



Terra e cosmos

Terra e cosmos

Luander Bernardes

Camile Mendes

Lilian Aparecida Teixeira

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Cristiane Lisandra Danna

Danielly Nunes Andrade Noé

Emanuel Santana

Grasiele Aparecida Lourenço

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Paulo Heraldo Costa do Valle

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Camile Mendes

Lilian Aparecida Teixeira

Reinaldo Barros Cicone

Editorial

Adilson Braga Fontes

André Augusto de Andrade Ramos

Cristiane Lisandra Danna

Diogo Ribeiro Garcia

Emanuel Santana

Erick Silva Griep

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Bernardes, Luander
B518t Terra e cosmos / Luander Bernardes, Camile Mendes,
Lilian Aparecida Teixeira. – Londrina : Editora e Distribuidora
Educacional S.A. 2017.
184 p.

ISBN 978-85-522-0298-1

1. Física. 2. Matéria – Propriedades. 3. Cosmologia.
I. Mendes, Camile. II. Teixeira, Lilian Aparecida. III.
Titulo.

CDD 796.325

2017

Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Cosmologia e astrofísica	7
Seção 1.1 - O Universo primordial	9
Seção 1.2 - O Universo em larga escala	26
Seção 1.3 - Fronteiras da Física: matéria e energia escuras	38
Unidade 2 Astronomia I	55
Seção 2.1 - Gravitação	56
Seção 2.2 - Estrelas	73
Seção 2.3 - Formação do Sistema Solar	87
Unidade 3 Astronomia II	99
Seção 3.1 - Os planetas	101
Seção 3.2 - Luas e asteroides	113
Seção 3.3 - Astronomia observacional	127
Unidade 4 Formação da Terra e surgimento da vida	143
Seção 4.1 - Formação da Terra	145
Seção 4.2 - Aspectos geofísicos da Terra	156
Seção 4.3 - Aspectos físicos do surgimento da vida	169

Palavras do autor

Caro aluno, seja bem-vindo!

Ao longo deste livro você terá acesso a conteúdos que lhe mostrarão como o Universo se originou e ainda evolui. Na Unidade 1, você compreenderá como era o Universo em seus primeiros momentos, a formação dos elementos químicos, assim como as estruturas que hoje observamos. Você estudará as galáxias e se surpreenderá em saber que elas se movem, colidem e formam estruturas conhecidas como aglomerados e superaglomerados de galáxias. Tomará ciência da composição do Universo, percebendo que a matéria da qual somos formados é apenas uma pequena parte do todo.

Na Unidade 2, você fará uma viagem ao passado ao entrar em contato com os grandes pensadores e cientistas que propuseram modelos para descrever o sistema em que vivemos, o Sistema Solar. Conhecerá as leis de Kepler e a fantástica lei da gravitação universal, desenvolvida por Isaac Newton. Você entenderá como as primeiras estrelas surgiram, como evoluem e como produzem a energia responsável pela manutenção da vida no planeta em que vivemos. Também compreenderá a formação do Sistema Solar, dos seus planetas e dos seus satélites naturais, assim como perceberá que sistemas planetários são comuns na galáxia e que alguns desses sistemas podem oferecer as condições necessárias para abrigar vida.

Já na Unidade 3, você será convidado a examinar mais de perto os planetas que compõem o fantástico Sistema Solar. Além desses planetas, você conhecerá alguns daqueles que orbitam outras estrelas, os denominados exoplanetas. Você ficará encantado em conhecer as principais características dos satélites naturais que orbitam Júpiter e Saturno e entenderá o que são os asteroides, os cometas e os corpos transnetunianos. No final da unidade, você entenderá melhor o comportamento da luz e como os instrumentos astronômicos impulsionaram o desenvolvimento da astrofísica.

Por fim, na Unidade 4, voltaremos a nossa atenção para a Terra e discutiremos os possíveis caminhos que levaram ao surgimento e desenvolvimento da vida no planeta. E por falar em vida, o que você acha que torna a Terra tão especial? Você vai poder formular uma

resposta a essa questão ao entender a estrutura geológica terrestre com os seus ciclos, tectonismo, magnetismo etc. Você vai perceber que não somos um sistema isolado e estamos constantemente influenciando e sendo influenciados pelo Cosmos. Enfim, você entenderá a complexidade do fato de estarmos vivos e de pensarmos sobre o Universo.

Desejamos a você sucesso com os estudos!

