

1. Introdução

A maioria dos povos de que se tem notícia fez observações astronômicas sistemáticas e muitos deles deixaram registros. Os chineses, os mesopotâmicos e os gregos, por exemplo, registraram fenômenos observados no céu há pelo menos 4 000 a.C. Eles sabiam prever eclipses por meio de observatórios rudimentares feitos com rochas e diferenciar as estrelas dos planetas, por causa da mudança de posição dos planetas em relação a elas.

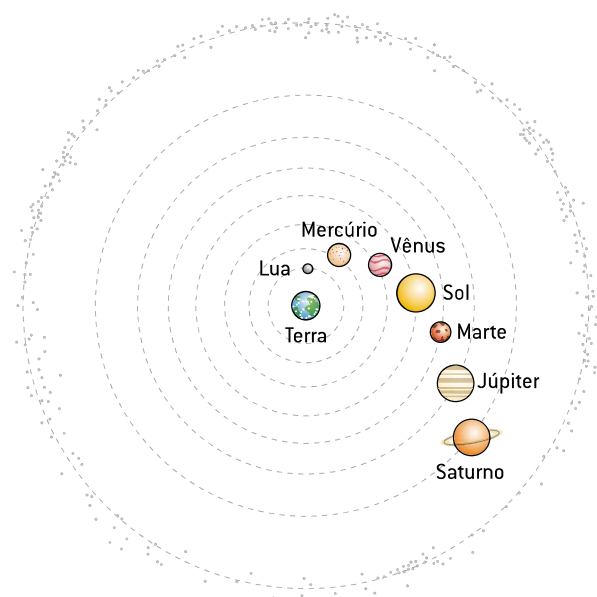
Com o desenvolvimento da agricultura, os filósofos antigos necessitaram desenvolver calendários para o cultivo e a colheita dos alimentos. Isso os levou a perceber a duração do ano e de suas quatro estações. Com isso, podiam prever épocas de chuvas, fazendo adequadamente os calendários para o plantio e a colheita dos alimentos.

Coube aos povos da Mesopotâmia, cerca de 4 000 a.C., estabelecer que o dia dura 12 horas e a noite dura 12 horas. Cada hora foi dividida em 60 minutos e cada minuto foi dividido em 60 segundos. Foram também os povos da Mesopotâmia que notaram a presença de astros errantes no céu, ou seja, corpos celestes que mudavam de posição com o decorrer do tempo em relação aos astros fixos (estrelas). Hoje sabemos que esses astros errantes são os planetas. Naquela época eram conhecidos cinco astros errantes (os que eram visíveis a olho nu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) e, obviamente, a Lua e o Sol. Esses astros errantes eram considerados deuses. Criaram, então, a semana de sete dias, em que cada dia era dedicado a um deus, conforme a tabela a seguir.

	Sol	Lua	Marte	Mercúrio	Júpiter	Vênus	Saturno
Português	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Inglês	Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
Italiano	Domenica	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato
Espanhol	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado

2. Breve histórico dos modelos cosmológicos

Os gregos tiveram bastante sucesso na construção de modelos cosmológicos para descrever e explicar suas observações sobre os astros. Aristóteles criou um modelo em que a Terra ficaria totalmente imóvel no centro do Universo, enquanto os outros astros descreveriam trajetórias circulares concêntricas ao seu redor. Esse modelo ficou conhecido como **geocêntrico**, já que *geo* significa "Terra" em grego. Por concordar com as concepções religiosas da época e por ser calcado na simples observação do céu, esse modelo foi muito pouco questionado.



O modelo geocêntrico propunha a seguinte ordem dos astros conhecidos na época: Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno e por fim as estrelas fixas. Essas estrelas também eram conhecidas por *primum mobile* ou "primeiro motor", já que se acreditava que eram elas as responsáveis pelos movimentos de todo o sistema. Após as estrelas fixas, não haveria movimento, nem espaço, nem tempo.

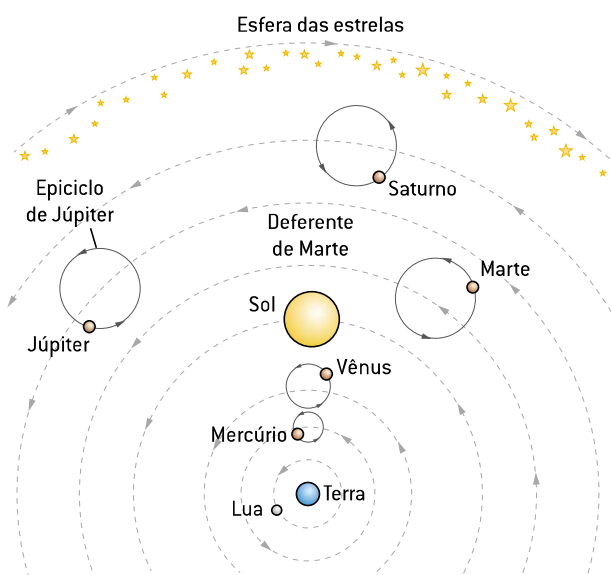
A. O sistema de Ptolomeu

Apesar de o modelo geocêntrico de Aristóteles ser muito bem aceito, ele não podia explicar algumas observações feitas na época. Segundo essas observações, os astrônomos perceberam que as trajetórias dos planetas não eram perfeitamente circulares: alguns momentos, os planetas pareciam retroceder, como se executassem pequenas laçadas, e depois voltavam à sua órbita circular.

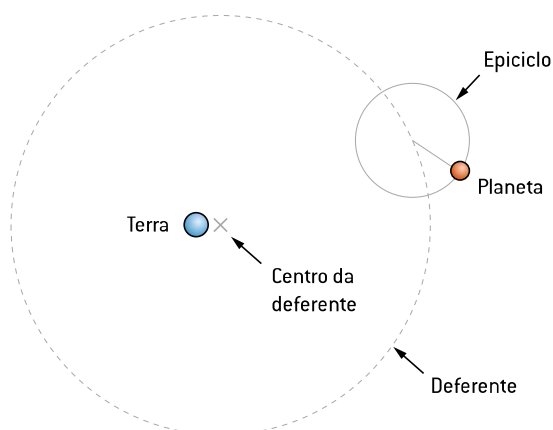


Essa imagem, uma composição de fotos espaçadas de 5 a 7 dias – do final de outubro de 2011 (na parte superior direita) até o começo de julho de 2012 (na parte inferior esquerda), traça o movimento retrógrado do avermelhado planeta Marte no céu noturno da Terra.

Isso intrigou o astrônomo Cláudio Ptolomeu, que escreveu um tratado sobre astronomia conhecido como *Almagesto*, no qual ele aperfeiçoou o modelo de Aristóteles, deslocando a Terra do centro do sistema e acrescentando o conceito de **epiciclos**. Segundo ele, os planetas descreveriam órbitas circulares em torno de pontos centrais, os quais circundavam a Terra em órbitas chamadas de **deferentes**.



Modelo de Ptolomeu, no qual podemos ver os epiciclos acrescentados ao modelo de Aristóteles.



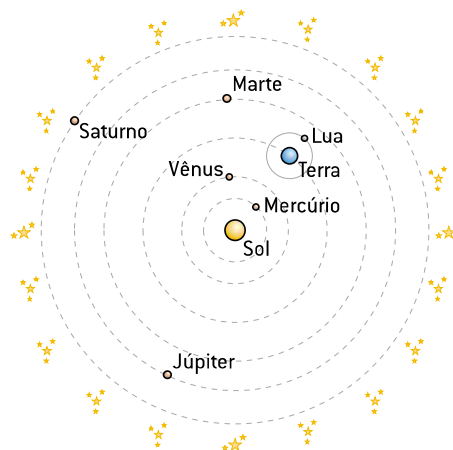
Essa ilustração mostra com mais detalhe as contribuições de Ptolomeu. Veja que a Terra fica um pouco deslocada do centro da deferente.

