utilizando apenas materiais facilmente disponíveis no comércio, de baixo custo e de fácil montagem. No lugar da lente objetiva usa-se uma lente de óculos de um grau positivo e no lugar da lente ocular usa-se um monóculo da fotografia. Os encaixes são feitos com tubos e conexões de PVC. Uma sugestão de como construir um tripé para a luneta também é dada. Apesar de se usar materiais rudimentares, os resultados são satisfatórios. As crateras lunares são facilmente observadas, assim como seu relevo, principalmente nas luas crescentes e minguantes.

Introdução

Um dos experimentos mais importantes de astronomia básica, isto é, a astronomia do de ensino fundamental e médio, é a construção o telescópio; assim, esta foi a preocupação inicial deste autor em cursos de licenciatura para futuros professores do ensino básico. O desenvolvimento de uma luneta de fácil construção, isto é, de simples montagem, que use materiais de baixo custo disponíveis no comércio, resistente ao manuseio de crianças e adolescentes, e que permita ver pelo menos as crateras lunares, é uma tarefa demorada, pois exige a improvisação de muitos materiais e a construção de vários protótipos. Uma versão anterior, um pouco mais trabalhosa foi publicada por Buso et al (1993).

O objetivo deste trabalho é mostrar, em detalhes, como um professor de ensino básico, com pouquíssimos recursos, pode construir uma luneta astronômica.

O professor que constrói um experimento didático terá: 1º) a satisfação de ter construído algo; 2º) a oportunidade de ver, pelo menos, as crateras lunares, oportunidade essa que quase nenhum professor já teve; 3º) com esta modesta luneta, de fabricação própria, ele permitirá que seus familiares, amigos e vizinhos olhem através dela e 4º) a oportunidade de mostrá-la aos seus alunos. Quando um professor leva um experimento para a sala de aula, ele consegue, primeiro, chamar a atenção dos alunos para o experimento que ele trouxe e em segundo lugar, mais facilmente motivar o aluno para o tema em questão, favorecendo, assim, o melhor aprendizado do mesmo.

Sempre que os tópicos de astronomia forem ensinados no ensino fundamental ou médio, cabe comentários sobre a luneta, por exemplo: 1º) poderão ser discutidos os aspectos históricos do seu descobrimento, veja por exemplo, o artigo de Évora (1989); 2º) a luneta poderá ser montada e desmontada, fácil e rapidamente, em sala para mostrar a simplicidade de sua construção, desmistificando com isto, sua complexidade; 3º) enfatizar que este é o principal instrumento de observação dos astrônomos. Além disso, permitir que a luneta passe de mão em mão para que vejam a paisagem (invertida) e, se possível, observar as crateras lunares durante o dia (no final da lua minguante ela é visível de manhã), ou durante a noite (na lua crescente é visível logo ao entardecer e na lua cheia e minguante, um pouco mais tarde).

¹ Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 11, n.º 3, p.212 - 220, 1994

Sempre que o conteúdo de óptica é abordado nos livros do ensino médio, esquemas de instrumentos ópticos são apresentados, entre eles o de uma luneta, mas nunca é dada uma sugestão de como construir essa luneta. A seguir é dada uma sugestão de como construí-la, porém, nada impede que, dependendo da criatividade e disposição de cada um, seja modificada, aperfeiçoada, simplificada, etc.

As lentes da luneta e seus encaixes

A luneta é constituída de duas lentes convergentes, que colocadas uma na frente da outra, separadas por uma certa distância, faz com que objetos distantes sejam vistos como próximos. Na frase anterior está toda a teoria da luneta, mas não tem nada que torne simples sua construção. Por isso, abaixo, damos um procedimento que torna simples sua confecção. Procuramos construí-la com os materiais mais comumente disponíveis no comércio, por isso nada impede que se faça alterações em sua montagem, isto depende apenas das disponibilidades e criatividade de cada um.

Neste trabalho não será feita análise da trajetória dos raios luminosos dentro do telescópio, primeiro porque não é este o objetivo deste artigo e, segundo, porque tal estudo está feito em muitos livros de Física do ensino médio ou de graduação, veja por exemplo McKelvey e Grotch (1981).

Os materiais críticos para a construção da luneta são as lentes, as quais são difíceis de se encontrar e de preços elevados, por isso vamos usar lente de óculos no lugar da lente objetiva (aquela que fica na frente da luneta e através da qual entra a luz do objeto estudado; a Lua, por exemplo).

A lente de óculos é adquirida no oculista (lojas que vendem e montam óculos). Para comprá-la você terá que explicar que a lente será usada na construção de uma luneta astronômica, senão o vendedor irá pedir a “receita” do oftalmologista. Toda a lente tem uma distância focal (f) que é a distância entre a lente e o ponto no qual converge a luz do Sol, quando você segura a lente sob o Sol (com o lado convexo voltado para o Sol) e projeta sua luz num ponto de luz intensa (geralmente tentando queimar um pedaço de papel). Só que o vendedor não vende a lente pela sua distância focal e sim pelo “grau” da lente. Mas não há problema, pois se você quiser lente de 1 m de distância focal, peça a lente de 1 grau, se quiser lente de 0,5 m de distância focal, peça lente de 2 graus e se quiser lente de 0,25 m de distância focal, peça lente de 4 graus, ou seja, a distância focal (em metros) é o inverso do “grau”, o qual tem que ser positivo e a lente incolor.

Neste artigo vamos sugerir que você compre uma lente de 1 grau. portanto, a distância focal é de 1 metro. Quanto ao diâmetro da lente, peça o menor que tiver, geralmente é 60 mm ou 65 mm, pois você vai pedir para o vendedor reduzir o diâmetro para 50 mm. Como é lente para luneta, ela deve ser incolor, de 1 grau positivo (pois é para ver longe).

Quando for comprar a lente, leve junto uma luva simples branca de tubo de esgoto (conexão de PVC) de 2” (duas polegadas, que é equivalente a 50 mm), veja o item A da figura 1. Solicite ao vendedor para ele reduzir o diâmetro da lente para 50 mm, para que ela se encaixe dentro da luva.

A segunda lente da luneta é chamada de ocular; é aquela que fica atrás da luneta, onde você posiciona seu olho. Esta lente geralmente é pequena, cerca de 10 a 20 mm de diâmetro, porque sua distância focal é pequena (20 a 50 mm). Esta lente que deve ser convergente (biconvexa ou plano convexa), também é difícil de ser encontrada. Para substituí-la vamos usar a lente contida nos monóculos de fotografias (pequeno porta-retrato que deve ser visto pela pequena lente, em direção a uma fonte luminosa); peça de letra J na figura 1.

Estes monóculos são vendidos em lojas de foto. Existem em várias cores, mas não importa a cor, porque você precisar revestir as paredes internas do monóculo (ou porta-

retrato) com papel camurça preto ou cartolina preta. Quanto às dimensões do monóculo, creio que ele é do tipo pequeno, isto é, a lente tem diâmetro de 11 mm, a distância focal é de 40 mm, o comprimento do monóculo é de 40 mm e a abertura dele (local onde fica a tampa com a foto) é um retângulo de 18x24 mm. O monóculo tem uma pequena alça, pela qual costuma-se pendurá-lo num chaveiro, a qual deve ser removida lixando-se esta alça com uma lixa qualquer (serve até lixa de unha), ou numa superfície áspera qualquer.

Compre uma bucha de redução curta marrom de 40 x 32 mm (conexão de PVC facilmente encontrada em casas de materiais hidráulicos ou de materiais para construção). Depois de revestidas as paredes internas do monóculo com o papel camurça preto e retirada a sua “alça”, é só encaixar o monóculo dentro da bucha de redução curta marrom (peça de letra I I’ da figura 1). A abertura retangular do monóculo deve ser introduzida na bucha marrom, no mesmo sentido que seria colocado um cano d’água, de 1”, dentro da bucha. O monóculo se encaixa perfeitamente dentro da bucha. Para preencher os espaços laterais entre o monóculo e a bucha, use durepoxe ou massa de modelar, ou argila, ou simplesmente papel amassado, para que o monóculo fique preso e não vaze luz pelas laterais do monóculo.

Com a lente de óculos no lugar da lente objetiva e a lente do monóculo no lugar da lente ocular, estão improvisadas as partes mais difíceis de serem conseguidas da luneta, agora é só questão de encaixá-las nas extremidades de dois tubos que corram um dentro do outro.

A montagem da luneta.

Lista de materiais necessários para a construção da luneta:

Letra	Quantidade	Descrição de Material
A	1	luva simples branca de esgoto de 2” (= 50 mm)
B	1	lente incolor de óculos de 1 grau positivo
C	1	disco de cartolina preta (ou papel camurça preto) de 50 mm de diâmetro, com furo interno de 20 mm de diâmetro
DE	70 cm	tubo branco de esgoto de 2” (= 50 mm).
FG	70 cm	tubo branco de esgoto de 1 1/2” (= 40 mm)
H	1	luva simples branca de esgoto de 1 1/2” (= 40 mm)
II’	1	bucha de redução curta marrom de 40 x 32 mm
J	2	monóculos de fotografia
L	1	plug branco de esgoto de 2” (= 50 mm)
	1	lata de tinta spray preto fosco
	1	rolo de esparadrapo de aproximadamente 12 mm de largura por 4,5 de comprimento
	1	lata pequena de vaselina em pasta
	1	caixa pequena de durepoxe ou similar

Pinte as paredes internas dos tubos DE e FG com tinta spray preto fosco, mas antes de pintá-las coloque um anel de esparadrapo na extremidade E da parede interna do tubo DE e outro anel de esparadrapo na extremidade externa F do tubo GF (veja a figura 1).

Depois de completada esta pintura retire os dois anéis de esparadrapo acima mencionados, pois eles estarão sujos de tinta. No lugar do anel que estava na extremidade interna E, coloque tantos anéis sobrepostos de esparadrapo quantos forem necessários para que o tubo GF possa passar pela extremidade E do tubo DE e deslizar dentro deste sem muito esforço. Se necessário, coloque vaselina sobre o último anel de esparadrapo.

No lugar do anel de esparadrapo que estava na extremidade externa F, coloque tantos anéis de esparadrapos quantos forem necessários para que o tubo GF possa deslizar dentro do tubo ED sem precisar esforço, mas sem escorregar sozinho se os tubos ficarem na vertical. Obviamente será preciso fazer a extremidade G, do tubo GF, entrar pela extremidade D, do tubo ED e sair pela extremidade E, e, então, verificar se eles deslizam suavemente sem muito esforço. Se necessário, coloque vaselina sobre o último anel de esparadrapo.

Seqüência de montagem: coloque o tubo FG dentro do tubo ED, conforme descrito no parágrafo anterior. Coloque estes tubos na vertical, com a extremidade D para cima. Sobre esta extremidade (D) coloque o disco de cartolina preta (C). Se estiver usando papel camurça, coloque a parte preta para cima. A finalidade deste disco é diminuir a aberração cromática; este é o nome dado à dispersão da luz branca (separação de todas as cores) após ela passar pela lente. Sem este disco (C) nem a Lua é visível. Faça um teste. Continuando a seqüência de montagem: sobre o disco C coloque a lente (limpe-a bem) com o lado convexo para cima e, então, encaixe a luva A, conforme indicado na figura 1. É importante que o corte da extremidade D do tubo tenha sido feito perpendicularmente ao eixo do tubo DE.

O monóculo J já está encaixado na bucha marrom I I', é só encaixar a bucha na luva H e esta, por sua vez, encaixar na extremidade G do tubo GF.

Está pronta a sua luneta; para ver a vizinhança é só mirar a luneta e deslocar lentamente o tubo GF ao longo do tubo ED para obter a focalização. Também não se esqueça de que a imagem estará se formando a uns 4 ou 5 cm atrás da lente ocular, por isso não encoste seu olho na ocular (monóculo), e sim a uns 4 ou 5 cm atrás do monóculo.

Atenção: as peças I I', H e A devem ser encaixadas, mas de tal forma que seja possível desencaixá-las com certa facilidade, para futura limpeza das peças, por exemplo, por isso é recomendável passar vaselina antes de encaixá-las, se for necessário. Em casos extremos use uma lixa fina para desbastar as superfícies de contato e, depois, coloque a vaselina.

Também não se espante com a imagem invertida. Lembre-se esta é uma luneta astronômica e em astronomia, cabeça para baixo ou para cima é só uma questão de referencial.

A aproximação (ou aumento) que esta luneta proporciona é igual à razão entre a distância focal da objetiva pela distância focal da ocular, portanto: $100 \text{ cm} / 4 \text{ cm} = 25$.

Você gostaria de dobrar este aumento? É só encaixar mais um monóculo dentro daquele que está preso na bucha marrom. Não se esqueça de revestir as paredes internas deste monóculo com a cartolina preta. Este revestimento e a pintura dos tubos DE e FG é para evitar a reflexão da luz dentro da luneta. Agora a imagem estará se formando a uns 2 cm da lente da ocular, o que facilita a observação.

A peça L da figura 1 é um plug branco de esgoto de 2" e sua função é proteger a lente quando a luneta estiver fora de uso.

Como você rapidamente perceberá, seu braço fica cansado ao segurar a luneta e a imagem tremerá muito. Se apoiar o braço em algo facilita a observação, mas o ideal é ter um tripé, para o qual damos a seguinte sugestão:

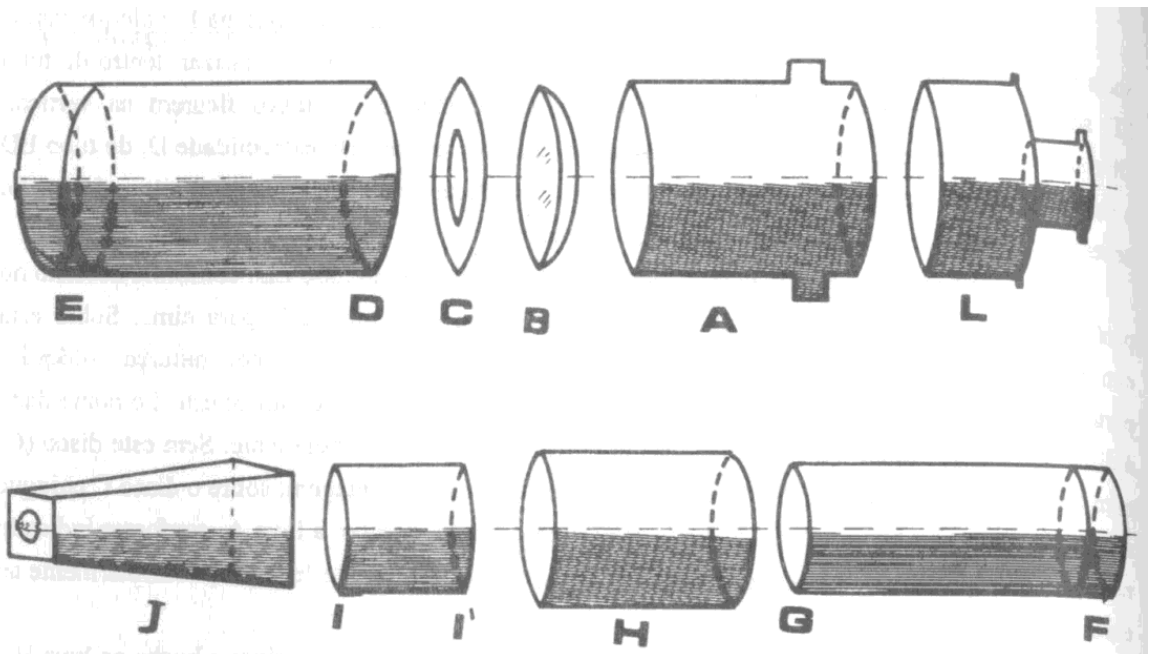


Fig. 1- Esquema explodido da luneta. L é um plug branco de esgoto de 50 mm de diâmetro, A é uma lupa simples branca de esgoto de 50 mm de diâmetro, B é uma lente incolor de óculos de 1 grau positivo com 50 mm de diâmetro, C é um disco de cartolina preta com 50 mm de diâmetro e um furo interno de 20 mm de diâmetro, DE e FG são tubos brancos de esgoto de 50 mm e 40 mm de diâmetro, respectivamente, H é uma lupa simples branca de esgoto de 40 mm de diâmetro, II' é uma bucha de redução curta, marrom, de 40 X 32 mm e J é um monóculo (porta-retrato) de fotografia.

O tripé

As dimensões dadas a seguir são sugestões, nada impede alterações. As letras maiúsculas usadas a seguir são referentes à figura 2. As peças A, B e L são três ripas de madeira de dimensões 1x4x40 cm; C é uma viga de madeira de 5x5x30 cm e H um cubo de madeira de lado 5 cm. As ripas A e B são fixadas na viga C conforme indica a figura 2, pelos pregos P1, P2, P3 e P4.

Os furos GF e ED são de diâmetro 5/16" (cinco dezesseis avos de polegada). A profundidade de ED deve ser de uns 5 cm e ele estar a uns 10 mm de X medido ao longo da diagonal X X" (veja Fig. 3). O furo GF é passante e centralizado no cubo. Por estes furos (GF e ED) passe uma haste com aproximadamente o mesmo diâmetro e comprimento de uns 10 cm. Pode ser, por exemplo, um parafuso de 5/16" de diâmetro, com 10 a 15 cm de comprimento e de cabeça sextavada, ou até mesmo um tubo de caneta "quilométrica" pode ser usado. O bloco cúbico H deve poder girar livremente ao redor da haste que passa pelos furos GF e ED.

Na ripa de madeira L faça um furo centralizado de 3/16". Por esse furo passe um parafuso do mesmo diâmetro e comprimento de 3". Este parafuso passa a ripa, entra no furo IJ (também de 3/16" de diâmetro e passante), pela extremidade J, por exemplo, e sai em I, em cuja extremidade coloca-se um porca-borboleta de 3/16". A finalidade dessa porca-borboleta é apertar ou afrouxar a ripa L contra o cubo H. Onde vai afinal a luneta? Ela deve ser amarrada por elásticos ou tiras de borracha, ou abraçadeiras (ou barbantes) ao longo da tábua L. A luneta fica, assim, dotada de dois movimentos,: horizontal e vertical.

Para usar a luneta sobre o tripé é preciso, antes de mais nada, paciência. O tripé deve estar apoiado em algo plano, de altura ligeiramente superior ao do observador; pode ser, por exemplo, um muro, uma mesa ou sobre uma cadeira que está sobre uma mesa, etc.

Também nada impede que você use uma viga C de comprimento maior que 40 cm, ou que use duas vigas C fixadas uma ao lado da outra, com vários furos Y distribuídos ao longo de seu comprimento, perpendiculares aos seus eixos maiores, tal que sua altura possa ser regulada pelo deslocamento de uma das vigas C ao longo da outra. Estas vigas C podem ser, então, fixadas por 2 parafusos que atravessem as mesmas; veja uma ilustração na figura 3.

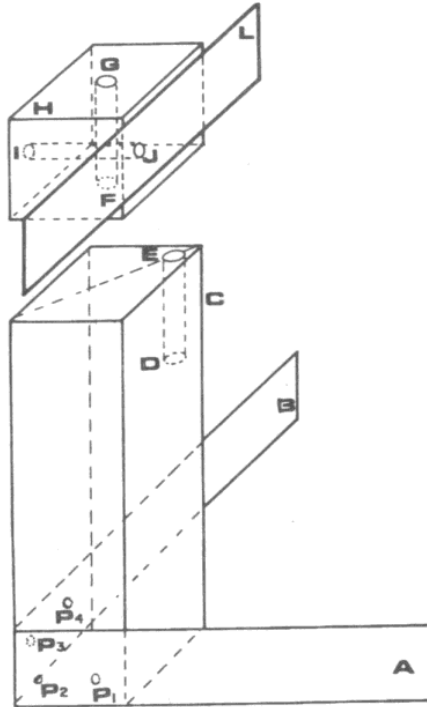


Fig. 2- Esquema fora de escala do tripé para a luneta. As dimensões das peças estão no texto.

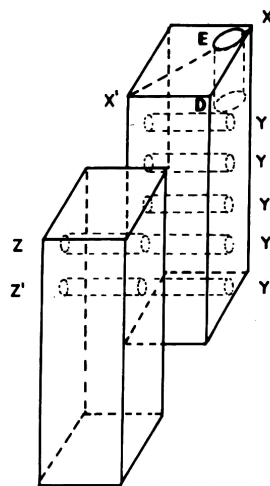


Fig. 3- Esquema fora da escala, de sugestão de como fazer o tripé mais alto, usando duas vigas (C) em paralelo, com vários furos Y, pelos quais pode-se passar 2 parafusos que também passam por Z e Z' e, assim, regular a altura do tripé

Conclusão

Esta luneta permite ver as crateras lunares e seu relevo, principalmente quando observada durante as noites de lua crescente ou minguante. As maiores luas de Júpiter também são visíveis, desde que a nossa Lua não esteja presente e se observe a partir de um local escuro.

Com esta luneta o professor poderá desmistificar a complexidade da construção da luneta astronômica e terá um experimento didático que despertará a curiosidade dos alunos para o tema de astronomia que estiver sendo estudado.

Recomendação importantíssima: não observe o Sol através da luneta, pois poderá ficar cego.

Referências

- Buso, S.J., Crispin, S.C., Pereira, E.F. e Canalle, J.B.G., 1993, A Luneta caseira, Atas do X Simpósio Nacional de Ensino de Física, Londrina, PR, p. 713 - 717.
- Évora, F.R.R., 1989, A descoberta do telescópio: fruto de um raciocínio dedutivo? Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 6 (número especial), junho de 1989, p. 30 - 48.
- McKelvey, J.P. e Grotch, H., 1981, Física vol. 4, Editora Harbra.

O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL ²

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Resumo

Durante os cursos de aperfeiçoamento que ministrei, para professores de primeiro grau da Rede Pública do Município de São Paulo e do Núcleo Regional de Pato Branco, Sudoeste do Paraná, foram desenvolvidas as atividades abaixo descritas, que têm a finalidade de propor uma forma alternativa para ensinar os movimentos dos planetas, luas e cometas do sistema solar. Inicialmente é apresentado um modo “gráfico” de se visualizar as distâncias dos planetas ao Sol, fazendo-se uso de uma escala apropriada. Utilizando esta escala, pede-se ajuda aos alunos para desenharem círculos sobre uma quadra de esportes. Sobre estes círculos, que representam as órbitas dos planetas, os alunos caminham, correm, giram, etc., mostrando, assim, o sistema solar em movimento. O movimento dos satélites (luas) também é representado. Usando a mesma escala dos círculos, um barbante e duas pequenas estacas, mostramos como desenhar a elipse referente à órbita do cometa Halley. O seu movimento também é representado por um aluno que anda (e corre) sobre esta elipse. Esta ativa participação dos alunos na confecção dos círculos, elipse e movimentação como planetas, luas e cometas é que chamamos de representação teatral. O tema “Sistema Solar” geralmente é abordado na quinta ou sexta série do primeiro grau, depende da seqüência do currículo elaborado pelas Secretarias de Educação dos Estados. Nos cursos de formação de professores de primeiro grau é ensinado pelos professores de Física. Nestas atividades o professor tem a oportunidade de fazer o aluno participar ativamente de sua aula, tornando-a prática e, como verão, também divertida. Além de astronomia, os alunos também estarão trabalhando, praticamente, com a geometria, ao traçarem no chão, círculos e elipses. Os professores que exercitam o salutar hábito de questionar seus alunos antes de explicar, descobrirão alunos com “explicações intuitivas” das mais absurdas; algumas citarei no texto. Professores de pré-escola que tiveram contato com estas atividades disseram que elas são parcialmente aplicáveis também na pré-escola!

Introdução

Quando os livros abordam o tema “Sistema Solar”, geralmente trazem uma figura esquemática do mesmo. Esta figura, normalmente é constituída pelo Sol e planetas, sendo que não estão em escala os diâmetros do Sol e dos planetas e nem tão pouco as distâncias dos planetas ao Sol e não há nenhuma referência nos textos para esse fato. Apesar de não estarem em escalas, os planetas maiores são representados por círculos grandes e os planetas menores por círculos pequenos, mas tão fora de escala que a Terra parece ser a metade de Júpiter e este, 3 ou 4 vezes menor que o Sol. Um procedimento experimental para resolver este problema será apresentado num outro artigo. Outro problema dos livros didáticos é sobre as distâncias dos planetas ao Sol. Estas figuras nunca obedecem a uma escala para as distâncias. A figura passa a noção errada de que os planetas estão equidistantes uns dos outros. Quando o livro tenta ser mais claro ele coloca uma tabela com as distâncias ao Sol. São números enormes, sendo que ninguém consegue imaginar tais distâncias, e eles não conseguem dar

² Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, n^o 1, p. 27 - 32, 1994

nenhuma noção, aproximada que seja, da distribuição dos planetas ao redor do Sol. É objetivo deste trabalho oferecer uma solução simples para este problema.

Outro problema que está implícito nestas figuras esquemáticas do sistema solar é que elas costumam representar os planetas enfileirados, um ao lado do outro. Além da figura não dar nenhuma idéia dos movimentos dos planetas, ela permite que as pessoas pensem que os planetas giram ao redor do Sol desta forma, ou seja, um ao lado do outro, sempre em fila. Este autor já teve a oportunidade de encontrar professores que acreditavam nisso e explicaram que pensavam assim, porque viram a figura nos livros.

Damos, a seguir, uma sugestão de como resolver estes problemas, com a participação dos alunos, numa forma “teatral”.

As distâncias dos planetas ao Sol

Para darmos uma idéia correta das distâncias médias dos planetas ao Sol, sugerimos que sejam reduzidas as distâncias médias, dos planetas ao Sol, através de uma escala⁽¹⁾. Por exemplo, se adotamos a escala de 10 milhões de quilômetros para cada 1 cm de papel, teremos Mercúrio a 5,8 cm do Sol, pois sua distância média ao Sol é de 58 milhões de quilômetros; Vênus estaria a 10,8 cm do Sol, pois sua distância média é de 108 milhões de quilômetros, e assim para os demais planetas.

Desenvolvemos esta atividade com os alunos da seguinte maneira: providenciamos tiras de papel, com largura de, aproximadamente, 7 cm e comprimento de 6m. Desenhamos uma bolinha (com 1 ou 2 mm de diâmetro) numa das extremidades da tira para representar o Sol, a partir dessa bolinha desenhamos outra a 5,8 cm para representar Mercúrio, Vênus estaria a 10,8 cm do Sol, a Terra fica a 15,0 cm do Sol, Marte fica a 22,8 cm, Júpiter a 77,8 cm, Saturno a 143,0 cm, Urano a 287,0 cm, Netuno a 450,0 cm e, finalmente, Plutão a 590,0 cm do Sol (todas as distâncias são em relação ao Sol (primeira bolinha)). Colocamos o nome do Sol e de cada planeta sobre cada bolinha. Esticamos a tira e teremos uma visão exata da distribuição das distâncias médias dos planetas ao Sol. Numa escala ainda menor, mostramos na Fig. 4 um pedaço da tira.



Fig. 4 - As letras sobre os pontos (planetas) representam M(Mercúrio), V(Vênus), T(Terra), M(Marte), J(Júpiter), etc.

Esta é uma atividade que o aluno pode fazer em casa ou em sala aula e, é claro, a tira fica com ele, para que possa mostrá-la aos familiares e amigos.

Só mesmo fazendo a tira toda para percebermos como os planetas mais distantes estão incrivelmente mais distantes do Sol, do que os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

O movimento dos planetas ao redor do Sol

Para mostrar que os planetas giram ao redor do Sol (todos no mesmo sentido) fazemos o seguinte: sobre a tira de papel do item anterior, colocamos um barbante esticado, e sobre o Sol e cada planeta damos um nó. Enrolamos o barbante num cabo de vassoura (de aproximadamente 10 cm de comprimento) para não embaralhar o barbante. Em seguida vamos a uma quadra de esportes e no centro dela seguramos fixo o nó que representa o Sol,

mantendo esticado o barbante e segurando um giz no nó que representa Mercúrio, traçamos um círculo sobre a quadra. Repetimos este procedimento traçando um círculo para cada planeta.

Traçados os 9 círculos no piso da quadra, colocamos um aluno, representando o Sol, sobre o centro dos círculos (onde está o Sol). Colocamos outro aluno para andar sobre o círculo de Marte, outro sobre o círculo de Júpiter, outro para andar sobre o círculo de Saturno e idem para Urano, Netuno e Plutão. Sobre os círculos de Mercúrio, Vênus e Terra, não é possível colocar ninguém, pois eles estão próximos demais do aluno que representa o Sol. Feito este posicionamento inicial, sugiro, abaixo, uma série de procedimentos para ilustrar o movimento dos planetas, seus satélites e cometas.

1º - Explicar que a velocidade dos planetas diminui com a distância dele ao Sol; assim sendo, o aluno que representar Marte deve correr sobre a órbita (círculo) de Marte, aquele que representar o movimento de Júpiter deverá correr mais devagar, quem representar Saturno apenas andar, e assim sucessivamente, tal que o aluno-Plutão caminhará pé-ante-pé.

2º - Explicar que o tempo gasto pelo planeta, (aluno) para dar uma volta ao redor do Sol é chamado de período de translação e representa a duração do ano do planeta. A Terra gasta 365,25 dias para fazer este movimento. Os planetas mais próximos do Sol gastam menos tempo que a Terra e aqueles que estão mais distantes gastam mais tempo que a Terra. Pode-se observar do movimento dos alunos, que aqueles que estão mais próximos do Sol, gastam muito menos tempo para dar uma volta ao redor do Sol do que aqueles que estão mais distantes.

3º - Coloque os alunos a se moverem, representando o sistema solar, e dê as explicações 1 e 2 acima. Depois de algumas voltas dos alunos, pare-os e explique que, além dos planetas girarem ao redor do Sol, eles giram ao redor de si mesmos, vamos pedir, então, para que os alunos-planetas também façam isso, ou seja, caminhar sobre os círculos enquanto giram sobre si mesmos. Para que possam combinar os dois movimentos é preciso que transladem mais devagar, para se evitar quedas.

4º - Explicar, também, que o tempo gasto pelo planeta para girar sobre ele mesmo é chamado de período de rotação. A Terra executa esse movimento em 24 horas (aproximadamente). É esse movimento que dá origem ao dia e à noite. Na translação todos planetas giram no mesmo sentido, horário, digamos, mas na rotação 8 planetas giram sobre si no mesmo sentido, horário, por exemplo, sendo que Vênus gira no sentido contrário. Também é preciso lembrar que o eixo de rotação dos planetas não é perpendicular ao plano de sua órbita, ao contrário do que vemos na quadra, onde o eixo de rotação dos alunos-planetas é perpendicular ao plano da quadra.

5º - Explicar o dia e a noite da seguinte maneira: supondo que a cabeça dos alunos que estão orbitando (circulando) o Sol, seja a Terra, quando o aluno está de frente para o Sol é dia no seu rosto e noite na sua nuca, e quando ele está de costas para o Sol é dia na sua nuca e noite no seu rosto, pois ele não está vendo o Sol.

6º - Além desses movimentos (translação e rotação) os planetas executam outros movimentos, mas que não são factíveis de serem representados com o corpo humano.

7º - Também é preciso chamar a atenção para o fato de que o plano das órbitas dos planetas não são coincidentes, como ocorre na quadra, mas que na verdade, estão ligeiramente inclinados uns em relação aos outros.

8º - Falta ainda esclarecer que as órbitas dos planetas não são exatamente círculos, como desenhados no chão, na verdade são órbitas ligeiramente achatadas, que chamamos de elipses e serão estudadas mais adiante.

O movimento das luas ao redor dos planetas

5,1 m 10,4 m Nó

Depois dos movimentos de translação e rotação dos alunos-planetras e das explicações acima, podemos incluir as luas (satélites naturais) nos movimentos do sistema solar. Com exceção de Mercúrio e Vênus, todos os demais planetas possuem luas que giram ao redor deles. Vejamos como representar o movimento das luas ao redor dos planetas.

9° - Inicialmente vamos ilustrar o movimento da Lua ao redor da Terra. Vamos fazer um aluno representar a Terra, e como a órbita (círculo) da Terra está muito próxima ao pé de aluno que está representado o Sol, vamos usar o círculo que representa a órbita de Urano. Os demais planetas (alunos) não participam desta atividade, apenas observam. Enquanto o aluno-Terra gira sobre si e ao redor do Sol (muito lentamente), outro aluno, que representa a Lua, deve girar ao redor da Terra, mas sempre olhando para a Terra, pois a Lua sempre mostra a mesma face para a Terra. O aluno-Terra não fica olhando para a “Lua”. Já encontrei pessoas que acreditavam que o ocidente via uma face da Lua e que o oriente via só a outra face da Lua. Outras pessoas não imaginam que a Lua gira sobre si mesma. Esta atividade ajuda a esclarecer tais dúvidas.

10° - Marte tem duas luas, chamadas Fobos e Deimos. Vamos representá-las de modo análogo ao que fizemos para o sistema Terra-Lua. Substitui-se os alunos Terra e Lua, por outro que será Marte e outros dois que representarão as luas Fobos e Deimos. Marte gira ao redor do Sol e sobre si mesmo, enquanto que suas luas giram ao seu redor. Também é preciso usar o círculo que representa a órbita de Urano, pelo motivo exposto no item 9. Ainda não é sabido se as luas dos demais planetas apresentam sempre a mesma face para eles, como faz a lua da Terra.

11° - O mesmo procedimento fazemos para Júpiter e suas luas. Como este é o maior dos planetas, usamos sempre o maior dos alunos para representá-lo. Como ele tem 16 luas, também devemos usar o círculo que representa a órbita de Urano, pelo motivo explicado no item 9.

12° - Analogamente se faz para Saturno e suas 17 luas. Como Saturno tem anéis, pedimos ao aluno que representa Saturno para girar com os braços abertos para representar os anéis. Também pode-se usar um bambolê.

13° - Analogamente para Urano e suas 15 luas.

14° - Idem para Netuno e suas 8 luas.

15° - Idem para Plutão com sua única lua.

O movimento dos cometas ao redor do Sol

Mas, além do Sol, planetas e luas, o sistema solar também tem os cometas. Vejamos como podemos representá-los na quadra. Vamos usar, como exemplo, o cometa Halley. Este cometa é periódico e tem órbita bastante excêntrica, isto é, sua órbita é uma elipse bastante achatada.

16° - Para desenhar a órbita do Halley na mesma escala usada para os planetas, corte-se um barbante com 10,4 m de comprimento e dá-se um nó a 5,1 m de uma das pontas. Veja esquema na Fig. 2.

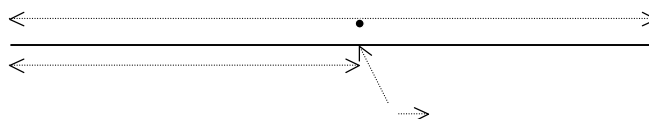


Fig. 5 - Esquema da posição do nó sobre o barbante usado para a construção da elipse do cometa Halley.

A seguir amarra-se as pontas. Pressiona-se, então verticalmente, a tampa de uma caneta (ou de um pedaço de cabo de vassoura) contra o centro dos círculos (Sol) e de outra a 5,1 m do Sol (a distância entre os 2 nós do bastante). Coloca-se o barbante ao redor dessas tampas de canetas, estica-se o barbante e risca-se o chão com um giz, conforme ilustra a Fig. 6. A posição onde estão as canetas chamamos de focos da elipse e o Sol está num desses focos, como diz a 1ª lei de Kepler.

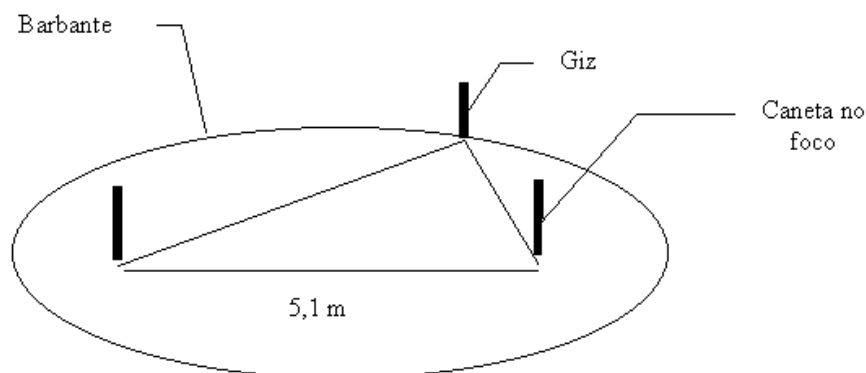


Fig. 6 - Esquema do procedimento usado para desenhar a elipse

17º - Para representarmos, esquematicamente, a cauda do cometa riscamos o chão, conforme ilustra a Fig. 7. Observe que a cauda é sempre radial ao Sol.

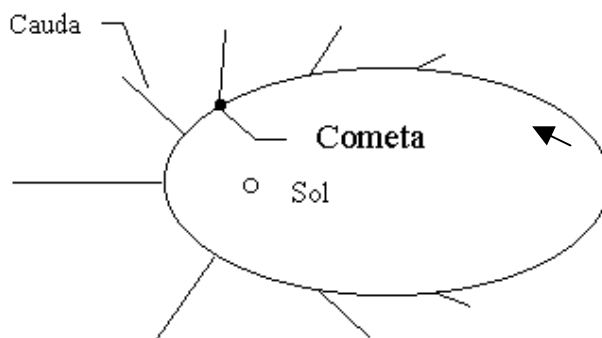


Fig. 7 - Esquema da cauda do cometa

18º - Para representarmos o movimento do cometa pede-se para um aluno representar o Sol (que fica no centro dos círculos, girando lentamente sobre si mesmo) e outro representar o cometa. O aluno-cometa deve andar lentamente quando está longe do Sol, aumentar gradativamente sua velocidade enquanto se aproxima do Sol, correr quando passa próximo do Sol e diminuir gradativamente sua velocidade enquanto se afasta do Sol, pois é assim que faz o cometa. A movimentação do aluno-cometa deve ocorrer sobre a elipse desenhada no item 17º.

19º - Para finalizar, coloca-se todos os alunos-planetras, o aluno-Sol e o aluno-cometa para se moverem simultaneamente ao redor do Sol. Mas como o Sol não é uma estrela fixa, faça o aluno-Sol caminhar em direção a um dos cantos da quadra, carregando consigo todo o sistema solar.

Conclusão

Com as atividades acima descritas, o professor melhor ilustra sua explicação sobre o movimento dos planetas, luas e cometas ao redor do Sol. O aluno, por outro lado, tende a entender melhor estas explicações, pois além de estar ouvindo e vendo, ele está participando delas.

Referências

- (1) Laboratório Básico Polivalente de Ciências - para 1º grau, FUNBEC, p. 157-163, 2ª edição, 1986.

TABELA COM AS DISTÂNCIAS MÉDIAS DOS PLANETAS AO SOL

Planeta	Distância média ao Sol (km)	Distância ao Sol na escala adotada (cm)	Segmento da tira onde está o planeta	Distância no segmento (cm)
Mercúrio	57.910.000	5,8	1	5,8
Vênus	108.200.000	10,8	1	10,8
Terra	149.600.000	15,0	1	15,0
Marte	227.940.000	22,8	1	22,8
Júpiter	778.330.000	77,8	3	17,8
Saturno	1.429.400.000	142,9	5	22,9
Urano	2.870.990.000	287,1	10	17,1
Netuno	4.504.300.000	450,4	16	0,4
Plutão	5.913.520.000	591,4	20	21,4
<i>Estrela Alfa Centauro</i>	$4,1 \times 10^{13}$ km	4.067.800 (= 40,7 km)	135.594	10

COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL ³

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Resumo

Como é possível dar uma visão concreta do tamanho dos planetas e do Sol aos alunos da pré-escola, do ensino fundamental e médio sem recorrer aos números? Escolhendo uma escala apropriada, representamos o Sol por uma esfera de 80,0 cm de diâmetro e, conseqüentemente, os planetas são representados por esferas com os seguintes diâmetros: Mercúrio (2,9 mm), Vênus (7,0 mm), Terra (7,3 mm), Marte (3,9 mm), Júpiter (82,1 mm), Saturno (69,0 mm), Urano (29,2 mm), Netuno (27,9 mm) e Plutão (1,3 mm). As bolinhas que representam os planetas, construímos com argila ou durepoxi (ou até mesmo usando sementes e frutas). O Sol (80,0 cm), por outro lado, só poder ser representado por uma bexiga de aniversário, de tamanho gigante, enchida na saída do ar de um aspirador de pó, para alegria da criançada e espanto de todos.

Introdução

Quando os livros didáticos abordam o tema “SISTEMA SOLAR”, geralmente apresentam uma figura esquemática do mesmo. Nesta figura o Sol e os planetas são desenhados sem escala e isto não é escrito no texto, o que permite ao aluno imaginar que o Sol e os planetas são proporcionais àquelas bolinhas (discos) lá desenhados. Apesar de não estarem em escala, os planetas maiores são representados por bolinhas grandes e os menores por bolinhas pequenas, mas sem nenhuma preocupação com escalas. Em alguns livros o diâmetro do Sol é comparável ao de Júpiter, o que é um absurdo, claro!

Alguns livros apresentam, além das figuras esquemáticas, uma tabela com os diâmetros do Sol e dos planetas. Esta tabela também não ajuda muito, porque não se consegue imaginar as diferenças de tamanho dos planetas e do Sol apenas vendo os números dos seus diâmetros.

Sugerimos abaixo um procedimento experimental, que os alunos podem executar como tarefa extraclasse, reproduzindo (ou não) o material do professor e que permite visualizar corretamente a proporção dos tamanhos dos planetas e do Sol, sem recorrer aos valores reais dos seus diâmetros.

Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol através de esferas

Para darmos uma visão concreta do tamanho dos planetas e do Sol, representamos o Sol por uma esfera de 80,0 cm de diâmetro e, conseqüentemente, os planetas serão representados, na mesma proporção, por esferas com os seguintes diâmetros: Mercúrio (2,9 mm), Vênus (7,0 mm), Terra (7,3 mm), Marte (3,9 mm), Júpiter (82,1 mm), Saturno (69,0 mm), Urano (29,2 mm), Netuno (27,9 mm) e Plutão (1,3 mm). A Figura 1 representa, no plano, os discos dos planetas.