Cosmologia e astrofísica

Convite ao estudo

Na primeira unidade, nosso objetivo será o estudo da cosmologia. Você sabe o significado desta palavra? A cosmologia tem por objetivo estudar a história, a estrutura e a composição do Universo. Desse modo, fica aqui o convite para iniciarmos uma viagem rumo a tempos remotos, a fim de entendermos os processos de formação das estruturas que observamos hoje (estrelas, galáxias, planetas, buracos negros, aglomerados de galáxias, seres vivos etc.) e compreender sua evolução. Diversos temas importantes desse ramo de pesquisa serão abordados durante esta etapa inicial. Começaremos discutindo o Universo primordial, e a nossa primeira tarefa será a construção de um caminho histórico capaz de apresentar o modo como o pensamento humano organizou informações ao longo do tempo. Essas informações possibilitaram a criação e a evolução dos modelos utilizados para descrever o que se entendia como Universo, culminando na teoria do Big Bang e na visão que temos atualmente.

O objetivo aqui é que você conheça o processo que deu origem ao Universo, entenda como ele vem evoluindo e quais são os possíveis cenários para seu fim. A teoria atual, aceita pela comunidade científica e que oferece as melhores explicações dessa evolução, é a teoria do Big Bang. Logo, conhecê-la é de fundamental importância.

Nesta jornada, que busca compreender o funcionamento do Cosmos, você deverá ser capaz de expor e debater ideias a respeito de temas diversos sobre astronomia e sua relação com a vida na Terra. Espera-se que você adquira competências e demonstre habilidades de compreensão, interpretação, levantamento de hipóteses e difusão dos conhecimentos apresentados durante o desenrolar da disciplina.

Imagine, então, que você é um jovem astrônomo que dedica parte de seu tempo realizando palestras e ministrando aulas de Astronomia em escolas públicas da periferia de sua cidade natal. Em uma dessas escolas, o diretor, Raul, há muito tempo almeja que seus alunos participem da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA). Esse desejo, além de ser um sonho antigo do diretor, tem a finalidade de difundir conhecimentos, despertar vocações e promover a divulgação de temas científicos para a comunidade em geral. O projeto é ambicioso e visa não somente ao preparo para a competição, mas também à realização de atividades interdisciplinares, integrando pais, alunos e a comunidade em projetos como feira de ciências, debates, seções de cinema, palestras, observações astronômicas, visitas a planetários etc. Raul se sente encorajado a desenvolver o projeto, pois sabe que terá o seu auxílio, além da colaboração e apoio dos professores de sua instituição.

Seção 1.1

O Universo primordial

Diálogo aberto

Nesta seção, aprenderemos sobre o Universo primordial e sua evolução, ou seja, discutiremos sobre como era seu aspecto logo após o Big Bang e como ele evoluiu para o formato que observamos hoje. Na tentativa de *compreender* essa evolução de maneira simples e lógica, começaremos mostrando como a mente humana abordou o tema ao longo dos tempos. Logo após a contextualização histórica, partiremos para a conexão entre o modelo cosmológico padrão e o conhecimento que estamos acumulando a partir de estudos e observações astronômicas.

Talvez você possa pensar que a situação descrita no *Convite ao estudo*, ou mesmo que algumas daquelas perguntas levantadas no início do livro, são pouco pertinentes ao senso comum ou à realidade vivida pelas pessoas em seu dia a dia. Entretanto, profissionais formados nos cursos de exatas, principalmente os que optam por um curso de licenciatura, deparam-se constantemente com os temas e as questões abordadas aqui.

Em uma conversa inicial com a equipe da escola foi sugerido que, em uma primeira abordagem, você organize a apresentação de uma palestra aberta ao público e discuta o tema “A expansão do Universo”. Após algumas conversas, você identificou que algumas das dúvidas mais comuns entre os alunos da escola eram: existe um centro para o Universo? No início, houve uma explosão? O que houve antes do Big Bang? Se o Universo está em expansão, como os astrônomos a medem? Os elementos químicos que compõem nossos corpos se originaram nos primeiros segundos após o Big Bang? Qual é o formato do nosso Universo?

Espero que ao final desta seção você tenha condição de responder a essas perguntas e de preparar uma bela palestra para os alunos. Vamos lá?

Os primeiros modelos cosmológicos

Caro aluno, você já deve ter ouvido comentários sobre a origem e evolução do Universo e, até mesmo, ficado surpreso com alguns temas desse emaranhado de possibilidades e fenômenos complexos. Perguntas como: qual é a origem do Universo? Qual é a sua composição? Como ele evoluiu?, entre outras, são corriqueiras e povoam a mente dos seres humanos há tempos. Hoje, a teoria mais aceita para descrever o Universo e que responde aos questionamentos, dos mais simples aos mais complexos, é a teoria do Big Bang, mais comumente conhecida como "a grande explosão", termo utilizado de forma incorreta, pois, como veremos adiante, o que ocorreu foi uma expansão.