Com essas modificações, o problema do movimento retrógrado dos planetas estava resolvido; originavam-se, porém, cálculos muito complicados, restringindo esse modelo a poucos estudiosos.

B. O sistema de Copérnico

Ao estudar o *Almagesto*, Nicolau Copérnico interessou-se pelos modelos cosmológicos e seus estudos o levaram a conhecer os trabalhos de Aristarco de Samos (310-230 a.C.). Ele defendia a ideia de que o Sol seria muito maior que a Terra e a Lua e, portanto, deveria ficar no centro do Universo, o que o ajudava a explicar também os eclipses. Para explicar o dia e a noite, Copérnico dizia que a Terra girava uma vez por dia em torno de seu próprio eixo.

Com seus estudos, Copérnico propôs um modelo heliocêntrico (*Hélios* significa **Sol** em grego), em que o Sol estaria imóvel no centro e todos os outros planetas, incluindo a Terra, girariam em órbitas circulares em torno dele. Copérnico costumava argumentar: “No meio de tudo reside o Sol. Quem na verdade, neste belíssimo tempo, colocaria a tocha em qualquer outro lugar ou em lugar melhor do que naquele onde possa iluminar o todo ao mesmo tempo?”



Modelo heliocêntrico de Copérnico. Note que a Lua gira em torno da Terra, o que facilita a explicação dos eclipses.

Apesar de o modelo de Copérnico não ser tão preciso nos resultados, se comparado ao de Ptolomeu, seus cálculos eram muito mais simples, o que popularizou seu uso. Em relação ao sistema heliocêntrico defendido por Copérnico, pouca coisa mudou atualmente. Sabemos que o Sol não está no centro do Universo. Ele é apenas mais uma estrela, assim como as demais que estão na nossa e nas outras galáxias.

Após Copérnico, a astronomia ganhou um notável defensor da teoria heliocêntrica: Galileu Galilei (1564-1642). Ao aperfeiçoar a luneta criada por Hans Lippershey (1570-1619), Galileu pôde observar o céu com mais detalhes, descobrindo, por exemplo, as luas de Júpiter. Foi observando os eclipses dessas luas que Galileu brilhantemente concluiu que o modelo heliocêntrico estava correto.



É importante notar que, até esse momento, a Igreja Católica não se opunha ao heliocentrismo. Isso começou a ocorrer quando alguns adeptos desse modelo, como Giordano Bruno (1548-1600), usaram essa teoria para criticar a filosofia escolástica da Igreja. Segundo Bruno, o Universo seria infinito e composto de muitos sóis; assim, cada estrela que vemos no céu representa um sol que poderia conter um sistema de planetas, os quais poderiam abrigar vidas, como acontece com o nosso planeta. A partir daí, os adeptos do heliocentrismo sofreram muita perseguição por parte da Inquisição e, em 1600, Bruno foi condenado à morte e acabou sendo queimado vivo. Em 1663, Galileu foi condenado à prisão domiciliar até o fim de sua vida.

3. Medidas astronômicas

Estamos acostumados a medir distâncias entre dois pontos aqui na Terra. Essas distâncias variam de milímetros até quilômetros. Para os astros, essas unidades de medida são inviáveis, pois a distância entre duas galáxias pode ser tão grande que a luz, com velocidade de 300 000 km/s, leva bilhões de anos para percorrê-la. Para isso, criaram-se na astronomia algumas unidades de medida mais adequadas.

A. Unidade astronômica (UA)

A distância média da Terra ao Sol é de $149,6 \cdot 10^6$ km. Essa distância passou a ser denominada **unidade astronômica**, assim a distância média da Terra ao Sol é de 1 UA. O planeta Marte, por exemplo, dista do Sol $227,9 \cdot 10^6$ km, que corresponde à distância de 1,523 UA.

$$1 \text{ UA} \approx 1,5 \cdot 10^8 \text{ km} \quad \text{ou} \quad 1 \text{ UA} \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

B. Ano-luz

Chamamos de **ano-luz** a **distância** no vácuo que a luz percorre em 1 ano. Apesar de aparecer o termo “ano” nessa unidade, ela corresponde à medida de distância e não de tempo.

Cálculo do ano-luz

Como já vimos ao estudar ondulatória, a velocidade da luz no vácuo é constante, de aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s, assim:

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 1 \text{ ano} = 365 \text{ dias}$$

$$\Delta t = 365 \cdot 24 \text{ h} = 8\,760 \text{ h}$$

$$\Delta t = 8\,760 \cdot 3\,600 \text{ s} = 31\,536\,000 \text{ s}$$

$$d = v \cdot \Delta t = 3 \cdot 10^8 \cdot 31\,536\,000$$

$$d \approx 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m} \quad \text{ou} \quad d \approx 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

A estrela mais próxima da Terra, exceto o Sol, é a Próxima Centauri, da constelação de Centauro, que dista 4,2 anos-luz de nosso planeta. Então, a luz percorre essa distância em 4,2 anos, que em metros será:

$$4,2 \cdot 9,5 \cdot 10^{15} \approx 4 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

APRENDER SEMPRE

25

01.

A galáxia de Andrômeda dista 2,5 milhões de anos-luz da Terra. Expresse essa distância em quilômetros. Se, em uma situação hipotética, uma nave espacial realizasse essa viagem com a velocidade da luz, quantos anos demoraria a viagem de ida e volta?

Resolução

$$d = 2,5 \text{ milhões de anos-luz} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ anos-luz}$$

$$d = 2,5 \cdot 10^6 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

$$d = 2,4 \cdot 10^{19} \text{ km}$$

A viagem da nave espacial demoraria 2,5 milhões de anos na ida e 2,5 milhões de anos na volta, portanto a duração dessa viagem seria:

$$\Delta t = 5 \text{ milhões de anos}$$

02.

A distância média de Plutão ao Sol é de 5 910 000 000 km e a distância média da Terra ao Sol é 150 000 000 km. Calcule a distância média de Plutão ao Sol em unidades astronômicas.

Resolução

$$d = \frac{5\,910\,000\,000}{150\,000\,000}$$

$$d = 39,4 \text{ UA}$$

4. Estrelas

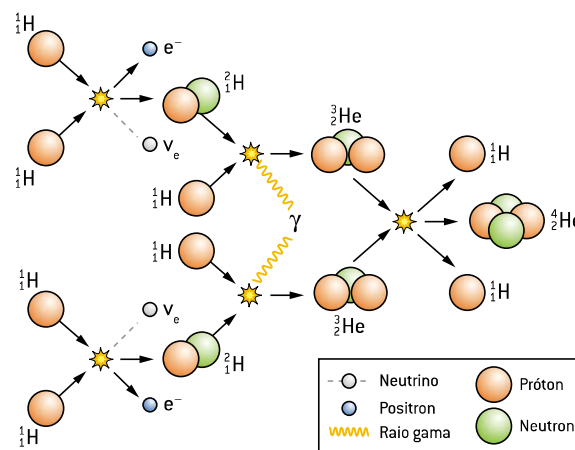
Com o passar de milhões ou bilhões de anos, a matéria presente em uma dada região do espaço começa a juntar-se sob a ação da atração gravitacional, fazendo que os gases, principalmente o hidrogênio, concentrem-se, formando um corpo. Se a massa desse corpo for aproximadamente 81 vezes a massa de Júpiter, ele se tornará uma estrela. Júpiter é um planeta gasoso e só não se tornou uma estrela porque não tem massa suficiente para isso.

No momento em que a quantidade de gases é suficiente para elevar a pressão e a temperatura no centro da estrela, inicia-se, então, a fusão de núcleos atômicos, formando elementos cada vez mais pesados. Nessa fusão nuclear, parte da massa dos núcleos é convertida em energia, a qual é emitida para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas, incluindo-se a luz.