Usamos argila para fazer as esferas correspondentes aos planetas Júpiter e Saturno, que são os dois maiores. Escolhemos argila porque é um material de baixo custo, facilmente

³ Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, n.º 2, p. 141 - 144, 1994

encontrada em papelarias e apenas 1 kg de argila é suficiente para fazer as referidas esferas. Há entretanto um detalhe: argila, quando seca, encolhe um pouco, portanto recomendamos fazer as duas esferas um pouco maiores, isto é, Júpiter com 90,0 mm e Saturno com 75,0 mm de diâmetro, pois quando secos, atingirão (ou ficarão próximos) dos diâmetros corretos.

Recomendamos fazer as esferas dos demais planetas usando durepoxi (uma caixa pequena é suficiente). Este material praticamente não encolhe quando seco e sua secagem é mais rápida que a da argila.

Nada impede que se faça as esferas de Júpiter e Saturno com durepoxi (exceto o custo), mas é possível fazer as bolinhas com papel amassado (colocando fita ao redor para fixar o papel) de diâmetro pouco menor que o recomendado e colocar, então uma camada final de durepoxi ao redor das bolinhas de papel, até atingirem o diâmetro desejado. A vantagem das bolinhas com argila ou durepoxi é que elas podem ser pintadas, mas se você não estiver interessado neste detalhe, uma outra opção de, custo zero, é fazer as bolinhas só com papel bem amassado, envoltas em fita adesiva. Certamente quem se dispuser a procurar materiais alternativos para esta atividade, vai encontrar vários. Os autores agradeceriam se fossem informados.

Se for usado um material que não encolhe (ou encolhe muito pouco) quando seco, basta fazer as bolinhas e colocá-las sobre os círculos, da Figura 1, para verificar se estão do tamanho correto.

Os planetas podem ser pintados depois de prontos e secos. Se for colocado um clipe dentro da bolinha enquanto ela estiver mole, teremos um gancho para pendurarmos os planetas na forma de móbile.

Para representarmos o Sol, usamos uma bexiga (amarela, de preferência) de aniversário, tamanho grande (aquela que geralmente é colocada no centro do salão de festas, com pequenos brindes dentro dela e é estourada ao fim da festa), a qual é encontrada em casas de artigos para festas (ou atacadistas de materiais plásticos). Existem diversos tamanhos de bexigas grandes, de diversos fabricantes e, portanto, de diversos preços.

Enchemos a bexiga no tamanho certo, usando um pedaço de barbante de comprimento (C) igual a $2,51 m$, com as pontas amarradas, pois $C = 3,14 D$, sendo $D = 80 \text{ cm}$ (o diâmetro que a bexiga deve ter). À medida que a bexiga vai sendo enchida (na saída do ar do aspirador de pó), colocamos o barbante no seu equador até que o barbante circunde perfeitamente a bexiga. É fundamental que o barbante seja posicionado no equador (meio) da bexiga durante o enchimento, pois se ele ficar acima ou abaixo do equador da bexiga, ela poderá estourar, para a alegria da criança.

Conclusão

Esta atividade permite ver a gigantesca diferença de volume existente entre o Sol e os planetas. Só mesmo enchendo a bexiga e fazendo as bolinhas que representam os planetas, tomaremos consciência da enorme diferença que existe entre os volumes do Sol e dos planetas.

Os alunos participam animadamente desta atividade. Esta é uma atividade que, uma vez feita, dificilmente se esquece, pois ela é muito marcante.

Fica ainda como sugestão que na impossibilidade de se fazer esta atividade tal como descrita acima, ela seja feita só com discos. Emenda-se duas cartolinas amarelas e recorta-se um disco com 80 cm de diâmetro. Recorta-se e pinta-se também discos de papel com os diâmetros dos planetas e pronto: temos o SISTEMA SOLAR nas mãos para comparações, o que é melhor que tabelas com números e figuras desproporcionais.

Referência

TABELA COM OS DIÂMETROS EQUATORIAIS DO SOL E DOS PLANETAS

Astro	Raio equatorial (km)	$\frac{R_{astro}}{R_{Terra}}$	Raio na escala (mm)	Diâmetro ⁴ na escala (mm)	Diâmetro equatorial (km)
Sol	695.000	109,0	400,0	800	1.390.000
Mercúrio	2.439,7	0,4	1,4	2,8	4.879,4
Vênus	6.051,8	0,9	3,5	7,0	12.103,6
Terra	6.378,14	1,0	3,7	7,3	12.756,28
Marte	3.397,2	0,5	2,0	3,9	6.794,4
Júpiter	71.492	11,2	41,1	82,3	142.984
Saturno	60.268	9,4	34,7	69,4	120.536
Urano	25.559	4,0	14,7	29,4	51.118
Netuno	24.746	3,9	14,2	28,9	49.492
Plutão	1.160	0,2	0,7	1,3	2.320

⁴ Diâmetro = 2 x Raio $R_{escala} = \frac{R_{astro}}{R_{Sol}} 400$

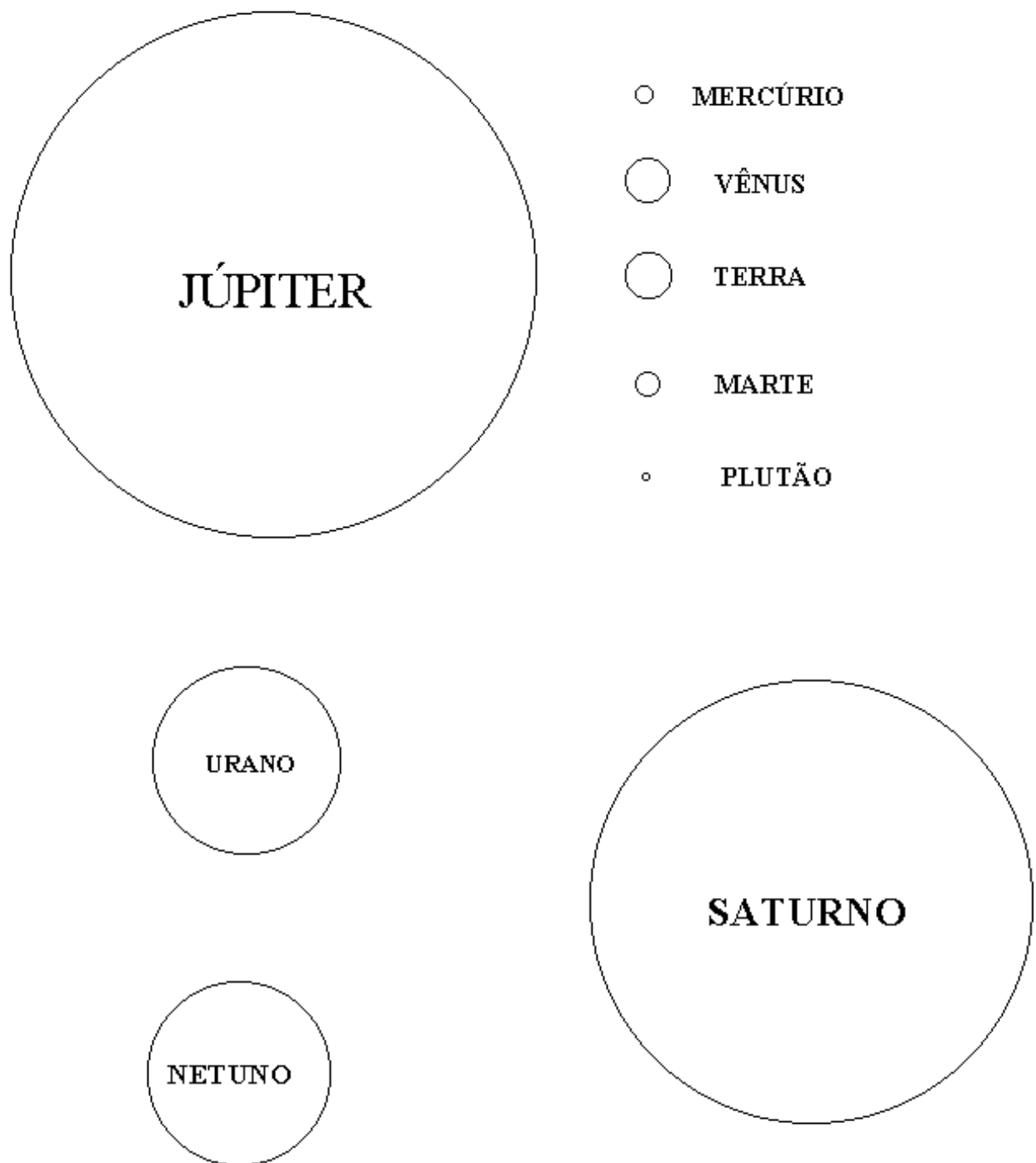


Fig 8. Discos dos planetas na escala adotada

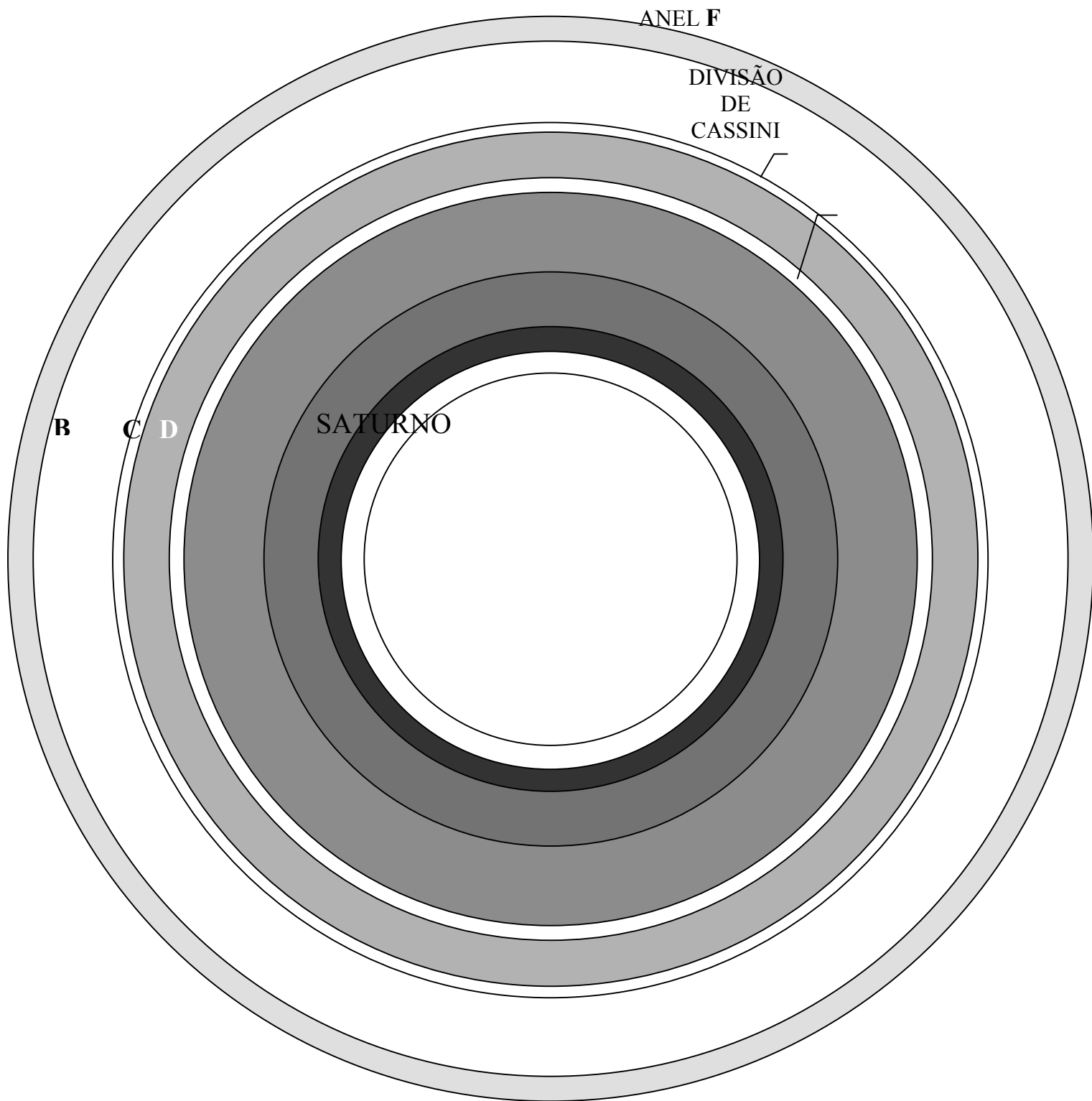


Fig. 8a. Saturno e seus anéis na mesma escala usada para desenhar os planetas.

ANÉIS DE SATURNO

Nome da região	Distância ⁵ (km)	Largura (km)	Espessura (km)	Massa (kg)
D	67.000	7.500	?	?
C	74500	17.500	?	$1,1 \times 10^{18}$
B	92.000	25.700	0,1 - 1	$2,8 \times 10^{19}$
Divisão de Cassini	117.500	4.700	?	$5,7 \times 10^{17}$
A	122.200	14600	0,1 - 1	$6,2 \times 10^{18}$
F	140.210	30 - 500	?	?
G	165.800	8.000	100 - 1000	$6-23 \times 10^6$

⁵ A distância mencionada é medida do centro do planeta à borda interna do anel.

COMPARAÇÃO ENTRE A ÓRBITA LUNAR E O DIÂMETRO SOLAR

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Resumo

Nesta atividade comparamos o tamanho do diâmetro do Sol com o diâmetro da órbita lunar. Será que o Sol passaria entre a Terra e Lua, se ele pudesse fazer isso?

Introdução

Sabemos que o Sol tem um diâmetro de 1.392.000 km e que a distância média Terra-Lua é de 384.000 km, logo, a pergunta acima formulada fica imediatamente respondida, mas se essa mesma pergunta for feita para alunos das primeiras séries escolares, que nem sequer sabem ler esses números astronômicos, a resposta não será tão óbvia. Contudo, não se precisa recorrer a esses números para igualmente mostrar que o diâmetro solar é muito maior que o diâmetro da órbita lunar. Vamos supor que a Terra seja colocada no centro do Sol. Assim sendo, onde estaria a Lua?

Atividade

Para ilustrar a situação proposta sugerimos reduzir o disco solar para um disco de 80 cm de diâmetro, conseqüentemente o diâmetro da órbita lunar fica reduzido proporcionalmente para 44,1 cm.⁶ Recorta-se um disco de cartolina com 80 cm de diâmetro e inscreve (com centro coincidente) um círculo pontilhado de 44,1 cm de diâmetro, que representaria o trajetória da Lua ao redor da Terra se esta estivesse no centro do Sol. Teremos, então, nas mãos uma comparação entre o diâmetro solar e o diâmetro da órbita lunar.

Conclusão

Com esta atividade o aluno pode ter uma melhor idéia do que seja o tamanho do Sol comparado ao sistema Terra-Lua.

⁶ Pode-se usar o disco de 80 cm que foi confeccionado no experimento anterior.

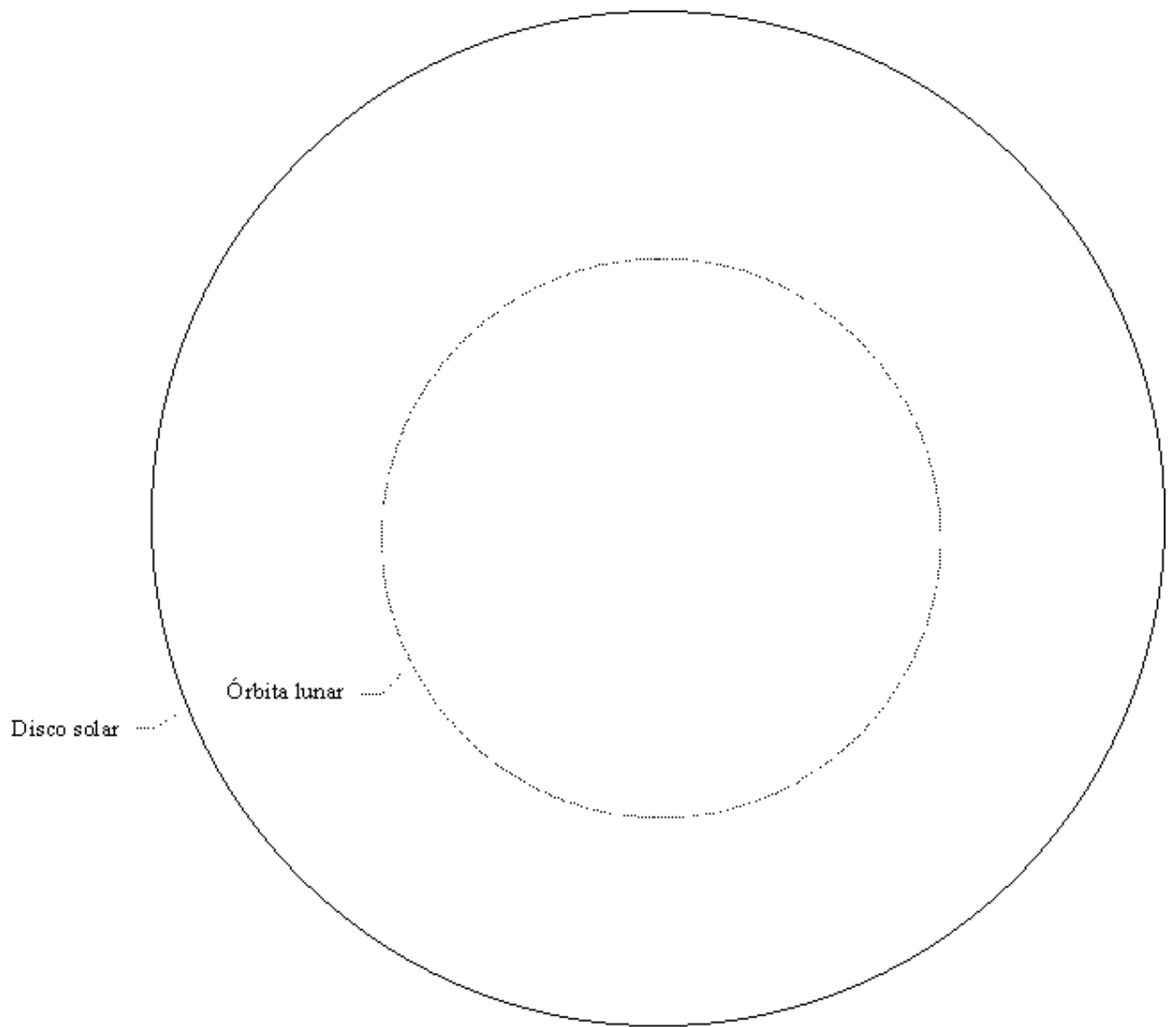


Fig 9- Esquema de como fica a atividade proposta com a inserção da órbita lunar dentro do disco solar.

O SISTEMA SOLAR EM ESCALA

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física – UERJ

Resumo

Mostrar as dimensões do Sistema Solar, representando os Planetas e o Sol por esferas em escala reduzida e na mesma escala as distâncias médias dos Planetas em relação ao Sol.

Introdução

O Sistema Solar aparece em vários livros didáticos, através de figuras esquemáticas, onde é mostrado fora de uma escala definida, dificultando assim, sua compreensão.

Esta forma de apresentação do Sistema Solar pode causar uma série de confusões com relação ao tamanho dos Planetas. O mesmo ocorre com relação às distâncias ao Sol.

Este trabalho tem por finalidade mostrar as dimensões do Sistema Solar de forma simples, com os diâmetros e as distâncias dos Planetas, numa mesma escala.

Procedimento

Adotamos uma escala onde o Sol será representado por uma esfera de 80,0 cm de diâmetro que corresponderá a um comprimento da ordem de 1.392.000 km (que é o diâmetro do Sol) e por simples “regra de três” os diâmetros dos planetas, da Lua e as distâncias médias dos planetas ao Sol poderão ser calculadas.

A tabela 1, mostra a massa e o diâmetro médio dos Planetas e suas distâncias médias ao Sol; o diâmetro do Sol (80,0 cm) e dos Planetas (em milímetros) na escala mencionada, bem como suas distâncias médias (em metros), na mesma escala. Para a Lua a distância dada é em relação à Terra.

TABELA 1

Astro	Massa (kg)	Diâmetro		Distância	
		(km)	(mm)	(km)	(m)
Sol	$1,99 \times 10^{30}$	1.392.000	800,0	-.-	-.-
Mercúrio	$0,33 \times 10^{24}$	4.860	2,8	57.900.000	33,3
Vênus	$4,87 \times 10^{24}$	12.100	7,0	108.000.000	62,1
Terra	$5,97 \times 10^{24}$	12.760	7,3	149.600.000	86,0
Marte	$0,64 \times 10^{24}$	6.800	3,9	228.000.000	131,0
Júpiter	1899×10^{24}	143.000	82,2	778.000.000	447,1
Saturno	568×10^{24}	120.000	69,0	1.430.000.000	821,8
Urano	$87,2 \times 10^{24}$	50.800	29,2	2.870.000.000	1.649,4
Netuno	102×10^{24}	49.400	28,4	4.500.000.000	2.586,2
Plutão	$0,02 \times 10^{24}$	2.740	1,6	5.900.000.000	3.390,8
Lua	$73,5 \times 10^{21}$	3.840	2,0		

Para representarmos o Sol usaremos uma bexiga de aniversário cheia de ar com diâmetro de 80,0 cm, para enchê-la é só colocar na saída de ar de um aspirador de pó. Para determinarmos o diâmetro da bexiga usaremos um barbante com comprimento de 2,51 m com suas pontas amarradas, o qual colocaremos ao redor da bexiga, conforme ela for enchendo através da saída de ar do aspirador de pó.

Para colocarmos os planetas nas respectivas distâncias ao Sol, usaremos 90,0 m de linha grossa (quase um carretel) ou barbante, e bolinhas de durepoxi que representarão Mercúrio, Vênus, Terra e Lua. Enquanto o durepoxi das bolinhas estiver mole, fixamos um pedaço de linha nas bolinhas, as quais serão, então, amarradas nas seguintes distâncias Mercúrio 33,3 m, Vênus 62,1 m e a Terra a 86,0 m, sobre o barbante ou a linha usada.

A Lua será representada por uma bolinha de durepoxi com diâmetro de 2,0 mm que estará presa a 20,0 cm da Terra, conforme é apresentado na Tabela 1.

Demonstração

Um aluno vai segurar a bexiga (o Sol) e uma ponta da linha, outro em Mercúrio, outro em Vênus e outro na Terra esticando a linha. Os demais alunos poderão, então ter uma idéia das distâncias dos Planetas ao Sol, assim como dos seus tamanhos em relação ao Sol.

Veja no na Fig. 10, o nosso Sistema Solar representado sem escala, (Sol até a Terra).

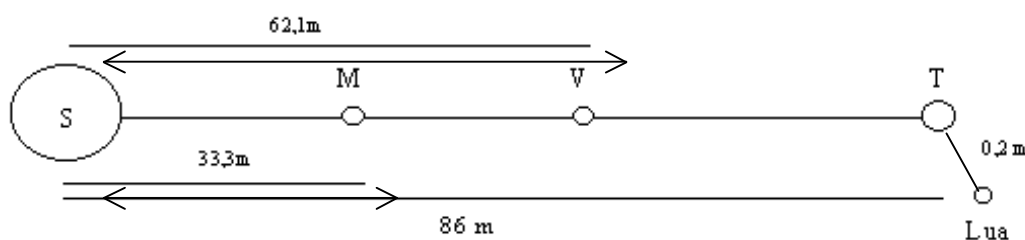


Fig. 10- Esquema de como fica o experimento sugerido

Comentários

Com esta demonstração prática dos tamanhos e distâncias dos três primeiros planetas (Mercúrio, Vênus e Terra com sua Lua), é possível ver a imensidão do Sistema Solar. Não representamos os demais planetas porque precisaríamos de muito mais linha e espaço.

Nesta escala, Marte estaria a uma distância de 131,0 m e para Plutão o mais afastado estaria, a uma distância de 3.390,8 m ou seja a 3,39 km! Esta distância é cerca de 40 vezes a distância entre a Terra e o Sol.

COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DA TERRA E DA LUA

Resumo

Aparentemente a Lua e o Sol têm o mesmo tamanho, pelo menos é o que parece quando olhamos os dois lá no céu. O tamanho angular dos dois é quase o mesmo, mas isso porque a Lua está muito mais próxima da Terra do que o Sol. Já se teve a oportunidade de comparar a Terra e os demais planetas com o Sol noutra atividade. Nesta os tamanhos da Terra e da Lua serão comparados.

Introdução

Vamos fazer a comparação entre os tamanhos da Terra e da Lua comparando seus discos. Sabendo que o diâmetro da Terra⁷ é 12.756 km e que o da Lua é de 3.476 km, vamos reduzir ambos pela mesma proporção de tal forma que a Terra fique com, por exemplo, 15 cm de diâmetro, conseqüentemente a Lua ficará com um disco de apenas 4,1 cm.

Atividade

Recorta-se um disco de cartolina, azul por exemplo, para representar a Terra, com 15 cm de diâmetro e recortemos um disco de cartolina amarela com 4,1 cm para representar a Lua. Passa-se a ter nas mãos uma forma de comparar os discos da Terra e da Lua, que é mais eficiente para fazer o aluno perceber a grande diferença que existe entre os tamanhos da Terra e da Lua do que comparando os números de seus diâmetros ou volumes. Se for usada uma cartolina branca para ambos os discos, pode-se por exemplo, pintá-los com as cores típicas da Terra e da Lua, ou seja, azul e dourada. Porém, se quiser-se fazer uma comparação ainda mais concreta, transforme os discos em esferas, usando para isso massa de modelar, argila, durepox, bolas de isopor, massa de pão, ou simplesmente amassando papéis.

Os dois discos abaixo são proporcionais aos discos da Terra e da Lua.

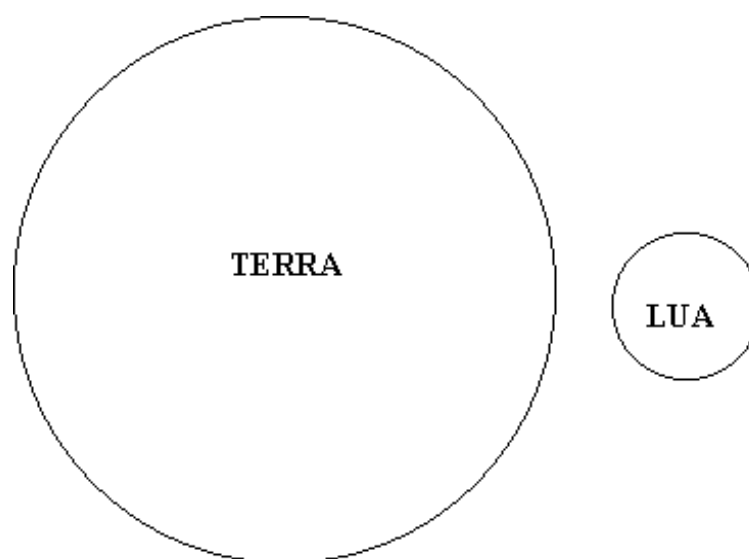


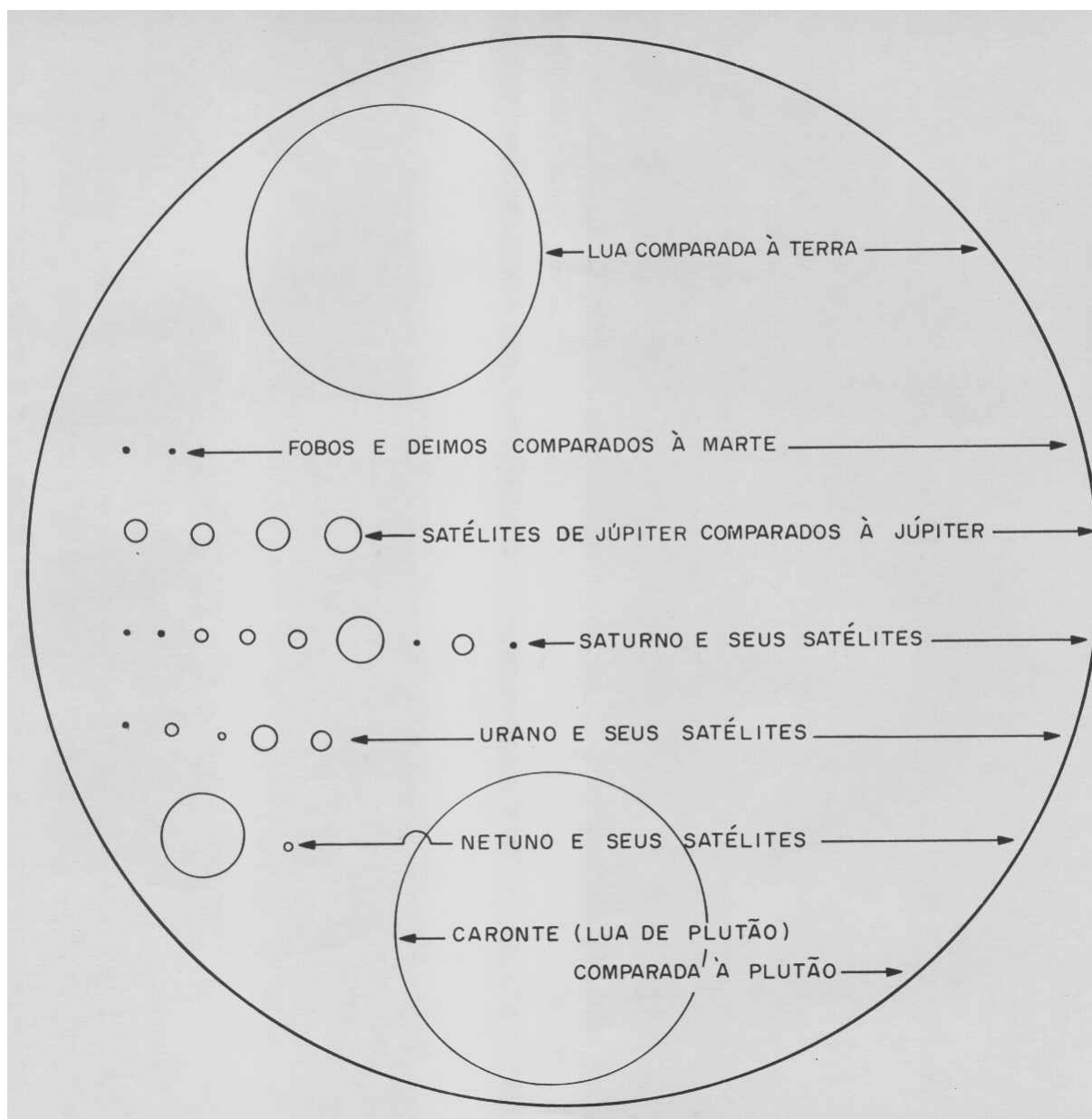
Fig 11- Comparação entre os discos da Terra e da Lua

⁷ Estaremos sempre nos referindo ao diâmetro equatorial, exceto quando mencionado explicitamente o contrário.

COMPARAÇÕES ENTRE SATÉLITES NATURAIS E SEUS RESPECTIVOS PLANETAS

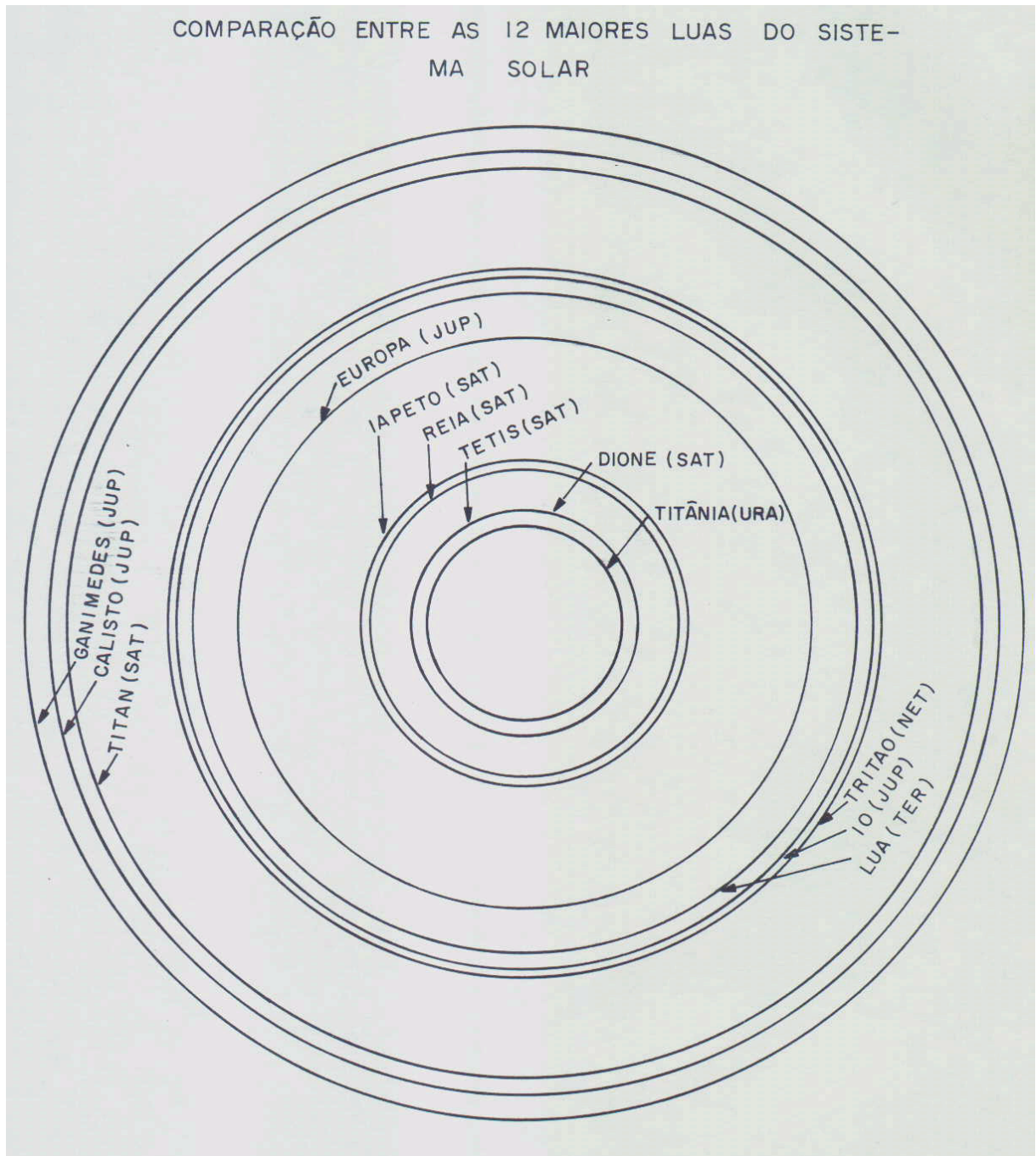
Nesta atividade compara-se as maiores luas (satélites naturais) de cada planeta com os respectivos planetas.

Fixamos o diâmetro do planeta em 20 cm e por uma simples proporção (“regra de três”), determinamos os diâmetros dos correspondentes círculos que representam as maiores luas de cada um dos planetas, como mostra a figura abaixo.



COMPARAÇÕES ENTRE OS DIÂMETROS DAS MAIORES LUAS

Na Figura abaixo comparamos os tamanhos das 12 maiores luas (satélites naturais) do sistema solar. Fixamos o diâmetro da maior lua do sistema solar, Ganimedes, (Júpiter) em 20 cm e assim, por uma simples proporção obtemos os diâmetros das outras 11 maiores luas do sistema solar e as desenhamos com um mesmo centro, de modo a facilitar sua visualização.



GNÔMON E OS PONTOS CARDEAIS

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física – UERJ

Introdução

Define-se o lado leste como sendo aquele em que o Sol nasce e de lado Oeste aquele no qual o Sol se põe. A direção norte é aquela que ficaria à sua frente se você estendesse seu braço direito para o Leste e o esquerdo para o Oeste. A direção Sul é oposta à Norte e portanto, estaria à suas costas. A estas quatro direções chamamos de *Pontos Cardeais*. Mas se você não quiser esperar o dia todo para saber onde o Sol nasce e se põe, apresentamos abaixo um método alternativo e um pouco mais preciso que o anterior para determinar os *Pontos Cardeais*.

Os Pontos Cardeais

Pegue um *Gnômon*, isto é, finque uma vareta na vertical sobre um plano horizontal (é melhor colocar uma folha de cartolina debaixo dessa vareta e riscar no chão a posição da cartolina, pelos motivos que mostraremos a seguir). Numa hora qualquer antes do meio dia, risque sobre a cartolina a sombra da vareta e meça seu comprimento. Depois do meio dia espere a sombra ficar do mesmo comprimento da sombra da manhã e quando isto acontecer risque-a no chão também. Estas duas sombras definirão um certo ângulo; ache a bissetriz desse ângulo (reta que divide ao meio o ângulo). Veja a Fig. 12 abaixo.

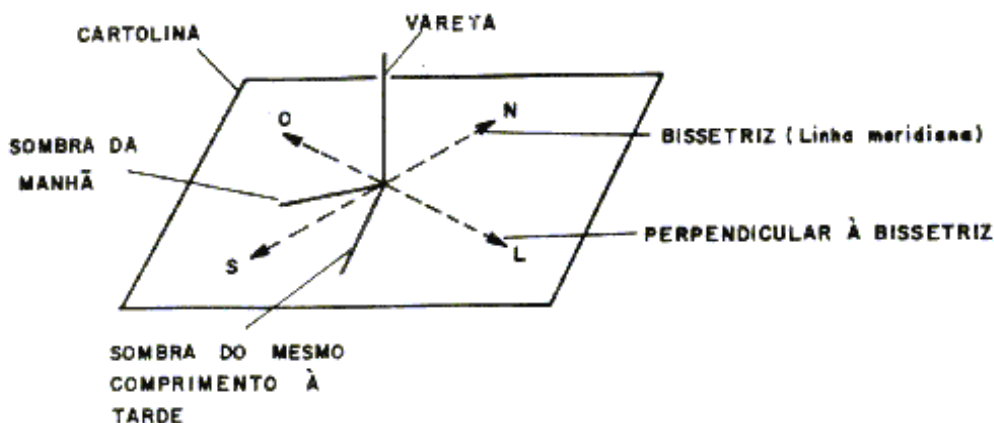


Figura 12- Determinação dos pontos cardeais

À direção da bissetriz chamamos de linha meridiana e ela define as direções Norte e Sul, e a reta perpendicular a ela define as direções Leste e Oeste. Se você se colocar no mesmo local da vareta e abrir seus braços, com o direito apontando para o Leste, o esquerdo apontará para o Oeste, à sua frente estará o Norte e às suas costas o Sul.

O Chapéu

Uma atividade que pode ser feita para esta ocasião é a seguinte: peça para que cada aluno faça um chapéu, tipo Napoleão, para ser usado durante as atividades extra classe

(demarcações das sombras). Depois de determinados os pontos cardeais peça para que escrevam a letra L na mão direita e a letra O na mão esquerda (lembrando que a mão direita aponta para a direção Leste e a mão esquerda aponta para a direção Oeste). Para gravarem melhor que o Norte esta à frente deles, ao invés de escrever um N em suas testas, escreve-se sobre o chapéu, e para que não se corra o risco de colocarem o chapéu de trás para frente, pede-se para desenharem dois olhos no lado do chapéu no qual se colocou a letra N. Nas costas do chapéu escreve-se a letra S.

O MOVIMENTO APARENTE DO SOL

João Batista Garcia Canalle
João Vianey Augusto
Instituto de Física - UERJ

Introdução

Já aprendemos que o Sol é o centro do sistema do solar e que os planetas giram ao seu redor, numa órbita elíptica. Mas aparentemente não é o que observamos.

Observando da Terra vemos o Sol executar um movimento diário ao redor da Terra, mas na realidade, esse movimento é explicado pela rotação da Terra em torno do seu eixo geográfico, também chamado de eixo norte-sul. Além disso, observamos que o Sol passa pelo meridiano local, mais próximo do zênite no verão (ou mais alto) e mais afastado deste (mais ao Norte, ou mais baixo) no inverno.

Pelo fato da declinação do Sol variar ao longo do ano, seu movimento diurno aparente tem trajetórias diferentes ao longo do ano. Na figura abaixo estão representados os movimentos diurnos nos solstícios de verão e inverno, bem como nos equinócios de outono e primavera. Se admitirmos como sendo um gnômon a parte mais espessa da vertical representada, é fácil ver que o tamanho de sua sombra variará nas passagens meridianas ao longo do ano (Boczko,1984)⁸.

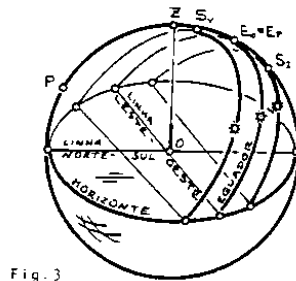


Figura 13- Representação esquemática do movimento aparente do Sol no solstício de verão, solstício de inverno e equinócio de outono e de primavera.

O experimento para visualizar o movimento do Sol

Vamos representar o horizonte do observador por um quadrado de madeira com lado de aproximadamente 25 cm. Tracemos sobre este disco as direções dos 4 pontos cardeais (Leste, Oeste, Norte, Sul).

Corte 3 pedaços de arame com comprimentos de 50 cm, 46 cm e 42 cm. Curvemos o arame de 46 cm de comprimento para formar um semicírculo. Este arame representará a trajetória aparente do Sol nos equinócios do outono e da primavera. Para representar o Sol, fixamos uma esfera de isopor de cerca de 2,5 cm de diâmetro, sobre o centro, por exemplo, do arame. Fixemos as pontas deste arame no pontos Leste e Oeste. Mas como não estamos sobre o equador terrestre e sim a cerca de 23º graus ao Sul do equador, inclinemos o plano do arame deste mesmo ângulo (em relação ao zênite) na direção Norte.

Faça o mesmo com o arame de 42 cm mas fixe-o mais ao Norte do arame de 46cm como mostra a figura anterior, e idem com o arame de 50 cm mas fixe-o mais ao Sul do arame

⁸ R. Boczko, Conceitos de Astronomia, Editora Edgard Blücher Ltda, 1984, p.122.

de 46 cm, de forma que seus planos fiquem paralelos entre si. Observe que o Sol nunca vai passar sobre o Zênite.