Quando pensamos no Universo e na complexidade de sua existência e evolução, podemos afirmar que muitas ideias e discussões sobre o tema remontam à Pré-História. A astronomia pode ser considerada a ciência mais antiga e, como tal, apresenta inúmeros registros que datam de aproximadamente 3000 a.C., o que demonstra uma estreita relação com nossos ancestrais (PIRES, 2008). Naqueles tempos, os astros eram estudados visando a objetivos práticos, como a previsão da melhor época para o plantio e colheita, do regime de cheia dos rios ou até mesmo do futuro (astrologia), já que, desconhecendo as leis da física que regem a natureza, aqueles povos acreditavam que os deuses do céu detinham o controle sobre a agricultura, o regime de chuvas e até mesmo da vida. Os chineses, por exemplo, em épocas pré-cristãs, já tinham profundos conhecimentos sobre a duração do ano e usavam um calendário de 365 dias. Além disso, observavam as estrelas e registravam passagens de cometas, meteoros e meteoritos. Sabemos, também, que a matemática e a astronomia no Egito se desenvolveram com fins práticos, sendo propulsoras de conhecimentos utilizados na prevenção das épocas das inundações do rio Nilo, na construção das pirâmides e dos templos, além de ajudarem na resolução de problemas de irrigação. A astronomia, desenvolvida pelos povos babilônicos, apresentou um dos primeiros métodos científicos para a descrição da natureza. Os astrônomos da Babilônia se interessavam na previsão de fenômenos astronômicos e, mesmo não sendo as observações astronômicas

tão acuradas, eles tinham como tradição observar e registrar o que é fundamental para a astronomia e as ciências modernas (PIRES, 2008). Outras evidências da relação entre a astronomia e os povos antigos podem ser observadas ainda hoje em várias localidades do mundo, como o monumento de Stonehenge, na Inglaterra, que data de 3000 a 1500 anos a.C.; ou as ruínas maias, na América Central.

Embora as indagações sobre nossa origem, evolução e possível futuro tenham sido discutidas por civilizações antigas, elas geralmente não estavam embasadas em argumentos científicos. Eram misturadas a crenças, superstições e mitos. Devemos entender que vários outros cenários para explicar o comportamento do Universo, distintos do proposto atualmente pela teoria do Big Bang, já foram discutidos, e que nossa compreensão evoluiu com o melhoramento dos modelos teóricos e com o auxílio das técnicas observacionais. O método científico requer um tratamento racional sobre o objeto de estudo que, em nosso caso, é o Universo. Porém, esse cuidado ao se estudar a natureza de maneira mais rigorosa se iniciou na Grécia, há aproximadamente 2500 anos. Em uma região chamada Jônia, um grupo de pensadores deu início a uma verdadeira revolução ao questionar a natureza do mundo no qual viviam. Estavam interessados em entender do que as coisas eram feitas, quais eram suas origens e como se transformavam com o tempo. Nesse momento, os fenômenos da natureza como terremotos, tempestades, eclipses etc. passaram a ser discutidos de forma racional. A figura dos deuses foi então afastada das explicações dos fenômenos naturais. Esse grupo percebeu que havia regularidades na natureza e que essas regularidades permitiam desvendar seus segredos.

Se você fizer uma rápida pesquisa sobre os pensadores que de alguma forma tentavam descrever o espaço em que viviam, verá que os modelos utilizados para essa finalidade são ricos, curiosos e evoluíram com o passar dos tempos. Hoje, quando entramos em contato com a visão de Aristóteles sobre o comportamento do Universo, podemos até nos espantar pela sua discrepância com relação aos modelos modernos, mas devemos entender que essa concepção perdurou por quase 2000 anos e também teve sua importância. Mesmo no século XX ocorreram grandes debates na tentativa de entender o que era a Via Láctea, os objetos nebulosos misteriosos e até mesmo a respeito do posicionamento correto do Sol em nossa galáxia. Gostaríamos que você entendesse que graças ao esforço de várias gerações

de grandes cientistas, dentre eles Nicolau Copérnico, Johannes Kepler, Galileu Galilei, Isaac Newton, Albert Einstein, Edwin Hubble, entre outros, podemos ter uma visão mais apurada do Cosmos. É importante que você busque informações complementares sobre a evolução das ideias da astronomia e da física para que você perceba a beleza e sutileza da evolução do pensamento humano.