No interior de uma estrela, ocorrem vários tipos de reação nuclear, conforme sua massa e composição. No interior do Sol, por exemplo, com o seu núcleo à temperatura de 15 milhões de graus Celsius, ocorre a fusão de quatro núcleos de hidrogênio (prótons), formando um núcleo de hélio, em uma reação nuclear chamada de cadeia próton-próton.

A reação começa com 2 pares de núcleos de ${}^1_1\text{H}$ fundindo-se e originando 2 núcleos de deutério ${}^2_1\text{H}$, liberando 2 pósitrons e 2 neutrinos. Em seguida, cada núcleo de deutério funde-se com outro núcleo de ${}^1_1\text{H}$, originando 2 núcleos de He-3 (${}^3_2\text{He}$) e 2 raios gama (γ). Finalmente, os 2 núcleos assim formados fundem-se, originando um núcleo de He-4 (${}^4_2\text{He}$) e mais 2 núcleos de ${}^1_1\text{H}$.

Os raios gama produzidos nessa cadeia são, em grande parte, responsáveis pela radiação eletromagnética observada do Sol.



- **Pósitron:** antipartícula do elétron (partícula semelhante ao elétron, porém com carga elétrica positiva).
- **Neutrino:** partícula neutra de massa extremamente pequena.
- **Deutério:** hidrogênio pesado; apresenta 1 próton e 1 nêutron em seu núcleo.
- **Raio gama:** radiação eletromagnética de alta energia.

Nessa reação nuclear próton-próton, a cada segundo 600 milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em 596 milhões de toneladas de hélio. Essa diferença de massa (4 milhões de toneladas) é convertida em energia. A equação

que determina a energia obtida em função da diferença de massa é uma das equações mais famosas da Física.

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

Em que:

- E é a energia obtida na reação nuclear;
- Δm é a diferença entre as massas antes e após a reação nuclear;
- c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s).

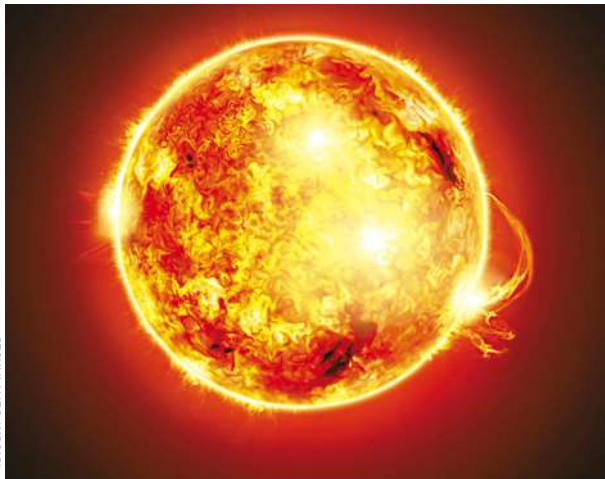
No capítulo 20 do setor 221, essa fórmula será mais bem explorada.

A. O Sol

A vida na Terra está ligada ao Sol. Sem a energia emitida por essa estrela, não haveria vida vegetal nem animal no nosso planeta. Além de o Sol ser a nossa principal fonte de energia, esta pode ser aproveitada de forma limpa, por exemplo com aquecedores solares, já utilizados em muitas residências, e com células fotovoltaicas, dispositivos que transformam energia solar em energia elétrica. Algumas residências já utilizam células fotovoltaicas.

Estima-se que o Sol exista há cerca de 4,6 bilhões de anos e ele deverá existir por mais 4,5 bilhões de anos, assim ele tem combustível nuclear para mais 4,5 bilhões de anos.

A temperatura do Sol começa em 5 500 °C nas camadas mais externas e chega a 15 milhões de graus Celsius no centro. A pressão gasosa no centro do Sol chega a 250 milhões de atmosferas.



Detalhe do Sol e as explosões solares

Dados do Sol

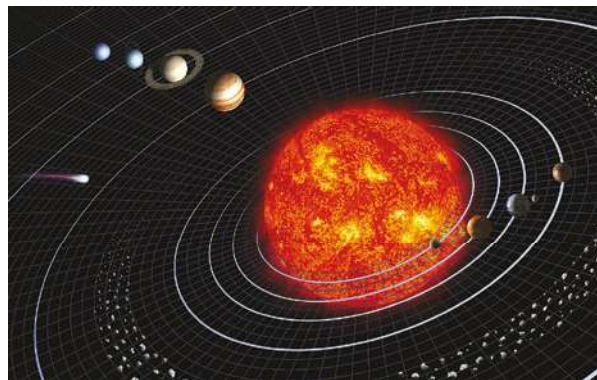
- Massa $\rightarrow 1,99 \cdot 10^{30}$ kg
- Densidade $\rightarrow 1,41$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 274$ m/s²
- Raio equatorial $\rightarrow 695\,000$ km
- Período de rotação \rightarrow de 25 dias terrestres no equador a 36 dias nos polos

5. Sistema Solar

Atualmente, o Sistema Solar é formado pelo Sol e por oito planetas (oficialmente, pois, desde agosto de 2006, Plutão

passou a ser considerado um planeta-anão), luas, asteroides, planetas-anões e cometas.

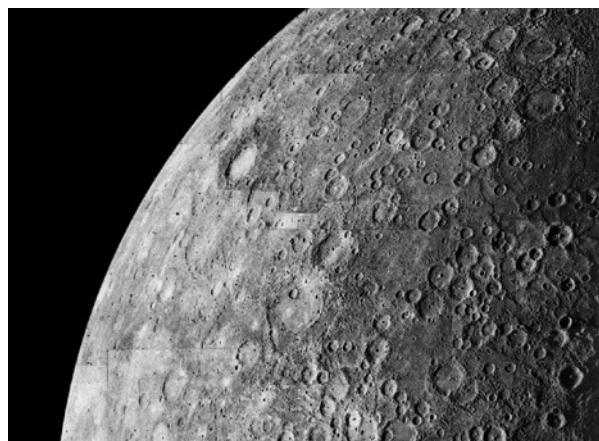
Os planetas são agrupados em duas categorias, de acordo com a diferença de tamanho, massa e composição. Os planetas **internos ou telúricos** (semelhantes à Terra) são os quatro planetas interiores do Sistema Solar — Mercúrio, Vênus, Terra e Marte; os planetas **externos ou jovianos** (semelhantes a Júpiter) são os “gigantes gasosos”, que se encontram depois de Marte — Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.



Sistema Solar, atualmente com oito planetas. Plutão foi cortado da lista em 2006.

A. Mercúrio

Mercúrio dista do Sol, em média, 57 909 175 km; é o planeta mais próximo do Sol e o menor planeta em tamanho. Esse planeta é rochoso e praticamente não apresenta atmosfera, portanto não poderia abrigar vida.



Vista parcial de Mercúrio

Dados de Mercúrio

- Massa $\rightarrow 3,30 \cdot 10^{23}$ kg
- Densidade $\rightarrow 5,43$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 3,7$ m/s²
- Raio $\rightarrow 2\,439,7$ km
- Período de rotação $\rightarrow 58,65$ dias terrestres
- Período de translação $\rightarrow 88$ dias terrestres
- Número de luas $\rightarrow 0$
- Faixa de temperatura da superfície $\rightarrow -173/179$ °C [mín./máx.]

B. Vênus

Vênus dista do Sol, em média, 108 208 930 km; é o segundo planeta mais afastado do Sol e o sexto em tamanho.

Esse planeta rochoso apresenta atmosfera, cuja pressão na superfície pode chegar a 93 atm.

Foi visitado por mais de vinte sondas americanas e soviéticas.



Vênus

Dados de Vênus

- Massa $\rightarrow 4,87 \cdot 10^{24}$ kg
- Densidade $\rightarrow 5,24$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 8,87$ m/s²
- Raio $\rightarrow 6\,051,8$ km
- Período de rotação $\rightarrow 243,02$ dias terrestres
- Período de translação $\rightarrow 224,7$ dias terrestres
- Número de luas $\rightarrow 0$
- Temperatura média $\rightarrow 462$ °C

C. Terra



Terra

A Terra dista do Sol, em média, 149 597 890 km; é o terceiro planeta mais afastado do Sol e o quinto em tamanho. Esse planeta apresenta atmosfera, cuja pressão na superfície é de 1 atm.