Manuseando o experimento

Pode-se explorar o experimento para localidades de outras latitudes, como por exemplo: segurando o arame de 46 cm (retire os outros) pelas suas extremidade (fazendo com que elas coincidam com os pontos leste e oeste), de tal forma que ele fique perpendicular ao plano do horizonte, teremos o movimento aparente do Sol visto por um observador situado na região equatorial (região próxima ao equador da Terra), durante os equinócios.

Para outras regiões (outras latitudes) do hemisfério sul, por exemplo, basta inclinarmos o arame e, portanto, o plano que o contém de um ângulo igual ao da latitude do local. Para quem está no hemisfério sul esta inclinação deve ser contada da vertical do quadrado em direção ao Norte.

Por exemplo, a latitude da cidade de Pato Branco (PR) é de $-26,2^\circ$, logo, o plano da trajetória aparente do Sol deve ser inclinado $26,2^\circ$ a partir da vertical do quadrado na direção do Norte.

Devemos levar em consideração ainda, que o plano da trajetória do Sol se desloca mais para o Norte durante nosso inverno e mais para o Sul, durante nosso verão, então, além de inclinarmos o arame, conforme a latitude do lugar, devemos, também deslocar o arame mais para o Norte (no nosso inverno) e mais para o Sul (no nosso verão).

Conclusão

Com a união dos dois movimentos (inclinação e deslocamento) do plano da trajetória aparente (arame) do Sol, podemos explicar: a) o movimento aparente do Sol, b) a diferença da duração do dia e da noite ao longo do ano, c) as estações do ano e d) o porquê das regiões polares terem somente um dia e uma noite de 6 meses cada.

ESTAÇÕES DO ANO

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Introdução

Este fenômeno que atinge a todos é de fácil explicação para quem já o entendeu e de difícil compreensão para quem está tentando entendê-lo, principalmente quando se está usando os livros e suas figuras para entendê-lo. Como já tivemos oportunidade de constatar junto a professores da Rede Pública de Ensino, da pré-escola ao segundo grau, as dificuldades dos professores em entenderem este fenômeno a partir de textos e figuras, desenvolvemos o experimento abaixo descrito, que é de fácil construção e de baixo custo, para facilitar a compreensão deste fenômeno.

A Montagem do Experimento

Providencie cerca de 3 m de fio branco paralelo, conecte um plug numa das extremidades e um soquete na outra. Fixe este soquete num pedaço de madeira (use soquete que já tenha um furo em seu interior próprio para passar um parafuso e assim fixar na madeira). Isole com fita isolante os terminais do fio no soquete. Coloque uma lâmpada de 60 W neste soquete e sobre a lâmpada fixe, com fita adesiva (durex), um disco de papel alumínio com cerca de 5 cm de diâmetro, para que ela não ofusque sua vista e a dos alunos que estarão ao seu redor.

Se você dispuser de um globo terrestre, use-o, caso contrário, providencie uma bola de isopor de 15 a 30 cm de diâmetro. Essas bolas são separáveis em dois hemisférios que se encaixam. Separe os dois hemisférios e fure-os em seus centros (de dentro para fora) com uma vareta de pipa ou similar. Feche a bola e atravesse-a com a vareta. A vareta representará o eixo de rotação da Terra. Providencie algum suporte para a lâmpada (livros, cadernos, caixa de sapatos, etc) tal que seu filamento fique aproximadamente na mesma altura do centro da bola de isopor. Ligue o plug numa tomada e terá o “Sol” aceso e iluminando a Terra (bola de isopor). Claro que para isso você precisa de um ambiente escurecido. Também é bom que se chame a atenção para o fato de que a bola de isopor e a lâmpada que representam a Terra e o Sol estão fora de escala.

A Explicação do Fenômeno

Geralmente se realiza esta demonstração sobre uma mesa. Note, então, que se a vareta (eixo da Terra) estiver perpendicular à mesa, os dois hemisférios da Terra são igualmente iluminados e se assim fosse, não haveria estações do ano, pois a luz solar atingiria os mesmos pontos da Terra sempre com a mesma intensidade. Incline, então, o eixo da Terra (vareta de pipa que você está segurando) cerca de 23,5 graus (ou seja, aproximadamente $\frac{1}{4}$ de 90 graus). Veja a Fig. 14 abaixo.

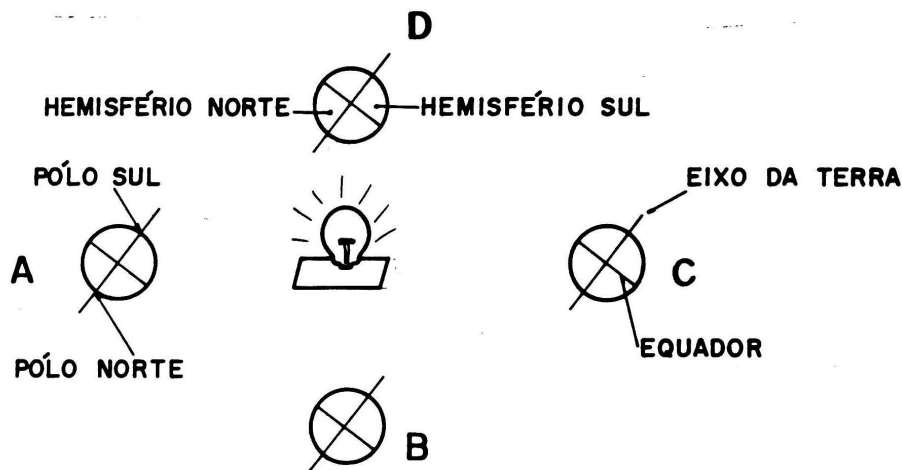


Figura 14- Esquema das posições A, B, C e D do globo.

Agora sim é visível que um hemisfério está mais iluminado do que o outro. Naquele mais iluminado é verão e no outro é inverno.

Vamos supor que você começou inclinando sua Terra (bola de isopor) como mostramos no ponto A, então é verão no hemisfério Sul e inverno no Norte, se você deslocar a bola para a posição C (posição da Terra 6 meses depois de A) você verá que o hemisfério Sul está menos iluminado do que o Norte, logo, será inverno no hemisfério Sul e verão no Norte. Nas posições B e D ambos hemisférios são igualmente iluminados, como você pode ver se fizer a experiência (ou conseguir imaginá-la). Em B, no hemisfério Sul, será outono e no Norte será primavera. Em D, no hemisfério Sul será primavera e no Norte será outono. Se você estiver usando um globo terrestre o eixo já vem inclinado de 23,5 graus, pois esta é a inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da sua órbita (trajetória) ao redor do Sol. O globo tem o pólo sul na sua parte inferior, mas isso é só costume do fabricante em colocá-lo assim, nada impede que você inverta seu globo. Se você quiser aumentar mais o contraste entre a parte mais iluminada e a menos iluminada, incline um pouco mais o eixo da Terra, digamos uns 45 graus, mas avise seus alunos que você está exagerando.

Outro ponto fundamental desta demonstração é que o eixo da Terra está sempre paralelo a ele mesmo, ou seja, se você começou a demonstração com o eixo da Terra apontando em direção a uma parede da sua sala, por exemplo, então ele deverá continuar apontando da mesma forma para a mesma parede quando a bola passar pelos pontos A, B, C e D.

Como você está vendo a explicação não tem nada a ver com a distância da Terra ao Sol.

ECLIPSES E FASES DA LUA

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física – UERJ

Resumo

Fenômenos comuns ao cotidiano dos alunos, os eclipses e as fases da Lua, são geralmente, explicados nos livros didáticos usando figuras, as quais, normalmente não atingem seus objetivos. Procurando simplificar e aperfeiçoar o ensino destes fenômenos, desenvolvemos um experimento didático, simples de ser construído, que usa materiais de baixo custo, disponíveis no comércio, para mostrar as fases da Lua e sua relação com as marés. O experimento também permite entender porque o eclipse da Lua só ocorre na fase de Lua Cheia e o do Sol na fase de Lua Nova, além de permitir ver a diferença entre sombra e penumbra.

Introdução

A idealização deste experimento tenta preencher uma lacuna existente nos livros didáticos, pois os mesmos quando abordam os tópicos em questão, o fazem utilizando figuras, e por mais que o (a) professor(a) se esforce para explicá-los, os mesmos podem não ficar claros ou não serem entendidos por alguns alunos.

Este experimento, sendo tridimensional, torna mais simples a explicação por parte do (a) professor (a) e de fácil compreensão e visualização por parte dos alunos.

A Montagem do Experimento

Usaremos a mesma bola de isopor com um eixo, especificada no experimento referente às estações do ano e a lâmpada conectada no soquete preso numa base de madeira. Retire o disco de ‘papel alumínio que estava sobre a lâmpada. Para representarmos os raios de luz provenientes do Sol, que chegam praticamente paralelos entre si, façamos um tubo cilíndrico de papel alumínio, com um diâmetro igual ao da lâmpada e com comprimento de 30 cm. Coloque o tubo de papel alumínio ao redor da lâmpada e quando acessa teremos um fecho de luz que pode ser direcionado, tal qual o de uma lanterna, aliás, esta também pode ser usada, ou então, o fecho de um retroprojetor ou projetor de slides.

Como o Experimento Funciona

a) As fases da Lua

O manuseio deste experimento pode ser feito com duas ou três pessoas. Uma deve segurar o fecho de luz (que representa a luz proveniente do Sol) sempre apontando para a Lua, mas de forma que o fecho de luz seja sempre emitido na mesma direção ou seja, a pessoa que segura a fonte do fecho de luz deve andar para a esquerda ou para a direita para que o fecho seja emitido sempre na mesma direção. Uma pessoa representa a Terra e fica girando sobre si mesma lentamente. Outra pessoa segura a Lua e faz esta girar sobre si e ao redor da Terra de modo que esta sempre veja a mesma face da Lua. O fecho de luz deve ser direcionado sobre a Lua. Como o plano da órbita da Lua não coincide com o plano da órbita da Terra, o plano da órbita da Lua deve ser inclinado em relação ao da Terra, uma vez que este está sendo suposto paralelo ao chão.

Lua Nova

Sugerimos começar o movimento com a Lua entre a Terra e Sol mas não na mesma linha, pois se assim estivessem haveria um eclipse solar. Coloque, então, a Lua abaixo da linha imaginária que liga a Terra ao Sol. Neste instante em particular, a Lua não é visível da Terra pois o Sol não vai estar iluminando a face da Lua voltada para a Terra. Esta é a fase chamada de Lua Nova, a qual não dura uma semana e sim apenas um dia. No dia seguinte começa a fase da Lua Crescente.

Lua Crescente

Fazendo a Lua girar lentamente ao redor do aluno-Terra, no sentido horário, o aluno-Terra que representa um observador qualquer do hemisfério Sul verá apenas uma fração da Lua iluminada. Quem estiver de fora da brincadeira verá que o Sol continua iluminando completamente uma face da Lua. A fração iluminada visível pelo aluno-Terra terá a forma de um “C” (ou de uma banana) e será visível logo após o pôr do Sol, portando ela terá sua fração iluminada visível da Terra, voltada para o Oeste. Enquanto a Terra gira sobre si, a Lua se desloca somente cerca de 15 graus, de modo que no dia seguinte ela estará “mais alta” no céu após o pôr do Sol. A Lua continuará “crescendo” (aumentando a fração iluminada visível da Terra) sucessivamente, até atingir a Lua Cheia, sendo que nesse “crescimento” ela passará por uma noite em que exatamente $\frac{1}{4}$ (um quarto) da superfície da Lua será visível da Terra. Essa noite chamamos de noite do Quarto Crescente.

Quarto Crescente

Durante o período de aumento da fração iluminada da Lua visível da Terra ela passará por uma noite em que exatamente $\frac{1}{4}$ (um quarto) de sua superfície será visível da Terra. Essa noite chamamos de noite do Quarto Crescente. Ele dura só uma noite e não uma semana como pensam muitas pessoas. Quando o Sol se puser ela estará sobre o meridiano local.

Lua Cheia

Com o passar das noites, observamos um aumento da fração iluminada da Lua visível da Terra. O período de aumento da fração iluminada da Lua visível da Terra terminará na noite em que toda a face iluminada da Lua é visível da Terra. Essa noite chamamos de noite de Lua Cheia. Ele dura só uma noite e não uma semana como pensam muitas pessoas. Nessa noite ela estará nascendo no horizonte leste no momento em que o Sol estiver se pondo no oeste. Nessa noite a Terra é que está entre a Lua e o Sol. Mas a Lua não está na mesma linha que liga a Terra ao Sol. Como na Lua Nova nós supusemos que ela estava abaixo desta linha Terra-Sol, agora ela deve estar acima da linha Terra-Sol.

Lua Minguante

A noite seguinte ao da Lua Cheia observamos que uma pequena porção do disco (que era todo iluminado na noite anterior -Lua Cheia) iluminado já não é mais visível. E noite após noite, observamos que vai diminuindo a fração iluminada da Lua que é visível da Terra. A Lua continuará “minguando” (diminuindo a fração iluminada visível da Terra) sucessivamente, até atingir a Lua Nova novamente. Sendo que nesse período “minguante” ela passará por uma noite em que exatamente $\frac{1}{4}$ (um quarto) da sua superfície será visível da

Terra. Essa noite chamamos de noite do Quarto Minguante. Após a Lua Cheia, o lado iluminado da Lua, visível da Terra, fica voltado para o Leste e ela nasce cada vez mais tarde depois do pôr do Sol.

b) Os eclipses

b.1) Eclipse Solar total, parcial e anular

O Eclipse solar pode ser visto facilmente do experimento acima, bastando para isso saber que a linha definida pela intersecção dos planos das órbitas da Lua e da Terra (linha dos nodos) gira e com isso vai haver ocasiões em que a Lua Nova estará exatamente na linha que liga Terra-Sol e a Lua estará próxima do seu perigeu (ponto de maior proximidade com a Terra), de modo que partes da Terra ficarão sob a ponta do cone de sombra da Lua, ocorrendo nestas regiões o eclipse solar total. Regiões próximas a estas estarão sob a penumbra e observarão o eclipse parcial. Regiões da Terra mais afastadas do cone de sombra não observarão eclipse nenhum.

Em outras ocasiões, a Lua Nova poderá estar passando na mesma linha que liga ao Terra ao Sol, mas a Lua estará próxima do apogeu (ponto de maior afastamento da Lua à Terra). Quando isso ocorre observa-se o eclipse anular.

b.2) Eclipse Lunar total, parcial e penumbral

O Eclipse lunar pode ser visto facilmente do experimento acima, bastando para isso saber que a linha definida pela intersecção dos planos das órbitas da Lua e da Terra (linha dos nodos) gira e com isso vai haver ocasiões em que a Lua Cheia estará exatamente na linha que liga Terra-Sol e assim sendo, ela passará dentro do cone de sombra da Terra, ocorrendo o eclipse lunar total, ou se apenas parte dela passar sob o cone de sombra da Terra, será o eclipse lunar parcial e quando a lua passar pela penumbra da Terra será o eclipse lunar penumbral.

c) O “São Jorge” lunar

Por que vemos sempre o mesmo lado da Lua ? Isto se dá porque a Lua gira uma vez sobre si mesma exatamente no mesmo tempo em que dá uma volta ao redor da Terra. E isso o experimento também permite visualizar.

d) As marés

São uma prova da existência de forças de atração entre os corpos materiais. Chama-se de preamar ou maré cheia ao maior nível atingido pelo oceano e ocorre na Lua Nova, enquanto que o mínimo nível chama-se baixa-mar ou maré vazia e ocorre na Lua Cheia. A maré cheia e a vazia recebem o nome de marés de Szigia (do grego: ficar numa mesma linha). Durante as fases de Lua Quarto Crescente ou Minguante, as marés apresentam os menores desníveis e recebem o nome de marés de Quadratura. Estes desníveis ocorrem porque, enquanto a Lua faz subir as águas do oceano, o Sol as faz descer, ocorrendo então, os desníveis. As marés decorrem do efeito conjugado do Sol e da Lua, se bem que o efeito lunar é cerca de 2,2 vezes maior que o solar. Isto é explicado devido à maior proximidade da Lua, apesar de sua menor massa.

Conclusão

Este experimento proporciona uma explicação mais simples para os eclipses do Sol e da Lua, as fases da Lua, o efeito das marés e o porquê de vermos sempre a mesma face da Lua. Estes fenômenos, embora comuns ao nosso cotidiano, não são facilmente entendidos pelos alunos, por mais que os professores tentam explicá-los, pois os mesmos recorrem às figuras, as quais dão margem para interpretações, por vezes, errôneas por parte dos alunos. Sendo este modelo tridimensional, o mesmo torna a explicação para estes fenômenos mais simples de ser dada e torna, também, mais fácil a visualização e compreensão dos mesmos por parte dos alunos.

Este modelo não tem a pretensão de ser absoluto ou perfeito, modificações e simplificações poderão ser feitas segundo a criatividade e ou necessidade dos professores ou de outras pessoas que porventura venham a utilizá-lo.

EXPLICANDO ASTRONOMIA BÁSICA COM UMA BOLA DE ISOPOR⁹

João Batista Garcia Canalle

Instituto de Física / UERJ

canalle@uerj.br

Resumo

Neste trabalho mostramos como usar uma bola de isopor para explicar os fenômenos astronômicos básicos, pertencentes aos conteúdos dos currículos do 1º grau, tais como 1) dia e noite, 2) duração do dia e da noite, 3) estações do ano, 4) eclipses e 5) fases da Lua. Estes fenômenos normalmente são explicados nos livros didáticos de ciências e ou geografia de 1º grau, porém, sem sugerirem o uso de nenhum material didático. Mostramos, então, que uma simples bola de isopor tem muito mais utilidades didáticas do que as figuras que acompanham as explicações dos livros didáticos.

Introdução sobre as estações do ano

Este fenômeno, geralmente explicado tanto em livros de ciências como de geografia do 1º grau, é fonte de muitas incompreensões e erros (Canalle et al, 1997, Trevisan et al, 1997 e Bizzo et al, 1996). O erro mais grave é explicá-lo como sendo devido às variações da distância da Terra ao Sol (no verão a Terra fica mais próxima ao Sol e no inverno mais longe). Como é muito comum encontrar nos livros didáticos, alguns dos quais estão listados nas referências de Canalle et al, 1977. Esquecem, contudo, aqueles que assim concluem, que esta não deve ser a explicação, porque enquanto é verão num hemisfério é inverno no outro e ambos pertencem ao mesmo planeta, portanto ambos estão à mesma distância do Sol.

Outras explicações são incorretas e induzem a erros, como por exemplo a afirmativa de que “as estações do ano ocorrem devido à órbita elíptica da Terra”. Como a órbita à qual é feita a referência geralmente é exageradamente elíptica, fica a associação automática: verão/inverno = Terra mais/menos próxima do Sol.

Outra explicação incompleta é a seguinte: “as estações ocorrem devido à inclinação do eixo da Terra e de seu movimento de translação” Apesar de não estar errada a frase, é incompreensível para o aluno, além de não especificar que a inclinação do eixo de rotação da Terra é em relação à perpendicular ao plano da órbita.

Contudo, existem livros didáticos que esclarecem corretamente que as estações do ano não são devidas à maior/menor distância da Terra ao Sol mas infelizmente “ilustram” estas explicações com desenhos nos quais a órbita da Terra é exageradamente excêntrica (“achatada”), a qual induz à conclusão de que verão/inverno estão relacionados com a menor/menor distância da Terra ao Sol. E como as figuras se fixam mais do que as palavras escritas, o aluno fica com a “explicação” errada.

Uma típica figura usada pelos livros didáticos para auxiliar a explicação das estações do ano é mostrada na Fig. 15.

Neste tipo de figura fica muito difícil o aluno ver que ocorre diferença de iluminação nos dois hemisférios da Terra durante parte de sua trajetória e também não fica evidente a importância da constância da inclinação do eixo de rotação da Terra para a ocorrência das estações do ano.

⁹ Trabalho apresentado durante o I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC), Águas de Lindóia, SP, 27 a 29 de novembro de 1997

Como característica geral dos livros didáticos inexistem sugestões de demonstrações práticas para este fenômeno, com raras exceções, como por exemplo no livro de Beltrame et al, 1996, mas cujo procedimento não funciona, como explica Canalle et al 1997.

Diante deste quadro caótico de explicações erradas ou induções a erros, porque não usar um simples experimento, tal qual uma bola de isopor e uma lâmpada? É o que sugerimos a seguir.

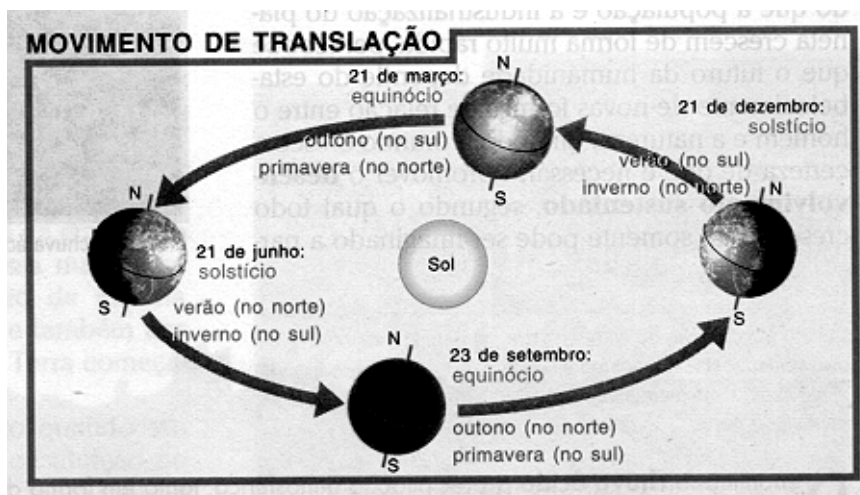


Fig.15 - Típica figura encontrada em livros didáticos para ilustrar a explicação das estações do ano.

A bola de isopor na explicação das estações do ano.

a) A lâmpada

Sugerimos usar uma lâmpada de 60 W (127 V ou 220 V, dependendo de onde ela vai ser usada), conectada a um soquete fixo a uma madeira de por exemplo 10 x 10 x 2 cm, com um fio paralelo (n^o 14) com cerca de 3 m de comprimento. Sobre a lâmpada deve-se colocar um disco de papel alumínio (um “gorro”) com cerca de 5 cm de diâmetro, cuja finalidade será apenas a de evitar que a lâmpada ofusque aqueles que estiverem à sua volta. Veja um esquema na Fig. 2 abaixo.

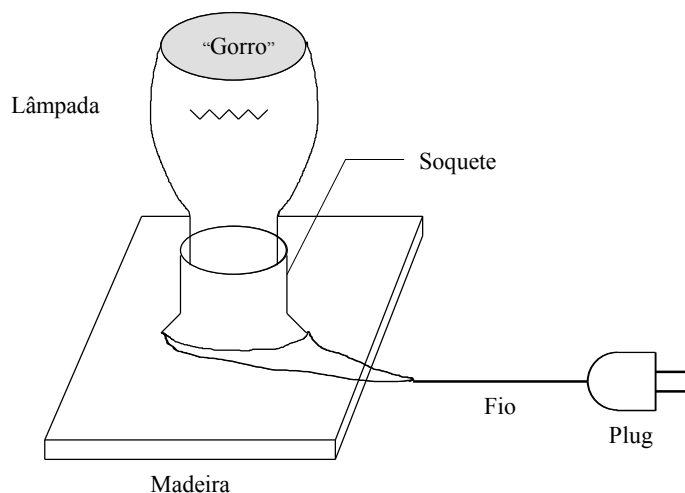


Fig. 16- Esquema da montagem da lâmpada no suporte de madeira.

b) A bola de isopor¹⁰

Sugerimos usar uma bola de isopor com 20 ou 25 cm de diâmetro, atravessada por um eixo que pode ser uma vareta de pipa, ou vareta de churrasco, vareta de bambu, ou algo similar e que sirva a este propósito.

c) O ambiente

Para a realização desta atividade será necessário um ambiente escuro ou pelo menos escurecido, uma mesa sobre a qual apoiar a lâmpada e alguns livros (ou caixa de sapato) para serem colocados sob a lâmpada, de tal forma que o filamento desta fique aproximadamente na mesma altura do centro da bola de isopor (que, por sua vez, estará na mão da pessoa que apresentará a atividade).

d) A demonstração

Sugerimos começar a explicação definindo o plano da órbita da Terra, o qual, nas condições em que normalmente se realiza essa demonstração, é o plano paralelo à superfície da mesa sobre a qual está a lâmpada e passando pelo centro do Sol, isto é, da lâmpada que o representa. Em seguida deve-se mostrar qual é a posição do eixo da Terra quando ele estiver perpendicular ao plano da órbita da Terra. Pode-se começar exemplificando o movimento de translação fazendo a Terra (bola de isopor) girar ao redor do Sol, num movimento circular ao redor do Sol, o que é muito próximo da realidade. Esta é uma situação hipotética pois o referido eixo nunca fica perpendicular ao plano da órbita. Enfatizar neste caso que ambos os hemisfério da Terra são igualmente iluminados durante todo o movimento de translação e, portanto, não haveria nenhuma razão para haver diferentes temperaturas (verão e inverno simultaneamente) nos dois hemisférios.

Perguntando-se aos alunos o que se deveria fazer para termos mais iluminação num hemisfério do que em outro, geralmente surge dentre eles a sugestão: inclinar o eixo da Terra. De fato esta condição é necessária apesar de não ser suficiente para termos simultaneamente diferente iluminação¹¹ nos dois hemisférios e ocorrer a inversão destas diferenças em intervalos de seis meses. É preciso também que a direção do eixo (para onde “aponta”), uma vez inclinado, seja constante. Portanto as razões para termos as estações do ano são duas: 1^o) constância da inclinação do eixo de rotação da Terra e 2^o) movimento de translação da Terra ao redor do Sol.

O eixo de rotação da Terra é inclinado 23° em relação à perpendicular ao plano da órbita (Fig. 3) e, portanto, de seu complemento (67°) em relação ao plano da órbita. De modo que não se pode dizer (como fazem alguns livros didáticos), que o referido eixo está inclinado de 23° em relação ao plano da órbita, pois neste caso, ele estaria quase “deitado” sobre o plano da órbita, o que não é verdade.

Entendida a questão do ângulo de inclinação, geralmente surge outra: mas é inclinado para a direita, para a esquerda, para onde? A pergunta procede, afinal, ele, o eixo, pode estar inclinado de 23 graus em relação à perpendicular e apontar para qualquer direção em 360° , como mostra a Fig. 4. Alguns livros didáticos respondem pronta e erradamente: inclinado para a direita. Em astronomia não há sentido em apontar direções como esquerda e direita. Em nossa demonstração é absolutamente irrelevante a direção escolhida, mas há uma condição fundamental: uma vez escolhida a direção, que ela não seja alterada durante a translação da

¹⁰ Na verdade isopor é o nome de um dos fabricantes. O nome correto é poliestireno expandido.

¹¹ Estamos usando aqui iluminação como sinônimo de temperatura; apesar de não serem a mesma coisa, estão relacionadas.

Terra (bola de isopor) em torno do Sol (lâmpada), pois é assim que ocorre na realidade. Este eixo é fixo¹². Então sugerimos: incline o eixo na direção de uma das paredes da sala e permaneça com ele assim inclinado durante todo o movimento de translação que fizer com a bola de isopor.

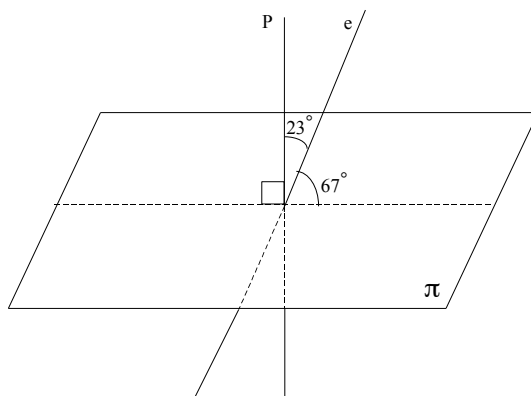


Fig.17- Esquema da representação da inclinação do eixo da Terra. A reta P representa a perpendicular ao plano da órbita da Terra (plano π) e "e" o eixo da Terra, inclinado de 23° em relação à perpendicular e 67° em relação ao plano π .

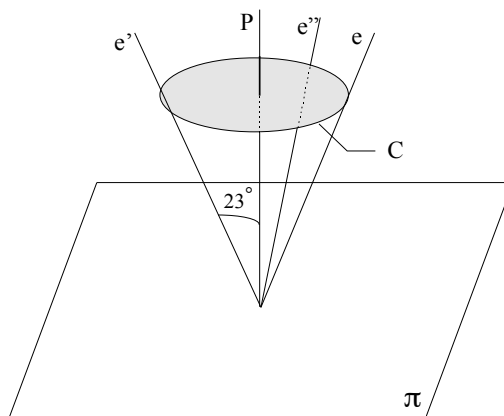


Fig.18 - O eixo e inclinado de 23° em relação à perpendicular pode apontar para uma direção qualquer (por exemplo e' , ou e'') sobre a superfície cônica descrita pela superfície C.

Professores mais metódicos poderão se questionar: como determino a inclinação de 23° em relação à perpendicular ao plano da órbita? Para os objetivos aqui propostos é irrelevante a inclinação exata a ser dada; aliás, recomenda-se até que se exagere um pouco na inclinação para que fique ainda mais facilmente visível a diferença de iluminação entre os dois hemisférios.

Feitos todos esses esclarecimentos, vem a parte mais difícil: transladar a bola ao redor da lâmpada, num movimento circular, sem variar (muito) a inclinação do eixo da Terra. Na Fig. 19 estão esquematizadas 4 posições sucessivas e diametralmente opostas para as quais deve-se chamar a atenção dos alunos. Supondo que a demonstração começou na posição A, vê-se que o hemisfério 1 está totalmente iluminado enquanto o hemisfério 2 fica apenas parcialmente iluminado. Assim sendo, é verão no hemisfério 1 e inverno no hemisfério 2. Isso só pode ocorrer devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da órbita. E, sendo constante esta inclinação, enquanto a Terra gira ao redor do Sol, quando ela estiver passando

¹² Na verdade não é fixo, mas no tempo de um ano não ocorre nenhuma alteração perceptível.

Terra

pelo ponto B é facilmente observável, na demonstração proposta (mas não em figuras tal qual a Fig. 15 ou a Fig. 19 abaixo), que ambos os hemisférios agora estão igualmente iluminados. Portanto o hemisfério 1 passou a receber menos luz (passou de verão para outono) e o hemisfério 2 passou a receber mais luz (passou de inverno para primavera).

Continuando a Terra em seu movimento de translação e com seu eixo sempre inclinado da mesma maneira, quando ela passar pela posição C indicada na Fig. 19, o hemisfério 1, que tinha perdido iluminação ao passar de A para B (quando passou de verão para o outono), perdeu ainda mais iluminação, passando do outono para o inverno. Justamente o contrário aconteceu com o hemisfério 2, que quando passou de A para B ficou mais iluminado (passou de inverno para primavera), agora ficou ainda mais iluminado (como pode-se ver claramente na demonstração prática, mas não em figuras tais como a Fig. 1 ou a Fig. 19) passando de primavera para verão. O processo inverso ocorre indo de C para D e retornando à posição inicial A.

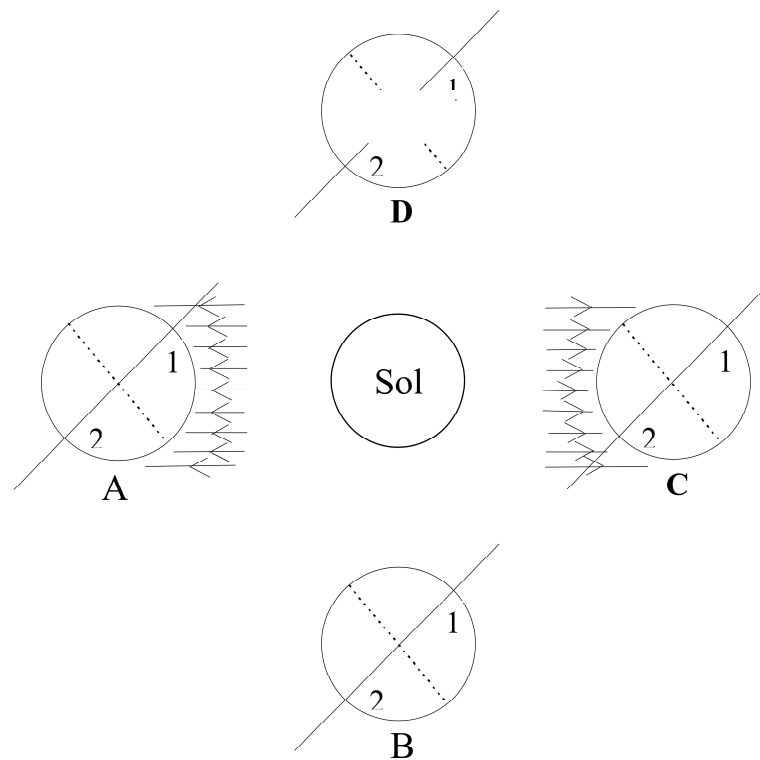


Fig. 19 - Figura esquemática, sem proporções, mostrando o Sol e a Terra em 4 posições (A, B, C, D) diametralmente opostas. Na demonstração prática proposta, fica visível a diferença de iluminação nos hemisférios 1 e 2 esquematizados nas posições A e C pela diferença de raios luminosos que atingem cada hemisfério. Nas posições B e D não é possível representar a igualdade de iluminação nos dois hemisférios, mas é perfeitamente visível na demonstração. O eixo de rotação, nesta figura, está exageradamente inclinado. Esta figura não deve ser usada para se entender o fenômeno. Ela deve ser usada apenas para se entender o manuseio da bola de isopor ao redor da lâmpada.

É imprescindível que ao realizar esta experiência os alunos estejam ao redor da mesa sobre a qual está a lâmpada¹³, para que possam ver as diferenças de iluminação entre os hemisférios. Também é recomendável que o professor pare a bola nas posições A, B, C e D e

¹³ Também deve-se chamar a atenção para o fato de que próximo à linha do equador (esquematizado na Fig. 19) quase não há grandes diferenças de iluminação durante todo o movimento de translação da Terra, por isso, lá as estações não são caracterizadas por variação de temperatura.

que os alunos caminhem¹⁴ ao redor da mesa para melhor observarem as diferenças de iluminações nos hemisférios 1 e 2 nas posições A e C e a igualdade delas nas posições B e D.

Se o professor não conseguir fazer a translação da bola de isopor mantendo constante a inclinação do seu eixo, sugerimos fixar a vareta do eixo numa base de madeira (Fig. 20) e arrastar (sem girar sobre si mesma) essa base de madeira sobre a mesa e ao redor da lâmpada.

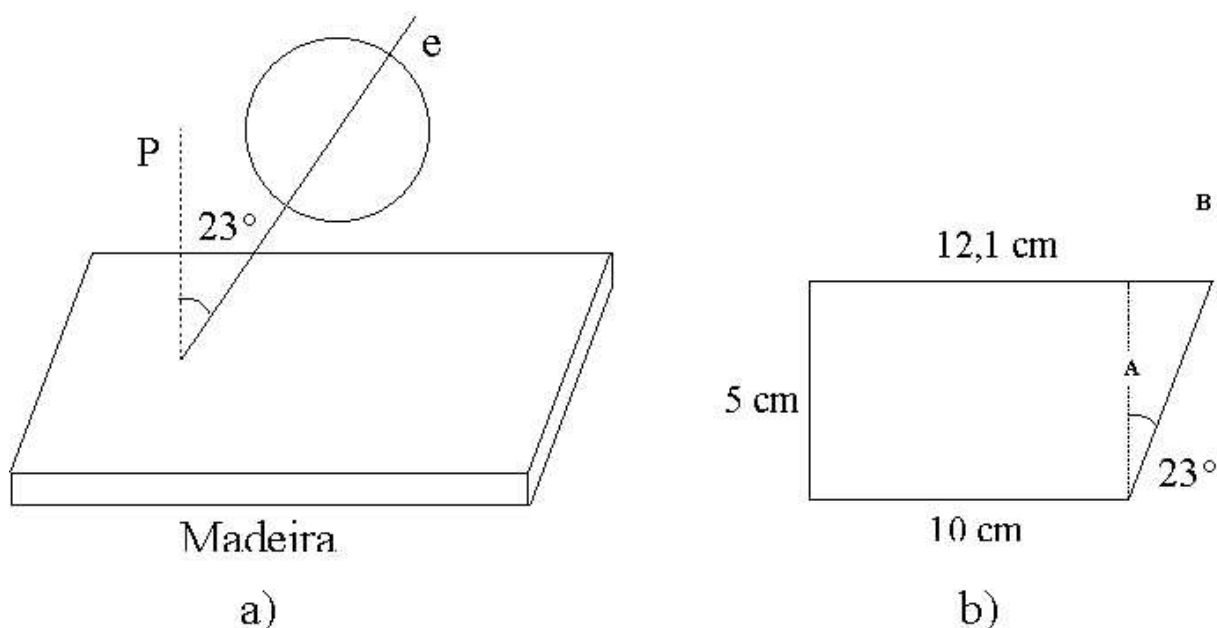


Fig 20 - a) Esquema de como fixar a bola de isopor numa madeira (por exemplo com dimensões de 10x20x2cm) para facilitar a demonstração. b) Para fazer o furo na inclinação de 23°, basta recortar um pedaço de papelão com a forma e dimensões da Fig. 6b, apoiar o papelão na vertical com o lado de 10 cm apoiado sobre a madeira e bater um prego paralelo ao lado AB do papelão.

Também pode-se utilizar 4 bolas de isopor, uma em cada posição A, B, C e D. Mas isso, evidentemente, implica em quadruplicar custos e trabalho.

O dia e a noite

Este fenômeno que atinge quase todos nós¹⁵ todos os dias, geralmente é explicado na 1ª série do 1º grau e pode-se usar a montagem apresentada no item anterior para explicá-lo sem maiores dificuldades. Para essa explicação na 1ª série do 1º grau não é didaticamente aconselhável mencionar a inclinação do eixo de rotação da Terra, por isso pode-se fazê-lo com o eixo na vertical. Quando o fenômeno das estações do ano for estudado, então, será oportuno explicar que devido à inclinação do eixo de rotação da Terra, a duração dos dias e das noites variam, dependendo da localização do observador sobre a Terra e da época do ano, conforme explicamos no item 3 abaixo.

A duração do dia e da noite

De posse da montagem anterior, com a bola de isopor fixada na base de madeira (Fig. 20a), colocada na posição C da Fig. 19, fica muito fácil explicar, mostrar e inclusive “medir”

¹⁴ Cuidado: deve-se fixar bem o fio da lâmpada junto ao piso para que não haja acidentes (tropeções) pois o ambiente deve estar pouco iluminado uma vez que só estará acesa a lâmpada sobre a mesa.

¹⁵ Devemos lembrar que os moradores próximos aos pólos geográfico Norte e Sul, não têm o mesmo fenômeno do dia e noite que observam os outros habitantes do planeta.

a duração dos dias e das noites em função da latitude e da posição da Terra em seu movimento de translação.

Na Fig. 21 mostramos, esquematicamente, como é a divisão dia-noite, no hemisfério 1 durante o inverno e no hemisfério 2 durante o verão.

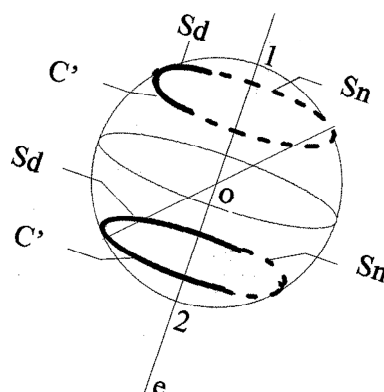


Fig. 21- A linha circular C' paralela à linha do equador mostra, no hemisfério 1, quando nele é inverno, o período diurno (arco contínuo) S_d e o período noturno (arco tracejado) S_n e o mesmo no hemisfério 2 quando é verão. (Nesta Fig.7 está representada a posição C da Fig. 5.)

A linha circular paralela ao equador mostra a duração do dia (na parte contínua da linha - S_d). Sugerimos que se desenhe tal curva na bola de isopor e se meça com uma fita métrica o comprimento dos arcos tracejados e contínuos da linha circular paralela à do equador, por exemplo, do hemisfério 1. Seja S_d e S_n o comprimento do arco para a parte diurna e noturna respectivamente. Sabemos que a soma de S_d e S_n é equivalente a 24 horas (duração de um dia solar médio), e, portanto, S_d é proporcional à duração do dia (T_d) e S_n é proporcional à duração da noite (T_n). Assim, vale a regra de três:

$$\frac{S_d + S_n}{24} = \frac{S_d}{T_d} \Rightarrow T_d = \frac{S_d}{S_d + S_n} 24 \text{ h}$$

e equivalentemente

$$T_n = \frac{S_n}{S_n + S_d} 24 \text{ h}$$

Conforme é visível na montagem, a duração do dia e da noite são diferentes mas complementares, isto é, se o dia dura 13 horas, a noite (naquele mesmo hemisfério e latitude) dura 11 horas e o oposto ocorre no outro hemisfério e na mesma latitude. Na posição C indicada na Fig. 5, os dias do hemisfério 1 são curtos e as noites longas, enquanto que o oposto ocorre com o hemisfério 2. As duas expressões acima obviamente são apenas aproximadas. Pode-se observar, também, que aumentando-se a latitude ($\theta \rightarrow 90^\circ$), o segmento S_d vai diminuindo e S_n vai aumentando, ou seja, quanto mais próximo do pólo geográfico do hemisfério 1, menor o dia (no inverno) e maior a duração da noite, tal que, bem próximo deste pólo, na posição C (Fig. 5), o segmento S_d vai a zero (desaparece) e toda a curva C' seria tracejada, indicando noite de 24 horas, isto é, no inverno do hemisfério 1, o Sol fica abaixo do horizonte o dia todo. Na mesma posição C da figura 19, o oposto ocorre para o hemisfério 2 quando muito próximo do pólo geográfico 2, indicando dia de 24 horas. Neste caso, vê-se o Sol à meia noite, no horizonte local. Por outro lado, no equador a duração do dia e da noite é praticamente idêntica o ano todo, em quaisquer das posições A , B , C ou D .