A teoria do Big Bang

O início do século XX é um período da história extremamente rico em debates, proposições de modelos teóricos e descobertas importantes que impulsionaram o avanço da ciência em seus diversos ramos. Na astronomia, por exemplo, trabalhos observacionais e teóricos culminaram no fim da concepção de Universo estático que prevalecia na época. Entre os trabalhos observacionais mais importantes, podemos citar os realizados pela astrônoma Henrietta Leavitt, em 1908; o do também astrônomo Vesto Slipher (1875-1969); além das observações realizadas por Edwin Hubble, em 1923 e 1929, que serão discutidas com mais detalhes à frente. Já no campo teórico, destacam-se a teoria da relatividade geral, proposta por Albert Einstein, em 1915; a série de artigos Willem de Sitter (1872-1934), que discute as possíveis consequências observacionais da teoria da relatividade geral; os trabalhos de Alexander Friedmann (1888-1925), que apontavam para a possibilidade de variação do tamanho do Universo; assim como os trabalhos do abade Georges Lemaître (1894-1966), publicados em 1927, que demonstram de forma independente a veracidade da ideia proposta por Friedman sobre o Universo dinâmico.



Pesquise mais

Durante a apresentação do conteúdo desta seção, foram citados inúmeros cientistas do início do século XX e suas contribuições para o avanço da ciência. Logicamente, não teríamos tempo de discutir toda a produção científica de cada um desses gigantes. Porém, fica registrada aqui uma dica de leitura complementar. Sugiro a leitura do artigo *A física do século XX*, do professor Silvio R. A. Salinas, que apresentará um resumo geral da obra de Michel Paty, também intitulada *A física do século XX*. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100025>. Acesso em: 9 mar. 2017.

Coube a Edwin Hubble a façanha de comprovar de forma observacional que o Universo estava em expansão. Em 1923, utilizando a relação entre período e luminosidade descoberta por Henrietta, ele realizou uma série de observações de estrelas cefeidas – estrelas cuja a luminosidade varia com o tempo –, localizadas em algumas nebulosas, o que permitiu medir de forma coerente a distância desses objetos. Nesse momento, tinha-se a certeza de que as nebulosas eram, na verdade, galáxias. Porém, em 1929, Hubble assombra a comunidade científica ao apresentar dados que apontavam para a ideia de um Universo em expansão, como já previam os modelos teóricos oriundos da teoria da relatividade geral. Ele comparou as distâncias medidas anteriormente com as velocidades das galáxias e percebeu uma correlação: quanto mais distante a galáxia, maior era a velocidade de afastamento dela em relação ao referencial Terra. Essa relação é conhecida como a lei de Hubble e pode ser apresentada matematicamente como

$$V = H_0 D,$$

em que H_0 é a constante de Hubble. Seu valor é mostrado no Quadro 1.1.



Exemplificando

Você sabia que a idade do Universo pode ser estimada de maneira simples por meio da lei de Hubble? Não? Então, observe! Sabemos que a velocidade, o espaço e o tempo estão relacionados. Assim, podemos escrever essa relação como:

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow t = \frac{D}{V},$$

em que a variável tempo foi isolada. Agora, se lembrarmos da lei de Hubble, que é escrita matematicamente como

$$V = H_0 D,$$

devemos obter por meio de uma simples substituição a equação para estimar a idade do Universo. Assim, adotando o valor de **72 km/s Mpc** para a constante de Hubble e considerando que o *mega parsec*, unidade utilizada na astronomia para se medir grandes distâncias, possui valor igual a **$3,086 \times 10^{19}$ km**, podemos reescrever a relação anterior como mostrado a seguir:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{V}{H_0 V} \\
 &= \frac{1}{\frac{72 \text{ km/s}}{1 \text{ Mpc}}} \\
 &= \frac{1 \text{ Mpc}}{72 \text{ km}} \text{ s} \\
 &= \frac{3,086 \times 10^{19} \text{ km}}{72 \text{ km}} \text{ s} \\
 &= 4,286 \times 10^{17} \text{ s} \\
 &= 13,6 \text{ Bilhões}
 \end{aligned}$$

Isso nos leva a concluir que o Universo tem aproximadamente 13,6 bilhões de anos.

Você já deve ter percebido a ideia de que o Universo se expande com o passar do tempo. Isso nos leva a indagar sobre seu aspecto no passado. Com um pouco de imaginação é fácil concluir que em tempos remotos, possivelmente, o tamanho do Universo foi nulo. A teoria que afirma que todo o Universo já esteve concentrado em um ponto de tamanho nulo é conhecida como a teoria do Big Bang ou a grande expansão. Essa ideia provoca grandes confusões, já que pensamos que ocupamos uma posição privilegiada que pode ser considerada "o centro do Universo". Aparentemente, estamos no centro dele, pois, se fizermos uma observação em qualquer direção, teremos a sensação de que estamos na posição central da expansão iniciada a partir do Big Bang. Mas isso não é uma exclusividade nossa, o Universo não tem centro e não tem bordas, logo, em qualquer lugar que você esteja, terá a impressão de que está no centro dele. E em qualquer direção que você olhe, o Universo parece o mesmo, com exceção de algumas deformações locais em pequena escala. O termo Big Bang foi utilizado pela primeira vez pelo astrofísico inglês Fred Hoyle (1915-2001) com a finalidade de depreciar o modelo, já que ele e seus colaboradores defendiam a concepção de um Universo estacionário.