Dados da Terra

- Massa $\rightarrow 5,97 \cdot 10^{24}$ kg
- Densidade $\rightarrow 5,513$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 9,80665$ m/s²
- Raio equatorial $\rightarrow 6\,371,00$ km
- Período de rotação $\rightarrow 1$ dia (23,934 horas)
- Período de translação $\rightarrow 365,256$ dias

- Número de luas $\rightarrow 1$
- Faixa de temperatura da superfície $\rightarrow -88/58$ °C (mín./máx.)
- Idade $\rightarrow 4,56$ bilhões de anos



Lua

A Terra tem um satélite natural: a Lua, da qual dista 384 400 km. O raio equatorial da Lua é 1 737,4 km. Esse satélite natural gira ao redor da Terra com período de translação de 27 dias, 7 horas e 43 minutos; seu período de rotação é igual ao de translação. A aceleração da gravidade na superfície da Lua é de 1,6 m/s².

D. Marte

Marte dista do Sol, em média, 227 936 640 km; é o quarto planeta mais afastado do Sol e o sétimo em tamanho. Esse planeta rochoso apresenta atmosfera muito rarefeita e sua pressão na superfície é 0,01 atm.

Foi visitado por muitas sondas americanas.



Marte

Dados de Marte:

- Massa $\rightarrow 6,42 \cdot 10^{23}$ kg
- Densidade $\rightarrow 3,93$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 3,71$ m/s²
- Raio $\rightarrow 3\,389,5$ km
- Período de rotação $\rightarrow 1,03$ dia terrestre
- Período de translação $\rightarrow 687$ dias terrestres
- Número de luas $\rightarrow 2$
- Faixa de temperatura da superfície $\rightarrow -153/20$ °C (mín./máx.)

E. Cinturão de asteroides

Entre as órbitas dos planetas Marte e Júpiter, existe uma faixa muito espessa de asteroides contendo corpos minúsculos e também corpos grandes, com diâmetro de até 1 000 km.



ISTOCK / BETTY IMAGES

Cinturão de asteroides

F. Júpiter

Júpiter dista do Sol, em média, 778 412 020 km; é o quinto planeta mais afastado do Sol e o primeiro em tamanho. Esse planeta é um “gigante gasoso”.



NASA / JPL / SPACE SCIENCE INSTITUTE

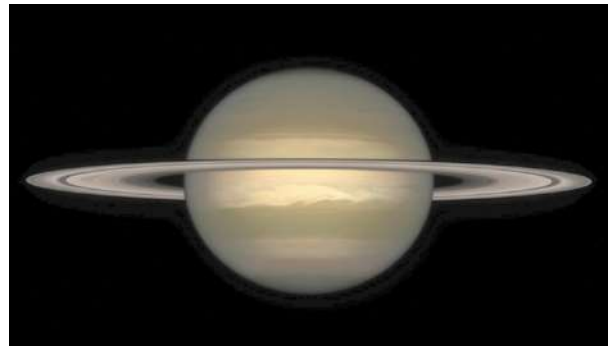
Júpiter

Dados de Júpiter

- Massa $\rightarrow 1,90 \cdot 10^{27}$ kg
- Densidade $\rightarrow 1,33$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 24,79$ m/s²
- Raio $\rightarrow 69 911$ km
- Período de rotação $\rightarrow 9,925$ horas
- Período de translação $\rightarrow 11,8565$ anos terrestres
- Número de luas $\rightarrow 63$
- Temperatura média $\rightarrow -148$ °C

G. Saturno

Saturno dista do Sol, em média, 1 426 725 400 km; é o sexto planeta mais afastado do Sol e o segundo em tamanho. Saturno é um planeta gasoso e apresenta um complexo sistema de anéis, facilmente visível com pequenos telescópios.



NASA / THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI / AURA)

Saturno

Dados de Saturno

- Massa $\rightarrow 5,68 \cdot 10^{26}$ kg
- Densidade $\rightarrow 0,69$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 10,4$ m/s²
- Raio $\rightarrow 58 232$ km
- Período de rotação $\rightarrow 10,656$ horas
- Período de translação $\rightarrow 29,4$ anos terrestres
- Número de luas $\rightarrow 60$
- Temperatura média $\rightarrow -178$ °C

H. Urano

Urano dista do Sol, em média, 2 870 972 200 km; é o sétimo planeta mais afastado do Sol e o terceiro em tamanho. De composição gasosa foi o primeiro planeta a ser descoberto com telescópio.



NASA / JPL

Urano

Dados de Urano

- Massa $\rightarrow 8,68 \cdot 10^{25}$ kg
- Densidade $\rightarrow 1,27$ g/cm³
- Aceleração da gravidade $\rightarrow 8,87$ m/s²
- Raio $\rightarrow 25 362$ km
- Período de rotação $\rightarrow 17,24$ horas
- Período de translação $\rightarrow 84,02$ anos terrestres
- Número de luas $\rightarrow 2 790$
- Temperatura média $\rightarrow -216$ °C

I. Netuno

Netuno dista do Sol, em média, 4 498 252 900 km; é o oitavo planeta mais afastado do Sol e o quarto em tamanho. Netuno é outro planeta gasoso que foi descoberto graças a previsões matemáticas. Por ser menor que Urano e estar mais afastado, não era possível detectá-lo com os telescópios da época, porém, com as observações sistemáticas feitas sobre Urano, perceberam-se irregularidades em sua órbita. Então, com cálculos refinados descobriu-se que deveria existir outro planeta além de Urano, fato que posteriormente foi comprovado em observações feitas com telescópios mais avançados.



NASA/JPL

Netuno

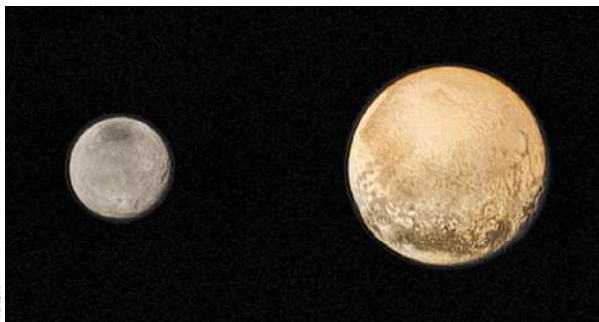
Dados de Netuno

- Massa → $1,02 \cdot 10^{26}$ kg
- Densidade → $1,638 \text{ g/cm}^3$
- Aceleração da gravidade → $11,15 \text{ m/s}$
- Raio → $24\,622 \text{ km}$
- Período de rotação → $16,11 \text{ horas}$
- Período de translação → $164,79 \text{ anos terrestres}$
- Número de luas → 13
- Temperatura média → $-214 \text{ }^\circ\text{C}$

J. Plutão

Plutão dista do Sol, em média, $5\,906\,380\,000 \text{ km}$. Em 24 de agosto de 2006, a União Astronômica Internacional classificou Plutão como um planeta-anão. De maneira simplificada, planeta-anão é um objeto que orbita o Sol, grande o suficiente para ter formato esférico, porém não é gravitacionalmente dominante na sua órbita.

No caso de Plutão, seu maior satélite, Caronte, é excessivamente grande comparado a ele. Isso faz com que o centro de massa do sistema esteja fora de Plutão e, assim, Caronte não orbita exatamente Plutão, mas ambos formam um sistema que orbita seu centro de massa (CM).