As fases da Lua

Este também é um fenômeno que causa muita confusão. Os livros didáticos têm uma explicação quase idêntica entre si, com os mesmos erros semelhantes em todos eles (Canalle et al 1997). O principal erro é colocar a Lua girando ao redor da Terra no mesmo plano em que esta gira ao redor do Sol (Fig.22). Ao se fazer isto causa-se obrigatoriamente 2 eclipses por mês lunar (ou mês sinódico¹⁶), sendo um eclipse lunar e outro solar. Uma figura típica encontrada nos livros didáticos está esquematizada na Fig. 22.

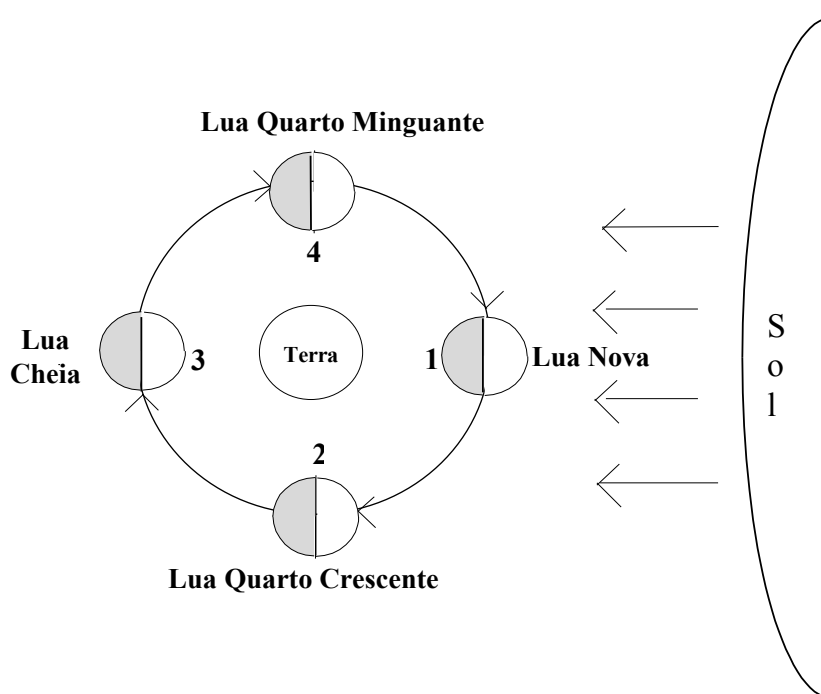


Fig. 22 - Típica figura encontrada em livros didáticos para explicar as fases da Lua.

Depreende-se do que está esquematizado na Fig. 22 que toda vez que a Lua estiver na posição 1 haverá eclipse solar e toda vez que passar pela posição 3 haverá eclipse lunar. Como não observamos dois eclipses a cada 29,5 dias, algo deve estar errado com essa figura. Explicaremos os eclipses no próximo item.

A bola de isopor usada nas atividades anteriores, representando a Terra, agora representará a Lua. Sugerimos fixar (espetar) um quadrado de cartolina preta (por exemplo, 5 x 5 cm) sobre a superfície da bola de isopor, próximo ao equador (ou seja, a cartolina ficará tangente a algum ponto próximo ao equador lunar. Este quadrado indicará “São Jorge”, ou seja, a face que está sempre voltada para nós. O esquema utilizado para a explicação, que se segue, das fases da Lua, encontra-se na figura 24.

O Sol continuará sendo representado pela lâmpada, mas substituindo-se o “gorro” de papel alumínio por um tubo de papel alumínio (Fig. 23) para direcionar horizontalmente o feixe de luz sobre a Lua. Para fazer isso a lâmpada será segurada por um aluno (aluno S, fig.24) que apontará seu feixe sempre para a Lua.

¹⁶ Mês sinódico (= 29,5 dias) é o intervalo de tempo médio entre duas fases iguais e consecutivas da Lua.

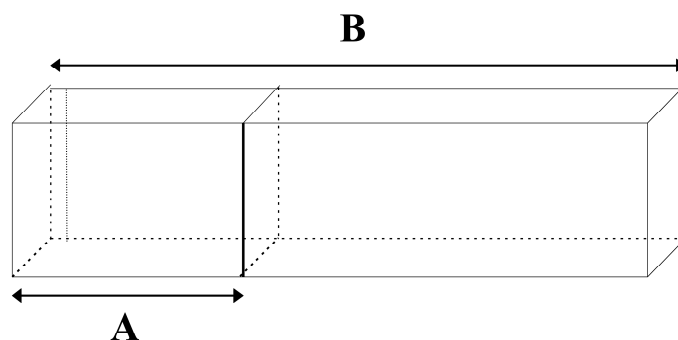


Fig. 23 - No segmento A está representada a embalagem comercial da lâmpada (um paralelogramo sem fundo ou tampa feito de papelão). Ao redor desta embalagem colocamos uma folha de papel alumínio com comprimento de 40 cm formando o tubo de papel alumínio indicado pelo segmento B.

A Terra será representada pela própria cabeça de um aluno (aluno T, fig. 24) que fará as observações. A Lua será carregada ao redor da Terra por outro aluno (aluno L, fig 24), mas de tal forma que o quadrado preto (“São Jorge”) esteja sempre voltado para a Terra. O aluno Terra (T) apenas girará sobre si mesmo sem se transladar.

Com esta montagem sugerimos começar a atividade reproduzindo o erro do livro didático, isto é, faça a Lua girar em torno da Terra num plano paralelo ao chão e passando pelo centro da Terra (cabeça do aluno). Estando o Sol no mesmo plano da Terra e da Lua, quando a Lua estiver na posição 1 da Fig. 22 ou 24 haverá eclipse solar e quando estiver na posição 3 das mesmas Fig.22 ou 24 haverá eclipse lunar. E isso se repetiria a cada mês sinódico. Logo, algo está errado. Como resolver o problema? Existem duas soluções. A primeira é deslocar o plano da órbita da Lua para cima ou para baixo da cabeça do aluno, mas isso é irreal pois o plano da órbita da Lua deve passar pelo centro da Terra. Eliminada esta solução, a outra, que é a correta e evita os dois eclipses mensais, é inclinar o plano da órbita da Lua. Inclinarmos o plano da órbita da Lua significa que, partindo a Lua da posição 1, quando ela deve estar abaixo da linha definida pela direção Terra-Sol, ela chegará à posição 3 acima do feixe da sombra da cabeça do aluno que representa a Terra (não esquecendo que o plano da órbita da Lua passa pelo centro da Terra). Com isto evita-se os dois eclipses mensais e esta é a situação real, ou seja, a Lua não gira ao redor da Terra no mesmo plano que esta gira ao redor do Sol. A inclinação entre os dois planos é de aproximadamente 5° . Observe, contudo, que os pontos 2 e 4 da Fig. 24 pertencem tanto ao plano da órbita da Lua quanto ao plano a órbita da Terra. Este fato será muito importante quando se estudar os eclipses.

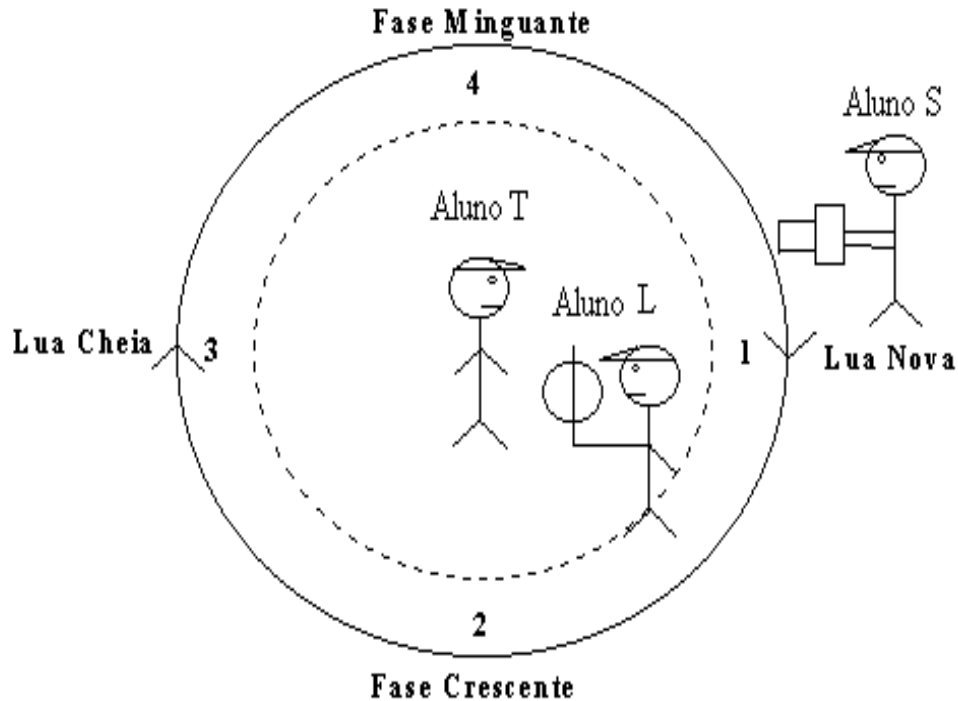


Fig.24 - Esquema do sistema Sol-Terra-Lua. O aluno que segura a lâmpada deve ficar a uns 2 ou 3 metros da Terra, apontando seu feixe de luz sempre para a Lua. O aluno que carrega a Lua deve girar ao redor da Terra a cerca de 1 m ou 1,5 m, mas trasladando a Lua num plano tal que na posição 1 a Lua passe abaixo da linha Terra-Sol, nas posições 2 e 4 cruze o plano da órbita da Terra ao redor do Sol, isto é, fica na mesma altura dos olhos do aluno Terra; na posição 3 passe acima da linha Terra-Sol. Obs. No esquema as linhas circulares são vistas de cima e os bonecos representam alunos caminhando sobre o círculo pontilhado e o círculo contínuo foi usado para marcar as fases crescentes, minguantes, cheia e nova.

Quando se evita o problema dos eclipses, define-se simultaneamente a inclinação do plano da órbita da Lua em relação ao plano de órbita da Terra. Na posição 1 a Lua da Fig. 24 está abaixo da linha Terra-Sol; na posição 2 está na mesma altura da cabeça do aluno Terra (seria quando ela estaria cruzando o plano da órbita da Terra), na posição 3 ela está passando acima da linha Terra-Sol; na posição 4 é a mesma situação da posição 2 e recomeça o ciclo na posição 1.

- Lua nova:

É aquela que não se vê, pois ela está na posição 1(abaixo da linha Terra-Sol), logo, o lado voltado para a Terra não está iluminado, além de estarmos olhando na direção do Sol, o qual nos ofusca a visão. Nesta situação dizemos que a Lua nasce junto com o Sol e se põe junto com ele, mas na noite seguinte (o aluno que segura a Lua deve se deslocar cerca de 1 ou 2 passos na direção do ponto 2) ela vai se pôr um pouco depois do Sol. Assim, logo que o Sol se põe vemos a Lua bem próximo do horizonte oeste, mas como ela está quase na mesma direção do Sol, vemos apenas uma estreita borda iluminada (que lembra uma banana). Nesta situação já devemos dizer que a Lua está no seu período crescente ou se preferirem: fase (= aparência) crescente, conforme define Mourão (1987) em seu Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica. A reflexão da luz da lâmpada sobre a bola de isopor imita muito bem o que se vê no céu, mas só para o(s) aluno(s) que representa(m) a Terra. Os outros alunos

vêm situações completamente diferentes dependendo de onde estejam, por isso é muito importante repetir a atividade com todos os alunos (em grupos) ocupando o lugar da Terra.

- Lua quarto crescente:

Na medida em que o aluno que segura a bola de isopor se desloca para o ponto 2, vai se vendo uma porção maior da Lua iluminada, pois afinal, estamos na fase crescente. Quando a Lua chega na posição 2, os alunos que representam a Terra verão exatamente um quarto da superfície da Lua iluminada, por isso essa noite em especial, a Lua é chamada de Lua do quarto crescente. Na noite seguinte ela já não tem mais a mesma aparência, por isso não devemos mais chamá-la de quarto crescente, pois afinal, mais que um quarto de sua superfície é visível. Entretanto, ela continua no seu período crescente ou fase crescente.

- Lua cheia:

É o nome dado à Lua quando ela está na posição 3. Conforme definido anteriormente ela está passando acima da linha Terra-Sol. Todo o disco iluminado é visível da Terra. Note também que o Sol se pôs a oeste e a Lua está “nascendo” a leste, portanto a Terra está entre ambos. A Lua cheia parece maior quando está nascendo do que quando está sobre nossas cabeças, mas isso é uma ilusão: basta olhá-la por um tubo estreito ou por um simples buraquinho através da nossa mão quando a fechamos, de modo a não vermos o relevo do horizonte, que veremos a Lua do mesmo tamanho que quando ela passa sobre nossas cabeças. Com a Lua cheia termina a fase crescente. Na noite seguinte a Lua já não é mais cheia e começa, então, o período ou fase da lua minguante.

- Lua quarto minguante:

Cerca de sete noites após a lua cheia veremos novamente um quarto da superfície da Lua iluminada, por isso essa noite, em particular, é chamada de Lua quarto minguante, quando então ela estará passando pelo ponto 4. Note que as noites seguintes não devem ser chamadas de Lua quarto minguante, pois a palavra “quarto” se refere a um quarto da superfície iluminada e visível da Terra, o que ocorre só em duas noites particulares, sendo uma na fase crescente e outra na fase minguante.

A Lua gira ou não gira sobre si?

Muitas pessoas respondem prontamente a esta questão: “não gira”! E dizem mais: “pois sempre vemos a mesma face na qual está o “São Jorge””. Nessa montagem é fácil demonstrar que a Lua gira sobre ela mesma. O aluno que segura o Sol começou esta atividade não vendo o “São Jorge”, quando a Lua estava na posição 1, pois o quadrado negro, que está representando o “São Jorge” estava voltado para a Terra. Mas quando a lua estava na posição 3, o aluno que segura a lâmpada viu o “São Jorge”; logo a Lua girou sobre ela mesma, senão isso não seria possível. Todos os outros alunos que estiverem observando a atividade confirmarão o que disse o aluno Sol, pois eles também verão as duas faces da Lua.

Claro que o aluno Terra não está muito convencido que a Lua gira sobre ela, afinal ele sempre vê o “São Jorge”. Podemos convencê-lo que a Lua gira sobre si, refazendo a demonstração mas com a Lua, de fato, não girando sobre ela. Então, começando com a Lua na posição 1 com o “São Jorge” virado para a Terra e, portanto, virado também para a posição 3 e virado, digamos, para a parede que está atrás da posição 3. O aluno que transporta a Lua, deve, então, fazer a Lua girar ao redor da Terra, mas com o “São Jorge” sempre voltado para a

mesma parede que está atrás da posição 3. Feito isso, o Aluno Sol e todos aqueles que estavam ao lado dele sempre observam a mesma face da Lua e garantem que ela não girou. O aluno Terra, por outro lado, acredita que a Lua não girou sobre ela mas agora ele viu as duas faces da Lua, ou seja, agora que ficou evidente que a Lua não girou, ele viu as duas faces. Porém, isso não é a realidade. Então, a Lua realmente gira sobre ela. Esta atividade convence a muitos que a Lua gira sobre si mesma enquanto gira ao redor da Terra, mas não convence a todos. De fato, o movimento de rotação da Lua ocorre no mesmo tempo em que ela gira ao redor da Terra. Por isso vemos sempre a mesma face, isto é, o mesmo “São Jorge”.

Os eclipses solares e lunares

Antes de falar em eclipse é preciso definir e entender o que é sombra e penumbra. Usando a lâmpada com o tubo de papel alumínio, projete a sombra da bola de isopor na parede. Pode-se ver que há duas regiões distintas de sombra: uma bem escura, no centro, chamada de *sombra* e ao redor desta, uma região menos escura chamada *penumbra*, conforme ilustra a Fig. 25.

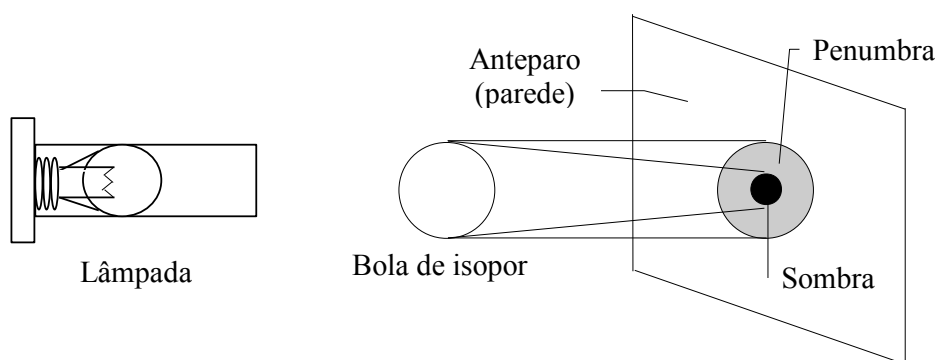


Fig.25- Esquema para visualizar a sombra e a penumbra da bola de isopor projetada sobre a parede.

Encostando a bola de isopor na parede vê-se apenas a sombra e afastando-se a bola da parede, começa a diminuir o tamanho da sombra e aumentar o tamanho da penumbra. A Terra também projeta uma sombra e uma penumbra. Quando a Lua atravessa apenas a região da penumbra da Terra dizemos que é um eclipse lunar penumbral, e quando a Lua também atravessa a sombra da Terra, temos o eclipse lunar propriamente, sendo que no penumbral a Lua continua visível, porém escurecida e no lunar ela fica invisível. Em ambos os casos pode-se ter eclipse parcial ou total da Lua. Claro que se a Lua está atravessando a sombra (ou penumbra) da Terra, a Lua está ou na lua cheia ou muito próxima dela (antes ou depois).

O eclipse solar pode ser parcial, total ou anular (quando a Lua passa exatamente na frente do Sol, mas por estar mais distante da Terra do que em outras circunstâncias não conseguiu cobrir o disco solar completamente). Se a Lua está entre a Terra e o Sol é porque é uma lua nova.

O experimento com a bola de isopor não permite ver os eclipses em todas as suas particularidades devido às desproporções entre os volumes da bola de isopor, da Terra e desproporções entre as distâncias Terra-Lua e Terra-Sol. Contudo permite simular suas ocorrências, tanto os lunares quanto os solares.

No item 4, Fases da Lua, a Terra não tinha translação. A Lua passava pela posição 1 (Fig. 24) abaixo do plano da órbita da Terra (definido como o plano paralelo ao chão e passando pelo centro da cabeça do aluno Terra), cruzava o plano da órbita da Terra na posição 2 (Fig. 24), passava pela posição 3 (Fig.24) acima do plano da órbita da Terra, passava pela

posição 4 (Fig. 24) cruzando de novo o plano da órbita da Terra e recomeçava o ciclo pela posição 1 abaixo da órbita da Terra.

O plano de translação da Lua ao redor da Terra não muda enquanto esta gira ao redor do Sol. Para simular os eclipses o aluno Terra descrito no item 4, agora deverá transladar lentamente ao redor do Sol, que continuará apontando seu feixe de luz para a Lua. Na Fig.26 esquematizamos essa atividade. Conforme explicado no item 4, Fases da Lua, a inclinação entre os planos das órbitas da Lua ao redor da Terra e desta ao redor do Sol é de 5° , o que evita os dois eclipses mensais.

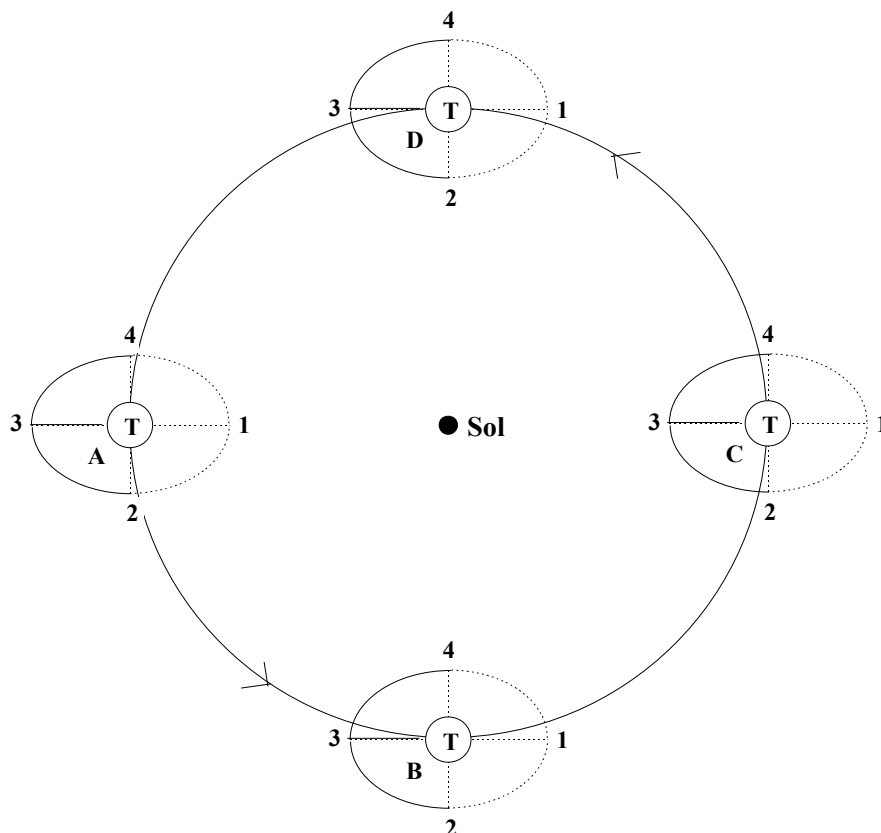


Fig. 26 - Esquema da Terra girando ao redor do sol e da Lua girando ao redor da terra em posições A, B, C, e D. **Obs:** A órbita da Lua não é fechada como desenhada. O desenho atende a outros propósitos explicados no texto. A linha 2-4 sempre pertence aos dois planos (órbita da Lua ao redor da Terra e órbita da Terra ao redor do Sol) simultaneamente. O ponto 1 sempre está abaixo do plano da órbita da Terra e o ponto 3 sempre acima do mesmo plano. A região pontilhada da órbita da Lua, mostra a parte da órbita que está abaixo do plano da órbita da Terra e a parte contínua da órbita da Lua mostra a parte da órbita que está acima do plano da órbita da Terra.

Toda a explicação das fases da Lua ocorreu com a Terra no ponto A da Fig 26. Note que nesta Fig. 26 o ponto 1 (semi-círculo tracejado entre os pontos 4, 1 e 2) sempre está abaixo do plano da órbita da Terra e o ponto 3 está acima do mesmo, enquanto que o segmento que liga os pontos 2 e 4 sempre pertencem a ambos os planos da órbita da Lua e da Terra, ou seja, a órbita da Lua não muda com a translação da Terra. Note que nas posições A e C nunca ocorrem eclipses, contudo nas posições B e D eles podem ocorrer, pois a Lua pode estar passando pelas posições 4 ou 2 e, portanto, cruzando a linha Terra-Sol. Quando a Lua passar pelas posições B4 ou D2 é Lua nova e um eclipse solar pode ocorrer, quando ela passar por B2 ou D4 é Lua cheia e eclipses lunares podem ocorrer. O aluno que transporta a Lua (bola de isopor) deve procurar manter sempre a mesma trajetória para a bola de isopor, independente do movimento da Terra.

Conclusão

Com as atividades aqui propostas, usando sempre a participação ativa dos alunos, materiais de baixo custo e disponíveis com facilidade no comércio, oferecemos ao professor de primeiro grau uma alternativa para fazer o ensino dos conceitos básicos de astronomia de uma forma mais realista, correta e motivadora para o aluno.

Referências

- Beltrame, Z. V., Geografia Ativa - Investigando o Ambiente do Homem, vol. 1, 1996, Ed. Ática.
- Bizzo, N., et al, Graves erros de conceito em livros didáticos de ciências, Ciência Hoje, nº 121, (21), 26 - 35, 1996.
- Canalle, J.B.G., Trevisan, R.H. e Lattari, C.J.B., Análise do conteúdo de astronomia dos livros de geografia de 1º grau, Cad. Cat. Ens. Fís., v. 14, nº 3, 1997, p. 254 - 263, dez. 1997.
- Mourão, R.R.F., Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica, 1ª Ed., 1987, Editora Nova Fronteira.
- Trevisan, R.H., Lattari, C.J.B. e Canalle, J.B.G., Assessoria na avaliação do conteúdo de astronomia dos livros de ciências do primeiro grau, Cad. Cat. Ens. Fís., v. 14, nº 1, p. 7, 1997

RELÓGIO DE SOL

João Batista Garcia Canalle

Instituto de Física - UERJ

Introdução

Talvez um dos mais antigos instrumentos astronômicos conhecidos, o relógio de sol, ainda hoje desperta a curiosidade das pessoas, pois com apenas a sombra de seu indicador temos a marcação das horas.

Claro que hoje temos instrumentos mais precisos, que nos fornecem as mesmas informações que o Relógio de sol, mas para um primeiro contato e também para desvendar alguns pequenos segredos que envolvem o Relógio de sol, idealizamos um relógio de fácil construção, e que pode ser feito inclusive com as folhas de caderno, de cartolina ou até mesmo (para os mais habilidosos) de madeira.

Como sabemos, um relógio é composto por um indicador das horas, um ponteiro e um conjunto de engrenagens que vão fazê-lo funcionar. O Relógio de sol também é composto de um indicador das horas e um ponteiro, mas o conjunto de engrenagens será substituído pelo nosso Sol.

Passamos a descrever abaixo, como podemos montar um Relógio de sol com mostrador horizontal de horas.

O Mostrador

Para a confecção do mostrador, utilizaremos uma folha de sulfite onde traçaremos as linhas horárias (ou as linhas que indicam as horas).

Para isso, alguns conhecimentos de trigonometria e da latitude do local (latitude onde está localizada a sua cidade) serão necessários, pois temos que calcular os ângulos que definirão as linhas horárias, os quais são obtidos com as informações acima e com a seguinte expressão :

$$x = \arctg \left\{ \operatorname{tg} [15(12 - \text{hora})] \operatorname{sen}(\phi) \right\}$$

Onde :

X = ângulo, em graus, que a linha das horas faz com a linha das doze horas, ou linha meridiana do relógio;

Φ = latitude do local;

$6 < \text{hora} < 12$

Como o Sol descreve aparentemente um círculo (360°) em 24 horas, temos que cada hora corresponde a 15 graus. Para hora = 6 ou 12 horas, temos tangente de 90° e 0° a qual não é definida, mas para as 6 horas da manhã a linha das horas coincide com a direção leste-oeste e para as 12 horas a linha das horas coincide com o meridiano local (linha central da base do relógio de sol.)

Para traçarmos a linha das doze horas, dobramos o papel sulfite exatamente ao meio e então traçamos a reta que passa exatamente pelo meio do papel, de um lado ao outro.

Feito isto, desenharemos um retângulo na folha com lado menor de 20 cm e lado maior de 29,5 cm, como mostra a Fig. 27. Neste ponto, devemos marcar na origem da linha das 12 horas o ponto cardeal norte e no extremo oposto o ponto cardeal sul.

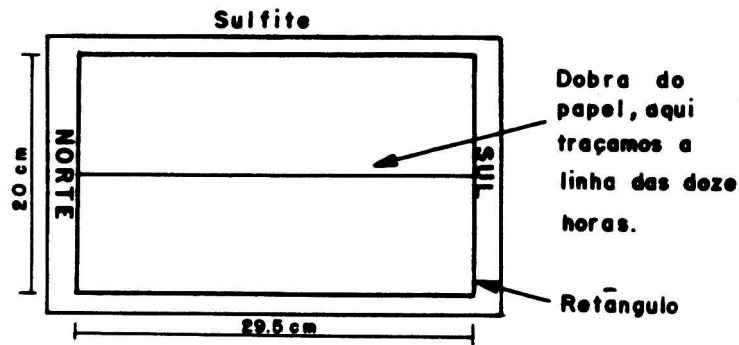


Figura 27- Linha das 12 horas

As Linhas Horárias

Para a determinação das linhas horárias (ou linha das horas) vamos tomar como exemplo a latitude de $-22^{\circ}54'$, que corresponde à cidade do Rio de Janeiro.

Utilizando a expressão descrita anteriormente, chegamos a valores do ângulo X os quais podem ser vistos na tabela seguinte:

Linhas das horas	Ângulo (x) (em relação às 12 horas) (em graus)
12	0,0
11 e 13	5,9
10 e 14	12,6
09 e 15	21,2
08 e 16	33,9
07 e 17	55,4
06 e 18	90,0

Observação: Devemos lembrar também que os ângulos são válidos tanto para o lado esquerdo da linha das 12 horas quanto para o lado direito.

Uma das maneiras para prosseguir o trabalho a partir deste ponto é escolhermos uma origem na linha horária das 12 horas, e a partir deste ponto, marcarmos os ângulos encontrados para as linhas horárias. Feito isto, traçamos, finalmente, as linhas horárias e marcamos em seus extremos as horas correspondentes. Ver Fig. 28.

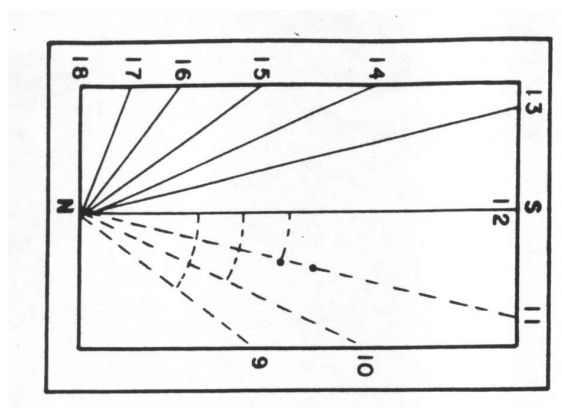


Figura 28 – Esquema da base do relógio de Sol

O Ponteiro

Para confeccionar o ponteiro, basta que numa folha de papel tracemos uma reta, a qual chamaremos de reta 1 com 20,0 cm de comprimento, e com um transferidor marcar o valor do ângulo que a latitude do local faz com essa reta, a partir de uma origem, acima e abaixo da reta como mostra a Fig. 29. Traçamos as retas (as quais indicaremos como retas 2 e 3) entre o ponto marcado do ângulo e a reta 1.

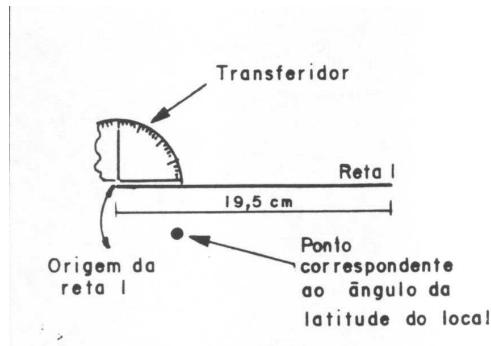


Figura 29- Determinação do ângulo correspondente à latitude local

Após esta etapa, traçamos uma reta paralela às retas 2 e 3 distantes a 1 cm das retas 2 e 3. Liga-se, então, os pontos como mostra a figura 30.

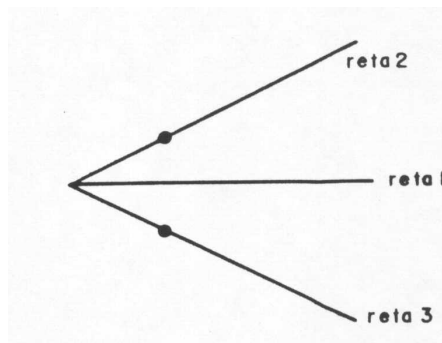


Figura 30- Esquema das retas 2 e 3 referente ao ângulo da latitude local

Estando prontas as marcações do ponteiro, recortamos e dobramos como mostra a Figura 31.

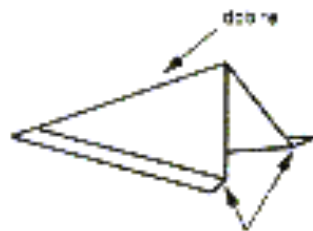


Figura 31- Indicação de como dobrar o ponteiro

Estando dobrado o ponteiro, colamos a parte de dentro do ponteiro, e após isto colamos o mesmo com sua parte mais baixa (ponta) coincidindo com a marcação do norte do relógio exatamente por cima e ao longo das doze horas, como ilustra a Fig. 32.

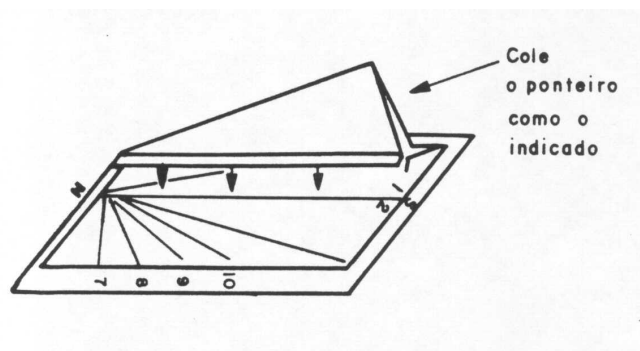


Figura 32- Indicação de como colar o ponteiro sobre a base do relógio de sol

O Posicionamento do Relógio

As marcações dos pontos norte e sul, como poder-se-ia pensar a princípio que seria apenas para indicar os pontos cardeais, tem uma simples, mas importante função. Qual seria ela?

Claro! Direcionar o relógio do sol na linha norte-sul, para que possamos ter a sombra projetada do Sol no mostrador, pois como sabemos o Sol faz um movimento do leste para o oeste e, portanto se o ponteiro está perpendicular a este movimento, teremos as sombras projetadas.

Para isso, podemos utilizar três recursos práticos: 1) utilizar uma bússola e encontrar a posição norte magnética (a qual é próxima da geográfica, tendo uma diferença de mais ou menos 18 graus, e desta maneira direcionar o relógio de sol), ou 2) utilizarmos de nosso próprio relógio, para posicionarmos o relógio de sol (talvez este seja o mais fácil) e 3) fazermos uso de um gnômon.

Observando o relógio de sol

Se fixarmos um relógio de sol num local, e observarmos ao longo dos meses, num mesmo horário, verificaremos que o relógio adianta-se, atrasa-se ou se iguala em relação ao seu relógio mecânico ou digital.

Os modernos relógios que usamos, nos informam o Tempo Legal que é uma variedade do que chamamos Tempo Médio. Este Tempo Médio é o tempo ditado pela marcha do chamado “Sol médio”, um Sol fictício ou imaginário, que faria seu caminho exatamente igual no céu dia após dia.

Como você já viu anteriormente neste curso, o Sol tem um movimento aparente que modifica sua posição com o passar dos meses fazendo, portanto, com que o nosso bom relógio de sol se atrase, se adiante ou se iguale com nossos relógios de pulso.

Conclusão

Ao dar a oportunidade aos alunos de confeccionar o relógio de sol, podemos além de ensinar alguns conceitos básicos de astronomia, tais como movimento aparente do Sol, Tempo Médio, etc; podemos também utilizar conceitos matemáticos de trigonometria e geometria, além de desenvolver suas habilidades manuais.

ESPECTROSCÓPIO

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Introdução

Ao lermos um livro de astronomia, várias vezes encontramos nestes a composição química dos corpos celestes. Vemos que o Sol é basicamente constituída de hidrogênio, hélio e alguns outros elementos em pequena quantidade.

Uma pergunta nos vem à mente: Como os astrônomos sabem do que são constituídas as estrelas, se não têm como analisar uma amostra retirada delas, já que estão tão longe e ao mesmo tempo são tão quentes?

A resposta é a seguinte: Analisamos a Luz, que chega até nós, destes corpos, através de um aparelho chamado espectroscópio. Nesta análise, comparamos com resultados experimentais de elementos químicos que existem em nosso planeta e determinamos qual a composição química do objeto celeste que estamos observando.

Luz como fonte de observação astronômica

Quando fazemos passar a luz de uma lâmpada comum através de um prisma, ou até mesmo através de uma caneta esferográfica, verificamos que ela se decompõe em diversas cores. Estas cores vão do vermelho, passando pelo alaranjado, amarelo, verde, azul e violeta (as cores do arco-íris). A este conjunto de cores obtidos da decomposição da luz da lâmpada, denominamos espectro de luz.

Em especial, o espectro de luz de uma lâmpada comum, ou lâmpada de filamento, é denominado de espectro contínuo, ou seja o espectro não apresenta nenhuma falha ou quebra quando é decomposto.

Já ao se analisar a luz de uma lâmpada fluorescente, verificamos que a luz se decompõe com as mesmas cores da lâmpada comum, mas seu espectro é diferente, apresenta algumas linhas bem definidas além do contínuo.

Este espectro (chamado de espectro de linhas), é diferente, porque a lâmpada fluorescente possui em seu interior um gás, o qual é excitado pela energia elétrica que passa por ele e o faz “acender”. Em todo e qualquer gás excitado e que emite luz, encontraremos um espectro, o qual é característico (também conhecido como impressão digital) do elemento constituinte do gás.

Ora, sabemos que as estrelas são bolas de gás incandescentes, então se analisarmos a luz que chega delas devemos encontrar um espectro de linhas!

Bem, as primeiras pessoas que analisaram o espectro de luz das estrelas, não encontraram exatamente um espectro de linhas como os que eram observados em laboratório, mas observaram um espectro contínuo e com linhas escuras que coincidiam com linhas de elementos conhecidos em laboratório e assim os elementos químicos das estrelas foram descobertos.

O Espectroscópio

Um dos equipamentos que podemos usar para analisar a luz é o espectroscópio. Este aparelho, decompõe a luz, a qual queremos analisar, em suas diversas cores (ou espectro).

Ele é basicamente composto de uma armação, uma escala (onde associamos o comprimento de onda da cor que foi decomposta) e um aparato que decompõe a luz nas suas diversas cores (em geral um prisma ou um outro aparato o qual denominamos de rede de difração).

O espectroscópio que faremos, segue os mesmos princípios descritos acima, mas com a vantagem de ser mais fácil de ser manuseado e de ser construído.

Calibrando o espectroscópio

Se você observar, na escala que você colou sobre a folha de papel cartão preto, existe uma marca próxima à marca de 550. Esta marca, significa uma linha padrão que os físicos utilizam para calibrar as escalas de espectroscópios a qual, mais precisamente, é a linha de 5460 Å (angstrom, 1 angstrom = 1.10^{-10} m) do elemento Mercúrio.

Esta linha você poderá observar, ao analisar a luz proveniente de uma lâmpada fluorescente.

Para calibrar seu espectroscópio, faça coincidir a linha verde vista com o espectroscópio, com a marca da escala.

Feito isto seu espectroscópio estará pronto para fazer a análise de diferentes tipos de luz.

Observação: Caso a escala fique escura, faça pequenos orifícios próximos aos valores para que a luz possa penetrar.

Observando com seu espectroscópio

Para observar o espectro da luz, devemos fazer com que a luz passe pela fresta e atinja a rede de difração, você pode utilizar, então, a seta para alinhar a luz com a fresta de seu espectroscópio.

Observação: Para observar a luz proveniente de uma lâmpada, basta alinhar a seta com a fresta fazendo com que a luz passe diretamente. Mas no caso de você observar a luz do Sol, você nunca deve apontar o espectroscópio diretamente para o Sol. Você pode observar o espectro do Sol, apontado para uma nuvem próxima ao sol, ou A uma região distante um punho fechado da borda do Sol.

Conclusão

Permitindo que os alunos observem os espectros de diferentes lâmpadas e explicando o significado de cada tipo de espectro, você estará proporcionando-lhes os conhecimentos necessários para que possam entender como sabemos qual a composição química dos corpos celestes.

A prova final para eles, será observar o espectro do Sol, o qual, de uma certa forma, trás espanto, pois conseguimos observar várias linha escuras sobrepostas ao espectro contínuo. Desta forma, você pode explicar os diferentes componentes químicos constituintes do Sol.

PRIMEIRA LEI DE KEPLER - LEI DAS ÓRBITAS

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física –UERJ

Resumo

Nesta atividade vamos desenhar as órbitas dos planetas e de alguns cometas, usando as excentricidades conhecidas das respectivas órbitas. Observaremos que as órbitas dos cometas periódicos são, em geral, muito excêntricas enquanto a dos planetas são pouco excêntricas. Objetivamos também, mostrar que, aqueles que conhecem esta lei, fazem uma idéia completamente errada da excentricidade das órbitas dos planetas, pois as consideram muito mais excêntricas do que realmente o são, isto devido, principalmente, aos desenhos destas órbitas que se vê nos livros didáticos.

Introdução

O enunciado da primeira lei de Kepler, ou lei das órbitas, diz que:

“Todo planeta descreve uma órbita elíptica ao redor do Sol, estando este num dos focos da elipse.”