A cosmologia moderna oferece ferramentas teóricas e observacionais para descrever satisfatoriamente a origem e a evolução do Universo. A teoria do Big Bang afirma que o Universo evoluiu a partir de um início quente e que ele era uma singularidade na qual os

valores de variáveis como a densidade e a temperatura eram infinitos. Logo após essa condição inicial de difícil análise teórica, ele expande e esfria, permitindo o aparecimento das primeiras estruturas. O cenário do Universo primordial aponta para uma situação na qual os níveis de radiação e os valores de temperatura eram extremamente altos.

Na escala de tempo de Planck, aproximadamente 10^{-33} segundos após o Big Bang, o Universo tinha uma ordem de grandeza um pouco maior que o tamanho de um elétron e era deformado por perturbações aleatórias (PICAZZIO, 2011). Essa época é conhecida como a Época da Grande Unificação, pois três forças da natureza (força eletromagnética, força fraca e força forte) se comportavam de forma semelhante. A única força que não foi citada é a força gravitacional, que naquele momento não estava mais acoplada às outras. Ali ocorreu a inflação do Universo, ou seja, ele se expandiu em uma espécie de transição de fase, o que liberou uma enorme quantidade de energia. Essa expansão exponencial foi a responsável por tornar o tecido espaço-tempo homogêneo, assim como por definir sua forma praticamente plana e uniforme (em grandes escalas, essa uniformidade é observada em todas as direções).

Após a inflação, a expansão do Universo ainda continuou, mas de maneira mais lenta. Passado aproximadamente um bilionésimo de segundo após o Big Bang, outro fenômeno, conhecido como bariogênese, e responsável por toda a matéria presente no Universo, ocorreu. Esse processo só ocorreu porque o Universo havia se expandido o suficiente para causar uma queda na temperatura capaz de interferir no equilíbrio entre a matéria e a antimatéria, que permeavam o espaço em quantidades iguais. Até então, o Universo era denso e quente o suficiente para manter esse equilíbrio, pois não havia sobra de matéria: para dada quantidade de partículas de matéria existente havia sempre a mesma quantidade de antipartículas que se aniquilava.

O desequilíbrio nesse processo de aniquilação ocasionou uma assimetria e garantiu a erradicação da antimatéria (BERNARDES, 2012). Conseqüentemente, houve uma sobra de matéria, e ela é observada hoje em todos os cantos do Universo na forma de estrelas, galáxias, planetas, cometas, seres vivos etc. Naquele momento, o Universo era composto por uma "sopa de quarks". Os quarks são partículas fundamentais da natureza responsáveis pela formação dos hádrons (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010). Vale lembrar que os hádrons mais

estáveis são os prótons e os nêutrons.



Assimile

Em vários momentos do texto utilizaremos termos que talvez possam parecer estranhos! Por exemplo, você sabe o significado das palavras quarks, léptons, hádrons e fótons? Não? Por muito tempo pensava-se que as menores partículas da matéria eram os prótons e os nêutrons, mas hoje sabemos que elas são formadas por partículas menores, os quarks. Os quarks e os léptons são os constituintes de toda a matéria que conhecemos, assim como o fóton é a quantidade elementar de luz.

Os quarks são partículas mais massivas que os léptons (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010), que interagem por meio da força nuclear forte, sendo identificados como: quarks *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* e *bottom*. Todas as partículas formadas por quarks são chamadas de hádrons, das quais podemos citar os bárions e os mésons.

Os bárions são partículas formadas por três quarks, possuem *spin* semi-inteiro e obedecem ao princípio de exclusão de Pauli; o próton e o nêutron, denominados férmions, são representantes dessa classe de partículas. Já os mésons são partículas formadas por um quark e um antiquark, possuem *spin* inteiro e não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, sendo denominados bósons.

Os léptons são partículas menos massivas que os quarks, apresentam *spin* semi-inteiro e obedecem ao princípio de exclusão de Pauli. Eles não são compostos por quarks e não interagem por meio da força nuclear forte, sendo considerados da família dos férmions. Os elétrons e os neutrinos são léptons. O conceito de fóton ainda hoje não é perfeitamente compreendido. Em 1905, Albert Einstein propôs que a radiação eletromagnética (luz) era quantizada.