NASA

Plutão [direita] e sua maior lua, Caronte [esquerda]

Dados de Plutão

- Massa → $1,3 \cdot 10^{22}$ kg
- Densidade → $2,0 \text{ g/cm}^3$
- Aceleração da gravidade → $0,81 \text{ m/s}^2$
- Raio → $1\,151 \text{ km}$
- Período de rotação → $6,39 \text{ dias terrestres}$
- Período de translação → $247,92 \text{ anos terrestres}$
- Número de luas → 3
- Temperatura média → $-229 \text{ }^\circ\text{C}$

Atualmente são conhecidos cinco planetas-anões:

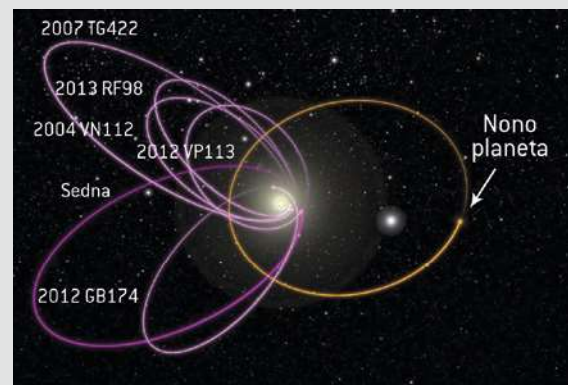
Nome	Diâmetro equatorial aproximado (km)	Massa aproximada (kg)	Distância do Sol (UA)	Período orbital (anos)
Ceres	975	$0,96 \cdot 10^{21}$	2,77	4,6
Plutão	2 306	$13,1 \cdot 10^{21}$	39,48	248,1
Haumea	1 500	$4,2 \cdot 10^{21}$	43,34	285,4
Makemake	Entre 1 600 e 2 000	$3,0 \cdot 10^{21}$	45,79	309,9
Éris	2 400	$16,7 \cdot 10^{21}$	67,67	557



Os pesquisadores da Universidade Caltech encontraram evidências de um nono planeta no Sistema Solar

No dia 20 de janeiro de 2016, os pesquisadores da Universidade Caltech publicaram um artigo no periódico *The Astronomical Journal* com o título "Evidence for a distant giant planet in the Solar System". Eles disseram ter evidências para a existência de um planeta gigante traçando uma órbita bizarra, muito alongada no Sistema Solar exterior. Ele foi apelidado de Nono Planeta, sua massa é cerca de 10 vezes a massa da Terra e está em média 20 vezes mais distante que Netuno. Essa descoberta foi feita pelos pesquisadores Konstantin Batygin e Mike Brown por meio de simulações matemáticas e modelagem computacional. O próximo passo agora seria encontrar o tal Nono Planeta. Com seus cálculos ainda não é possível localizar a sua posição, mas é possível encontrá-lo em sua órbita; o problema é que ela é muito excêntrica. Se o planeta estiver no periélio, é provável que já tenha sido fotografado por algum telescópio, mas, se ele estiver no afélio, será necessária uma minuciosa busca com os maiores telescópios do mundo.

Disponível em: <<http://www.caltech.edu/news/caltech-researchers-find-evidence-real-ninth-planet-49523>>. Acesso em: 1 abr. 2016.



CALTECH/UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Ilustração dos seis objetos conhecidos mais distantes do Sistema Solar depois de Netuno, em rosa, e o Nono Planeta, em alaranjado.

Como essa publicação é muito recente, ela ainda pode ser refutada. A publicação original desse trabalho pode ser encontrada em inglês no [link](#):



Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.3847/0004-6256/151/2/22>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

Ou numa linguagem mais acessível:



Disponível em: <<http://www.caltech.edu/news/caltech-researchers-find-evidence-real-ninth-planet-49523>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

Uma reportagem em português pode ser encontrada no [link](#):



Disponível em: <<http://mensageirosideral.blogfolha.uol.com.br/2016/01/20/astromos-calculam-orbita-do-hipotetico-nono-planeta-do-sistema-solar/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

K. Cometas

A maior parte dos cometas está localizada além da órbita de Netuno, a mais de 30 UA. Uma pequena parte desses cometas entra no Sistema Solar interno, numa órbita muito elíptica, que os deixa bem próximos do Sol e, depois, deixa-os bem distantes. O final provável desses cometas é uma colisão com o Sol ou com algum dos planetas gigantes.

A composição dos cometas é de gelo e poeira solidificados quando estão longe do Sol. Ao passar próximos ao Sol, parte do gelo deles sublima e forma uma cauda de vapor de água. Essa cauda, ao refletir a luz do Sol, pode ficar acentuadamente visível no céu.



Cometa

L. Meteoroides, meteoros e meteoritos

Viajando pelo espaço, observa-se um número muito grande de rochas, desde minúsculos fragmentos até grandes rochas. Esses asteroides pequenos são chamados de **meteoroides** e, média, são menores que 10 m de diâmetro.

Quando um meteoróide entra na atmosfera da Terra, ele passa a sofrer o atrito com o ar por causa da sua grande velocidade, e esse atrito o faz “queimar-se” emitindo um rastro luminoso e, na maioria das vezes, desintegra-se no céu. Esse

fenômeno luminoso chama-se **Meteoro**, são as conhecidas “estrelas cadentes”.

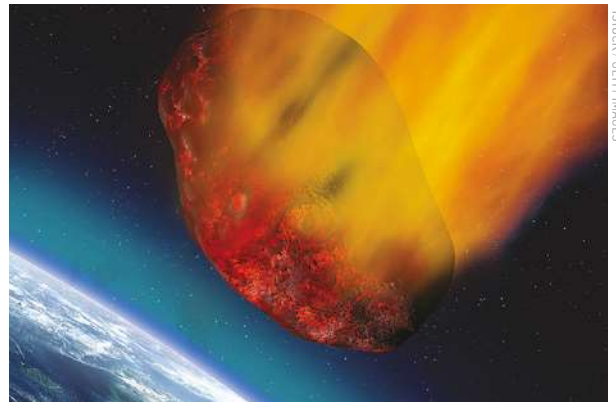


Ilustração de um meteoro “queimando” na atmosfera terrestre.



Meteoros no céu noturno

Se o meteoróide for grande, sólido e resistente o suficiente para não se desintegrar totalmente, ele cairá no solo e passará a chamar-se **meteorito**; assim, as rochas provenientes do espaço que são encontradas na Terra são meteoritos.



Meteorito

Em **Meteorologia** (ciência que estuda a atmosfera e os fenômenos atmosféricos), o termo **meteoro** é mais amplo e é aplicado a qualquer fenômeno óptico ou acústico que se produz na atmosfera terrestre, como o vento, a chuva, o arco-íris, os raios etc.

Observação

Os dados referentes ao Sistema Solar foram obtidos no [site](#) da NASA (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço, dos EUA, na sigla em inglês). Disponível em: <<https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/index.html>>. Acesso em: 25 jan. 2016.



Construa seu próprio Sistema Solar com esse simulador.



Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/my-solar-system>. Acesso em: 24 fev. 2016.

6. Galáxias

Chamamos de **galáxia** os imensos aglomerados de estrelas contendo milhões ou bilhões delas. O Sistema Solar faz parte da Via Láctea, que é a nossa galáxia. Ela tem mais de 200 bilhões de estrelas e muitas delas têm um sistema planetário igual ao Sistema Solar.

A Via Láctea tem a forma de um disco achatado cujo diâmetro é de 100 000 anos-luz, ou seja, a luz gasta 100 000 anos para atravessar toda a Via Láctea. O Sol está a cerca de 30 000 anos-luz do centro da Via Láctea.



Esquema da Via Láctea

Existem bilhões de galáxias. Muitas delas são conhecidas como, por exemplo, a de Andrômeda, muito maior que a Via Láctea e distante cerca de 2,5 milhões de anos-luz. Ela tem muito mais estrelas e é muito mais brilhante que a nossa galáxia.



Andrômeda

A galáxia mais distante de que se tem conhecimento foi detectada em 2004 e dista cerca de 13,2 bilhões de anos-luz de nós. Isso significa que a luz que chega hoje na Terra saiu dessa galáxia há 13,2 bilhões de anos.