Define-se uma elipse como o conjunto dos pontos cuja soma das distâncias (d_1 e d_2) destes pontos a dois pontos fixos (F_1 e F_2), chamados **focos**, é uma constante (k), isto é:

$$d_1 + d_2 = k$$

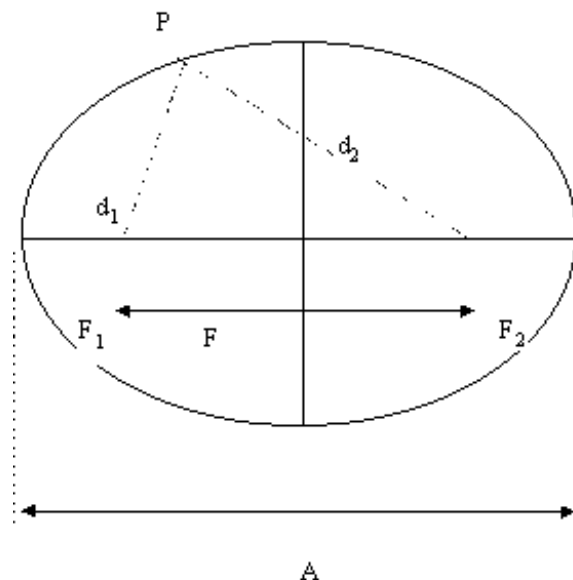


Figura 33

Definimos a excentricidade (“achatamento”) da elipse como sendo a razão entre a distância entre os focos ($F = F_1 F_2$) (ou distância interfocal) e o comprimento do eixo maior (A). Representamos a excentricidade da elipse pela letra “ e ”, assim sendo:

barbante

$$e = \frac{F}{A}$$

Um círculo é um caso particular de uma elipse, isto é, o círculo é uma elipse sem “achatamento” algum, ou como chamamos, de excentricidade nula, pois os focos são coincidentes com o centro do círculo e assim sendo, $F = 0$, e, portanto, $e = 0$

Excentricidade das órbitas dos planetas

Planeta	Excentricidade
Mercúrio	0,2
Vênus	0,007
Terra	0,02
Marte	0,09
Júpiter	0,05
Saturno	0,06
Urano	0,05
Netuno	0,009
Plutão	0,25

Procedimento

Para desenharmos as órbitas precisamos executar dois passos:

1. Descobrir qual é a distância entre os focos. Mas conhecida a excentricidade “e” e escolhido o comprimento do eixo maior “A”, arbitrariamente, como sendo, por exemplo 20 cm, obtemos a distância interfocal F, pelo produto:

$$F = e \cdot A$$

Por exemplo, para a excentricidade de Mercúrio ($e = 0,2$) e $A = 20$ cm, temos que $F = 0,2 \times 20 = 4,0$ cm

2. Descobrir qual é o comprimento “L” do barbante a ser usado para desenhar a elipse. Vamos usar o método do jardineiro. Esse comprimento é dado pela soma de F mais A, ou seja:

$$L = F + A$$

Em nosso exemplo, $A = 20$ cm e $F = 4,0$ cm, logo $L = 24$ cm, assim sendo, é só cortar um pedaço de barbante com pouco mais de 24 cm, por exemplo, 28 cm, para que possamos amarrar as pontas (CD) do barbante, que definem o comprimento $L = 24$ cm, como mostra a figura abaixo:

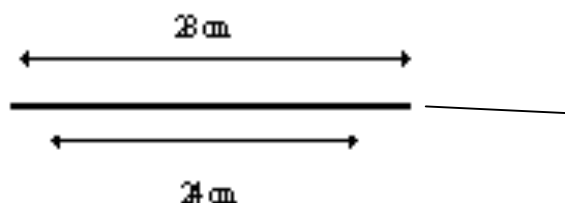


Figura 34

Em seguida é só abrir um compasso com a separação F (ou fincar dois pregos separados pela distância F), envolver as pontas do compasso com o barbante do item 2 acima e, com um lápis sempre na vertical, e o barbante sempre esticado, traçar a elipse, como ilustra a figura abaixo.

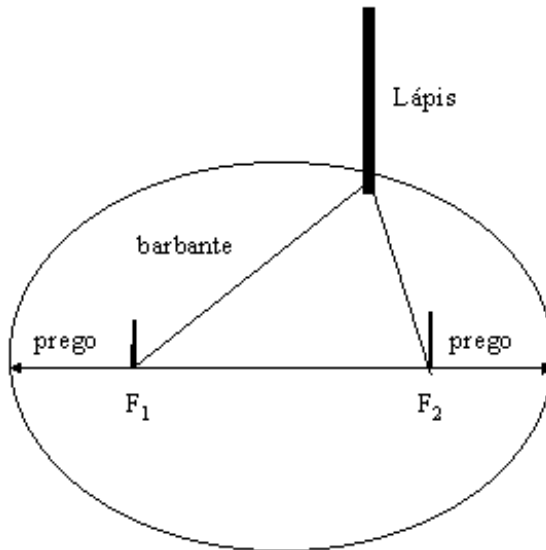


Fig 35. Esquema do método do jardineiro para desenhar uma elipse

Exemplo de elipses com 10 diferentes excentricidades:

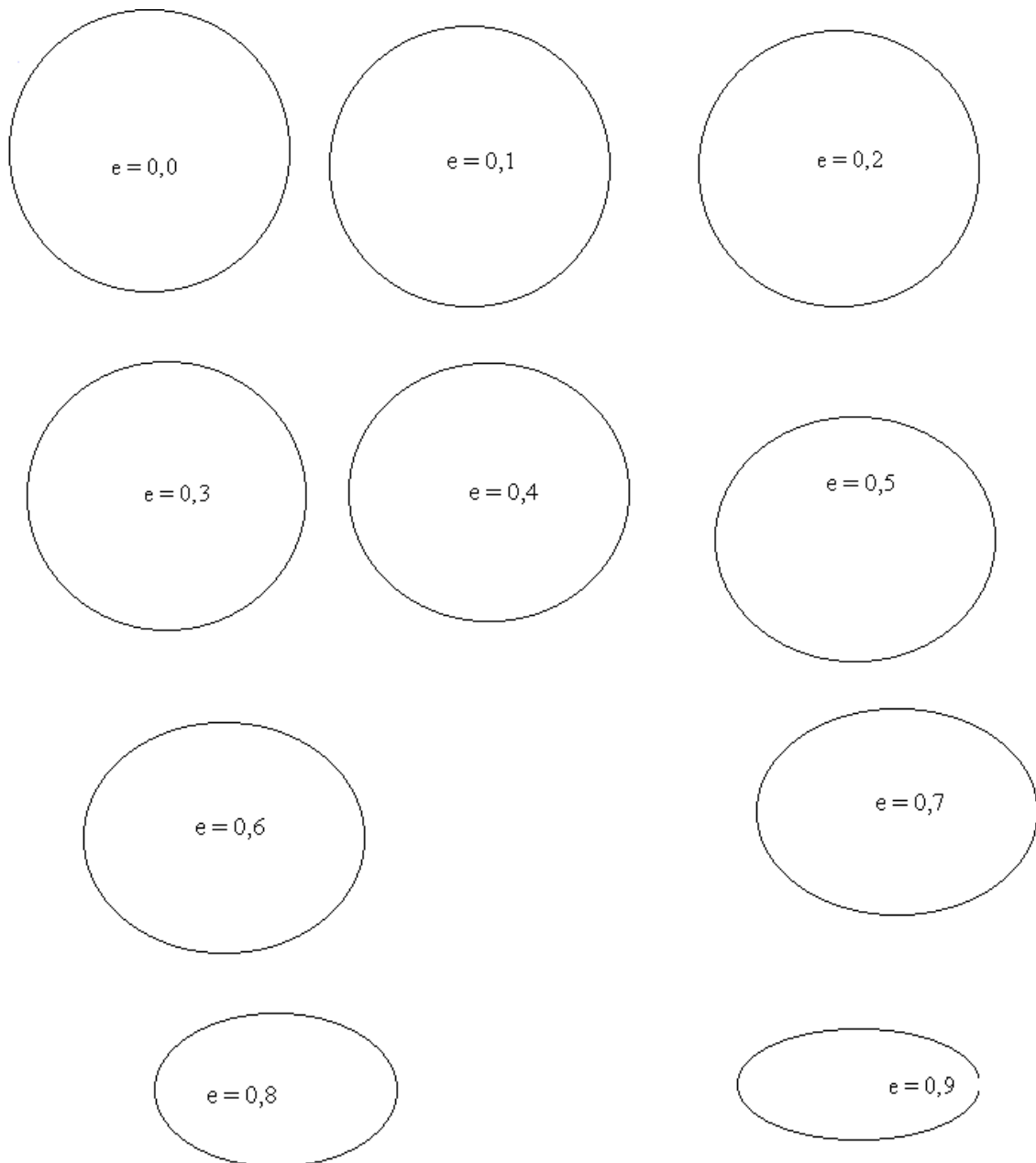


Figura 36

Conclusão

Conhecendo-se a definição de excentricidade, conhecendo-se as excentricidades das órbitas dos planetas e desenhando-se as mesma vemos que estas órbitas são muito aproximadamente circulares, ao contrário do que comumente se pensa. A órbita dos cometas, por outro lado, são muito mais excêntricas que as dos planetas e se assemelham mais à figura referente a $e = 0,9$. A órbita de Plutão, o planeta cuja órbita tem a maior excentricidade entre todos os planetas dos sistema solar está desenhada, em escala, na página seguinte. A posição do Sol na figura 36a. está no local correto também.

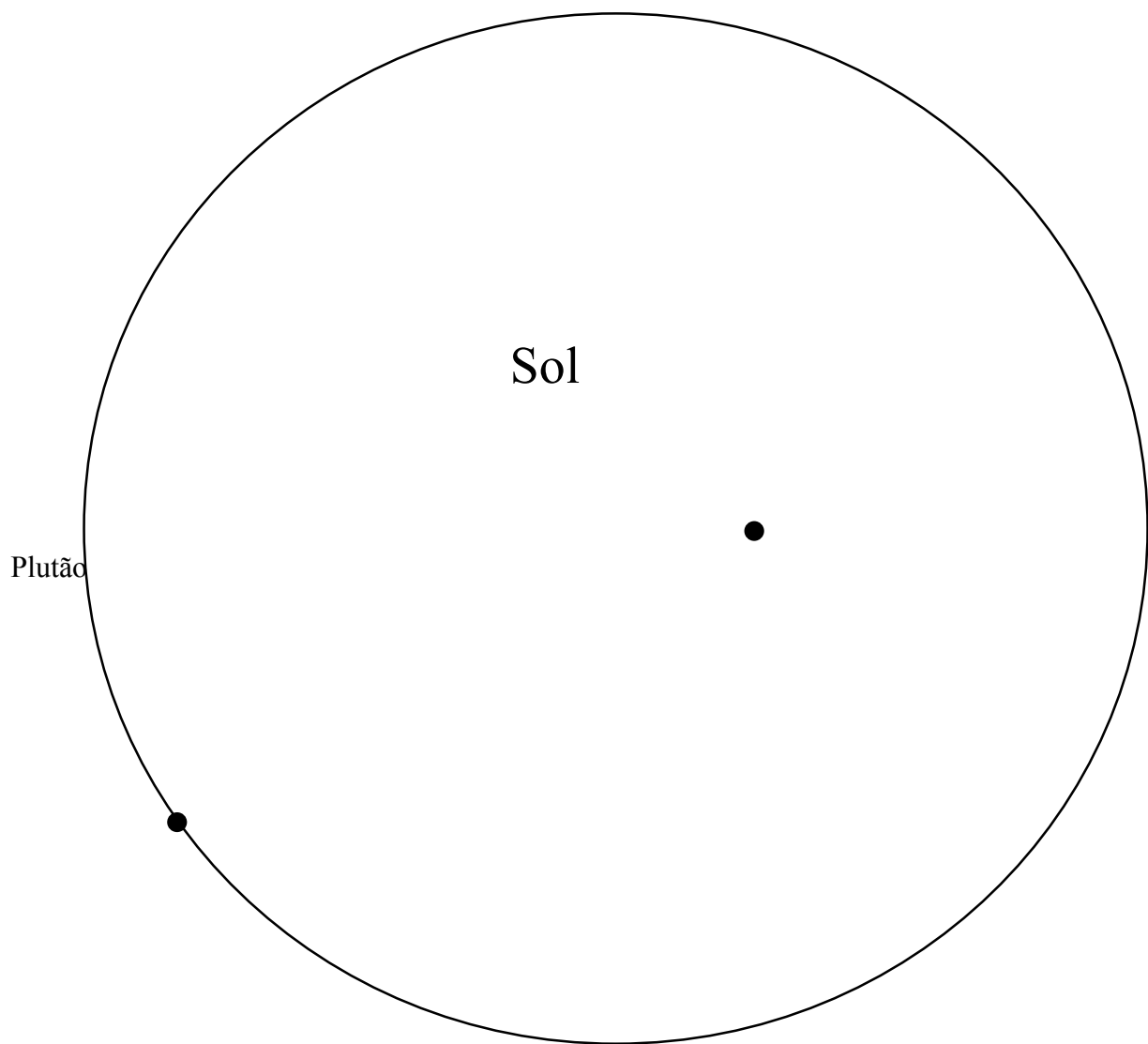


Fig. 36a. Órbita de Plutão. Excentricidade: 0,25

SEGUNDA LEI DE KEPLER - A LEI DAS ÁREAS

João Batista Garcia Canalle

Instituto de Física - UERJ

Resumo

Nesta atividade faremos medições de áreas varridas pela linha que liga Plutão ao Sol, em idênticos intervalos de tempo (~ 50 anos), mas em diferentes posições do planeta ao redor do Sol, para comprovarmos que estas áreas são iguais. Repetiremos a atividade para um cometa para vermos que a lei continua válida.

Introdução

O enunciado da segunda lei de Kepler ou lei das áreas é o seguinte:

“Linha que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em iguais intervalos de tempo”

Aprendemos que a órbita dos planetas são elípticas e que o Sol está num dos focos dessa elipse (primeira lei de Kepler ou lei das órbitas), assim sendo, ora o planeta está mais próximo do Sol, ora está mais longe, e como a força gravitacional que une estes dois astros diminui com o inverso do quadrado da distância, ela é maior quando o planeta está próximo e menor quando está distante, e com isso varia também a velocidade do planeta ao redor do Sol. Kepler descobriu que apesar da velocidade do planeta variar, a linha imaginária que liga o Sol ao planeta varre áreas iguais em iguais intervalos de tempo. Por exemplo, o período de translação de Plutão é de 248 anos, divididos por, por exemplo, 5, obtemos 5 intervalos iguais de aproximadamente 50 anos cada.

Usemos a órbita de Plutão e de um cometa, já divididas em iguais intervalos de tempo para verificarmos se as áreas são de fato iguais.

Procedimento

Pegar duas “áreas” da órbita de Plutão e copiá-las sobre uma folha de papel milimetrado, em seguida calcular a área. Para medir a área de cada pedaço façamos o seguinte:

1. Contar todos o “centímetros quadrados” do papel milimetrado que estiverem inteiramente dentro do “pedaço” da “área”. Multiplique esse número por 4 pois nossa unidade de área será, na verdade o quadradinho com 5 mm de lado, ou seja, um quarto de centímetro quadrado.
2. Na fronteira contamos todos os quadradinhos (de 5 milímetro de lado) em que a linha da fronteira passa por eles. Somemos esses quadradinhos e dividamos por 2.
3. Somando os resultados obtidos nos dois itens anteriores obtemos a área da seção medida.
4. Repete-se o procedimento para outra “área” e observaremos que as áreas são iguais ou então muito aproximadamente semelhantes, uma vez que usamos um método relativamente grosseiro para calcular a área.

Conclusão

Esta atividade mostrou que tendo-se a órbita do planeta (ou cometa) já desenhada, em escala e dividida em iguais intervalos de tempo, podemos calcular a área varrida pela linha imaginária que liga o Sol ao planeta (ou cometa) e confirmarmos que estas áreas são iguais.

TERCEIRA LEI DE KEPLER - LEI DOS PERÍODOS

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física – UERJ

Resumo

Nesta atividade vamos calcular o valor da constante mencionada nesta Lei. Vamos usá-la para descobrir os períodos de outros planetas e ilustrar graficamente a relação matemática que representa a terceira lei de Kepler, ou Lei dos Períodos.

Introdução

Kepler conhecia os períodos de translações dos planetas, conhecidos naquela época (de Mercúrio a Saturno), em termos do período de translação da Terra e conhecia também para estes mesmos planetas, suas distâncias médias ao Sol, em termos, também, da distância média da Terra ao Sol. Chamamos a distância média Terra-Sol de Unidade Astronômica e a representamos por UA (1 UA = 149.600.000 km). Enfim, Kepler tinha a seguinte tabela de valores em suas mãos:

Planeta	Período (T - em anos terrestres)	Distância (D - em UA)
Mercúrio	0,24	0,39
Vênus	0,62	0,72
Terra	1,00	1,00
Marte	1,88	1,52
Júpiter	11,86	5,20
Saturno	29,46	9,54

Com esses valores ele descobriu a relação matemática que existe entre T e D, a qual recebeu o nome de Lei dos Períodos, que diz:

“A razão entre o quadrado do período pelo cubo da distância é uma constante.”

Lembrando que o período mencionado é o de translação do planeta e a distância mencionada é a distância média do planeta ao Sol.

Atividades

1. Descobrir qual é o valor da constante mencionada na Lei dos Períodos. Para tanto basta calcular o quadrado de cada período e dividi-lo pelo cubo da respectiva distância. Ache o valor dessa constante para cada planeta e calcule seu valor médio, isto é, some seus valores e divida pelo número deles.
2. Posteriormente foram descobertos os planetas Urano, Netuno e Plutão, com as seguintes distâncias médias ao Sol, em Unidades Astronômicas (UA): 19,19, 30,08 e 39,46

respectivamente. Use a Lei dos Períodos e encontre os períodos de translações destes planetas¹⁷.

3. Complete a tabela acima com os valores encontrados no item 2 e faça um gráfico do quadrado dos períodos (no eixo das ordenadas) em função do cubo das distâncias médias dos planetas ao Sol (no eixo das abcissas) e trace a reta média através destes pontos. Verifique que o coeficiente angular desta reta é igual ao valor médio da constante da Lei dos Períodos.

Conclusão

Com as três Leis de Kepler ficam estabelecidas as leis que regem os movimentos de todos os planetas e cometas. Elas modificam o conhecimento que se tinha até então, sobre o movimento dos planetas, dados por Ptolomeu¹⁸.

¹⁷ Resposta: 84, 164 e 247 anos terrestres, respectivamente.

¹⁸ Cláudio Ptolomeu, astrônomo, geógrafo e matemático alexandrino, que viveu entre 90 e 160 d.C. Sua principal obra é o Grande Sistema Astronômico, em grego, que ficou conhecido como Almagesto na versão árabe. Sua principal contribuição à astronomia foi ter elaborado a teoria geocêntrica para o movimento dos planetas.

O ACHATAMENTO DOS PLANETAS

João Batista Garcia Canalle
Instituto de Física - UERJ

Resumo

Devido à rotação, os planetas sofrem forças que tendem a fazer o diâmetro polar ser menor que o diâmetro equatorial. Nesta atividade sugerimos a construção de um pequeno experimento que quando colocado em rotação se achata, ilustrando assim, o fenômeno que ocorre nos planetas.

Introdução

Os planetas não são corpos inteiramente rígidos. A Terra, por exemplo, tem um núcleo rígido, mas entre a crosta e esse núcleo rígido existe uma região chamada manto que não é rígida. Embora a rotação da Terra seja lenta, existe uma diferença de 40 km entre os diâmetros equatorial e polar. Obviamente essa diferença é relativamente pequena comparado com os 12.756 km de diâmetro equatorial.

Vamos definir o achatamento (A) do planeta pela razão entre seus diâmetros polar (D_p) e equatorial (D_e).

$$A = \frac{D_p}{D_e}$$

Na tabela¹⁹ abaixo fornecemos o achatamento²⁰ dos planetas para os quais esse parâmetro é conhecido.

Planeta	Achatamento
Mercúrio	-
Vênus	-
Terra	0,996
Marte	0,995
Júpiter	0,938
Saturno	0,904
Urano	0,938
Netuno	0,980
Plutão	-

A tabela ao lado mostra que os planetas chamados “gasosos” (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) têm o maior achatamento, além do que eles têm período de rotação menor do que a Terra.

¹⁹ Efemérides Astronômicas para 1987, Boletim Técnico n° 6, elaborado pela Equipe Técnica do Planetário e Escola Municipal de Astrofísica de São Paulo, p.74.

²⁰ A definição usada aqui está relacionada com a definição de Achatamento Geométrico (Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica, Mourão, R.R.F., Editora Nova Fronteira, 1987), que é:

$$\alpha = \frac{(d_e - d_p)}{d_e}, \text{ pois } A = 1 - \alpha.$$

Atividade

Um modo simples de ilustrar que tudo que gira e não é rígido tende a se achatar, isto é, ter seu diâmetro ao longo do eixo de rotação menor que seu diâmetro medido perpendicular a este, é construindo-se um anel com um material flexível (como por exemplo uma chapa plástica), colocando-se um eixo de rotação e dando-se um impulso angular para colocá-lo em rotação. Uma vez em rotação observa-se o mesmo fenômeno que ocorre com os planetas.

Como o mencionado impulso angular faz com que o experimento gire muito mais rápido que os planetas e por ser muito menos rígido que os planetas, o anel se achata muito, o que não acontece com os planetas pois suas velocidades de rotações são pequenas comparada ao do experimento mencionado.

Segurando-se o gira-gira na horizontal, com as duas mãos, com o indicador, por exemplo, da mão direita pode-se dar um impulso angular e colocá-lo em rotação, observando o conseqüente achatamento.

Conclusão

Esta é uma atividade que serve para ilustrar o que ocorre com os planetas, mas é muito importante que fique claro ao aluno que os planetas não giram tão rápido quanto o experimento, não são tão flexíveis quanto o experimento e, portanto, não se achatam tanto como observamos no gira gira.

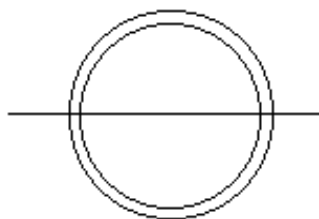


Figura 37- Esquema do gira gira.

ATO DE FÉ OU CONQUISTA DO CONHECIMENTO?²¹

Um episódio na vida de Joãozinho da Maré
Professor Rodolpho Caniato

O Joãozinho de nossa história é um moleque muito pobre que mora numa favela sobre palafitas espetadas em um vasto mangue. Nosso Joãozinho só vai à escola quando sabe que vai ser distribuída merenda, uma das poucas razões que ele sente para ir à escola. Do fundo da miséria em que vive, Joãozinho pode ver bem próximo algumas das conquistas de nossa civilização em vias de desenvolvimento (para alguns). Dali de sua favela ele pode ver bem de perto uma das grandes Universidades onde se cultiva a inteligência e se conquista o conhecimento. Naturalmente esse conhecimento e a ciência ali cultivadas nada tem a ver com o Joãozinho e outros milhares de Joãozinhos pelo Brasil afora.

Além de perambular por toda a cidade, Joãozinho, de sua favela, pode ver o aeroporto internacional do Rio de Janeiro. Isso certamente é o que mais fascina os olhos de Joãozinho. Aqueles grandes pássaros de metal sobem imponentes com um ruído de rachar os céus. Joãozinho, com seu olhar curioso, acompanha aqueles pássaros de metal até que, diminuindo, eles desapareçam no céu.

Talvez, por freqüentar pouco a escola, por gostar de observar os aviões e o mundo que o rodeia, Joãozinho seja um sobrevivente de nosso sistema educacional. Joãozinho não perdeu aquela curiosidade de todas as crianças; aquela vontade de saber os “como” e os “porque”, especialmente em relação às coisas da natureza; a curiosidade e o gosto de saber que se vão extinguindo em geral, com a freqüência à escola. Não há curiosidade que agüente aquela “decoreba” sobre o corpo humano, por exemplo.

Sabendo por seus colegas que nesse dia haveria merenda, Joãozinho resolve ir à escola. Nesse dia, sua professora se dispunha a dar uma aula de Ciências, coisa que Joãozinho gostava. A professora havia dito que nesse dia iria falar sobre coisas como o Sol, a Terra e seus movimentos, verão, inverno, etc.

A professora começa por explicar que o verão é o tempo do calor, o inverno é o tempo do frio, a primavera é o tempo das flores e o outono é o tempo em que as folhas ficam amarelas e caem.

Em sua favela, no Rio de Janeiro, Joãozinho conhece calor e tempo de mais calor ainda, um verdadeiro sufoco, às vezes.

As flores da primavera e as folhas amarelas que caem ficam por conta de acreditar. Num clima tropical e quente como do Rio de Janeiro, Joãozinho não viu nenhum tempo de flores. As flores por aqui existem ou não, quase independentemente da época do ano, em enterros e casamentos, que passam pela Avenida Brasil, próxima à sua favela.

Joãozinho, observador e curioso, resolve perguntar porque acontecem ou devem acontecer tais coisas. A professora se dispõe a dar a explicação.

- Eu já disse a vocês numa aula anterior que a Terra é uma grande bola e que essa bola está rodando sobre si mesma. É sua rotação que provoca os dias e as noites. Acontece que, enquanto a Terra está girando, ela também está fazendo uma grande volta ao redor do Sol. Essa volta se faz em um ano. O caminho é uma órbita alongada chamada elipse. Além dessa curva ser assim alongada e achatada, o Sol não está no centro. Isso quer dizer que, em seu movimento, a Terra às vezes passa perto, às vezes passa longe do Sol. Quando passa perto do

²¹ Publicado no Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, ano 6, número 2, abril / junho de 1983, páginas 31 a 37.

Sol é mais quente: é VERÃO. Quando passa mais longe do Sol recebe menos calor: é INVERNO.

Os olhos de Joãozinho brilhavam de curiosidades diante de um assunto novo e tão interessante.

- Professora, a senhora não disse antes que a Terra é uma bola e que está girando enquanto faz a volta ao redor do Sol?

- Sim, eu disse. - respondeu a professora com segurança.

- Mas, se a Terra é uma bola e está girando todo dia perto do Sol, não deve ser verão em toda a Terra?

- É, Joãozinho, é isso mesmo.

- Então é mesmo verão em todo lugar e inverno em todo lugar, ao mesmo tempo, professora?

- Acho que é, Joãozinho, vamos mudar de assunto.

A essa altura, a professora já não se sentia tão segura do que havia dito. A insistência, natural para o Joãozinho, já começava a provocar uma certa insegurança na professora.

- Mas, professora, - insiste o garoto - enquanto a gente está ensaiando a escola de samba, na época do Natal, a gente sente o maior calor, não é mesmo?

- É mesmo, Joãozinho.

- Então nesse tempo é verão aqui?

- É, Joãozinho.

- E o Papai Noel no meio da neve com roupas de frio e botas? A gente vê nas vitrinas até as árvores de Natal com algodão. Não é para imitar a neve? (A 400 no Rio).

- É, Joãozinho, na terra do Papai Noel faz frio.

- Então, na terra do Papai Noel, no Natal, faz frio?

- Faz, Joãozinho.

- Mas então tem frio e calor ao mesmo tempo? Quer dizer que existe verão e inverno ao mesmo tempo?

- É, Joãozinho, mas vamos mudar de assunto. Você já está atrapalhando a aula e eu tenho um programa a cumprir.

Mas Joãozinho ainda não havia sido domado pela escola. Ele ainda não havia perdido o hábito e a iniciativa de fazer perguntas e querer entender as coisas. Por isso, apesar do jeito visivelmente contrariado da professora, ele insiste.

- Professora, como é que pode ser verão e inverno ao mesmo tempo, em lugares diferentes, se a Terra, que é uma bola, deve estar perto ou longe do Sol? Uma das duas coisas não está errada?

- Como você se atreve, Joãozinho, a dizer que a sua professora está errada? Quem andou pondo essas suas idéias em sua cabeça?

- Ninguém, não, professora. Eu só tava pensando. Se tem verão e inverno ao mesmo tempo, então isso não pode acontecer porque a Terra tá perto ou tá longe do Sol. Não é mesmo, professora?

A professora, já irritada com a insistência atrevida do menino assume uma postura de autoridade científica e pontifica:

- Está nos livros que a Terra descreve uma curva que se chama elipse ao redor do Sol, que este ocupa um dos focos e, portanto, ela se aproxima e se afasta do Sol. Logo, deve ser por isso que existe verão e inverno.

Sem dar conta da irritação da professora, nosso Joãozinho lembra-se de sua experiência diária e acrescenta:

- Professora, a melhor coisa que a gente tem aqui na favela é poder ver avião o dia inteiro.

- E daí, Joãozinho? O que tem a ver isso com o verão e o inverno?

- Sabe, professora, eu acho que tem.

A gente sabe que um avião tá chegando perto quando ele vai ficando maior. Quando ele vai ficando pequeno é porque ele tá ficando mais longe.

- E o que tem isso a ver com a órbita da Terra, Joãozinho?

- É que eu achei que se a Terra chegasse mais perto do Sol, a gente devia ver ele maior. Quando a Terra estivesse mais longe do Sol, ele deveria aparecer menor. Não é, professora?

- E daí, menino?

- A gente vê o Sol sempre do mesmo tamanho. Isso não quer dizer que ele tá sempre da mesma distância? Então verão e inverno não acontecem por causa da distância.

- Como você se atreve a contradizer sua professora? Quem anda pondo “minhocas” na sua cabeça? Faz quinze anos que eu sou professora. É a primeira vez que alguém quer mostrar que a professora está errada.

A essa altura, já a classe se havia tumultuado. Um grupo de outros garotos já havia percebido a lógica arrasadora do que Joãozinho dissera. Alguns continuaram indiferentes. A maioria achou mais prudente ficar do lado da “autoridade”. Outros aproveitaram a confusão para aumentá-la. A professora havia perdido o controle da classe e já não conseguia reprimir a bagunça nem com ameaças de castigo e de dar “zero” para os mais rebeldes.

Em meio àquela confusão tocou o sinal para o fim da aula, salvando a professora de um caso maior. Não houve aparentemente nenhuma definição de vencedores e vencidos nesse confronto.

Indo para casa, a professora, ainda agitada e contrariada, se lembrava do Joãozinho que lhe estragara a aula e também o dia. Além de pôr em dúvida o que ela ensinara, Joãozinho dera um mau “exemplo”. Joãozinho, com seus argumentos ingênuos, mas lógicos, despertara muitos para o seu lado.

- Imagine se a moda pega... - pensa a professora. - O pior é que não me ocorreu qualquer argumento que pudesse enfrentar o questionamento do garoto.

- Mas foi assim que me ensinaram. É assim que eu também ensino- pensa a professora.

- Faz tantos anos que eu dou essa aula, sobre esse assunto...

À noite, já mais calma, a professora pensa com os seus botões:

- Os argumentos do Joãozinho foram tão claros e ingênuos... Se o inverno e o verão fossem provocados pelo maior ou menor afastamento da Terra em relação ao Sol, deveria ser inverno ou verão em toda a Terra. Em sempre soube que enquanto é inverno em um hemisfério, é verão no outro. Então tem mesmo razão o Joãozinho. Não pode ser essa a causa do calor ou frio na Terra. Também é absolutamente claro e lógico que se a Terra se aproxima e se afasta do Sol, este deveria mudar de tamanho aparente. Deveria ser maior quando mais próximo e menor quando mais distante.

- Como eu não havia pensado nisso antes? Como posso ter “aprendido” coisas tão evidentemente erradas? Como nunca me ocorreu, sequer, alguma dúvida sobre isso? Como posso eu estar durante tantos anos “ensinando” uma coisa que eu julgava Ciência, e que, de repente, pode ser totalmente demolida pelo raciocínio ingênuo de um garoto, sem nenhum outro conhecimento científico?

Remoendo essas idéias, a professora se põe a pensar em tantas outras coisas que poderiam ser tão falsas e inconsistentes como as “causas” para o verão e o inverno.

- Haverá sempre um Joãozinho para levantar dúvidas? Por que tantas outras crianças aceitaram sem resistência o que eu disse? Por que apenas o Joãozinho resistiu e não “engoliu”? No caso do verão e do inverno a inconsistência foi facilmente verificada. Se “engolimos” coisas tão evidentemente erradas, devemos estar “engolindo” coisas mais erradas, mais sérias e menos evidentes. Podemos estar tão habituados a repetir as mesmas coisas que já nem nos damos conta de que muitas delas podem ter sido simplesmente

acreditadas; muitas podem ser simples "atos de fé" ou credence que nós passamos adiante como verdades científicas ou históricas.

Atos de fé em nome da ciência

É evidente que não pretendemos nem podemos provar tudo aquilo que dizemos ou tudo o que nos dizem. No entanto, o episódio do Joãozinho levantara um problema sério para a professora.

Talvez a maioria dos alunos já esteja “domada” pela escola. Sem perceberem, professores podem estar fazendo exatamente o contrário do que pensam ou desejam fazer. Talvez o papel da escola tenha muito a ver com a nossa passividade e com os problemas do nosso dia-a-dia.

Todas as crianças têm uma nata curiosidade para saber os “como” e os “porque” das coisas, especialmente da natureza. À medida que a escola vai ensinando, o gosto e a curiosidade vão-se extinguindo, chegando freqüentemente à aversão.

Quantas vezes nossas escolas, não só a de Joãozinho, pensam estar tratando de Ciência por falar em coisas como átomos, órbitas, núcleos, elétrons, etc... Não são palavras difíceis que conferem à nossa fala o caráter ou “status” de coisa científica. Podemos falar das coisas mais rebuscadas e, sem querer estamos impingindo a nossos alunos “atos de fé”, que nada dizem ou não são mais que uma credence, como tantas outras. Não é à toa o que se diz da escola: um lugar onde as cabecinhas entram redondinhas e saem quase todas “quadrinhas”.

FUNDAMENTOS DA HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

O céu sempre foi motivo de fascinação e interesse para o homem. Chineses, indianos e as populações que habitavam as regiões consideradas como o berço da civilização ocidental - a Mesopotâmia, o Peloponeso, o Norte da África, o Oriente Médio - observaram as estrelas durante séculos. Entretanto, além de alguns esparsos registros chineses e textos indianos de cunho religioso e fraseologia obscura, os únicos documentos que chegaram aos nossos dias e se referem às atividades astronômicas na Antiguidade são tabuinhas cuneiformes babilônicas, datadas de época relativamente recente: 700 a.C.

O exame desses textos revela que os babilônios faziam observações sistemáticas que lhes permitiam prever acontecimentos astronômicos (eclipses solares e lunares), efetuar medidas das translações planetárias, etc.

Os babilônios, entretanto, não se preocuparam em construir modelos geométricos que explicassem os movimentos dos astros; foi na Grécia que a atenção dos filósofos se voltou decisivamente para essa tarefa, e, entre tais filósofos, Platão foi o que maior influência exerceu sobre as gerações seguintes, no que se refere às idéias cosmológicas. Platão encarava a Terra como a região mais indigna do Universo, devendo por esta razão, ocupar posição inferior às dos demais astros; estes por sua vez, seriam corpos perfeitos, que somente poderiam executar um movimento perfeito - O CIRCULAR. Nessas concepções repousou toda a cosmologia que predominou desde o século IV a.C. até o princípio do século XVI d.C..

Modelos Geométricos do Sistema Solar

1. O Modelo da Escola de Pitágoras²²

A filosofia astronômica da escola pitagórica foi estabelecida por três dos seus maiores membros: Pitágoras, Filolau²³ e Parmênides²⁴.

Eles desenvolveram um conceito geométrico do Universo, que tinha dez esferas concêntricas. O centro do Universo era ocupado por um fogo central. O Sol, Lua, Terra, Esfera de Oposição e cinco planetas, cada um ocupando uma esfera e girando ao redor do fogo central. Todo esse conjunto era circundado pela esfera das estrelas fixas. (Fig. 38).

O fogo central era invisível da Terra devido a presença de um corpo que estava sempre entre a Terra e o fogo central: a Esfera de Oposição.

A Terra girava uma vez por dia ao redor do fogo central e exibia sempre a mesma face a ele. Com respeito ao Sol e às estrelas, a Terra girava sobre si mesma e produzia os intervalos de dia e noite.

Os conceitos de Universo Esférico dos Pitagóricos resultaram de observações. Os gregos observaram que na Grécia a constelação da Ursa Maior sempre permanecia acima do horizonte, enquanto no Egito ela aparecia e desaparecia abaixo do horizonte, em curtos períodos de tempo. Dessas observações eles teorizaram que a Terra era um corpo esférico

²² Pitágoras foi um filósofo grego nascido em Samos entre 592 e 572 a. C. e falecido entre 510 a 480 a.C. Fundou a escola de filosofia e ciências ao sul da Itália. As teorias desenvolvidas pelos seus últimos discípulos, frequentemente, são atribuídas a ele. Foi o primeiro a notar que a terra é esférica e não plana, no centro de um universo esférico, com rotação diária. Estudou o movimento dos planetas. Ensinou ser o número a essência de todas as coisas, e comparou os períodos celestiais com os intervalos musicais.

²³ Filolau foi um filósofo e astrônomo grego que viveu em fins do século V a. C. Como astrônomo pitagórico, desenvolveu uma série de teorias do movimento da Terra, sustentando a hipótese de que no centro do universo encontrava-se o "fogo central".

²⁴

flutuando no céu. Eles, então, concluíram que a forma fundamental dos corpos celestes e do céu era esférica.

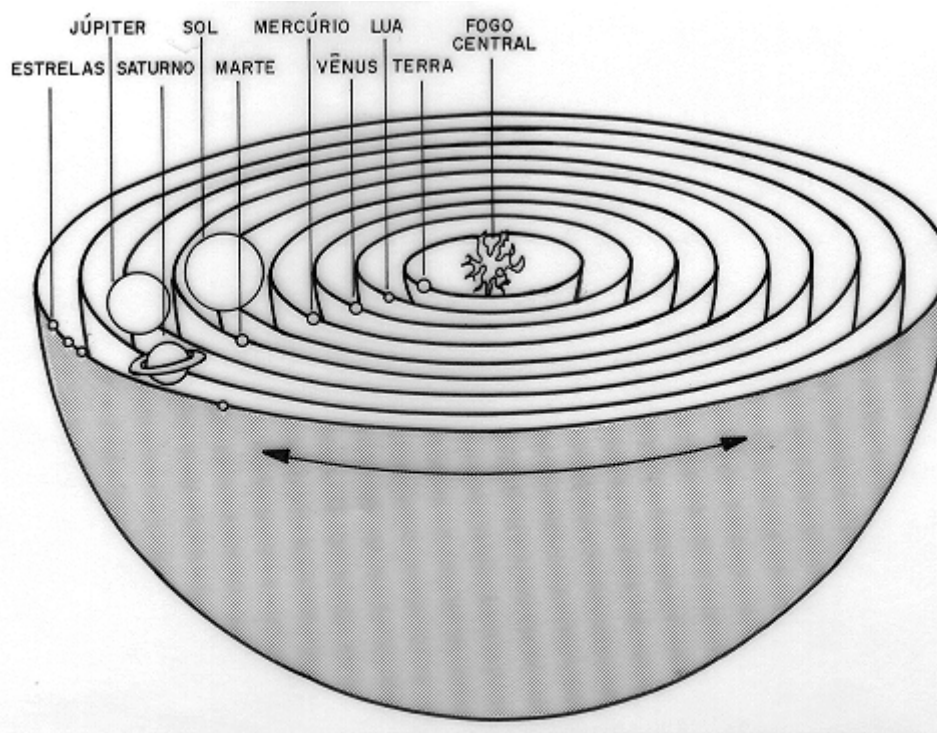


Figura 38 – O Universo pitagórico. o Sol, a Lua, as estrelas e os planetas giram sobre esferas concêntricas, em torno de um fogo central. As estrelas “fixas” constituem a esfera maior.

O Modelo Geocêntrico de Eudócio

Eudócio²⁵, discípulo de Platão²⁶, tentou expressar matematicamente as idéias de Platão sobre as posições e movimento dos planetas.

Eudócio sabia que um sistema de poucas esferas, uma para cada corpo, era obviamente inadequado. Os planetas não se movem constantemente sobre um círculo. Eles se movem mais rápido ou mais devagar e até mesmo param e se movem para trás (Fig.39). Eudócio elaborou um esquema com uma vasta família de esferas concêntricas. Cada planeta tinha um conjunto de quatro esferas, o Sol e a Lua tinham três esferas cada. Com uma combinação sutil do eixo de rotação dessas esferas, ele podia reproduzir, razoavelmente, os fatos observados.

Aristóteles²⁷ rejeitou o modelo pitagórico e tentou melhorar o modelo de Eudócio colocando mais esferas, que no total chegaram a 54 esferas, com eixos, diâmetros e

²⁵ Eudócio de Cnidos foi um astrônomo grego nascido em Cnidos cerca de 406 a. C. e falecido em cerca de 355 a. C. foi discípulo de Platão e dos sacerdotes de Heliópolis, no Egito, onde esteve em mais ou menos 380 a. C. Voltou mais tarde a Cnidos, onde demonstrou ser hábil geômetro, idealizando um engenhoso sistema de esferas concêntricas, que rodavam ao redor da terra, para representar os movimentos dos corpos celestes. Esta foi a primeira teoria geocêntrica do movimento dos planetas. Aristóteles adotou-a, complicando-a inutilmente. Fixou o ano em 365, 25 dias, segundo Plínio, e inventou o relógio de Sol, segundo Vitrúvio.

²⁶ Platão foi um filósofo grego nascido em Atenas em maio de 427 a.C. e falecido em 347 a. C. Discípulo de Sócrates durante oito anos, estudou matemática e filosofia em Cirene e, provavelmente no Egito, Sicília e Itália, onde encontrou pitágoras. retornando a Atenas, fundou sua Academia e desenvolveu a sua doutrina “das idéias”. Sua geometria e sua filosofia tiveram imensa influência nos seus contemporâneos e seus sucessores. Sua astronomia é a de Pitágoras.

²⁷ Aristóteles, filósofo grego de enorme influência durante muitos anos na Europa, nasceu em 383 a.C. em Estagira, Macedônia, e morreu em Cálcis, em 322 a.C. Foi tutor de Alexandre, o Grande, e mais tarde professor

velocidades diferentes. Aristóteles concluiu que a Terra era redonda observando que a sombra da Terra sobre a face da Lua, num eclipse lunar, era um arco.

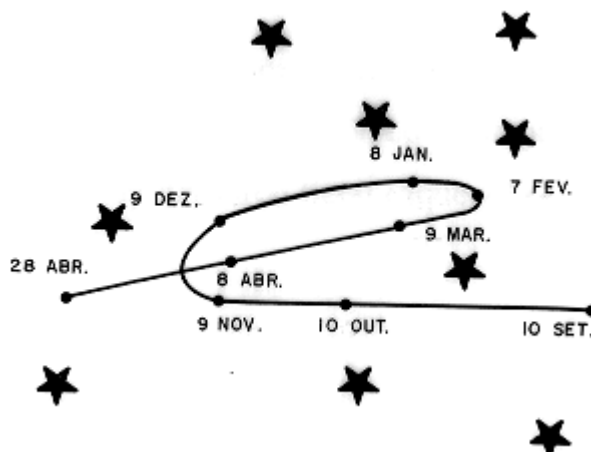


Fig. 39- Trajetória aparente de Marte em relação às estrelas fixas, mostrando um movimento de regressão entre 10 setembro e 28 de abril.