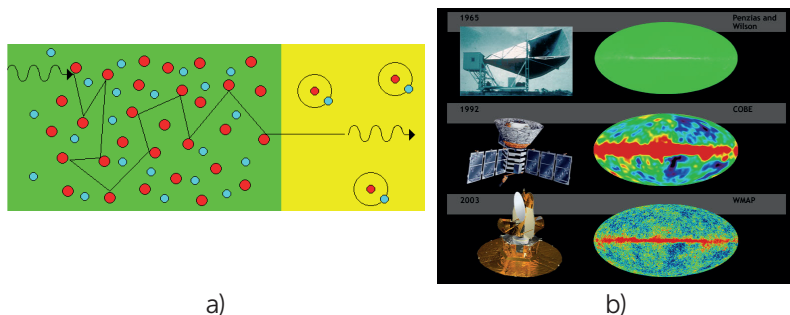
Você deve ter percebido a sutileza e a complexidade envolvida na construção de um modelo que descreva a evolução do Universo. Vale a pena estudar um pouco mais sobre a física de partículas!

Você deve estar curioso para saber o que aconteceu depois, certo? Logo em seguida, em uma escala de tempo aproximadamente igual a 10^{-4} segundos após o Big Bang, ocorreu o que chamamos de transição quark-hadron. Nesse momento, a energia térmica do Universo era baixa o suficiente para permitir que a “sopa quente de quarks” condensasse e permanecesse estável na forma de prótons e nêutrons. Somente por volta de 100 segundos após o Big Bang foi

possível o início da nucleossíntese: a energia térmica do Universo havia diminuído o suficiente para que houvesse a união de prótons e nêutrons sob a ação da força nuclear forte e consequente formação dos núcleos dos elementos mais leves, como o ^1H , ^2H , ^3He , ^4He e o ^7Li (BERNARDES, 2012).

Quando o período da nucleossíntese terminou, o Universo tinha em sua constituição aproximadamente 76% de hidrogênio e 24% de hélio. Todos esses átomos estavam ionizados e, os elétrons, livres. Nesse cenário, os elétrons não podiam ser capturados pelos núcleos atômicos, já que eram extremamente energéticos devido à transferência de energia ocorrida durante suas interações com os fótons de alta energia que permeavam o meio. Assim, o Universo permaneceu opaco para a radiação (a opacidade pode ser entendida como uma medida da impenetrabilidade para a radiação), pois os fótons percorriam caminhos curtos antes de interagirem com os elétrons, transferindo sua energia e mudando constantemente de direção (PICAZZIO, 2011). A Figura 1.1 mostra a dinâmica do processo, onde na figura à esquerda (a) é mostrado o espalhamento que obriga os fótons a percorrerem um caminho aleatório. Após a recombinação, os fótons podem se propagar livremente pelo Universo (libertação da radiação cósmica de fundo). Já na figura da direita (b), são mostrados os melhoramentos sucessivos das observações das anisotropias (ou flutuações) da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, que é uma espécie de "fotografia" ou um "fóssil" dessa época.

Figura 1.1 | O desacoplamento da matéria comum da radiação (a) e a detecção da radiação cósmica de fundo em micro-ondas (b)



Fonte: <<http://www.astro.ufl.edu/~guzman/ast7939/lectures/basics/lect03.html>>; <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/BigBangNoise.jpg>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Certamente, você deve estar espantado com a relação entre a escala de tempo apresentada e a quantidade de fenômenos importantes ocorridos. Mas o que teria ocorrido em escalas de

tempo maiores que mil anos após o Big Bang? Quando foi possível a formação das primeiras estruturas? Ao investigarmos os primeiros quatrocentos mil anos após o Big Bang, momento em que a temperatura do Universo era de 3000 K, notaremos que toda a matéria estava em equilíbrio térmico com uma imensa quantidade de fótons que preenchia o Universo.

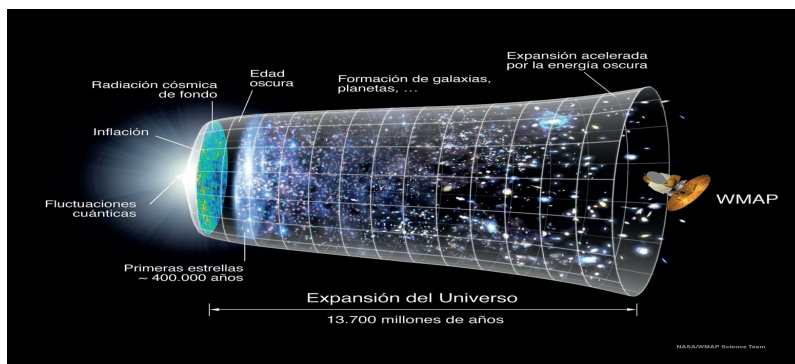
Com a constante queda da energia térmica, chega-se a um limite no qual essa energia era inferior à energia de ionização do átomo de hidrogênio, o que permitiu à força eletromagnética unir elétrons e prótons para a formação dos primeiros átomos de hidrogênio. Nesse momento, não havia mais fótons energéticos o suficiente para manter a matéria ionizada e os átomos se tornaram neutros, deixando o Universo transparente para a radiação. Esse momento é conhecido como a Época da Recombinação.