7. Nascimento, vida e morte das estrelas

Uma estrela nasce da concentração de gases, na sua maioria hidrogênio, numa dada região do espaço. Com o passar dos milhões ou bilhões de anos, cada vez mais gases vão se juntando nessa região em razão da força de atração gravitacional. No momento em que a quantidade de gases for suficiente para produzir elevadas temperaturas e pressões no interior dessa porção de massa gasosa, iniciam-se as rea-

ções de fusão nuclear. Nesse momento, nasce uma estrela. Objetos com massas menores que 8% da massa do Sol não conseguem transformar-se em estrela.

A estrela emitirá radiação eletromagnética, por causa das reações nucleares, durante milhões ou bilhões de anos, consumindo inicialmente hidrogênio. Quanto menor a massa das estrelas, mais tempo elas gastam consumindo seu estoque de hidrogênio. Depois de consumir seu estoque de hidrogênio, o futuro dela dependerá de sua massa.

- a. Para uma estrela com massa entre 0,08 vez e 4 vezes a massa do Sol, ao final do seu estoque de hidrogênio, ela se expande e sua superfície externa esfria, transformando-se numa gigante vermelha; quando o Sol, daqui a 5 bilhões de anos, transformar-se em uma gigante vermelha, ele terá engolido Mercúrio e Vênus. Depois dessa expansão, a estrela esfria e começa a contrair-se, mas seu núcleo se contrai mais rapidamente, aquecendo-se novamente. Esse núcleo se torna uma pequena estrela azulada e esbranquiçada envolta por uma casca de gás mais frio, formando uma nebulosa planetária. Essa pequena estrela terá massa semelhante à do Sol, mas tamanho comparável ao da Terra, portanto será extremamente densa [1 centímetro cúbico de seu interior terá massa em torno de 100 toneladas]. Essa estrela pequena e densa é chamada de anã-branca, e será o fim de muitas estrelas parecidas com o Sol.
- b. Quando a massa inicial de uma estrela for entre 4 e 8 massas solares, ela poderá passar inicialmente por uma etapa em que seria parecida com o Sol, mas, como sua massa é maior, ela se transformará numa supergigante vermelha e seu núcleo poderá esquentar muito, de maneira a transformar hélio em carbono. Quando se esgotar o hélio em seu núcleo, ela esfriará e se contrairá. Essa contração poderá aquecer de tal forma seu núcleo que ela passará a transformar o carbono em oxigênio, expandindo-se novamente até consumir seu estoque de carbono. A estrela ficará nessa sequência de expansão e contração, originando elementos cada vez mais pesados, até não mais conseguir se aquecer o suficiente para originar novos elementos pesados. A partir desse momento, a atração gravitacional se torna tão intensa que os prótons e os elétrons começam a fundir-se, formando nêutrons. Essa estrela de nêutrons terá uma densidade inimaginável: 1 centímetro cúbico de seu interior terá massa de 100 milhões de toneladas. Em algumas dessas estrelas, ao ocorrer a fusão do hélio, a transformação de matéria em energia poderá ser tão intensa que a pressão em seu interior crescerá assustadoramente e a estrela explodirá, emitindo grande quantidade de matéria e luz, situação em que será chamada de supernova.
- c. Se a estrela tiver massa superior a 8 massas solares, sua evolução será muito rápida. Inicialmente, seu processo de evolução é como o das outras estrelas massivas, ocorrendo a fusão de H em He e, posteriormente, do He em C, mas, como sua massa é muito grande, a pressão gravitacional é enorme e a tendência é a contração contínua, sem que nada possa detê-la, o que faz a estrela entrar em colapso gravitacional. Em razão dessa contração, o campo gravitacional nas proximidades desse corpo se torna elevadíssimo,

a ponto de a própria luz não conseguir escapar de sua gravidade. Além disso, toda luz que passar nas suas proximidades será atraída. Ocorre, então, um buraco negro, que é o final das estrelas de grande massa.

APRENDER SEMPRE

26

01.

Qual é a diferença entre galáxia e estrela?

Resolução

Estrela é um astro que emite luz proveniente de reações nucleares que ocorrem em seu interior. Galáxia é um aglomerado de milhões ou bilhões de estrelas.

02.

É possível ver um buraco negro? Explique.

Resolução

Não. Não podemos ver um buraco negro porque ele não emite luz. Além disso, toda luz que chega até ele proveniente de outras estrelas é absorvida.

03.

Se não é possível ver um buraco negro, como é conhecida a existência dele?

Resolução

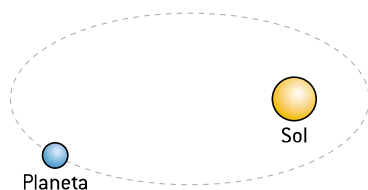
Os astrofísicos notam que certas estrelas executam órbitas em torno de um centro que não é visível. Para a estrela executar essa órbita, é necessário que exista uma força de atração gravitacional dirigida para o centro. Assim, deve existir ali um corpo invisível causando essa atração. Esse corpo seria o buraco negro.

8. Leis de Kepler

Na Idade Moderna (1453-1789), um astrônomo dinamarquês, Tycho Brahe (1546-1601), estudou detalhadamente em seu observatório a variação da posição dos astros no céu. Essas anotações foram usadas pelo seu assistente, Johannes Kepler (1571-1630), para formular suas três leis do movimento planetário em torno do Sol.

A. Primeira lei de Kepler

Todo planeta gira ao redor do Sol em órbita elíptica. Nela, o Sol ocupa um de seus focos.



O movimento circular é um caso particular do formato elíptico, em que os focos são coincidentes e estão localizados no centro da circunferência.



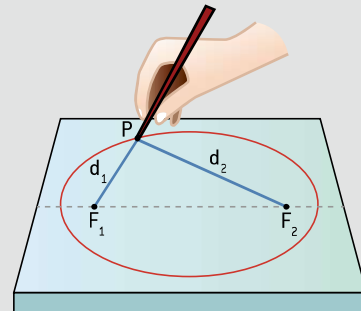
Elipse

A elipse apresenta dois focos, F_1 e F_2 , e a soma das distâncias a um ponto qualquer, d_1 e d_2 , é sempre constante.

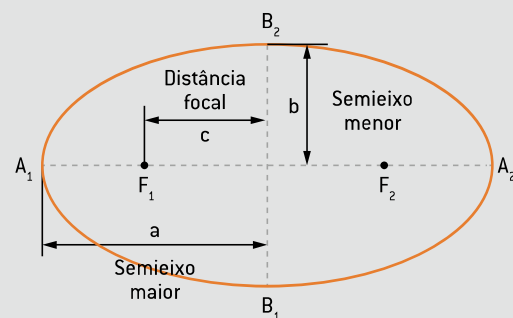
Assim, é fácil construir uma elipse usando um barbante. Em uma pequena placa de madeira, fixe dois pregos, que corresponderão aos focos.

Corte um pedaço de barbante maior que a distância entre esses pregos (focos) e amarre neles as extremidades do barbante.

Com um lápis, estique o barbante e trace a elipse.



Assim, podemos entender de maneira simplificada que elipse é uma "circunferência achatada". A metade da distância entre a maior extremidade é o semieixo maior (a), a metade da distância entre a menor extremidade é o semieixo menor (b) e a distância entre o centro da elipse e o foco é a distância focal da elipse (c).



Excentricidade

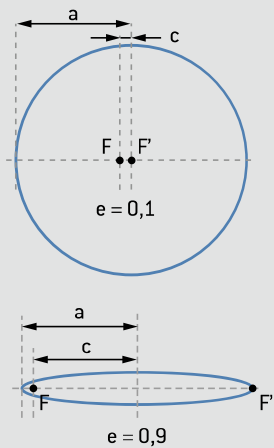
Nos desenhos das órbitas dos planetas que você encontrará neste capítulo, a elipse é didaticamente muito "achatada", para evidenciar a primeira lei de Kepler; na realidade, porém, o "achatamento" da maioria das órbitas é tão pequeno que seria imperceptível em um desenho. A esse "achatamento" dá-se o nome de **excentricidade**.