O Modelo Heliocêntrico de Aristarco

Aristarco²⁸ construiu um modelo com duas hipóteses simplificadoras:

1. A Terra gira sobre si - o que explica o dia e a noite. (Outros fizeram essa sugestão, entre eles Heráclides²⁹).
2. A Terra gira ao redor do Sol e os outros planetas também. Isto explica o movimento aparente do Sol e planetas.

A idéia era simples mas o modelo falhava completamente:

- a) A tradição era contra. Era só uma idéia.
- b) Não havia nenhuma evidência da rotação da Terra.
- c) Se a Terra gira ao redor do Sol, as estrelas deveriam apresentar paralaxe e nenhuma delas apresentava.
- d) Principalmente porque esse modelo apresentava, aos olhos dos filósofos de então, a falha imperdoável de se afastar do dogma platônico da imobilidade da Terra. Por essa razão, o Universo heliocêntrico de Aristarco ficou esquecido.

O Modelo Ptolomaico - Geocêntrico

em Atenas. Desenvolveu quase todos os ramos de conhecimentos existentes no seu tempo, criou os fundamentos da Lógica, da crítica Literária e da meteorologia. Sistematizou a Astronomia, adotando e desenvolvendo a teoria das esferas concêntricas de Eudóxio.

²⁸ Aristarco foi um astrônomo grego nascido na cidade de Samos, que viveu entre 310 e 230 a.C. Foi o primeiro a afirmar que a terra girava em torno do Sol, assim como em torno de seu eixo, quinze séculos antes de Copérnico.

²⁹ Heráclides do Ponto foi um filósofo grego nascido no Ponto em 388 a.C. e falecido em 315 a. C. Em Atenas, tornou-se aluno de Platão, talvez também de Aristóteles. Estudou os ensinamentos de Pitágoras. Historiadores afirmam ter ensinado que a Terra gira em 24 horas, causando o movimento diário aparente dos céus.

O último dos grandes astrônomos gregos foi Cláudio Ptolomeu³⁰ (150 d.C.). Escreveu o famoso livro ALMAGESTO, obra na qual seu modelo foi exposto e constituiu a *Bíblia astronômica dos 1400 anos que se seguiram*.

Os conceitos de círculos e epicírculos não são originais de Ptolomeu, pois foram propostos por outros antes dele, entre eles Hiparco³¹. De acordo com o sistema ptolomaico, cada planeta se move num círculo pequeno (epiciclo), cujo centro se move ao redor da Terra, a qual é estacionária e está no centro do Universo.

Como Mercúrio e Vênus são vistos sempre perto do Sol, Ptolomeu colocou o centro de seus epiciclos sobre uma linha entre a Terra e o Sol, com o centro dos epiciclos movendo-se ao redor da Terra, num círculo condutor (deferente). (Veja Fig. 40.)

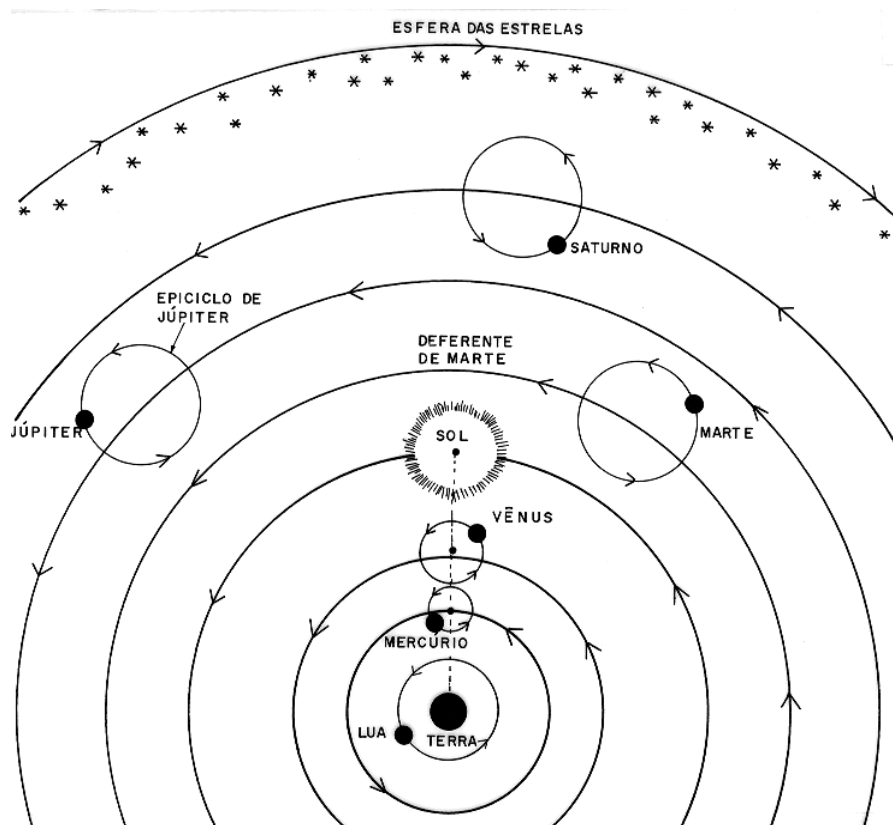


Fig. 40- O Sistema Ptolomaico

Desenvolvendo o modelo, Ptolomeu percebeu que se os corpos se movem em órbitas circulares ao redor da Terra, um observador sempre veria os planetas se movendo na mesma direção e isto não concorda com as observações, porque os planetas, em certas épocas, parecem parar e se mover na direção oposta (laçada). Para explicar esta laçada, Ptolomeu colocou cada planeta movendo-se num pequeno círculo (epiciclo), cujo centro C move-se ao longo de uma circunferência maior (círculo condutor ou deferente) com seu centro em A (Fig.4 abaixo). O centro do epiciclo move-se com velocidade constante ao redor do ponto Q,

³⁰ Cláudio Ptolomeu foi um astrônomo, geógrafo e matemático alexandrino, que viveu entre 90 e 160 d. C. Sua principal obra é o *Grande sistema astronômico*, em grego, que ficou conhecido como *Almagesto* na versão árabe.

³¹ Hiparco foi um dos maiores astrônomos gregos, que viveu em Rodas no século II a.C. elaborou o primeiro catálogo estelar, determinou o comprimento do ano trópico, o tamanho e a distância da Lua e tentou fazer o mesmo com o Sol. Descobriu a precessão dos equinócios bem como as irregularidades no movimento da Lua. Aperfeiçoou instrumentos astronômicos. Os resultados de seu trabalho foram preservados no *Almagesto* de Ptolomeu.

o qual é colocado sobre o lado oposto ao centro do círculo condutor (deferente) em relação à Terra. O movimento retrógrado é produzido quando o planeta está dentro da deferente.

Ptolomeu reproduziu o movimento observado dos planetas e forneceu meios de se prever a posição futura deles, “facilmente”.

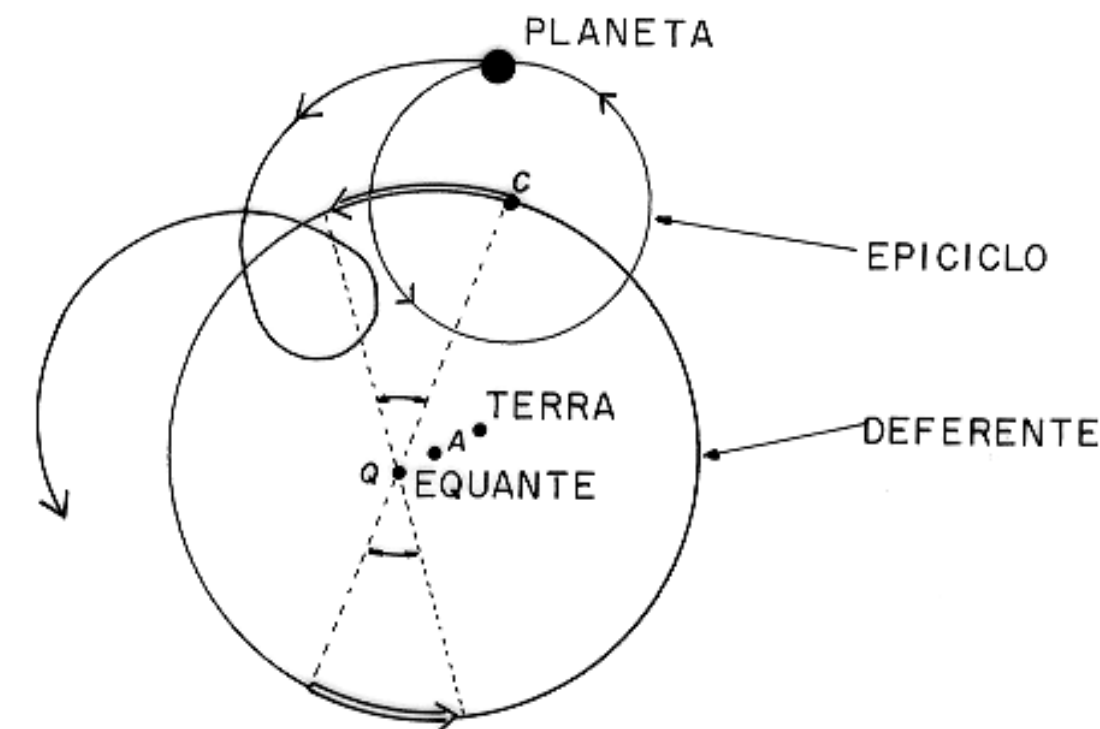


Fig.41- O sistema de epiciclos de Ptolomeu.

Astronomia Medieval

Antes de continuarmos falando dos modelos do Sistema Solar que surgiram, vamos comentar porque nenhum modelo surgiu depois do Almagesto, pelos próximos mil anos.

Quando os hunos começaram a se deslocar em direção oeste durante o terceiro século (d.C.) devido à grande pressão que sofreram do leste por parte dos Chineses e Mongóis, eles conquistaram e destruíram tudo na sua passagem. Saquearam Roma em 455, marcando o início do declínio Romano e nascimento do Império Bizantino. Em 1453 o Império Bizantino colapsa quando Constantinopla, sua capital, é tomada pelos turcos.

Durante o período de 400 d.C. até 1453 (Idade Média) a aquisição de conhecimentos declinou por causa das hostilidades que existiam entre os pagãos e os cristãos. Como as grandes escolas gregas e o Museu Alexandrino eram pagãos, os conhecimentos acumulados por esses estabelecimentos foram ignorados pelos Cristãos (ocidente). Os cristãos destruíram muitas das instituições pagãs, como por exemplo, a grande Biblioteca de Serapis e queimaram muitos livros que continham conhecimentos e cultura grega, por serem heréticos.

Com o período medieval na Europa, a astronomia entrou em dormência. Durante esses séculos os Árabes tornaram-se os donos dos conhecimentos Gregos; muitos tratados gregos, sendo o mais importante o Almagesto de Ptolomeu, foram traduzidos para o Árabe. A ciência Árabe floresceu e entrou na Europa pela Espanha no século X.

O Modelo Heliocêntrico de Copérnico

No fim da Idade Média estava surgindo na Europa um clima de livre pensamento (sem muitas interferências políticas e religiosas). Textos Árabes e Gregos estavam sendo traduzidos para o Latim e universidades estavam sendo fundadas. Escolas de pensamento estavam se formando.

Nesse cenário de florescimento de idéias é que Copérnico³² apresentou seu modelo heliocêntrico do Universo. Sua obra foi publicada no livro “Sobre a Revolução dos Corpos Celestes” em 1543, ano de sua morte.

O modelo de Copérnico é mais simples e próximo da realidade; ele é baseado no fato de que a Terra gira sobre si diariamente; que o centro da Terra não é o centro do Universo, mas simplesmente o centro dela e da órbita da Lua; que todos os corpos celestes giram ao redor do Sol, o qual é ou está próximo do centro do Universo; e que um corpo mais próximo do Sol viaja com velocidade orbital maior do que quando está distante.

Ptolomeu colocou a Terra no centro e sem girar porque ela se quebraria se girasse. Copérnico argumentou que sendo a esfera celeste muito maior teria se quebrado primeiro se tivesse que girar ao redor da Terra.

Os sistemas de Copérnico e Ptolomeu apresentam duas grandes diferenças básicas:

1. Copérnico trocou a posição do Sol e da Terra e eliminou o ponto Q (equant).
2. Para explicar as variações nas órbitas celestes ele supôs que os planetas se moviam em 34 epiciclos, 7 para Mercúrio, 5 para Vênus, 3 para a Terra, 5 para Marte, 5 para Júpiter, 5 para Saturno e 4 para a Lua.

Através do modelo de Copérnico foi possível a primeira determinação de distância de um planeta ao Sol, em termos de distância Terra-Sol. (Veja Fig. 5).

A partir do gráfico abaixo torna-se evidente que quando visto da Terra, Mercúrio irá apresentar um oscilação em torno do Sol. (Veja Fig.6).

Isto é, se num certo instante a Terra está em T_1 e Mercúrio está numa posição de máximo afastamento angular (M_1), à “direita” do Sol, digamos, então, depois de 116 dias Mercúrio estará, novamente, numa posição (M_2) de máximo afastamento angular, à direita do Sol e a Terra estará na posição T_2 . O ângulo de máximo afastamento angular para Mercúrio é de 23° e é determinado observacionalmente. O ângulo de 67° é facilmente calculado, pois o triângulo T_1 . Sol. M_1 é retângulo em M_1 . O ângulo entre T_1 e T_2 é determinado pela seguinte regra de três:

$$\begin{cases} 360^\circ - 365,25 (= 1 \text{ ano}) \\ \widehat{T_1 T_2} - 116 \text{ dias} \end{cases} \therefore \widehat{T_1 T_2} = 114^\circ$$

O ângulo de 47° é obtido pela diferença $114^\circ - 67^\circ$, portanto, em 116 dias Mercúrio deu uma volta (360°) mais 114° (= $47^\circ + 67^\circ$), ou seja, percorreu 474° ; assim podemos determinar o período (T) de Mercúrio pela seguinte regra de três:

$$\begin{cases} T - 360^\circ \\ 116 \text{ dias} - 474^\circ \end{cases} \therefore T = 116 \text{ dias} \times \frac{360^\circ}{474^\circ} \therefore T \cong 88 \text{ dias}$$

Para Vênus o procedimento é idêntico e para os planetas exteriores (que estão além da Terra) o procedimento é um pouco diferente.

³² Nicolau Copérnico foi um astrônomo polonês nascido em Torun (hoje Thorn) às margens do Vístula, em 19 de fevereiro de 1473, e falecido em Frauenburg, em 24 de maio de 1543. Escreveu *Sobre a Revolução dos Orbes Celestes*. (Veja mais sobre Copérnico no capítulo “Biografias”).

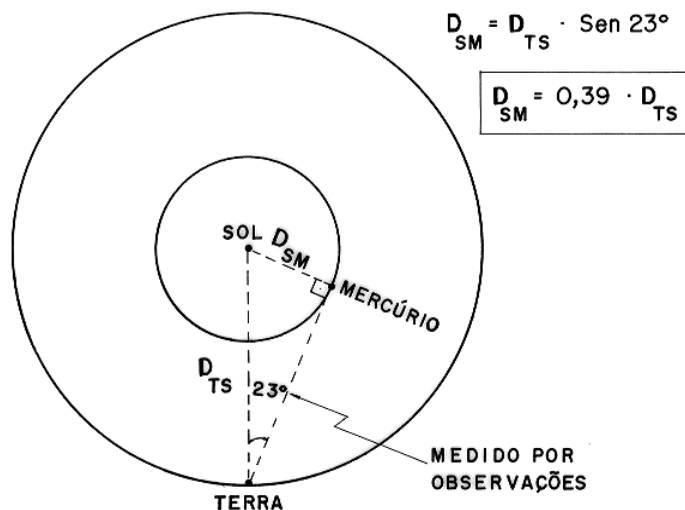


Fig. 42- Cálculo da distância Sol-Mercúrio (D_{SM}) em termos da distância Sol-Terra (D_{ST})

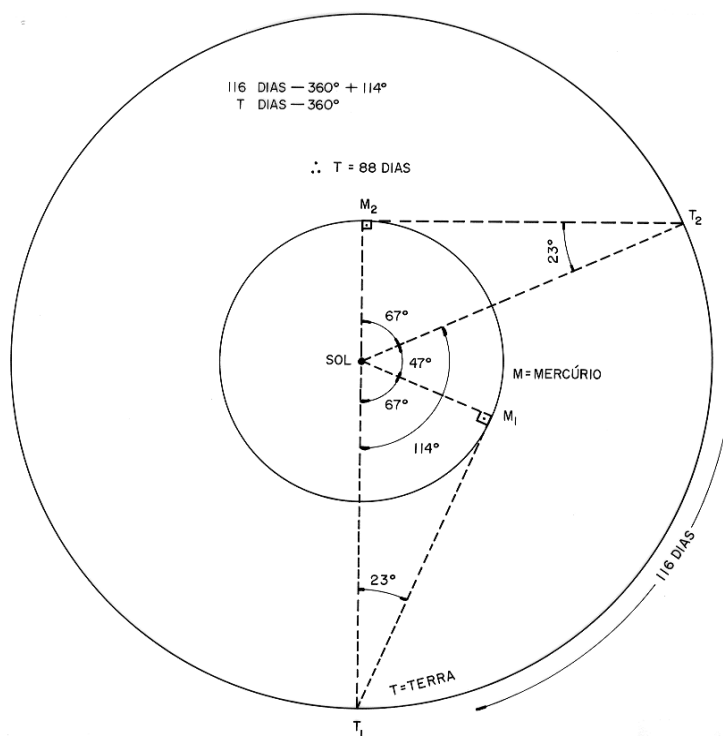


Fig. 43- Esquema para o cálculo do período orbital de Mercúrio.

A estranha laçada (loop) que os planetas externos apresentam foi muito bem explicada por Copérnico. O fato do observador estar em referencial móvel, causa as inversões do movimento. (Veja Fig. 44)

A teoria heliocêntrica conseguiu dar explicações mais naturais e simples para os fenômenos observados, porém, Copérnico não conseguiu prever as posições dos planetas com suficiente precisão e, infelizmente, ele não alcançou uma prova categórica de que a Terra estava em movimento.

Sua teoria foi violentamente atacada pela Igreja Cristã e a sua obra foi colocada no Índice dos livros proibidos pela Inquisição.

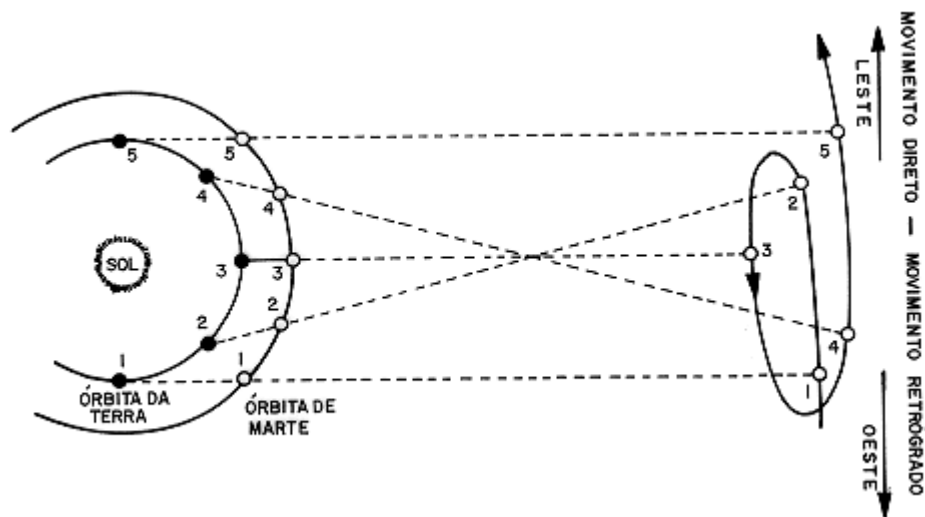


Fig. 44- Movimento aparente do planeta.

O Modelo Tychônico do Universo

Em 1546, três anos depois da morte de Copérnico, nasceu Ticho Brahe³³. De família nobre, estudou na Universidade de Copenhague Línguas e Direito. Nesta época ocorreu um eclipse previsto e isto mudou o curso de sua vida. A partir daí começou a estudar matemática e astronomia.

Ele construiu seu próprio observatório em Augsburg, Alemanha, e nele colocou os instrumentos mais sofisticados que existiam na época (ainda não havia lunetas ou telescópios). Fez observações sistemáticas do céu. Em 11/11/1572 viu uma estrela que brilhava até durante o dia - uma supernova.

O rei Frederico II, da Dinamarca, ficou tão impressionado com Brahe, que o convidou para ser matemático da corte e professor de matemática e astronomia na Universidade de Copenhagen. O rei deu para ele uma ilha, construiu um observatório - melhor do mundo - e muito dinheiro. Com todas essas facilidades, Brahe fez registros muito precisos das posições dos planetas durante anos seguidos.

Ticho Brahe observou um grande cometa e mostrou que ele estava muito além da Lua e, portanto, não era fenômeno meteorológico como pensavam.

Ticho era um tremendo mau-caráter; administrou seu observatório com mão de ferro e fez tantos inimigos que quando o rei Frederico II morreu, ele foi forçado a abandonar seu observatório-castelo.

Em 1599 ele chegou em Praga convidado pelo imperador Rodolfo II para servir como matemático da corte. Dois anos depois, Brahe morreu.

³³ Ticho Brahe foi um astrônomo dinamarquês nascido a 14 de dezembro de 1546, em Knudstemp (Schonen) e falecido a 24 de outubro de 1601 em Praga. De origem nobre, muito cedo manifestou gosto pela astronomia. A oposição de sua família fez com que se ocupasse dos astros em segredo. Sua primeira e mais importante observação foi a descoberta de uma estrela nova em novembro de 1572, na constelação de Cassiopéia, exposta no livro *Sobre a Estrela Nova*, de 1576. Nesse mesmo ano, o rei da Dinamarca, construiu o Observatório de Uraniburgo, na ilha de Hvenn (Suécia), onde Tycho observou durante vinte anos. Foi quem primeiro corrigiu suas observações de refração e redigiu um catálogo de estrelas. Em 1601, Kepler entrou para a equipe de Brahe, começando nessa época a elaboração das *Tabelas Rodolfinas* (1627). As observações do movimento do planeta Marte (dez oposições) efetuadas por brahe permitiram o estabelecimento das três leis de Kepler, que reformularam toda a astronomia.

O Modelo de Ticho Brahe

Para Brahe, a Terra era o centro do Universo, pois ele nunca observou o paralaxe de uma estrela! Assim, não aceitou o modelo de Copérnico, mas mudou o modelo de Copérnico para deixá-lo mais compatível com suas convicções.

O modelo Tichônico era uma combinação do modelo de Ptolomeu e do de Copérnico. No centro do Universo estava a Terra, imóvel; o Sol girava ao redor da Terra e os planetas, esta é a diferença, giravam ao redor do Sol. (Veja Fig. 45)

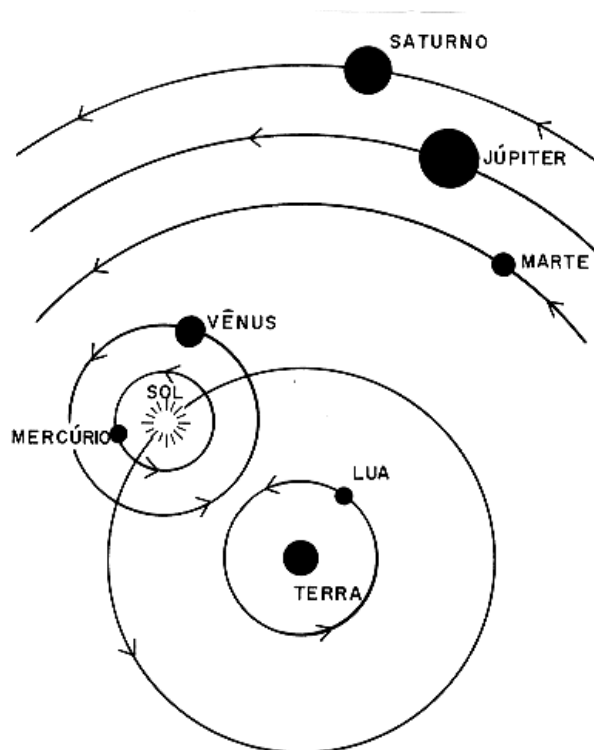


Fig.45- O sistema Tichônico, uma combinação dos sistemas Ptolomaico e Copernicano. A Lua e o Sol giram ao redor da Terra; Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno giram ao redor do Sol.

As Contribuições Astronômicas de Galileu Galilei Para a Teoria Heliocêntrica

A primeira grande contribuição à teoria heliocêntrica foi dada por Galileu³⁴, com a descoberta dos satélites de Júpiter, pois pelo menos alguma coisa não girava ao redor da

³⁴ Galileu foi um físico italiano nascido em Pisa, a 18 de fevereiro de 1564 e falecido em Arcetri a 8 de janeiro de 1642. Seu pai, o músico Vincenzo Galilei [1533 – 1591], residente em Florença, decidiu enviá-lo para a Universidade de Pisa, com a idade de 17 anos, para estudar medicina. Em Pisa, o jovem estudante apaixonou-se pelas matemáticas retornando a Florença, sem diploma, em 1585. Interessado pelos estudos dos escritos de Arquimedes, inventou uma balança romana hidrostática, assim como elaborou teoremas relativos aos centros de gravidade dos sólidos. Em 1588, ocupou-se de estudos literários sobre Dante, Tasso e Ariosto. Seus conhecimentos em matemáticas lhe valeram a indicação, em 1589, para professor em Pisa, apesar de sua oposição às idéias aristotélicas. Tal oposição lhe causou grandes dificuldades. Em consequência, em 1592 foi obrigado a deixar Pisa, por um cátedra em Pádua, onde permaneceu por 18 anos. Depois de uma breve estada em Veneza, em 1609, Galileu voltou a Florença em 1610, onde ficaria até 1631, quando se transferiu para Arcetri, onde terminaria seus dias. Foi no período vivido em Pisa que Galileu descobriu o isocronismo das oscilações do pêndulo. Publicou várias obras: “A mensagem das estrelas” [1610], “O ensaiador” [1623] “Diálogo sobre os maiores sistemas do mundo” [1632]. (Veja mais detalhes sobre Galileu no capítulo “Biografias”).

Terra, como afirmavam os Ptolomaicos. Derrubou, assim, o dogma de que somente um sistema estacionário (Terra) poderia ser o centro do Universo.

Outra grande contribuição de Galileu foi a descoberta das fases de Vênus, mostrando que as variações de brilho eram devido a uma órbita ao redor do Sol.

Galileu foi fervoroso defensor de heliocentrismo de Copérnico. Foi seu principal divulgador, tanto que caiu nas garras da Inquisição e só não foi queimado porque renegou tudo que disse e era muito bajulador.

Inúmeros livros de divulgação científica dizem que, apesar de Galileu não ter sido o inventor da luneta, tem o mérito de ter sido o primeiro a apontá-la para o céu. Isso, porém, é uma informação equivocada. O primeiro homem a apontar uma luneta para os céus foi um inglês chamado Thomas Harriot [1560 – 1621], o primeiro cartógrafo da Lua, contemporâneo de Galileu.

O Modelo Final do Sistema Solar por Johannes Kepler

Kepler³⁵ tinha inicialmente a ambição de ser pastor luterano, mas na Universidade de Tubingen, sob a influência de um professor de matemática e astronomia, abandonou a teologia e estudou astronomia. Este professor ensinou que Ptolomeu estava certo, mas Kepler preferiu o modelo de Copérnico.

Kepler publica Mysterium Cosmographicum. Manda cópias para Brahe e Galileu. Brahe o convida para ser seu assistente em 1600, em Praga, um ano antes da morte de Brahe.

A reunião de Brahe e Kepler é de grande importância para a astronomia. Brahe era ótimo observador, mas não tão bom teórico, enquanto Kepler era ótimo teórico e muito persistente em seus propósitos. Quando Brahe morreu, em 1601, seus dados observacionais - que eram muitos - ficaram à disposição de Kepler. Com estes dados, Kepler descobriu as Leis do Movimento Planetário.

Depois de mais de cinco anos de trabalho tedioso com os dados observacionais de Ticho, das posições de Marte, Kepler concluiu que a órbita de Marte era uma elipse, com o Sol num foco.

Em 1609, Kepler publicou suas duas primeiras Leis:

- 1) ***“OS PLANETAS SE MOVEM EM TRAJETÓRIAS ELÍPTICAS, ONDE O SOL OCUPA UM DOS FOCOS.”***
- 2) ***“A LINHA RETA QUE UNE O PLANETA AO SOL, VARRE SEMPRE ÁREAS IGUAIS EM TEMPOS IGUAIS.”***

Com a primeira Lei, extremamente simples, substituiu todos os ciclos e epiciclos dos modelos ptolomaico, copernicano, tichônico, etc.(Fig. 46)

³⁵ O astrônomo alemão Johannes Kepler nasceu em Wurttemberg a 27 de dezembro de 1571 e faleceu em Ratisbona a 15 de novembro de 1630. Publicou “Astronomia Nova” [1609]. Foi de sua autoria o primeiro tratado de vulgarização dos logaritmos. (Veja mais detalhes sobre Kepler no capítulo “Biografias”)

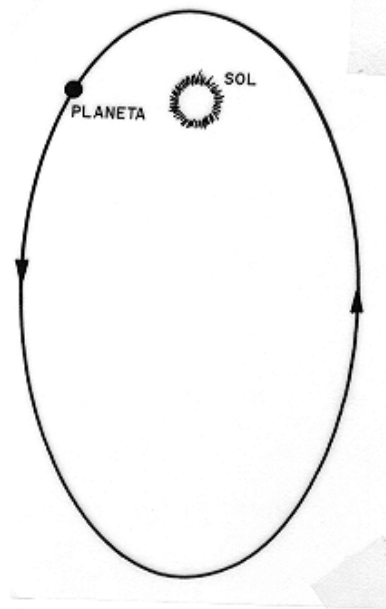


Fig. 46- Lei das órbitas. A órbita de um planeta é uma elipse, com o Sol num dos focos³⁶.

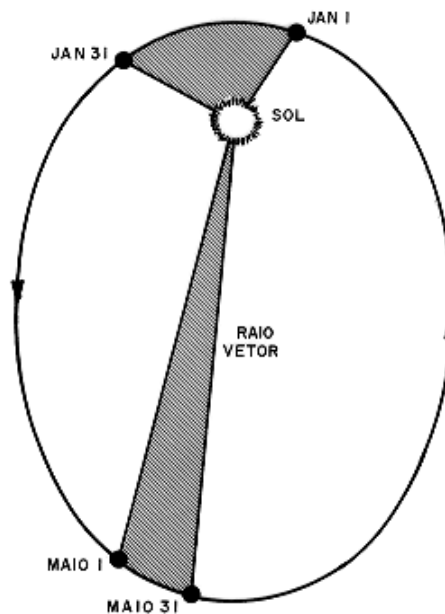


Fig. 47- Lei das áreas. O raio vetor do planeta varre áreas iguais em iguais intervalos de tempo.

Com a segunda, ele mostrou que os corpos não têm velocidades (em módulo) constantes, mais sim velocidades maiores quando próximos do Sol e velocidades menores quando mais afastados do Sol.

Através destas Leis, Kepler tira de vez a Terra do centro do Universo e tira também o Sol do centro do Universo. Não se fala mais em centro do Universo e a Terra tem que girar sobre si mesma.

Mesmo depois de publicadas estas Leis (1609), Galileu foi condenado (1633). Não havia evidência para a rotação da Terra e a Bíblia possui passagens que dizem que a Terra não gira, etc.

³⁶ Esta é uma figura esquemática sem preocupação com escala, uma vez que nenhum planeta do sistema solar possui órbita tão excêntrica (= achatada) quanto os das figuras 9a e 9b.

Dez anos mais tarde, Kepler publica sua terceira Lei (1619), num livro cheio de misticismo, do qual só se aproveita mesmo, sua terceira Lei.

Kepler conhecia os períodos e distâncias dos planetas. Em termos do período da Terra (=1 ano) e da distância da Terra ao Sol (=1 unidade) os períodos dos planetas e suas distâncias ao Sol são:

Planeta	Período (T)	Distância (D)
Mercúrio	0,24	0,39
Vênus	0,62	0,72
Terra	1,00	1,00
Marte	1,88	1,52
Júpiter	11,86	5,20
Saturno	29,46	9,54

Exercício 1: Calcule para cada planeta, a razão: $\frac{T^2}{D^3}$ Confira:

Planeta	Razão	Resultado
Mercúrio	T^2/D^3	0,97
Vênus	T^2/D^3	1,03
Terra	T^2/D^3	1,00
Marte	T^2/D^3	1,01
Júpiter	T^2/D^3	1,00
Saturno	T^2/D^3	1,00

Conclusão: $T^2/D^3 \cong 1$

TERCEIRA LEI DE KEPLER: “A RAZÃO ENTRE O QUADRADO DO PERÍODO PELO CUBO DA DISTÂNCIA MÉDIA DO PLANETA AO SOL É UMA CONSTANTE.”

$$\frac{T^2}{D^3} = K$$

Exercício 2: Sabendo-se que a distância dos planetas Urano, Netuno e Plutão ao Sol (em termos da distância Terra-Sol) são: Urano (D_U) 19,19 ; Netuno (D_N) 30,08 e Plutão (D_P) 39,46, calcule seus períodos (em unidades de anos terrestres).³⁷

Kepler disse que as trajetórias dos planetas são elipses, com o Sol num foco, mas qual é a forma da órbita (elipse) da Terra? Qual é o achatamento dessa elipse? Antes, porém, vejamos a definição de excentricidade (e) - medida do achatamento - de um elipse (Fig.48).

³⁷ Resposta: Urano : T = 84 anos terrestres, Netuno: T = 164 anos terrestres e Plutão: T = 247 anos terrestres

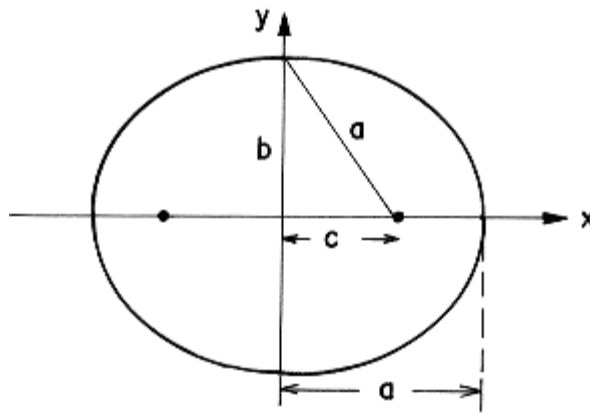


Fig. 48- a = semi-eixo maior; b = semi-eixo menor; c = distância focal; e = excentricidade

$e = \frac{c}{a}$; $a^2 = b^2 + c^2$; $b = \sqrt{a^2 - c^2}$. Assim, se $c = 0 \Rightarrow e = 0 \therefore b = a$ ou seja, temos um círculo.

Se $c = a \Rightarrow e = 1$ e $\therefore b = 0$, ou seja, temos uma linha (elipse de máximo achatamento), logo $0 \leq e \leq 1$

Exercício 3: Dados os valores da excentricidade (e) e do semi-eixo maior (a) dos planetas, calcular para cada planeta:

- a distância (c) de afastamento do Sol em relação ao centro da elipse;
- a distância (b);
- a diferença ($a - b$);
- a distância do periélio ($a - c$) (distância de menor afastamento do planeta em relação ao Sol);
- a distância do afélio ($a + c$) (distância de máximo afastamento do planeta em relação ao Sol).

Dados:

Planeta	Semi-eixo maior da órbita (km = a)	Excentricidade
Mercúrio	57.910.000	0,21
Vênus	108.210.000	0,01
Terra	149.600.000	0,02
Marte	227.900.000	0,09
Júpiter	778.300.000	0,05
Saturno	1.428.000.000	0,06
Urano	2.872.000.000	0,05
Netuno	4.498.000.000	0,01
Plutão	5.910.000.000	0,25

a) $e = c / a \Rightarrow c = e \times a$

b) $b = \sqrt{a^2 - c^2}$

c) $a - b$

d) $a - c$

e) $a + c$

a = semi-eixo maior

b = semi-eixo menor

c = $a - b$

$a - c$ = periélio (menor distância do planeta ao Sol)

$a + c$ = afélio (maior distância do planeta ao Sol)

e = excentricidade

Veja os resultados na tabela abaixo:

P	a (km)	c (km)	b (km)	(a - b) (km)	(a -c) (km)	(a + c) (km)	e
M	57.910.000	12.161.100	56.618.687	1.291.313	45.748.900	70.071.100	0,21
V	108.210.000	1.081.100	108.204.589	5.411	107.127.900	109.292.100	0,01
T	149.600.000	2.992.000	149.570.077	29.923	146.608.000	152.592.000	0,02
M	227.900.000	20.511.000	226.975.128	924.872	207.389.000	248.411.000	0,09
J	778.300.000	38.915.000	777.326.516	973.484	739.385.000	817.215.000	0,05
S	1.428.000.000	85.680.000	1.425.427.283	2.572.717	1.342.320.000	1.513.680.000	0,06
U	2.872.000.000	143.600.000	2.868.407.753	3.592.247	2.728.400.000	3.015.600.000	0,05
N	4.498.000.000	44.980.000	4.497.775.094	224.906	4.453.020.000	4.542.980.000	0,01
P	5.910.000.000	1.477.500.000	5.722.332.894	187.667.106	4.432.500.000	7.387.500.000	0,25

(P = Planeta; M = Mercúrio; V = Vênus; T = Terra; M = Marte; J = Júpiter; S = Saturno; U = Urano; N = Netuno; P = Plutão.)

Newton e a Lei da Gravitação Universal

Isaac Newton³⁸ nasceu em 1642 (um ano depois da morte de Galileu), no dia de Natal. Filho póstumo de um fazendeiro, teve de custear seus estudos trabalhando e foi graças a ajuda de um tio que conseguiu entrar em Cambridge, em 1661. Quando se bacharelou, em 1665, Isaac Barrow³⁹, seu professor de matemática, encorajou-o a permanecer em Cambridge.

Naquela época, Londres era uma cidade muito poluída e com péssimo saneamento. Num livro onde se propunha um plano para reduzir a poluição atmosférica produzida pelas fábricas, “Fulmifugium”, de John Evelyn, publicado em 1661, lê-se: “O viajante fatigado, a muitas milhas de distância, reconhece a cidade pelo olfato antes que pela vista. No verão de 1665, a peste se alastrou rapidamente por Londres, dizimando cerca de 70.000 pessoas, a sétima parte da população. Um ano mais tarde sobreveio o Grande Incêndio de Londres, que arrasou dois terços da cidade.

A peste provocou o fechamento da Universidade e Newton refugiou-se em sua fazenda de Woolsthorpe. A melhor descrição do que ele fez nesse período foi dada por ele próprio, 50 anos depois.

“No princípio de 1665, achei o método para aproximar séries e a regra para reduzir qualquer potência de um binômio a uma tal série” (binômio de Newton e série binomial). “No mesmo ano, em maio, achei o método das tangentes de Gregory e Slusius” (fórmula de interpolação de Newton) “e em novembro o método direto das fluxões” (Cálculo diferencial);

³⁸ Isaac Newton foi o mais notável cientista inglês, nascido na cidade de Woolsthorp, em 25 de dezembro de 1642 (essa data está de acordo com o calendário juliano, na época em vigor na Inglaterra. No calendário gregoriano, atualmente adotado, era na verdade o dia 4 de janeiro de 1643 quando Newton nasceu). Seu pai, um pequeno proprietário que não sabia sequer assinar o nome, havia morrido três meses antes. Enviado para uma escola de Grantham, mostrou-se de início um aluno medíocre e pouco atencioso. Após ganhar uma briga com um outro colega de turma, por acaso um bom aluno, o jovem Newton tomou a decisão de lutar pelo primeiro lugar em sua turma. Em 1660, entrou para a Universidade de Cambridge, onde encontrou o matemático Isaac Barrow, que lhe deu ótima formação em nas ciências matemáticas. Sua principal obra foi “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, na qual expôs a Lei da Gravitação e as três leis do movimento. Morreu em 20 de março de 1727 (data do calendário juliano). (Veja mais detalhes sobre Newton no capítulo “Biografias”)

³⁹ Isaac Barrow, matemático inglês nascido em Londres, em 1634, e falecido em Cambridge, a 4 de maio de 1677. Viajou pela França e Itália. Foi professor de grego em Cambridge e mais tarde de geometria no Gresham College. Em 1664 foi aceito como titular de matemática em Cambridge. Demitiu-se desse posto, depois de cinco anos, em favor do seu amigo Isaac Newton. Escreveu sobre óptica e geometria.

“no ano seguinte, em janeiro, a teoria das cores” (experiências com o prisma sobre decomposição da luz branca), “e em maio os princípios do método inverso das fluxões” (cálculo integral), “e no mesmo ano (1666) comecei a pensar na gravidade como se estendendo até a órbita da Lua, e da Lei de Kepler sobre os períodos dos planetas deduzi que as forças que mantêm os planetas em suas órbitas devem variar inversamente com os quadrados de suas distâncias aos centros em torno dos quais os descrevem: tendo então comparado a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra e encontrado que concordam bastante bem. Tudo isso foi nos dois anos da peste, 1665 e 1666, pois naqueles dias eu estava na flor da idade (23-24 anos) para invenções, e me ocupava mais da matemática e filosofia (“física”) do que em qualquer época posterior.”

A Lei da Gravitação Universal Para Órbitas Circulares

Já vimos que a excentricidade dos planetas é próxima de zero, o que faz as órbitas serem aproximadamente circulares, cujo movimento é muito mais simples de se estudar.

Para uma órbita circular, a 2ª Lei de Kepler (Lei das Áreas) implica que o movimento seja uniforme.