Os resquícios de informações da fase na qual os fótons interagiram pela última vez com os elétrons foram detectados ao acaso por Arno Penzias e Robert Wilson, em 1964, e ficaram conhecidos como a radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM), uma espécie de "fotografia" ou "fóssil" dessa época (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014). É interessante citar que essa descoberta rendeu um prêmio Nobel a eles. Porém, essa radiação de fundo já havia sido prevista teoricamente pelo físico George Gamow (1904-1968), em meados de 1940. Há medidas muito confiáveis da temperatura da RCFM que apontam para um valor atual de 2,725 K.

Como vimos anteriormente, a ausência de partículas carregadas, responsáveis pela manutenção do equilíbrio térmico, permitiu que as temperaturas da matéria e dos fótons se comportassem de maneiras distintas: a temperatura da matéria diminuiu de forma lenta e proporcional ao inverso da escala do Universo ao cubo, porém a temperatura dos fótons diminuiu rapidamente a uma taxa proporcional ao inverso da quarta potência da escala do Universo (PICAZZIO, 2011). O resultado dos processos de expansão e esfriamento contínuos do Universo culmina em uma situação energética na qual há possibilidades de formação do hidrogênio molecular. Assim, átomos de hidrogênio localizados em regiões mais densas formaram as primeiras moléculas de H_2 . Todo esse processo complexo descrito pela teoria do Big Bang pode ser resumido e visualizado na Figura 1.2.

Após a Época da Recombinação, o Universo mergulha em um período denominado idade das trevas, caracterizado pela inexistência de fontes de luz. Durante aproximadamente 450 milhões de anos, a matéria se organizou em uma espécie de teia cósmica, em que certas regiões apresentavam altas densidades e outras não. A expansão do Universo continua e, conseqüentemente, seu resfriamento. Essas características permitiram que nuvens de hidrogênio se resfriassem e atingissem temperaturas próximas a 100 K. Nesse momento da história do Universo, a temperatura foi baixa o suficiente para permitir que a força gravitacional iniciasse o processo de colapso de regiões mais densas, com a conversão da energia potencial gravitacional em energia térmica dissipada em direção ao espaço. Os colapsos eram frequentes, levando conseqüentemente ao aquecimento de certas regiões onde surgiram as primeiras estrelas do Universo. Os fótons ultravioletas oriundos dessas primeiras estrelas reionizaram o Universo e explosões de supernovas induziram o colapso de outras regiões, que também apresentavam elevadas densidades. O meio interestelar se tornou o local onde esse conjunto de processos físicos permitiu o aparecimento das condições necessárias para a formação dos primeiros sistemas planetários (BERNARDES, 2012).

Figura 1.2 | Esquema representando a evolução da história do universo desde o Big Bang até hoje



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Evolución_Universo_WMAP.jpg>. Acesso em: 9 jan. 2016.

É interessante ratificar que apenas 1% da matéria bariônica (formada por prótons, nêutrons e elétrons) observada no Universo difere do hidrogênio e do hélio. Além disso, é importante perceber que a maioria dos elementos químicos presentes na tabela periódica não foram gerados pelo Big Bang, e sim no núcleo de estrelas nas

quais, por meio de reações de fusão nuclear, foram produzidos e dispersados em direção ao meio interestelar. Posteriormente, com o colapso de nuvens moleculares ricas em elementos pesados, houve a possibilidade de formação de planetas, corpos rochosos e todas as formas de vida conhecidas.