Ele pode ser calculado pela razão entre a distância focal e o semieixo maior.

$$e = \frac{c}{a}$$

Quanto maior a excentricidade, mais "achatada" será a elipse, consequentemente, quanto menor a excentricidade, menos "achatada" ela será.

A excentricidade pode assumir valores entre 0 e 1; com excentricidade 0, a elipse degenera-se em uma circunferência e, com excentricidade 1, ela se degenera em um segmento de reta. Veja que, com excentricidade 0,1, não se consegue perceber visualmente a diferença de uma elipse e uma circunferência. Ao aumentar a excentricidade, ela irá se "esticar", tendendo a uma reta, como no exemplo da excentricidade igual a 0,9.

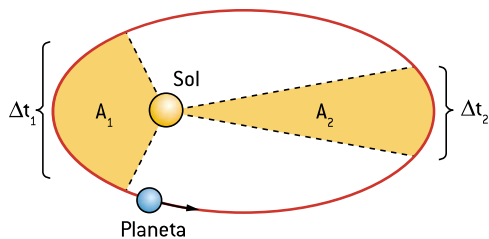


Veja a excentricidade dos planetas do Sistema Solar:

Planeta	Excentricidade da órbita dos planetas
Mercúrio	0,206
Vênus	0,007
Terra	0,082
Marte	0,093
Júpiter	0,048
Saturno	0,056
Urano	0,047
Netuno	0,012

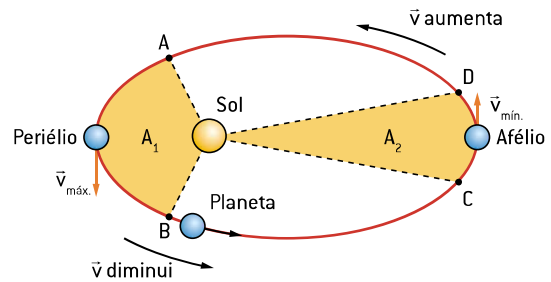
B. Segunda lei de Kepler

O segmento que liga o planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais.



$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2}$$

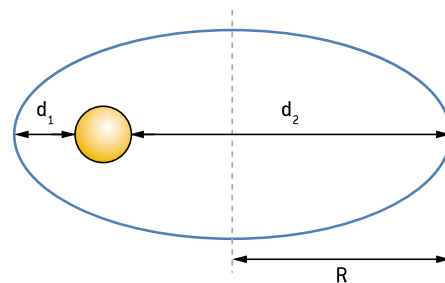
Se $A_1 = A_2$ e $\Delta t_1 = \Delta t_2$, então o planeta tem maior velocidade quando se encontra mais próximo do Sol. A velocidade do planeta é maior no **periélio** (ponto mais próximo do Sol) do que no **afélio** (ponto mais afastado do Sol).



C. Terceira lei de Kepler

O quadrado do período de translação de um planeta ao redor do Sol é diretamente proporcional ao cubo da sua distância média até o Sol.

$$T^2 = k \cdot R^3$$



R é a média entre as distâncias d_1 e d_2 , também conhecido como semieixo maior.

$$R = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

A constante k depende da massa do Sol e do planeta. Como a massa do Sol é muito maior que a massa dos planetas do Sistema Solar, podemos dizer que a constante depende basicamente da massa do Sol e será a mesma para todos os planetas do Sistema Solar.

Observação

Essa fórmula também é válida para outros sistemas planetários e também para planetas e seus satélites, porém com outros valores para a constante.



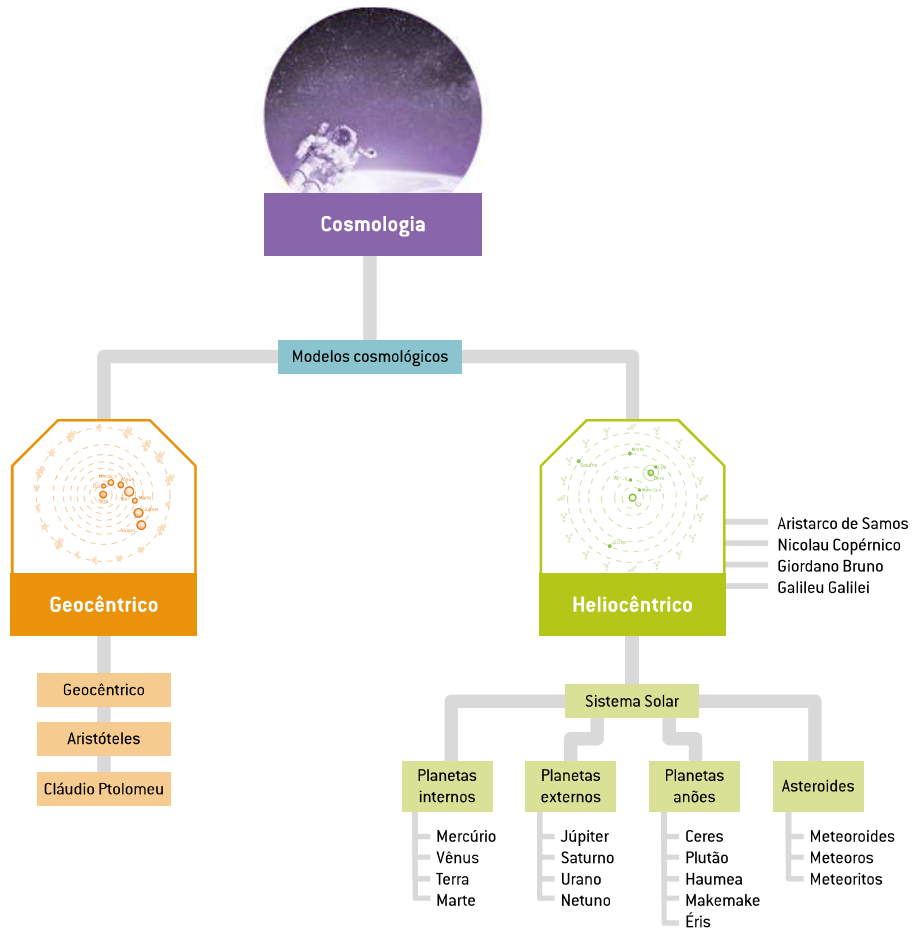
Cuidado: o senso comum diz que as estações do ano estão relacionadas à órbita elíptica da Terra, ou seja, quando a Terra está próxima do Sol (periélio) ocorre o verão e, quando ela está mais afastada (afélio), ocorre o inverno. Essa explicação está totalmente errada, pois, na realidade, as estações do ano estão relacionadas à inclinação do eixo da Terra em relação ao seu plano de translação ao redor do Sol. Para saber mais, acesse:



<<http://www.cdcc.usp.br/cda/ensino-fundamental-astronomia/parte2.html>>.

9. Organizador gráfico

A. Cosmologia



ISTOCK / GETTY IMAGES



Tema



Tópico

Subtópico

Subtópico destaque

Apenas texto Características



Módulo 55

Noções de astronomia I

Exercícios de Aplicação

01.

A Grande Nuvem de Magalhães é a galáxia mais próxima da Terra.



A Grande Nuvem de Magalhães e a nebulosa da Tarântula, acima, à esquerda

Ela está a cerca de 160 mil anos-luz da Terra. Expresse essa distância em quilômetros.

Dados

Velocidade da luz no vácuo = $3 \cdot 10^8$ km

Duração de um ano = 31 536 000 s

Resolução

$$d = 160 \cdot 10^3 \text{ anos-luz}$$

Como 1 ano-luz corresponde a aproximadamente $9,5 \cdot 10^{12}$ km, a distância em quilômetros é:

$$d = 160 \cdot 10^3 \cdot 9,5 \cdot 10^{12}$$

$$d \approx 1,5 \cdot 10^{18} \text{ km}$$

02.