Todo e qualquer corpo que descreva um movimento circular e uniforme (MCU) está sob a ação de uma força centrípeta (ou radial ou central) que tem a seguinte forma:

$$F = \frac{mv^2}{R} \quad (1)$$

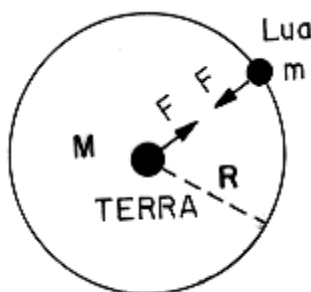


Fig. 49

Observação: o termo $\frac{mv^2}{R}$ é propriedade do MCU e, portanto, válida qualquer que seja a origem da força F . Mas, V é a velocidade do corpo sobre o círculo, a qual é obtida sabendo-se o período (T) do movimento e o raio, assim:

$$V = \frac{2\pi R}{T} \frac{(\text{circunferência})}{(\text{tempo})} \quad (2)$$

Substituindo esta expressão na anterior, obtemos:

$$F = \frac{m}{R} \times \frac{(2\pi R)^2}{T^2} = \frac{m}{R} \times \frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = 4\pi^2 \times \frac{mR}{T^2} \quad (3)$$

Mas, pela 3ª Lei de Kepler, obtivemos que:

$$\frac{T^2}{R^3} = K \therefore T^2 = KR^3 \quad (4)$$

Substituindo o T^2 na expressão anterior, obtemos:

$$F = \frac{4\pi^2 mR}{KR^3} \therefore F = \frac{4\pi^2}{K} \times \frac{m}{R^2} \quad (5)$$

Conclusões:

Pela propriedade do MCU e pela 3ª Lei de Kepler, Newton concluiu que a força entre os corpos celestes cai com o quadrado da separação entre eles e é proporcional ao produto de suas massas, pois, pela 3ª Lei de Newton (ação e reação) força da Lua sobre a Terra (no exemplo estudado) é igual à força desta sobre aquela, assim, Newton foi levado à expressão:

$$F_g = G \frac{m \cdot m'}{d^2} \text{ - Lei de Newton de gravitação (6)}$$

onde rescrevemos as constantes anteriores ($4\pi^2/K$) como sendo G , que seria então uma “constante universal”, característica da força gravitacional.

Uma vez inferida a forma da lei, vejamos o que Newton fez para testá-la.

A Lua e a Maçã

Em sua “Philosophie de Newton” (1738) o filósofo francês Voltaire⁴⁰ conta: “Um dia no ano de 1666, Newton, então em sua fazenda, vendo uma fruta cair de uma árvore, segundo me disse sua sobrinha, Mme. Conduit, começou a meditar profundamente sobre a causa que atrai todos os corpos na direção do centro da Terra”.

A história provavelmente é apócrifa, mas o próprio Newton confirma no trecho anteriormente citado, que comparou naquele ano “a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força de gravidade na superfície da Terra.”

Vamos fazer essa comparação entre a Lua e a maçã:

A força da Terra sobre a Lua é:

$$F_{TL} = \frac{GM_T M_L}{R_{TL}^2} \quad (7)$$

onde M_L = massa da Lua, M_T = massa da Terra R_{TL} = Distância Terra-Lua.

Newton, inicialmente, não conhecia o valor da constante G , logo, o teste que ele fez não deveria depender de G , isso é conseguido através de razões entre forças.

Fazendo uso da equação (3), podemos rescrever o lado esquerdo da equação (7):

$$\frac{4\pi^2 M_L R_{TL}}{T_L^2} = G \frac{M_T M_L}{R_{TL}^2} \quad (8)$$

onde T_L é o período da Lua ao redor da Terra.

⁴⁰ François Marie Arouet, dito Voltaire [1694 – 1778], escritor e filósofo francês.

A força da Terra sobre uma maçã é :

$$F_{Tm} = \frac{GM_T m_m}{R_T^2} \quad (9)$$

a qual é igual à força peso (mg) que conhecemos; logo, podemos rescrever a equação (9) assim :

$$m_m \times g = \frac{GM_T m_m}{R_T^2} \quad (10)$$

sendo que $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ é a aceleração gravitacional local .

Newton queria testar a dependência com R^2 no denominador de sua lei e não conhecia G nem a massa da Terra, então ele dividiu a equação (10) pela (8):

$$\frac{g}{4\pi^2 R_{TL}} = \frac{GM_T}{R_T^2} = \frac{(R_{TL})^2}{(R_T)^2 T_L^2}$$

$R_{TL} = 385.000 \text{ km} = 385.000.000 \text{ m}$; $R_T = 6.400 \text{ km} = 6.400.000 \text{ m}$; $T_L = 27,3 \text{ dias} = 27,3 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ seg} = 2.358.720 \text{ seg}$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Newton conhecia estes valores e se sua fórmula estivesse certa, a equação acima seria verdadeira.

$$\frac{9,8}{4\pi^2 \cdot 385.000.000} = \left(\frac{385.000.000}{6.400.000} \right)^2 \frac{1}{2.358.720^2}$$

$$3587 \approx 3816$$

Newton considerou que estes números concordavam bastante bem.

Newton realizou assim uma das mais notáveis sínteses da história da ciência, relacionando a queda dos corpos na superfície da Terra com a órbita da Lua.

Pode-se provar que a partir da Lei de Newton da Gravitação, pode-se reproduzir as três leis de Kepler.

Resta um problema ainda: como determinar o valor da constante G ?

Determinação do Valor de G

Para determinar o valor de G (constante gravitacional), é preciso medir a força de atração gravitacional entre duas massas conhecidas, o que é muito difícil no laboratório por

ser muito fraca a interação gravitacional. A primeira medida foi feita por Cavendish⁴¹ em 1798, utilizando um aparelho extremamente sensível, a balança de torção (Fig. 12).

$$\text{Sendo } F = \frac{GMm}{r^2}, G = \frac{Fr^2}{Mm}$$

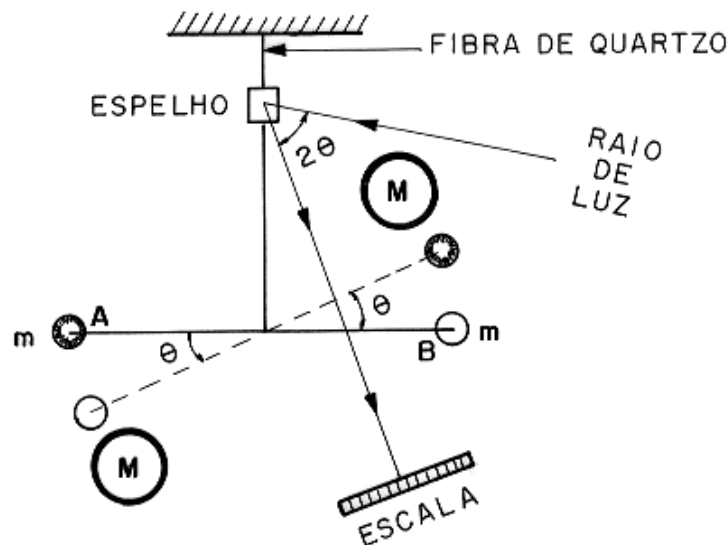


Fig. 50- Esquema de balança de torção.

Um par de esferas da massa m nas extremidades de uma barra é suspenso pelo centro da barra por uma fibra fina de quartzo numa posição de equilíbrio AB da figura. Trazem-se então duas outras esferas de massas M à mesma distância das esferas de massa m , o que produz uma rotação devido às forças gravitacionais entre cada par de esferas. Essa rotação é muito pequena, mas pode ser observada com auxílio do espelho. Conhecendo-se a constante de torção da fibra, sabe-se a força que agiu sobre ela. As massas M , m e r são medidas facilmente, assim, Cavendish obteve para G o valor $6,71 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$.

Experiências mais sofisticadas dão o valor de G atualmente aceito:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$$

“Pesando” o Sol

Sabemos que a força gravitacional entre o Sol e a Terra é: $F = \frac{GM_s m_T}{D_{TS}^2}$ mas F

causa, aproximadamente, movimento circular e uniforme (MCU), logo

$$F = \frac{m_T V_T^2}{D_{TS}} \text{ e } V_T = \frac{2\pi D_{TS}}{T}$$

Substituindo V_T em F , obtemos:

⁴¹ Henry Cavendish, físico e químico inglês nascido em Nice, em 1731 e falecido em Clapham, em 1810. Descobriu o hidrogênio e foi o primeiro a formar água por combinação com oxigênio. Usou uma balança de torção para determinar a densidade da terra.

$$F = m_T \frac{4\pi^2 D_{TS}}{T^2} = \frac{GM_S m_T}{D_{TS}^2}$$

$$\therefore \frac{T^2}{D_{TS}^3} = \frac{4\pi^2}{GM_S}$$

(Observe que acabamos de encontrar a Terceira Lei de Kepler $\frac{T^2}{R^3} = \text{constante}$).

Queremos a massa do Sol:

$$\therefore M_S = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{D_{TS}^3}{T^2} \quad (11)$$

OBS: Esta fórmula vale também para planeta, desde que ele tenha um satélite com período (T) e distância satélite-planeta (D) conhecida. Utilizando D_{TS} e T da Terra ao redor do Sol:

$D_{TS} \cong 149.000.000 \text{ km} = 149.000.000.000 \text{ m}$ é a distância Terra-Sol e

T = 1 ano é o período da Terra ao redor do Sol:

T = 1 ano = $1 \times 365,24 \times 24 \times 60 \times 60 = 31.556.736 \text{ seg}$ (transformamos o ano em segundos)

Substituindo esses valores na última fórmula:

$$M_S = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot (149.000.000.000)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} (31.556.736)^2}$$

$M_S \cong 1.960.000.000.000.000.000.000.000.000.000 \text{ kg}$ ou $M_S \cong 1,96 \times 10^{30} \text{ kg}$

O diâmetro (D_S) do Sol pode ser medido; assim sendo, podemos medir a densidade do Sol pela fórmula:

$$D_S = \frac{M_S}{V_S} = \frac{M_S}{\frac{4}{3}\pi R_S^3} = \frac{M_S}{\frac{4\pi D_S^3}{6}}$$

sendo o diâmetro do Sol $D_S = 1.390.000.000 \text{ m} = 1,39 \times 10^9 \text{ m}$

$$D_S = \frac{1,98 \cdot 10^{30}}{\frac{\pi}{6} (1,39 \cdot 10^9)^3} = 1,408 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cong 1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$D_S = 1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Atenção: Com a mesma fórmula (11) $M = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{R^3}{T^2}$ podemos determinar a massa de qualquer planeta, basta que ele tenha um satélite e seja conhecido seu período e raio médio da órbita deste satélite.

“Pesando” a Terra

Sendo peso = força gravitacional $\rightarrow mg = \frac{GM_T m}{R_T^2}$. Assim, $g = \frac{GM_T}{R_T^2}$ ou

$$M_T = \frac{gR_T^2}{G} \quad (12)$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2 \text{ (valor determinado por Cavendish)} \quad (13)$$

$$R_T = 6.378 \text{ km} = 6.378.000 \text{ M} \quad (14)$$

(Raio da Terra - Valor determinado por Eratóstenes ~ 234 a.C)

Método Para Determinar o Raio da Terra (R_T)

Eratóstenes⁴² sabia que em Siene (S), num certo dia do ano, o Sol ficava a pino (no zênite) e que no mesmo dia, em Alexandria (A), (a oitocentos mil metros de Siene) o Sol ficava a 7° (sete graus do zênite) (Fig. 14); logo, temos a seguinte regra de 3:

comprimento do círculo: $\frac{2\pi R_T}{800.000 \text{ m}} = \frac{360^\circ}{7^\circ}$

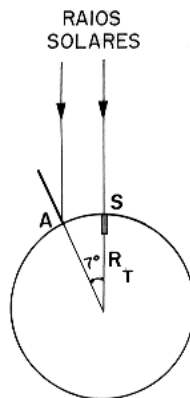


Fig. 51

$$\therefore 2\pi R_T \cdot 7^\circ = 800.000 \times 360^\circ \therefore R = \frac{800.000 \cdot 360^\circ}{2\pi \cdot 7} = 6.548.000 \text{ m ou } R_T = 6.548 \text{ km}^{43}$$

⁴² Eratóstenes, sábio grego nascido em Cirene em 276 a. C. e falecido em Alexandria em cerca de 193 a.C. Dedicou-se a vários gêneros do conhecimento: geografia, matemática, geometria, filosofia, poesia, etc.

⁴³OBS: $R_T = 6.548 \text{ km}$ é o valor obtido em 234 a.C. e $R = 6.378 \text{ km}$ é o valor moderno.

Falta determinar o g (a aceleração gravitacional local). Podemos determinar g através do movimento pendular : $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ onde T = período de oscilação do Pêndulo e L = comprimento do pêndulo $\therefore g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$

Fazendo a experiência encontraremos um valor próximo de:

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad (15)$$

Substituindo os valores (13), (14) e (15) na equação (12) encontramos a massa da Terra:

$$M_T = \frac{9,8 \times 6.378.000}{6,67 \times 10^{-11}} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

Exercício 4: Determinar a Densidade da Terra

“Pesando” Marte (e/ou qualquer planeta que tenha pelo menos um satélite natural ou artificial).

Usar equação (11): $\left[M_p = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{R^3}{T^2} \right]$, onde M_p é a massa do planeta, R é distância média do planeta ao seu satélite e T é o período deste satélite ao redor do seu planeta. Use a tabela dada. Dela obtenha o período orbital (T) do satélite Fobos e sua distância ao planeta Marte:

Da tabela:

$$T = 7,70 \text{ h} = 7,70 \times 60 \times 60 \text{ seg} = 27.720 \text{ seg}$$

$$R = 9,4 \times 10^3 \text{ km} = 9,4 \times 10^3 \times 10^3 \text{ m} = 9,4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$M_{\text{Marte}} = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{R^3}{T^2} = \frac{4(3,14)^2 (9,4 \cdot 10^6)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (27 \cdot 720)^2} = 6,39 \cdot 10^{23} \text{ kg}.$$

Assim, a massa de Marte é $6,39 \times 10^{23} \text{ kg}$.

Exercício 5: Qual a densidade de Marte ? (Veja tabela para obter o diâmetro.) Use a equação (12) para calcular o g (aceleração gravitacional) da superfície de Marte:

$$(12) \rightarrow g_M = \frac{M_M \times G}{R_M^2}$$

$$g_M = \frac{6,39 \cdot 10^{23} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11}}{(3397000)^2} = 3,69 \text{ m/s}^2$$

Exercício 6: Qual o seu peso ($p = mg$) em Marte? (lembre-se: massa é constante.)

$$M_{\text{prof}} = 82 \text{ kg}$$

$$P = 82 \times 3,69 = 302,6 \text{ N (N = Newton)}$$

Na Terra o peso deste professor é: $P_{Terra} = 82 \times 9,8 = 803,6 \text{ N}$ logo, no planeta Marte serei mais leve.

Exercício 7: Determine a massa, a densidade e a aceleração gravitacional (g) para todos os planetas do Sistema Solar. (Use tabela dada.)

Exercício 8: Calcule a constante da 3ª Lei de Kepler ($T^2 / D^3 = K$) para os satélites de Júpiter e Saturno. (Use a tabela dada.)

Exercício 9: Calcule a velocidade de um ponto da superfície da Terra (próximo do Equador) devido à rotação da própria Terra:

$$V = \frac{2\pi R_T}{T} \text{ (comprimento do círculo equatorial)}$$

$$V = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6.378\text{km}}{24\text{h}} \cong 1670 \text{ km/h !!!}$$

Exercício 8: Calcule a velocidade da Terra ao redor do Sol:

$$V = \frac{2\pi R_{TS}}{T}$$

$$V = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 149500\text{km}}{365,24 \cdot 24\text{h}} \cong 107.159 \text{ km/h !!!}$$

TABELA COM DADOS DO SISTEMA SOLAR

Astro	Descoberta	Período orbital R = retrógrado	Distância (do Sol, em milhões de km; ao planeta; em milhares de km)	Diâmetro (km)	Gravidade na superfície * (Terra = 1)	Crosta	Atmosfera
Mercúrio	Pré-história	86,00 d	57,9	4.880	0,39	poeira basáltica e rochas	não tem
Vênus	Pré-história	225,00 d	108,2	12.100	0,91	basalto o rocha granítica	CO ₂ e H ₂ SO ₄
Terra	1,00 a	149,5	12.756	1,00	água e solo granítico	N ₂ , O ₂ , H ₂ O
Lua	Pré-história	27,00 d	384,0	3.476	0,16	poeira basáltico e rochas	não tem
Marte	Pré-história	1,88 a	227,8	6.794	0,38	poeira basáltica e rochas	CO ₂
Fobos	1877	7,70 h	9,4	27x21x19	0,0009	rochas carbonadas	não tem
Deimos	1877	30,30 h	23,5	15x12x11	0,0004	rochas carbonadas	não tem
Júpiter	Pré-história	11,90 a	778,0	143.200	2,6	H ₂ líquido	H ₂ , He, NH ₃ , CH ₄
1979 J3	1980	7,10 h	126,0	40	0,002	rochas	não tem
1979 J1	1979	7,10 h	128,0	35	0,001	rochas	não tem
Amaltéia	1892	12,00 h	182,0	270x170 x155	0,009	rochas com camadas de S	não tem
1979 J 2	1980	16,20 h	223,0	75	0,003	rochas	não tem
Io	1610	1,80 d	442,0	3.640	0,180	compostos de enxofre	SO ₂ , S, Na
Europa	1610	3,60 d	671,0	3.130	0,140	H ₂ O congelado	não tem
Ganimedes	1610	7,20 d	1.071,0	5.280	0,15	H ₂ O (gelo) + pó	não tem
Calisto	1610	16,80 d	1.884,0	4.840	0,12	poeira de rocha e gelo	não tem
Leda	1974	239,00 d	11.094,0	10	0,0003	rochas carbonadas	não tem
Himália	1904	251,00 d	11.487,0	170	0,004	rochas carbonadas	não tem
Elara	1904	260,00 d	11.747,0	80	0,002	rochas carbonadas	não tem
Lisitéia	1938	264,00 d	11.861,0	25	0,0006	rochas carbonadas	não tem
Ananque	1951	(r) 1,72 a	21.250,0	20	0,0005	rochas carbonadas	não tem
Carme	1938	1,89 a	22.540,0	30	0,0008	rochas carbonadas	não tem
Pasífae	1908	(r) 2,02 a	23.510,0	35	0,0009	rochas carbonadas	não tem
Sínope	1914	(r) 2,07 a	23.670,0	30	0,0008	rochas carbonadas	não tem
Saturno	Pré-história	29,50 a	1.427,0	120.000	1,1	H ₂ líquido	H ₂ , He, NH ₃ , CH
S 15	1980	14,30 h	136,0	40x20x20	0,0008	(?)	não tem
S 14	1980	14,60 h	138,0	220	0,006	(?)	não tem
S 13	1980	15,00 h	141,0	200	0,005	(?)	não tem
S 11	1980	16,70 h	151,0	180x80	0,004	(?)	não tem
S 10	1980	16,70 h	151,0	200x180x150	0,005	(?)	não tem
Mimas	1789	22,60 h	186,0	390	0,007	H ₂ O congelado	não tem
Encelados	1789	1,40 d	238,0	500	0,008	H ₂ O congelado	não tem
Tétis	1684	1,90 d	295,0	1.050	0,015	H ₂ O congelado	não tem

S 16*	1981	1,90 d	295,0	20(?)	0,0003	(?)	não tem
S 17*	1981	1,90 d	295,0	30(?)	0,0004	(?)	não tem
Dione	1684	2,70 d	377,0	1.120	0,022	H ₂ O congelado	não tem
Dione B**	1980	2,70 d	377,0	160	0,004	H ₂ O congelado	não tem
Réia	1672	4,50 d	527,0	1.530	0,028	H ₂ O congelado	não tem
Titã	1655	15,90 d	1.222,0	5.140	0,14	NH ₃ e CH líquido e gelado	N ₂ , CH ₄
Hipérion	1848	21,30 d	1.484,0	290	0,006	(?)	não tem
Lapeto	1671	79,30 d	3.562,0	1.440	0,02	gelo e rochas	não tem
Febe	1898	(r)550,0 d	12.960,0	240	0,005	solo carbonado	não tem
Urano	1781	84,00 a	2.869,0	51.800	0,88	(?)	não tem
Miranda	1948	1,40 d	130,0	300	0,004	H ₂ O congelado	não tem
Ariel	1851	2,50 d	191,0	800	0,01	H ₂ O congelado	não tem
Umbriel	1851	4,10 d	266,0	550	0,008	H ₂ O congelado	não tem
Titânia	1787	8,70 d	436,0	1.000	0,02	H ₂ O congelado	não tem
Oberon	1787	13,50 d	583,0	900	0,01	H ₂ O congelado	não tem
Netuno	1846	164,00 a	4.497,0	49.500	1,14	(?)	H ₂ , He , CH
Tritão	1846	(r) 5,90 d	356,0	4.000	0,06	CH ₄ , gelo	CH ₄ (?)
Nereida	1949	360,00 d	5.567,0	300	0,004	CH ₄ , e gelo (?)	não tem
Plutão	1930	247,00 a	5.900,0	3.100	0,05	CH ₄ , gelo	CH ₄ (?)
Caronte	1978	6,40 d	19,0	1.300	0,02	CH ₄ , e gelo (?)	não tem

OS NOMES: QUEM SÃO ELES?

ASTRO

ETIMOLOGIA

Sol Nome latino de Helios. Filho do titã Hipérion e da titânia Téia. Esposou Perse e tiveram quatro filhos: Circe, Eetes, Pasífae e Perses. Sua principal função era trazer luz e calor à Terra. Partindo da Etiópia, percorria o céu em um carro de fogo puxado por quatro cavalos brancos que soltavam chamas pelas narinas. O Sol é representado por um jovem extremamente belo, coroado de raios luminosos e conduzindo um carro flamejante.

Mercúrio Nome latino de Hermes, uma das doze divindades do Olimpo. Filho de Júpiter e Maia, nasceu no Monte Cilene, na Arcádia. Inventou a lira e a flauta. Júpiter fez dele seu arauto. O nome deste deus foi emprestado ao planeta mais veloz do Sistema Solar. Inicialmente, Mercúrio era invocado como deus dos pastores e protetor dos rebanhos, mais tarde passou a ser invocado como deus das estradas e depois do comércio e dos ladrões. É representado como um jovem nu ou com uma túnica curta. Na cabeça, um chapéu de abas largas, adornado com asas.

Vênus Nome latino de Afrodite, deusa do amor e da beleza. Uma das doze divindades do Olimpo. Nasceu da conjugação da espuma do mar e do sêmen do Céu, que, mutilado por seu filho Saturno, alcança as águas. Logo após o seu nascimento, Vênus foi levada pelos ventos para a ilha de Cítera, ao Sul do Peloponeso, e depois para Chipre, onde as Horas conduziram-na para o Olimpo. Casou-se com Vulcano, mas o traiu com Marte, com quem teve Fobos, Deimos, Cupido e Harmonia.

Terra Nome latino de Gaia. Surgiu do Caos. Sem princípio masculino, engendrou o Céu, as Montanhas e o Mar. Mais tarde uniu-se ao seu filho Céu e teve os titãs, os ciclopes e os hecatônquiros. Com o Mar teve Nereu, Taumante, Fórcis, Ceto e Euríbia. Pouco a pouco a Terra, símbolo da fecundidade, passou a ser considerada como a mãe do Universo e dos deuses. É representada por uma mulher gigantesca, de formas pronunciadas e seios grandes.

Lua Nome latino de Selene. Filha de Hipérion e Téia, era irmã do Sol. Uniu-se a Júpiter e teve uma filha, Pândia. Foi amante de Pã e de Endimião, com quem teve 50 filhas. É representada por uma bela jovem que percorre o céu em um carro de prata, puxado por dois cavalos.

Marte Nome latino de Ares, deus da guerra. Uma das doze divindades do Olimpo. Filho de Júpiter e Juno. De caráter brutal, amante da luta e semeador de desentendimentos entre deuses e os mortais, Marte era desprezado pelos próprios olímpicos. Enquanto as outras divindades participavam das lutas, defendendo um lado ou outro, Marte golpeava ao acaso. Apresentava-se sempre acompanhado de seus filhos Fobos, Deimos e da Discórdia.

Deimos Filho de Marte e de Vênus. Personifica o terror. Fiel companheiro do pai, conduzia o carro de Belona, divindade

guerreira de origem sabina que sempre acompanhava Marte.

Fobos Filho de Marte e de Vênus. Personifica o medo, acompanhava seu pai nos campos de batalha, incitando os combatentes a fugirem.

Júpiter Nome latino de Zeus, a maior divindade do Olimpo. Filho de Saturno e Cibele. Para evitar que o pai o devorasse, como fizera com seus irmãos, sua mãe o escondeu numa gruta, em Creta. A criança foi cuidada por Amaltéia. Tratado e protegido, ele adquiriu toda sua força divina. Com o auxílio de uma droga fornecida por Métis, a Prudência, Júpiter, conseguiu que Saturno vomitasse seus irmãos, que se uniram a ele, aos hecatônquiros e aos ciclopes para atacar e destronar Saturno. Ao fim da luta, que durou dez anos, o Universo foi dividido entre Júpiter e seus dois irmãos: Netuno e Plutão. Concebido inicialmente como uma divindade do céu e dos fenômenos atmosféricos, Júpiter, aos poucos, foi adquirindo um caráter de líder dos deuses, símbolo da autoridade, da justiça e da ordem.

Adrastéia (2) Deusa da vingança, filha de Júpiter e da Necessidade. Seu nome significa “aquela a quem não se pode escapar”.

Ananke - Nome grego da Necessidade. Filha de Saturno, é irmã de Júpiter. Era a personificação da obrigação absoluta e da força constrangedora do destino. Na Filosofia, a férrea lei do destino tornou-se o modelo sobre o qual o macrocosmo do Universo e microcosmo humano devem reger seus movimentos e ações. Platão afirmava que a Necessidade tinha três filhos: o Passado, o Presente e o Futuro.

Calisto Filha de Licaão. Fez voto de castidade e passava a vida a caçar, pelas montanhas. Foi amada por Júpiter, que, para seduzi-la, tomou a forma de Apolo. Juno, esposa e irmã de Júpiter, tomada pelo ciúme, transformou-a em uma urso. Júpiter levou-a aos céus sob a forma de uma constelação: a Ursa Maior.

Carme Filha de Eubulo. Uniu-se a Júpiter e teve Britomartir.

Elara Filha de Minias, rei de Orcômeno e de Eurianassa. Júpiter amou-a e, para poupá-la dos ciúmes de Juno, escondeu-a nas profundezas da Terra.

Europa Filha de Agenor e de Telefasa. Júpiter encontrou-a em uma praia e enamorou-se dela. Metamorfoseou-se em um touro branco, que foi montado por Europa. O animal mergulhou no mar e nadou até Creta, onde Júpiter uniu-se a Europa e tiveram três filhos: Minos, Radamanto e Sarpedão.

Ganimedes Herói de Tróia, é considerado o mais belo dos mortais. Ganimedes pastoreava os rebanhos de seu pai quando foi avistado por Júpiter, que, impressionado com a beleza do rapaz,

levou-o para o Olimpo, onde alcançou a imortalidade. Sua função era servir néctar nas assembléias divinas.

- Himália*** Ninfa de Rodes, à qual Júpiter se uniu sob a forma de chuva fecundante.
- Io*** Era sacerdotisa de Juno. Levado pela grande beleza de Io, Júpiter apaixonou-se por ela, o que atraiu a ira de Juno. Para evitar a vingança da esposa, Júpiter transformou Io em uma novilha branca. Mais tarde, já no Egito, para onde fugiu, Io é cultuada com o nome de Ísis.
- Leda*** Esposa de Tíndaro, rei da Lacedemônia. Em uma única noite, Leda uniu-se ao marido e a Júpiter, que dela se aproximou sob a forma de um cisne. À noite pôs dois ovos. De um saíram Castor e Helena e, do outro, Pólux e Clitemnestra. Pólux e Helena são filhos de Júpiter. Castor e Pólux, símbolos do amor fraterno, são levados ao céu para habitar a constelação de Gêmeos, no Zodíaco.
- Lisitéia*** Obscura personagem da mitologia, foi mais uma das amantes de Júpiter.
- Pasífae*** Filha do Sol e de Perse. Casou-se com Minos, que era filho de Júpiter e Europa, tornando-se assim nora do senhor dos deuses.
- Sinope*** Filha de Marte e Egina. Foi amada por Júpiter, que jurou conceder-lhe o que desejasse.
- Saturno** Nome latino de Cronos. Filho do Céu e da Terra, é o mais jovem dos titãs. A pedido de sua mãe, castrou o pai e tomou-lhe o lugar no trono do Universo. Com a titânia Cibele, teve Júpiter, Netuno e Plutão.
- Dione*** Filha do Céu e da Terra, mãe de Vênus em algumas tradições. Em Dodona, onde tinha um culto especial, era considerada esposa de Júpiter. Era irmã de Saturno.
- Encelados*** Gigante irmão de Saturno, que lutou contra Júpiter, após a vitória do deus sobre seu pai.
- Febe*** Titânia, filha do Céu e da Terra, irmã de Saturno.
- Hipérion*** Titã, filho do Céu e da Terra, irmão de Saturno e pai do Sol, da Lua e da Aurora.
- Iapeto*** Titã, filho do Céu e da Terra. Esposou Climene, com que teve Atlas, Menécio, Prometeu e Epimeteu. Era irmã de Saturno.
- Jano*** Jano nasceu como mortal. Quando Saturno foi expulso da Grécia por Júpiter e seus irmãos, Jano o escolheu. Saturno,

agradecido, deu a seu protetor o poder de ver o passado e o futuro. Após a sua morte foi divinizado e tornou-se o deus das portas, dos caminhos, do início e do fim de todas as atividades. Muitas vezes era representado com dois rostos, um olhando para o futuro e o outro, para o passado.

- Mimas*** Líder dos gigantes que lutaram contra Júpiter, após sua vitória contra Saturno e os titãs.
- Réia*** Nome grego de Cibele. Chamada mãe dos deuses. Filha do Céu e da Terra, esposa de Saturno. Seus filhos são Júpiter, Vesta, Ceres, Juno, Plutão e Netuno.
- Tétis*** Filha do Céu e da Terra, era uma das titânias irmã de Saturno. Esposou Oceano, com quem teve 3.000 filhos: os rios da Terra.
- Titã*** Designação geral para todos os filhos do Céu e da Terra, portanto para todos os irmãos de Saturno.

Urano Nome grego do Céu. Algumas versões fazem Urano filho da Noite, outras dão-lhe a Terra como mãe. Nas versões mais correntes Urano é esposo da Terra, geradores dos titãs, ciclopes e dos hecatônquiros. Detestando os filhos, aprisionava-os nos confins da Terra. Saturno, revoltado com a constante fecundação de sua mãe, luta contra o pai e assume o trono do Universo.

- Ariel*** É um duende, o espírito do ar, na peça do teatrólogo inglês William Shakespeare (1564-1616) A Tempestade.
- Oberon*** Na peça de Shakespeare, Sonho de Uma Noite de Verão, era o rei das Fadas. Oberon é a versão inglesa de Alberico, rei dos elfos das lendas medievais suecas e escandinavas, nas quais aparece como um gnomo deformado e malicioso.
- Miranda*** Heroína da peça de Shakespeare A Tempestade. É o único nome do sistema de Urano que não é um espírito, mas um ser humano.
- Titânia*** Na peça de Shakespeare Sonho de Uma Noite de Verão, Titânia era a rainha das Fadas. Titânia foi, pela primeira vez, utilizada por Ovídio (43 a.C. - 18 d.C.) na peça Metamorfoses, como um outro nome para a deusa Diana, a caçadora.
- Umbriel*** É um espírito triste e lamuriento encontrado no poema burlesco-épico O Roubo da Madeixa de Cabelo, de Alexandre Pope (1688-1744), poeta clássico inglês. Pope cunhou esse nome baseado no termo latino Umbra, que significa sombra.

Netuno Nome latino de Poseidon. Uma das doze divindades do Olimpo, era filho de Saturno e Cibele. Na partilha do mundo, Júpiter ficou com o céu e a terra, Netuno com o reino das águas. Comandava as ondas e as tempestades, mas não tinha poder sobre os rio, que eram divindades diferentes. Vivia em um castelo debaixo d'água, percorria seus domínios em um carro puxado por cavalos brancos, empunhando um tridente.

Nereida Designação coletiva das 50 filhas de Nereu e Dóris. Habitavam o palácio do pai no fundo do mar Egeu. Anfitrite, uma das nereidas, desposou Netuno.

Tritão Filho de Netuno e Anfitrite. Acolheu os argonautas e indicou-lhes a rota certa para alcançar o Mediterrâneo.

Plutão Nome latino de Hades. Filho de Saturno e Cibele, era uma das doze divindades do Olimpo. Lutou junto com Netuno e Júpiter, contra Saturno. Por ocasião da luta pelo poder no mundo, os ciclopes deram-lhe um capacete que o tornava invisível. Na partilha do mundo coube a Plutão o reino dos mortos. Raramente interferia nos assuntos terrestres. Era invocado no sentido de se fazer cumprir as vinganças e as maldições. Plutão possuía uma faceta benéfica, pois era cultuado por propiciar o desenvolvimento das sementes e favorecia a produtividade dos campos.

Caronte Filho de Érebo e da Noite. Divindade que habitava o Hades, reino de Plutão. Sua função era transportar as almas através do Aqueronte, rio que separava os espíritos do limite do inferno. Apenas dirigia a barca, os mortos eram os remadores.

NOTAS

(1) - A grafia dos nomes relativos à mitologia greco-romana está de acordo com o “Dicionário de Mitologia Greco-Romana”, de Marisa Soares de Andrade e Maria Izabel Simões, com a consultoria do professor Angelo Ricci, e a grafia dos termos shakespearianos está de acordo com as obras “Tragédias e Comédias e Sonetos”, tradução de F. Carlos de Almeida Cunha Medeiros e Oscar Mendes.

(2) - Quando Galileu descobriu os quatro maiores satélites de Júpiter, não os batizou, o que foi feito por Simon Marius, com a concordância de Kepler. Para não homenagear personalidades vivas, acharam melhor seguir a tradição e colocar nomes mitológicos. Escolheram: Io, Calisto, Europa e Ganimedes. E todos haviam tido ligações amorosas ilícitas com Júpiter. Mais tarde, quando E. Barnard descobriu o quinto satélite, Camille Flammarion propôs o nome Amaltéia, que não tinha sido exatamente um amor ilícito do deus. Depois, mais satélites foram sendo descobertos e a União Astronômica Internacional nomeou uma comissão para batizar os satélites. A decisão foi a de encontrar nomes de personagens que tiveram ligações amorosas ilícitas com Júpiter, os mais obscuros possíveis. Assim, os satélites jovianos foram batizados. Existem outros nomes para estes mesmos satélites, mas só foram utilizados aqui os nomes da UAI. Uma norma suplementar: os satélites que têm sua revolução solar no sentido horário recebem nomes terminados por a e os que têm revolução anti-horária recebem nomes terminados por e.

BIOGRAFIAS

Nicolau Copérnico

Ano	Acontecimento
1473	Nikolas Kopperlingk nasce em Thorn (hoje Torum), aos 19 de fevereiro, filho de Nikolas e Bárbara Waczenrode. É o quarto filho do casal.
1479	Ajudado e encorajado pelo tio, cônego Lucas Waczenrode, frequenta a Escola de São João Batista.
1483/89	Morre o pai. Os quatro meninos Kopperlingk são adotados pelo tio Lucas e dispersados em vários colégios e escolas da região. Nikolas é enviado para o colégio de Wloclawek, onde se torna amigo do professor Vodka, apelidado Abstemius. Aprende a construir meridianas e a estudar o céu.
1490	Volta para a cidade de Frauenburg, onde o tio é nomeado bispo da diocese de Ermland.
1491	Frequenta a Universidade de Cracóvia, inscrevendo-se na faculdade de artes. Estuda latim e grego, mas gasta sua mesada em livros que tratam de astronomia.
1496	Deixa a Universidade de Cracóvia sem conseguir nenhum diploma. O tio tenta nomeá-lo cônego do capítulo da catedral de Frauenburg, sem conseguir. No outono parte para a Itália, onde se inscreve na Faculdade de Jurisprudência da Universidade de Bolonha.
1497	Torna-se amigo do professor Domenico Maria Novarra, com o qual realiza observações astronômicas. Durante sua ausência da Polônia, é nomeado cônego de Frauenburg.
1498	Chega para estudar em Bolonha, também, o irmão Andréia. Vida alegre e não muito recomendável dos dois.
1499	Nikolas, que já havia latinizado seu nome para Nicolau Copérnico, e o irmão Andréia, contraem uma forte dívida que o tio, depois, é obrigado a pagar.
1500	Nicolau e Andréia viajam para Roma, participando do ano do jubileu. Nicolau pronuncia uma conferência no Vaticano, na presença do próprio papa Alexandre VI e de seu filho César Bórgia. O tio consegue fazer nomear cônego também Andréia Kopperlingk.
1501	Voltam para Frauenburg, para tomar posse do canonicato. No mesmo ano voltam para a Itália, Nicolau em Pádua e Andréia em Roma. Nicolau estuda medicina.
1503	Na hora de prestar os exames, transfere-se para Ferrara, onde consegue o diploma em direito canônico.
1506	Volta para a Polônia, onde toma posse, definitivamente do canonicato de Frauenburg. Ajuda o tio nos afazeres da diocese, representando-o em cerimônias oficiais.
1511	Acompanha o tio à cerimônia do casamento do rei Sigismundo em Cracóvia. Durante a volta, o tio morre na cidade de Thorn.
1512	Passa a morar num apartamento compreendido dentro de uma torre da própria catedral de Frauenburg, organizando um observatório astronômico. O irmão Andréia volta da Itália, acometido de lepra.
1513	Escreve um pequeno resumo de sua Teoria Heliocêntrica, distribuindo o opúsculo manuscrito a alguns amigos e estudiosos. Torna-se relativamente

- famoso
- 1514 Recusa um convite do papa Leão X para viajar para Roma e lá contribuir para os estudos sobre a regulamentação de um novo calendário.
- 1515 O irmão Andréia, desesperado por sua doença, parte de Frauenburg. Nicolau constrói uma represa para levar as águas de um rio até a cidade.
- 1521 Organiza a defesa do castelo dos Ollenstein contra uma invasão dos Cavaleiros Teutônicos.
- 1522 Apresenta uma nova teoria monetária à Dieta de Graudenz. Devota-se à vida pública, conseguindo o título de Comissário do Ermland.
- 1530 Decide retirar-se em seu apartamento de Frauenburg, devotando-se unicamente ao estudo.
- 1531 É visitado por Georg Joaquim, chamado de Rético, um professor alemão.
- 1532/38 Dedicar-se à redação dos resultados de suas observações e de sua teoria.
- 1539 Rético obtém o manuscrito em empréstimo e o publica, reduzido, com o título de Narratio Prima.
- 1543 Copérnico autoriza a publicação de sua obra, chamada de De Revolutionibus Orbium Coelestium Libri VI. Morre no dia 25 de maio, logo depois de ter recebido, através de um mensageiro especial, o primeiro exemplar impresso de seu livro.

Galileu Galilei

Ano	Acontecimento
1564	Galileu nasce no dia 15 de fevereiro, na cidade de Pisa, filho de Vincenzo Galilei e Giulia Ammanati. No dia 19 do mesmo mês é batizado no primacial de Pisa.
1575	A família Galilei muda-se para Florença.
1581	No dia 5 de setembro, Galileu é matriculado pelo pai na Universidade de Pisa, e suas observações o levam à descoberta da lei do isocronismo das oscilações pendulares. Usa a descoberta para construir um aparelho para medir a frequência das pulsações do coração no homem.
1584	Estuda geometria contra a vontade do pai, recusando-se a prosseguir no estudo da medicina.
1585	Volta para Florença sem ter conseguido um diploma.
1586	Descobre a “balança hidrostática”. Viaja para Roma. Dá aulas particulares em Florença.
1589	É nomeado professor de matemática na Universidade de Pisa.
1590	Realiza algumas experiências sobre a queda dos graves, na torre inclinada de Pisa. Escreve o <u>De Motu e Theoremata Circa Centrum Gravitatis Solidorum</u> .
1591	No dia 2 de julho morre o pai de Galileu. Contrai dívidas para sustentar a mãe e os quatro irmãos.
1592	No mês de setembro viaja para Veneza, onde obtém a cátedra de matemática na Universidade de Pádua. No dia 7 de dezembro pronuncia a prolusão.
1593	Escreve a <u>Breve Instrução à Arquitetura Militar</u> , o <u>Tratado das Fortificações</u> e <u>As Mecânicas</u> . Descobre um aparelho para irrigar os terrenos áridos.
1594	Fica gravemente enfermo durante um fim-de-semana em Custoza. Lê as obras de Copérnico.
1597	Escreve o <u>Tratado da Esfera</u> . Constrói o “Compasso geométrico e militar”.
1599	Apaixona-se por Marina Gamba, com a qual passa a conviver em concubinato até 1610.

- 1600 No dia 13 de agosto nasce sua primeira filha, Virgínia.
- 1601 No dia 18 de agosto nasce sua segunda filha, Livia.
- 1604 Pronuncia três famosas conferências, renegando os ensinamentos de Aristóteles.
- 1605 No dia 17 de agosto é admitido como membro da Accademia della Crusca, em Florença.
- 1606 Publica As Operações do Compasso Geométrico e Militar. No dia 21 de agosto nasce seu terceiro filho, Vincenzo Andrea.
- 1609 Morre Ferdinando I da Toscana e o príncipe Cosimo II sucede ao grão-duque da Toscana. Galileu realiza pesquisas no céu, descobrindo as montanhas da Lua e a formação da Via Láctea.
- 1610 No dia 7 de janeiro descobre 3 satélites de Júpiter. No dia 14 de mesmo mês descobre o quarto satélite do planeta. Publica o Sidereus Nuncius anunciando suas descobertas. É nomeado pelo grão-duque Cosimo II da Toscana “matemático da corte”. No dia 25 de julho descobre os anéis de Saturno, que confunde porém, com uma estrela tríplice. Descobre também as manchas solares. No dia 1º de setembro volta definitivamente de Pádua para Florença. Descobre as fases de Vênus.
- 1611 No dia 29 de março viaja para Roma, onde é recebido pelo papa Paulo V. Em setembro briga com o cardeal Gonzaga sobre questões científicas.
- 1612 Escreve três cartas sobre as manchas solares. Em maio publica o Discorso Intorno alle Cose che Stanno sull'Acqua si Muovono.
- 1613 Em março publica a Istoria e Dimostrazioni Intorno alle Machie Solari. Em dezembro escreve uma carta à grã-duquesa Cristina de Lorena sobre a interpretação dos trechos científicos da Bíblia.
- 1615 No dia 7 de fevereiro, o padre Lorini denuncia Galileu ao Santo Ofício. No fim do ano, Galileu viaja para Roma para se defender.
- 1616 A doutrina copernicana é declarada herética pela Congregação do Índice. Galileu, porém, nada sofre; é até recebido pelo papa. No dia 4 de outubro, a filha Virgínia veste o hábito religioso, com o nome de soror Maria Celeste.
- 1617 Também a filha Livia veste o hábito religioso, com o nome de soror Angélica.
- 1619 Morre, em Pádua, Marina Gamba. Galileu reconhece Vincenzo Andrea como filho legítimo. Escreve II Saggiatore.
- 1620 No dia 10 de agosto morre Giulia Ammanati, mãe de Galileu.
- 1621 Acaba de escrever e publica II Saggiatore.
- 1622 O cardeal Maffeo Barberini é eleito papa e assume o nome de Urbano VIII.
- 1624 Galileu é nomeado membro da Academia dei Lincei, em Roma. Começa a escrever os Diálogos Sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo.
- 1629 O filho Vincenzo Andrea casa, no dia 29 de janeiro, com Sestilia Bocchineri. No dia 5 de dezembro nasce seu único neto, chamado também Galileu Galilei.
- 1630 Acaba de escrever os Diálogos. O livro sofre a censura e revisão da Congregação do Índice.
- 1632 Publica os Diálogos em Florença. No dia 25 de julho o livro é proibido pela Congregação do Índice. No dia 23 de setembro, Galileu é convocado pelo Santo Ofício em Roma. Galileu inventa desculpas de saúde para não viajar. No dia 30 de dezembro, o papa ordena sua viagem imediata a Roma e seu aprisionamento pelo Santo Ofício.
- 1633 Galileu parte para Roma “espontaneamente”, entregando-se ao Santo Ofício no dia 12 de abril. No dia 30 de abril confessa seus erros. No dia 22 de junho pronuncia a abjuração. No dia 30 de junho é autorizado a viajar para Siena. No dia 1º de dezembro, o papa lhe concede licença para se transferir para Arcetri, porto do mosteiro onde estão as filhas.

- 1634 No dia 2 de abril morre a filha Virgínia. Galileu escreve As Novas Ciências.
 1641 No mês de novembro é acometido por uma forte gripe e depois por uma pneumonia.
 1642 Morre no dia 8 de janeiro, às quatro da manhã.

Johannes Kepler

Ano	Acontecimento
1571	Johannes Kepler nasce às 14h30 do dia 27 de dezembro, setemesinho, na cidade de Welldersstadt, na região do Württemberg. O pai é soldado de profissão, a mãe filha de um taverneiro.
1575	É acometido por um ataque de varíola, que o deixa quase cego e com as mãos deformadas. Toda a sua infância é uma longa seqüência de doenças.
1576	O pai vai embora de casa, obrigando a mãe a abrir uma taverna. Johannes é confiado aos cuidados da avó.
1577	Assiste à passagem de um cometa.
1580	Assiste a um eclipse da Lua.
1583	O pai volta para casa com algum dinheiro e monta uma taverna na cidade de Ellmendinge, no Baden. Johannes é obrigado a trabalhar, a lavar pratos, a limpar o estábulo, a servir clientes. Frequentemente é castigado e maltratado.
1584	O pai é nomeado oficial do duque de Württemberg. Johannes é matriculado gratuitamente no seminário de Adelberg.
1586	Deixa o seminário de Adelberg e entra no colégio luterano de Maulbronn.
1589	Supera brilhantemente os exames, obtém o diploma e entra para a Universidade de Tubingen, para estudar matemática e teologia. Torna-se amigo do professor Michael Maestlin, o qual o convence da exatidão das teorias copernicanas sobre a constituição do universo.
1591	- Obtém o diploma de professor de matemática e astronomia. Pensa em ser tornar pastor luterano, mas não é aceito por causa de suas idéias liberais.
1594	Recomendado pelo professor Maestlin, consegue o cargo de professor de matemática e astronomia na Universidade de Gratz, na Stiria. Além de lecionar, é obrigado a redigir almanaques e a compilar calendários.
1595	Publica o primeiro calendário compilado segundo a reforma gregoriana. No dia 9 de julho, de repente, descobre que as leis que regem o universo são leis geométricas. Começa a estudar e a redigir sua primeira obra.
1596	Publica <u>Mysterium Cosmographicum</u> . O livro suscita polêmicas e ele envia duas cópias a Galileu Galilei, em Pádua, e a Tycho Brahe, em Praga. Conhece a filha de um moleiro, a rica Bárbara von Müller.
1597	Casa com Bárbara, a qual se revela, imediatamente, uma esposa colérica, irascível, impossível. Ele a define "simples de espírito e gorda de corpo".
1598	Durante o outono, é obrigado a deixar Gratz e o professorado, por causa da guerra religiosa que havia explodido na Stiria. Parte de Gratz sem um tostão no bolso, pedindo outro emprego nas várias universidades alemãs.
1599	Obtém um emprego de assistente de Tycho Brahe, em Praga. No mês de janeiro nasce e morre seu primeiro filho.
1600	Chega a Praga no mês de abril. Por sete meses, porém, fica acamado. Suas relações com Tycho Brahe são frias. O astrônomo dinamarquês, de fato, revela-se um péssimo pagador, arrogante e irascível.
1601	No dia 25 de outubro, Tycho Brahe morre de enfarte. Kepler é nomeado, pelo

- imperador Rudolph II, matemático e astrônomo da corte. O imperador, porém, não paga seus estipêndios. No verão, nasce e morre seu segundo filho.
- 1602 Para conseguir algum dinheiro, começa a fazer horóscopos. Ao mesmo tempo, prossegue seus estudos de astronomia, tentando calcular com exatidão a órbita de Marte.
- 1604 Descobre, no dia 6 de outubro, o aparecimento de uma nova estrela. Publica Astronomiae Pars Optica aut Paraliponema ad Vitellionem.
- 1605 Nasce seu terceiro filho. Completa seus estudos sobre a órbita de Marte, embora doente e acamado.
- 1606 Nasce e morre seu quarto filho.
- 1608 Faz o horóscopo ao duque Von Wallenstein, com o qual permanece, depois, em contato.
- 1609 Escreve e publica Astronomia Nova. Nasce e morre seu quinto filho. Escreve um conto de ficção científica, que não consegue muito sucesso, intitulado Sonho ou Astronomia da Lua.
- 1610 Recebe em homenagem uma cópia do livro de Galileu, Sidereus Nuncius. Não totalmente de acordo com as idéias do cientista italiano, ele escreve Dissertatio cum Nuncio Sidereo. No mês de agosto, porém, observando o céu, descobre a exatidão das teorias de Galileu, escrevendo-lhe logo em seguida e professando-se seu amigo.
- 1611 Guerra civil em Praga, entre o imperador Rudolph II e seu irmão Mathias. O imperador é derrotado. Kepler publica o Dióptrica. O único filho ainda vivo morre de varíola. No fim do ano, morre também a esposa, completamente louca. O tesouro imperial não lhe paga os estipêndios atrasados (cerca de 4 mil florins de ouro) e então Kepler deixa Praga, transferindo-se para Linz.
- 1612 É obrigado a se defender das acusações de heresia e calvinismo diante da Dieta de Regensburg. É excomungado.
- 1613 Casa novamente com uma certa Susan Reuttinger, filha de um fabricante de cofres. Sua situação financeira é péssima.
- 1614 Nasce, do segundo casamento, uma filha.
- 1615 Nasce outro filho, que morre logo em seguida.
- 1616 Nasce e morre mais um filho.
- 1617 Recusa lecionar na Universidade de Bolonha. Nasce mais um filho, que sobrevive.
- 1618 Escreve a Epitome Astronomiae Copernicanae. Nasce e morre mais um filho.
- 1619 Publica Harmonices Mundi. Nasce e morre mais um filho.
- 1620 A mãe, já velhíssima, é acusada e processada de bruxaria. Kepler viaja até Weilderstadt, onde faz o possível para defendê-la. Nesse ano, morre Regina, sua enteada, filha de Bárbara, sua primeira esposa, com seu primeiro marido. Nasce e morre mais um filho. Morre o filho que havia nascido em 1617.
- 1621 A mãe é absolvida.
- 1622 A mãe morre, aos 74 anos de idade. Situação financeira péssima. Kepler é chamado, em Linz, “filho da bruxa”.
- 1626 Foge de Linz assediada, durante a Guerra dos Trinta Anos, refugiando-se, com a família, em Ulm.
- 1627 É nomeado pelo duque de Wallenstein matemático e astrólogo da corte de Sagan, na Silésia. Também Wallenstein começa a atrasar o pagamento de estipêndios. Publica as Tabulae Rudolphinae.
- 1628 É demitido de seu cargo pelo duque de Wallenstein. Miséria.
- 1630 Viaja para Regensburg, onde espera interessar a Dieta Imperial por seu caso “contra o imperador da Boêmia”, o qual nunca mais lhe havia pago os estipêndios

atrasados. Morre, completamente só, no dia 15 de novembro, após ter vendido o cavalo por 2 florins, na tentativa de pagar um médico.

Isaac Newton

Ano	Acontecimento
1642	Isaac Newton nasce na fazenda de Woolsthorpe, perto da cidade de Colsterworth, em Lincolnshire, no dia 25 de dezembro, filho de Isaac Newton, falecido antes do seu nascimento, e Hannah Ayscough. Nasce de parto prematuro, frágil e fraco.
1645	A mãe casa-se novamente, com o pastor Barnabas Smith, deixando Isaac em Woolsthorpe, aos cuidados da avó.
1649	Freqüenta a Escola Rural de Colsterworth.
1654	É inscrito na Escola Real de Grantham, cidade a cerca de 6 milhas de Woolsthorpe. Mora na casa do farmacêutico Clark, onde conhece a enteada do mesmo, miss Storey.
1656	A mãe fica viúva pela segunda vez.
1658	A mãe chama-o de volta a Woolsthorpe, para ser ajudada na administração da fazenda. Newton interrompe os estudos oficiais.
1660	O tio, James Ayscough, convence a mãe de Newton a mandar Newton de volta à Escola Real de Grantham, para o último ano preparatório à Universidade.
1661	No dia 5 de junho entra no Trinity College de Cambridge, na qualidade de <u>subserver</u> , estudante pobre e obrigado a tarefas humildes.
1663	Descobre seu interesse para a óptica. Amizade de Newton com o professor Isaac Barrow.
1664	É promovido a <u>scholar</u> do Trinity College, estudante interno com funções de assistente. Estuda um cometa e descreve o halo da Lua.
1665	Consegue o título de bacharel. No mês de agosto refugia-se em Woolsthorpe, por causa de uma epidemia de peste que, em Londres, mata mais de 30 mil pessoas. Realiza experiências de óptica e começa a formular a Lei da Gravitação Universal, descobrindo o cálculo infinitesimal.
1666	Volta a Cambridge no dia 25 de março. Por causa da epidemia, refugia-se novamente em Woolsthorpe, a partir do dia 22 de julho. Realiza experiências de óptica, decompondo a luz através de um prisma.
1667	É eleito <u>minor fellow</u> do Trinity College.
1668	No mês de março é nomeado <u>major fellow</u> e, em julho, <u>master of arts</u> , o mais alto grau acadêmico. Constrói o primeiro telescópio de reflexão.
1669	Isaac Barrow cede-lhe sua cátedra, em sinal de respeito e apreço.
1671	Constrói o segundo telescópio, que oferece à Royal Society.
1672	É nomeado membro da Royal Society, no dia 11 de janeiro.
1677	O bispo de Tennyson oferece-lhe o cargo de diretor de Trinity College, o qual exige o estado eclesiástico. Newton recusa.
1686	Acaba a redação do <u>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</u> e entrega o manuscrito à Royal Society.
1687	A obra é publicada, constituindo-se logo em grande sucesso. Newton é indicado para representar a Universidade de Cambridge em Londres, numa disputa com o rei James II.
1688	É eleito deputado na Convenção Nacional.
1692	Um incêndio destrói o manuscrito dos resultados de suas experiências sobre

- óptica. Dá sinais de desequilíbrio mental.
- 1695 No fim do ano deixa definitivamente o ensino em Cambridge, e transfere sua residência para Londres.
- 1696 É nomeado inspetor da Casa da Moeda, por interesse de lorde Halifax, seu amigo e colega durante os anos passados em Cambridge. Estuda e realiza a reforma monetária na Inglaterra.
- 1699 Chama a Londres a sobrinha Catarina Barton, logo “protegida” por lorde Halifax. Newton é nomeado diretor da Casa da Moeda. Compra uma luxuosa residência e alcança a riqueza.
- 1703 É eleito presidente da Royal Society.
- 1704 É publicada sua obra sobre óptica, intitulada Opticks, or a Treatise of the Reflexions, Inflexions and Colours of Light.
- 1706 A rainha Ana da Inglaterra confere-lhe o título de “sir”, numa cerimônia realizada em Cambridge.
- 1707 É realizada a obra Aritmética Universal, consistente de uma súpula de suas lições de álgebra em Cambridge, durante os anos de 1673 e 1683.
- 1708/26 Faz vida calma e tranqüila, afastada dos ambientes científicos, embora permanecendo presidente da Royal Society. Dedicava seu tempo livre a redação de obras teológicas. Morre no dia 20 de março.
- 1736 É publicada postumamente sua obra Methodus Fluxionum et Seriarum Infinitarum, escrita nos anos de 1665 e 1666.

O SISTEMA SOLAR

A teoria mais aceita atualmente sugere que o Sistema Solar surgiu de uma névoa primitiva de gás e poeira há 4.600 milhões de anos. A gravidade fez com que esta névoa sofresse uma contração, num processo que durou dezenas de milhões de anos, até que a maior parte de sua massa se concentrou no centro do sistema. Devido à turbulência, o núcleo original começou a girar com velocidade cada vez maior, dando ao restante da névoa a forma de um disco.

A temperatura do centro da névoa foi aumentando à medida que ela se comprimia, até se tornar quente o suficiente para que o Sol começasse a brilhar. Enquanto isso, a periferia do disco foi-se resfriando, permitindo que a matéria se solidificasse. À medida que as partículas colidiam, elas foram se unindo, formando corpos cada vez maiores. Esses corpos são atualmente os dez planetas que giram em torno do Sol.

Esta teoria foi proposta primeiramente pelo francês Pierre Simon de Laplace [1.749 - 1.827].

Mercúrio- O mais próximo planeta do Sol, o que dificulta a sua observação, embora seja visível a olho nu quando em configuração favorável. Ambos os diâmetros (equatorial e polar) são de 4.878 quilômetros, e a translação ao redor do Sol se efetua em 88 dias, enquanto que a rotação, em 58 dias, 15 horas, 27 minutos e 42 segundos. Devido à proximidade com o Sol, as temperaturas em Mercúrio oscilam entre + 420 graus Celsius, de dia, e - 180 graus Celsius, à noite.

Mercúrio não possui atmosfera e sua superfície é repleta de crateras.

Vênus- O mais brilhante dos planetas, com órbita situada entre a de Mercúrio e a da Terra. Como é um planeta interior, apresenta fases semelhantes à da Lua, se observado com um instrumento de pequeno porte. Ao telescópio, não mostra na superfície marcas bem definidas, pois é coberto por atmosfera espessa, composta em pelo menos 95% de gás carbônico, o que acarreta em temperaturas superiores a 450 graus Celsius, em consequência do efeito estufa (mais quente, portanto que em Mercúrio).

As nuvens venusianas são formadas por gotículas de ácido sulfúrico, este extremamente corrosivo.

Em 1.993, a superfície de Vênus foi completamente mapeada pela sonda estadunidense Magellan.

Ambos os diâmetros do planeta são de 12.104 quilômetros, e os períodos de translação em torno do Sol e de rotação se completam respectivamente em 225 e 243 dias, sendo a rotação retrógrada.

Terra- O terceiro planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol. Seu diâmetro equatorial equivale a 12.756 quilômetros, enquanto que o diâmetro polar é de 12.713 quilômetros. Assim sendo, a Terra não é uma esfera perfeita. O movimento de rotação se realiza em 23 horas, 56 minutos e 4 segundos, e o movimento de translação em torno do Sol em 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 46 segundos.

Apresenta-se envolta numa massa gasosa (a atmosfera). Possui uma lua e é o único planeta do Sistema Solar onde há vida.

Marte- O quarto planeta em ordem de afastamento do Sol e o único do Sistema Solar que apresenta aspectos e características análogos aos da Terra.

Sua superfície mostra terrenos crivados de crateras, vales sinuosos onde outrora hão de ter corrido rios, campos de neve carbônica e dunas de areia.

Seu diâmetro equatorial é de 6.794 quilômetros, enquanto que o polar equivale a 6.760 quilômetros. A translação em torno do Sol se realiza em 687 dias, e a rotação em 24 horas, 37 minutos e 22 segundos.

A sua massa é 0,107 vezes a da Terra. Possui duas luas, Fobos e Deimos, ambas descobertas em 1.877 pelo astrônomo norte-americano Asaph Hall [1.829 - 1907].

Júpiter- O maior planeta do Sistema Solar, que orbita entre Marte e Saturno.

O diâmetro equatorial equivale a 142.796 quilômetros, já o polar é de 133.515 quilômetros.

Júpiter tem uma massa 318 vezes superior à da Terra, e sua rotação se efetua em menos de 10 horas (é impossível dá-la de maneira exata, pois a velocidade de rotação de Júpiter varia com a latitude, pelo fato dele se tratar de um planeta essencialmente gasoso), enquanto que a translação, ao redor do Sol, se realiza em 4.329 dias.

É visível a olho nu como uma estrela de magnitude -2,5 no momento de máximo brilho e, observado ao telescópio, apresenta a forma de um disco achatado e atravessado por faixas escuras paralelas ao equador, que delimitam entre si zonas mais claras.

No interior de tais faixas se observam marcas superficiais de formas irregulares e coloração particular; duas destas formações se distinguem das restantes: a *Mancha Vermelha*⁴⁴ e a *Perturbação Austral*⁴⁵.

Júpiter possui ainda um tênue anel e 18 luas, sendo que até agora 16 foram batizadas.

Ei-las, em ordem de afastamento do planeta: Métis, Adrastéia, Amaltéia, Tebe, Io, Europa, Ganimedes (a maior delas), Calisto, Leda, Himalaia, Elara, Lisitéia, Ananque, Carme, Pasífaa e por fim, Sinope.

Em julho de 1.994, o lado de Júpiter onde era noite foi atingido pelo cometa Shoemaker-Levy 9, o que provocou imensos clarões na noite jupiteriana. (O cometa recebeu esse nome porque foi descoberto em 1.993 pelo casal de cientistas Carolyn S. e Eugene S. Shoemaker, e por David Levy, do Observatório Monte Palomar, na Califórnia.).

Saturno- O sexto planeta do Sistema Solar pela ordem de afastamento do Sol, e o segundo em volume, com diâmetro equatorial de 120.835 quilômetros e diâmetro polar de 107.785 quilômetros, cuja densidade é 8 vezes menor que a da Terra.

Distingue-se dos demais planetas do Sistema Solar por possuir um sistema de anéis. Sua translação em torno do Sol se completa em 10.752 dias, e a rotação, na zona equatorial, em 10 horas, 14 minutos e 24 segundos. Como Júpiter, também tem uma mancha, descoberta em 3 de agosto de 1.933 pelo ator e astrônomo amador inglês William Thomson Hay [6 de dezembro de 1.888 - 18 de abril de 1.949] mas esta é branca e de duração efêmera.

Saturno possui, no mínimo, 18 luas (a maior delas chama-se Titã).

Urano- O sétimo planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol, e historicamente, o primeiro descoberto pelo homem. O astrônomo inglês William Herschel [1.738 - 1.822] foi seu descobridor, a 13 de março de 1.781, que no momento supôs tratar-se de um cometa. Cinco meses depois, o astrônomo francês Pierre Simon de Laplace [28 de março de 1.749 - 5 de março de 1.827] constatou que o “cometa”, na verdade, era um planeta.

Em boas condições de visibilidade, Urano é visível a olho desarmado, pois na oposição atinge a magnitude 5,8.

Tem um diâmetro equatorial de 51.800 quilômetros, e o polar é de 48.692 quilômetros. Seus movimentos de translação em torno do Sol e rotação se completam, respectivamente, em 30.667 dias, 9 horas, 34 minutos e 25 segundos, e em 10 horas e 42 minutos, sendo sua

⁴⁴ **Mancha Vermelha:** marca superficial rósea situada na zona temperada sul do planeta Júpiter, observada pela primeira vez em 1665 por Jean Dominique Cassini[1625-1712], astrônomo francês de origem italiana. Parece que se trata de uma massa gasosa flutuante na superfície do planeta e sua proporção equivale a mais de o dobro do tamanho da Terra.

⁴⁵ **Perturbação Austral:** marca superficial do planeta Júpiter, observada pela primeira vez em 1901, a qual se encontra nas latitudes austrais do planeta e tem um movimento de rotação superior ao dos outros objetos de mesma região.

rotação retrógrada. Descobriu-se em 1.977 que é cercado por vários anéis que lembram os de Saturno, mas são bem mais tênues.

Possui 15 luas. Ei-las, em ordem de afastamento do planeta: Cordélia, Ofélia, Bianca, Créssida, Desdêmona, Julieta, Pórcia, Rosalinda, Belinda, Puque, Miranda, Ariel, Umbriel, Titânia (a maior de todas) e Oberon.

Netuno- O oitavo planeta em ordem de afastamento do Sol e o segundo descoberto pelo homem. Foi, também, o primeiro descoberto pelo cálculo, antes de sua observação ótica. Essa descoberta deve-se ao astrônomo francês Urbain Jean Joseph de Leverrier [11 de março de 1.811 - 23 de setembro de 1.877], que previu corretamente sua existência em 1.846, utilizando-se de cálculos baseados nas irregularidades da órbita de Urano. Em 23 de setembro do mesmo ano, o astrônomo alemão Johann Gottfried Galle [1.812 - 1910] encontrou a posição do planeta, posição esta já igualmente fixada pelo estudante inglês John Couch Adams [1.819 - 1.892], que havia escrito aos astrônomos Sir George Biddle Airy [1.801 - 1.892], do Observatório de Greenwich, e James Challis [1.803 - 1.882], do Observatório de Cambridge, suas conclusões, desde setembro de 1.845, mas foi ignorado por ambos, em virtude de ser jovem e desconhecido.

A atmosfera, composta basicamente de amoníaco e metano, contém várias características marcantes, como a Grande Mancha Escura, a Pequena Mancha Escura e a Patineta.

A translação se completa em 60.140 dias, enquanto que a rotação em 15 horas e 48 minutos. Possui 8 luas, 6 delas descobertas em 1989 pela sonda Voyager 2. São elas Náíade, Talassa, Despina, Galatéia, Larissa, Proteu, Tritão (a maior delas) e Nereida.

Plutão- O nono planeta em ordem de afastamento do Sol, cujo descobrimento foi anunciado em 13 de março de 1930 por Clyde William Tombaugh [1.906-?], astrônomo norte-americano, após a série de pesquisas iniciadas pelo astrônomo Percival Lowell [1.885 - 1.916]. Tanto o diâmetro e a massa de Plutão são inferiores ao diâmetro e a massa da Lua⁴⁶. A translação em torno do Sol se realiza em 90.404 dias, enquanto que a rotação, em 6 dias, 9 horas e 18 minutos.

Em certas épocas, Plutão invade a órbita de Netuno, do qual seria uma antiga lua. Verifica-se este fato nos anos de 1.979 e 1.998. No periélio, Plutão dista 4.500 milhões de quilômetros do Sol e no afélio, 7.500 milhões de quilômetros.

Possui uma lua, Caronte, descoberta em 1.978.

⁴⁶ A massa da Lua é 0,012 vezes a da Terra, e seu diâmetro é de 3.476 quilômetros.

GLOSSÁRIO

Afélio: o ponto mais distante que um corpo atinge em sua órbita em torno do Sol. (Ver também Periélio.)

Anã branca: estrela colapsada, pequena e muito densa, que está gradualmente se resfriando.

Anã vermelha: estrela pequena com temperatura superficial baixa e a mais fraca luminosidade de todas as estrelas da seqüência principal. (Ver Estrela da seqüência principal.)

Ano: o intervalo de tempo que leva um planeta para completar uma órbita ao redor do Sol. O ano sideral é o intervalo de tempo gasto em descrever uma órbita medida usando as estrelas fixas como ponto de referência posicional. Um ano trópico é uma órbita que se mede usando, como ponto de referência, uma posição específica do Sol sobre a esfera celeste. (Ver também Esfera celeste, Órbita.)

Ano-luz: unidade de distância igual à percorrida pela luz (ou outra radiação eletromagnética) no vácuo em um ano. Um ano-luz equivale a 9,6 trilhões de km, ou 63,240 unidades astronômicas, ou 0,3066 parsecs. Um segundo-luz equivale a 299.792 km. (Ver também Unidade astronômica, Parsec.)

Apogeu: o ponto mais afastado da Terra na órbita da Lua ou de um satélite artificial ao redor da Terra.

Asteróide (pequeno planeta): um pequeno corpo rochoso orbitando o Sol, usualmente na faixa de asteróides entre Marte e Júpiter.

Atmosfera: a camada gasosa mais externa ao redor de um planeta, satélite ou estrela. Não possui fronteira exterior definida, tornando-se cada vez mais tênue até atingir o espaço.

Buraco negro: uma região do espaço ao redor de uma estrela colapsada onde a gravidade é tão intensa que nada, nem mesmo a luz, pode escapar. (Ver também Horizonte de eventos.)

Cometa: pequeno corpo de gelo orbitando o Sol em uma longa e excêntrica órbita.

Constelação: desenho formado por um grupo de estrelas no céu. As estrelas não são necessariamente associadas fisicamente, uma vez que podem estar a diferentes distâncias da Terra.

Dia: intervalo de tempo para um planeta completar uma rotação ao redor do seu eixo. Um dia sideral é o tempo decorrido para uma estrela retornar à mesma posição no céu. Um dia solar é o intervalo entre o nascer do sol e o seguinte.

Diagrama Hertzsprung-Russell: gráfico que mostra as luminosidades e os tipos espectrais (cor) das estrelas. Outros fatores, tais como as temperaturas estelares, também podem ser incluídos.

Disco de acreção: um disco de matéria espiralando ao redor de um objeto, como um buraco negro, devido à gravidade.

Eclipse: obscurecimento total ou parcial de um corpo celeste por outro. No eclipse solar, a Lua passa entre o Sol e a Terra escondendo parcial ou totalmente o Sol para uma pequena área da Terra. No eclipse lunar, a Terra está entre a Lua e o Sol, e a Lua passa através da sombra da Terra.

Eclíptica: plano no qual a Terra orbita ao redor do Sol.

Eixo de rotação: linha imaginária ao redor da qual o corpo gira. A inclinação axial é o ângulo entre o eixo de rotação e a perpendicular ao plano orbital. (Ver também Órbita.)

Esfera celeste: uma esfera imaginária sobre a qual os objetos celestes parecem colados, quando vistos da Terra. O equador celeste é marcado pela projeção do equador terrestre sobre a esfera celeste. Os pólos celestes são os pontos sobre a esfera celeste acima dos pólos norte e sul da Terra.

Espectro: uma faixa ou série de linhas de radiação eletromagnética produzida por dispersão de radiação em seus comprimentos de onda, por exemplo, as cores do arco-íris são causadas pela dispersão da luz branca que atravessa as gotículas de água existentes na atmosfera.

Estrela: bola luminosa de gás que brilha devido à energia gerada no seu interior por reações nucleares.

Estrela anã: uma estrela da seqüência principal. (Ver Estrela da seqüência principal.)

Estrela binária: um par de estrelas em que uma orbita a outra. Cerca de metade de todas as estrelas conhecidas pertencem a um grupo de duas ou mais.

Estrela da seqüência principal: estrela que cai dentro de uma faixa diagonal bem definida no diagrama Hertzsprung-Russell. Estrelas da seqüência principal produzem energia pela fusão de hidrogênio para formar hélio em seu núcleo. (Ver também Diagrama Hertzsprung-Russell.)

Estrela de nêutrons: caroço estelar que se colapsou até se tornar quase inteiramente de nêutrons. Tem uma massa entre 1,5 e 3 massas solares, mas um diâmetro muito pequeno (geralmente cerca de 10 km). As estrelas de nêutrons são detectadas como pulsares. (Ver Pulsar.)

Estrelas gigantes e supergigantes: estrelas grandes com uma alta luminosidade. As gigantes são 10 a 1.000 vezes mais brilhantes que o Sol, com um diâmetro de 10 a 100 vezes maior. As supergigantes são as maiores e mais luminosas estrelas, milhares de vezes mais brilhantes e com diâmetros superiores a 1.000 vezes o Sol.

Estrela variável: estrela cujo brilho varia.

Fases: mudança aparente na forma da lua e de alguns planetas, que depende da posição.

Galáxia: um conjunto de estrelas, gás e poeira ligados pela gravidade. As galáxias são classificadas como espirais, elípticas e irregulares, de acordo com sua forma. Elas usualmente ocorrem em grupos conhecidos como aglomerados.

Gravitação: força de atração entre os corpos, que depende de sua massa e da distância entre elas. Ela mantém os corpos de pequena massa em órbita ao redor dos de maior massa, assim como os planetas ao redor do Sol.

Grupo local de galáxias: aglomerado de pelo menos 28 galáxias ao qual nossa galáxia (a Via Láctea) pertence.

Horizonte de eventos: a fronteira de um buraco negro. A luz emitida do interior do horizonte de eventos não pode escapar; assim, é impossível observar os eventos que ocorrem em seu interior. (Ver também Buraco Negro.)

Lua: satélite natural de um planeta.

Luminosidade: o brilho de um corpo luminoso (por exemplo, estrela), definido pela energia total que irradia em um determinado momento.

Magnitude: medida do brilho de uma estrela ou de outro corpo celeste. magnitude aparente é o brilho de um objeto como é visto da Terra. Magnitude absoluta é a magnitude que um objeto teria se observado de uma distância padrão de 10 parsecs. Ver também Luminosidade.)

Meteoróide: partícula de poeira ou rocha percorrendo o espaço a alta velocidade (um meteoro (também chamado estrela cadente) é o rastro de luz visto quando um meteoróide se queima na atmosfera da Terra. Um meteorito é um meteoróide maior que entra na atmosfera e alcança a superfície da Terra. uma chuva de meteoros ocorre quando a Terra passa por uma nuvem de fragmentos no espaço.

Movimento retrógrado: movimento contrário ao deslocamento dos ponteiros de um relógio (visto de cima) de um corpo ao redor do Sol, ou de um satélite ao redor de seu planeta, ou de um planeta ao redor de seu eixo de rotação.

Nebulosa: nuvem de gás e poeira interestelares. As nebulosas são detectáveis como nebulosas de emissão, que brilham; as nebulosas de detecção, que dispersam a luz estelar, e as nebulosas escuras que obscurecem a luz das estrelas e nebulosas mais distantes.

Neutrino: partícula elementar, sem carga elétrica e quase nenhuma massa, que se desloca com a velocidade da luz. Os neutrinos muito raramente interagem com outra matéria.

Órbita: trajetória curva de um corpo no espaço, influenciado pela atração gravitacional de um corpo de maior massa. O plano orbital é o plano no qual a órbita é descrita. A inclinação orbital é o ângulo entre um plano orbital e um ângulo de referência, por exemplo, a eclíptica. O período orbital é o intervalo de tempo que um corpo leva para completar uma órbita.

Parsec: Unidade de distância igual a 3,26 anos-luz ou 206265 unidades astronômicas. (Ver também Unidade astronômica, Ano-luz.)

Periélio: ponto mais próximo ao Sol na órbita de um planeta ou outro corpo ao redor do Sol. (Ver também Afélio.)

Perigeu: ponto mais próximo à Terra na órbita da Lua ou de um satélite artificial ao redor da Terra. (Ver também Apogeu.)

Planeta: corpo relativamente grande em órbita ao redor do Sol ou de outra estrela. Os planetas brilham somente pela luz refletida do Sol.

Proto-estrela: estágio mais inicial na vida de uma estrela, quando ela começa a condensar-se em uma nebulosa, porém antes de tornar-se uma estrela de sequência principal.

Pulsar: fonte regularmente pulsante de ondas de rádio (algumas vezes de luz e outras radiações). Acredita-se que os pulsares sejam estrelas de nêutrons em rotação.

Quasar: um objeto compacto, extremamente luminoso, que aparece como uma estrela quando visto da Terra. Conhece-se pouco acerca dos quasares, mas eles são provavelmente núcleos de galáxias ativas, com um buraco negro de massa gigantesca como fonte de energia.

Radiação: ondas ou partículas emitidas por uma fonte. A radiação eletromagnética é energia deslocando-se em forma de onda, incluindo raios gama, raios x, radiação ultravioleta, luz visível, radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio. A radiação de partículas inclui partículas elementares, tais como os prótons e elétrons, no vento solar.

Satélite: corpo em órbita ao redor de um corpo principal maior. Os satélites naturais dos planetas são chamados luas. Os satélites artificiais têm sido colocados em órbita ao redor da Terra, da Lua, e de alguns outros planetas. (Ver também Lua.)

Singularidade: ponto ou região do espaço-tempo onde as leis da física não valem. A teoria prevê uma singularidade com densidade e pressão infinitas no centro de um buraco negro.

Sistema de anel: disco fino de poeira, rocha ou partículas de gelo orbitando no plano equatorial de alguns grandes planetas.

Sistema Solar: o Sol e todos os corpos que orbitam ao seu redor devido à gravidade.

Sol: estrela central do Sistema Solar. É uma estrela de sequência principal de tamanho e luminosidades médios.

Supernova: explosão catastrófica de uma estrela de grande massa no fim de sua vida, durante a qual ele pode se tornar tão brilhante como toda uma galáxia. O resto de uma supernova é a nuvem em expansão deixada por ela.

Teoria do bigue-bangue: teoria segundo a qual o universo começou quando o espaço, o tempo e a matéria vieram à existência em uma gigantesca explosão (a Grande Explosão) entre 10 e 20 bilhões de anos atrás.

Unidade astronômica (UA): unidade de distância igual à distância média entre a Terra e o Sol: 149.597.870 km.

Via Láctea: a faixa tênue de luz que atravessa o céu noturno proveniente de uma multiplicidade de estrelas em nossa galáxia.

BIBLIOGRAFIA

1. Anuário Astronômico - Instituto Astronômico e Geofísico - USP, 1986.
2. Astronomia e Astrofísica, Editor W. J. Maciel, IAG - USP.
3. Astronomy for the Inquiring Mind, Eric M. Rogers.
4. Coleção: Os homens que mudaram a humanidade; Volumes: Galileu Galilei, Isaac Newton, Johannes Kepler e Nicolau Copérnico; Editora Três.
5. Comédias e Sonetos, Willian Shakespeare, Abril Cultural, São Paulo, 1978.
6. Conceitos de Astronomia, R. Boczko, Editora Edgard Blücher Ltda.
7. Curso de Física Básica - Mecânica 1, H. Moysés Nussenzveig.
8. Dicionário de Mitologia Greco-Romana, Marisa Soares Andrade e Maria Izabel, Abril Cultural, São Paulo, 1973.
10. Física Básica - Mecânica 1, Pierre Lucie.
11. Gravitação, PEF - Projeto de Ensino de Física do Instituto de Física da USP.
12. Introdução à Astronomia do Sistema Solar; Airton L.L. Câmara, Editora Brasiliense S.A..
13. Introduction to Astronomy C. Payne - Gaposchkin and K. Haramundanis.
14. Introductory Astronomy, Nicholas A. Pananides.
15. Laboratório Básico Polivalente de Ciências (p/1º grau-Manual do Prof.)
16. FUNBEC - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento de Ensino de Ciências.
17. Céu, Rodolfo Caniato.
18. Pictorial Astronomy, Dinsmore Alter e Clarence H. Cleminshaw.
19. Planets, Stars and Galaxies, Stuart J. Englis.
20. Tragédias, Willian Shakespeare, Abril Cultural, São Paulo, 1978.

ÍNDICE REMISSIVO

- afélio, 8, 122, 123
Almagesto, 89
Amaltéia, 107, 110, 113
anã branca, 122
anã vermelha, 122
ano, 122
ano-luz, 122, 123
apogeu, 122, 123
Apolo, 110
Ariel, 108, 112
Aristóteles, 86, 116
asteróide, 122
astronomia, 9, 89, 92, 94, 114, 117, 118
Astronomia Nova, 94, 118
astrônomo, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 94, 117
atmosfera, 122, 123
átomos, 80
- balança hidrostática, 115
Barrow, 98, 119
bigue-banguê, 123
Brahe, 92, 93, 94, 117
buraco negro, 122
bússola, 59
- Carme, 107, 110
Caronte, 108, 113
círculo, 86, 88, 97, 99, 104, 106
Climene, 111
cometa, 122
constelação, 122
Copérnico, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 114, 115, 121
- Deimos, 107, 109
dia, 85, 87, 92, 98, 100, 104, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122
Diagrama Hertzsprung-Russell, 122
Dione, 108, 111
disco de acreção, 122
- eclipse, 40, 122
eclíptica, 122
eixo de rotação, 122
Elara, 107, 110
elementos, 61
elétrons, 80, 123
Encelados, 107, 111
epiciclos, 88, 89, 90, 94
Epimeteu, 111
Epitome Astronomiae Copernicanae, 118
Equador, 106
esfera celeste, 122
esferas, 85, 86, 102
espaço, 30, 122, 123
espectro, 122
estrela, 22, 92, 93, 116, 118, 122
- estrela cadente, 123
Eudóxio, 86
Europa, 89, 90, 107, 110, 111, 113
- fases, 53, 122
Febe, 108, 111
física, 123
Fobos, 105, 107, 109, 110
Frederico II, 92
- galáxia, 122
Galileu, 93, 94, 95, 98, 113, 115, 116, 117, 118, 121
Ganimedes, 107, 110, 113
gravitação, 123
Gregory, 98
- Harriot, 94
Helena, 111
hélio, 61, 122
hidrogênio, 61, 122
Himália, 107, 111
Hiparco, 88
Hipérion, 108, 109, 111
horóscopos, 118
- Iapeto, 113
Io, 107, 111, 113
- Jano, 111
Juno, 109, 110, 111, 112
Júpiter, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 29, 64, 69, 71, 90, 93, 96, 97, 98, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 116, 122
- Kepler, 94, 95, 96, 99, 100, 103, 106, 113, 117, 118, 121
- Lacedemônia, 111
Leda, 107, 111
lentes, 10
leste, 32, 35, 39, 52, 56, 59
Lisitéia, 107, 111
Lua, 10, 12, 15, 19, 27, 29, 30, 38, 39, 40, 41, 42, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 85, 86, 87, 90, 92, 93, 94, 99, 100, 101, 107, 109, 111, 116, 117, 118, 119, 122, 123
luneta, 9
- maçã, 100, 101
magnitude, 8, 123
maré, 40
Marius, 113
Marte, 8, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 29, 30, 64, 69, 71, 122
massa, 11, 29, 40, 122, 123
matéria, 122, 123

Menécio, 111
 Mercúrio, 8, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 29, 30, 62, 64, 69, 71, 88, 90, 91, 93, 96, 97, 98, 107, 109
 meteoro, 123
 meteoróide, 123
 Miranda, 108, 112
 monóculo, 9

nebulosa, 123
 Netuno, 8, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 29, 64, 69, 71, 96, 97, 98, 108, 110, 111, 112, 113
 neutrino, 123
 Newton, 98, 100, 101, 105, 119, 120, 121
 noite, 85, 87, 111, 113

Oberon, 108, 112
 oeste, 35, 39, 51, 52, 56, 59
 órbita, 90, 94, 96, 97, 99, 100, 101, 103, 118, 122, 123
 Ovídio, 112

Parmênides, 85
 parsecs, 122, 123
 Pasífae, 107, 109, 111
 periélio, 8, 122, 123
 Pitágoras, 85
 planeta, 17, 18, 22, 42, 47, 61, 63, 67, 68, 69, 71, 86, 88, 90, 92, 95, 96, 97, 98, 103, 105, 107, 109, 116, 122, 123
 planetas, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 29, 30, 34, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 122, 123
 Platão, 85, 86, 110
 Plutão, 96, 97, 98, 108, 110, 111, 112, 113
 Pólux, 111
 Pope, 112
 prisma, 61, 62
 Prometeu, 111
 proto-estrela, 123
 Ptolomeu, 88, 89, 90, 93, 94
 pulsar, 122, 123

quasar, 123

Réia, 108, 112
 relógio de sol, 56, 59, 60
 Rodolfo II, 92

rotação, 8, 18, 19, 34, 36, 42, 44, 46, 47, 53, 71, 72, 77, 122, 123

satélite, 122, 123
 Saturno, 8, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 29, 64, 69, 71, 90, 93, 96, 97, 98, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 116
 Shakespeare, 112, 121
 singularidade, 123
 Sinope, 111
 Sistema Solar, 8
 Sobre a Revolução dos Corpos Celestes, 90
 Sol, 8, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 77, 78, 79, 122, 123, 124
 supernova, 123

telescópio, 9, 10, 15
 temperaturas, 44, 122
 teoria, 10, 70, 123
 Terra, 8, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 27, 29, 30, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 64, 69, 71, 77, 78, 79, 85, 87, 88, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 122, 123, 124
 Tétis, 107, 112
 Titã, 108, 111, 112
 Titânia, 108, 111, 112
 translação, 18, 19, 42, 44, 46, 47, 48, 53, 54, 67, 69
 tripé, 13

União Astronômica Internacional, 113
 Universo, 85, 87, 88, 90, 92, 93, 94, 95, 109, 110, 111, 112
 Urano, 96, 97, 98, 108, 112
 Ursa Maior, 85, 110

Vênus, 8, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 29, 30, 64, 69, 71, 88, 90, 93, 94, 96, 97, 98, 107, 109, 110, 111, 116
 Via Láctea, 123, 124
 Voltaire, 100

Wallenstein, 118