Expresse a distância da Terra à Grande Nuvem de Magalhães em unidades astronômicas.

Resolução

Cada UA equivale a aproximadamente $1,5 \cdot 10^8$ km; assim:

$$d \approx \frac{1,5 \cdot 10^{18}}{1,5 \cdot 10^8}$$

$$d \approx 1,0 \cdot 10^{10} \text{ UA}$$

03.

A Via Láctea tem a forma de um disco cujo diâmetro é de, aproximadamente, 100 000 anos-luz; assim, a luz gasta 100 000 anos para atravessar toda a Via Láctea. O Sol está a cerca de 30 000 anos-luz do centro da Via Láctea.



Supondo que a Via Láctea seja uma circunferência perfeita, o maior e o menor tempo, respectivamente, para que a luz do Sol escape da Via Láctea é:

- 120 000 anos e 80 000 anos.
- 100 000 anos e 30 000 anos.
- 80 000 anos e 20 000 anos.
- 60 000 anos e 30 000 anos.
- 40 000 anos e 20 000 anos.

Resolução

As distâncias que a luz deverá percorrer saindo do Sol são 80 000 anos-luz e 20 000 anos-luz, assim os tempos são 80 000 anos e 20 000 anos.

Alternativa correta: C

Habilidade

Diferenciar os modelos geocêntrico e heliocêntrico do Universo e reconhecê-los como modelos criados a partir de referenciais diferentes.

04. UEL-PR

Nas origens do estudo sobre o movimento, o filósofo grego Aristóteles (384/383-322 a.C.) dizia que tudo o que havia no mundo pertencia ao seu lugar natural. De acordo com esse modelo, a Terra apresenta-se em seu lugar natural abaixo da água, a água abaixo do ar, e o ar, por sua vez, abaixo do fogo, e acima de tudo um local perfeito constituído pelo manto de estrelas, pela Lua, pelo Sol e pelos demais planetas. Dessa forma, o modelo aristotélico explicava o motivo pelo qual a chama da vela tenta escapar do pavio, para cima, a areia cai de nossas mãos ao chão, e o rio corre para o mar, que se encontra acima da terra. A mecânica aristotélica também defendia que um corpo de maior quantidade de massa cai mais rápido que um corpo de menor massa, conhecimento que foi

contrariado séculos depois, principalmente pelos estudos realizados por Galileu, Kepler e Newton.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre cosmologia, é correto afirmar que a concepção aristotélica apresenta um universo:

- acêntrico.
- finito.
- infinito.
- heliocêntrico.
- policêntrico.

05.

O modelo de Aristóteles, embora muito preciso na época, não podia explicar algumas observações. Cite uma observação que o modelo de Aristóteles não podia explicar e qual foi a solução encontrada por Ptolomeu.

Seu espaço

Sobre o módulo

Neste primeiro tópico de noções de astronomia, é importante mostrar aos alunos os dois principais modelos planetários, fazendo uma paralelo e contextualizando-os historicamente. Evidencie para eles que a questão central dessa discussão é o referencial, que ficou mais bem entendido após os trabalhos de Galileu sobre relatividade do movimento.

Se possível, usar esta simulação, que mostra o efeito da troca de referenciais.



Disponível em: <http://gruposputnik.com/Paginas_com_Flash/Epicycles%20Demo.htm>. Acesso em: 24 fev. 2016.

Para mostrar o movimento retrógrado dos planetas, use esta simulação:



Disponível em: <http://gruposputnik.com/Paginas_com_Flash/Retrograde%20Motion.htm>. Acesso em: 24 fev. 2016.

Simulador de excentricidade



Disponível em: <http://gruposputnik.com/Paginas_com_Flash/Planetary%20orbit%20Simulator%20%28NAAP%29.htm>. Acesso em: 24 fev. 2016.



Disponível em: <http://gruposputnik.com/Paginas_com_Flash/Eccentricity%20Demonstrator.htm>. Acesso em: 24 fev. 2016.

Exercícios Propostos

Da teoria, leia os tópicos 1, 2, 2.A, 2.B, 3, 3.A e 3.B.

Exercícios de tarefa reforço aprofundamento

06.

Diferencie a teoria geocêntrica da heliocêntrica.

07.

Em 2004, astrônomos da Universidade da Flórida descobriram a estrela LBV 1806-20, a maior já observada pelos

cientistas. Ela é de difícil observação, devido à quantidade de partículas existentes ao seu redor. Essa estrela tem massa 200 vezes maior que a do Sol e seu brilho pode chegar a 40 milhões de vezes o brilho do Sol. Sua distância até a Terra é de aproximadamente 45 mil anos-luz. Expresse a distância em metros dessa estrela até a Terra.

08.

Com relação ao exercício anterior, calcule a distância da estrela até a Terra em unidades astronômicas.

◆ 09.

Os povos da Mesopotâmia, cerca de 4 000 a.C., estabeleceram que o dia dura 12 horas e a noite dura 12 horas. Cada hora foi dividida em 60 minutos e cada minuto foi dividido em 60 segundos. Foram também os povos da Mesopotâmia que notaram a presença de astros errantes no céu, ou seja, astros que mudavam de posição com o decorrer do tempo em relação aos astros fixos (estrelas). Hoje sabemos que esses astros errantes são os planetas. Naquela época eram conhecidos apenas cinco astros errantes (os que eram visíveis a olho nu): Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno e, obviamente, a Lua e o Sol. Esses astros errantes eram considerados deuses. Foi, então, que criaram a semana de sete dias, em que cada dia era dedicado a um deus, conforme a tabela a seguir.

	Sol	Lua	Marte	Mercúrio	Júpiter	Vênus	Saturno
Português	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Inglês	Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
Italiano	Domenica	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato
Espanhol	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado

Segundo o modelo heliocêntrico, o dia e a noite ocorrem devido:

- ao movimento de translação do Sol em torno da Terra.
- ao movimento de translação da Terra em torno do Sol.
- ao movimento de translação da Lua em torno da Terra.
- ao movimento de rotação do Sol em torno de seu próprio eixo.
- ao movimento de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo.

◆ 10.

Explique o que é ano-luz e expresse essa medida em km.

◆ 11.

O que é unidade astronômica? Expresse 1 ano-luz nessa unidade.

◆ 12.

A luz do Sol demora 8 minutos e 18 segundos para chegar à Terra, qual seria, então, a distância entre o Sol e a Terra em minutos-luz?

- 8,30 minutos-luz
- 8,28 minutos-luz
- 8,18 minutos-luz
- 8,14 minutos-luz
- 8,12 minutos-luz

◆ 13. PUCCamp-SP

Andrômeda é uma galáxia distante $2,3 \cdot 10^6$ anos-luz da Via Láctea, a nossa galáxia. A luz proveniente de Andrômeda, viajando à velocidade de $3,0 \cdot 10^5$ km/s, percorre a distância aproximada até a Terra, em km, igual a:

- $4 \cdot 10^{15}$
- $6 \cdot 10^{17}$
- $2 \cdot 10^{19}$
- $7 \cdot 10^{21}$
- $9 \cdot 10^{23}$

◆ 14.

Qual a distância da Terra ao Sol em UA? Justifique.

◆ 15.

A estrela visível a olho nu mais próxima da Terra, exceto o Sol, é a Alfa, que se localiza na constelação de Centauro. Essa estrela dista da Terra 4,3 anos-luz. Se for enviada uma sonda para aquela estrela com velocidade escalar média de 10% da velocidade da luz no vácuo e considerando que sua trajetória seja retilínea, qual seria a duração dessa viagem em anos terrestres?

◆ 16.

Outra unidade de medida para grandes distâncias usadas na astronomia é o parsec, cujo símbolo é (pc). Faça uma pesquisa, descubra seu valor e calcule a distância em pc da estrela LBV 1 806-20 até a Terra.

Dado

A distância da estrela LBV 1 806-20 até a Terra é 45 mil anos-luz.