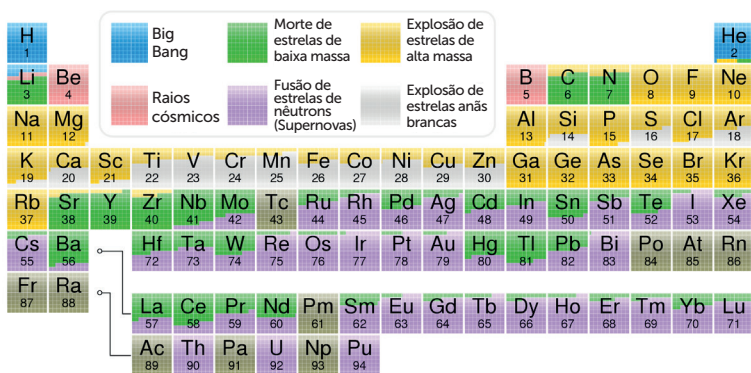
A Figura 1.3 mostra uma tabela periódica que relaciona seus elementos químicos com sua origem. Com as observações recentes de nuvens moleculares gigantes e de discos protoplanetários, foi possível comprovar a existência de uma grande quantidade de moléculas orgânicas no espaço, muitas delas idênticas às que constituem o material biológico terrestre (RAUCHFUSS, 2008; SHAW, 2006; BERNARDES, 2012).



Refleta

Acreditamos que, nesse exato momento, passe em sua cabeça a seguinte questão: será que os componentes moleculares de nossos corpos são de origem extraterrestre? E então, o que você pensa sobre isso?

Figura 1.3 | Tabela periódica mostrando as origens dos elementos químicos que fazem parte da constituição da matéria que observamos na forma de galáxias, estrelas, planetas, seres vivos etc.



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/31/Nucleosynthesis_periodic_table.svg/2000px-Nucleosynthesis_periodic_table.svg.png>. Acesso em: 31 jul. 2017.

Apesar de não conseguirmos entender exatamente o que ocorreu no Big Bang devido ao insucesso momentâneo na tentativa de unificar a teoria da relatividade geral com mecânica quântica, podemos nos valer das informações obtidas por meio do arcabouço teórico atual, assim como das observações, e montar um panorama geral do aspecto de nosso Universo. Note que, na teoria do Big

Bang, a expansão do Universo se refere à matéria, ao espaço e ao tempo, ou seja, se antes do Big Bang não havia espaço, logo, não há possibilidades da existência de um centro. Ressalta-se também que não há sentido em se afirmar algo sobre antes do Big Bang, pois tudo tem origem a partir dele.

De acordo com o modelo cosmológico padrão, o Universo em grandes escalas é plano e possui algumas características, que são apontadas no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 | Alguns parâmetros cosmológicos

Concepção do Universo atual	
Parâmetro cosmológico	Valor
Idade	~ 13,7 bilhões de anos
Temperatura da RCFM	~ 2,726 K
Densidade total Ω	1,02 ± 0,02
Densidade de bárions Ω_b	0,045
Densidade de matéria Ω_m	0,267
Constante de Hubble H_0	70 ± 3 km/s Mpc
Composição química	4,4 % - bárions 22,6 % - matéria escura 73 % - energia escura

Fonte: Oliveira e Saraiva (2014); Souza (2004).

Alguns assuntos tratados no Quadro 1.1 serão discutidos com mais detalhes nas próximas seções. É espantoso concluir que a matéria responsável pela formação das estrelas, galáxias, planetas, cometas e os seres vivos é praticamente uma exceção quando comparada às outras componentes do Universo. Apenas 4%!

Sem medo de errar

Lembra-se da situação-problema apresentada no início da seção? Como especialista e divulgador de assuntos relacionados a astronomia, você deve ajudar o diretor, Raul, e seus professores, a organizarem uma palestra aberta ao público que tinha como objetivo a discussão do tema "A expansão do Universo". Após ter feito uma releitura atenta da Seção 1.1 e ter pesquisado mais em fontes alternativas e referenciadas, você deve estruturar a sua palestra

visando a uma discussão simples e direta do tema sugerido. Uma alternativa possível seria estruturar a apresentação se baseando nos tópicos listados a seguir:

- A astronomia na antiguidade e os primeiros modelos cosmológicos.
- A ciência do século XX e a evolução dos modelos cosmológicos.
- A teoria do Big Bang.
- As fases da evolução do Universo.
- O Universo que observamos hoje.
- O nosso papel no contexto cósmico.

É importante observar que os tópicos apontados são apenas sugestões. Você pode criar sua própria sequência!

Então, agora que você já estudou a Seção 1.1 e delimitou os temas que deveriam ser discutidos em sua apresentação, chegou o momento em que deve preparar as respostas para aquelas questões levantadas previamente. Lembra-se delas?

- Existe um centro para o Universo?
- No início, houve uma explosão?
- O que houve antes do Big Bang?
- Se o Universo está em expansão, como os astrônomos a medem?
- Os elementos químicos que compõem nossos corpos se originaram nos primeiros segundos após o Big Bang?
- Qual é o formato do Universo?

Não se esqueça que a teoria do Big Bang, hoje, considera que o Universo não tem centro e que não existe um ponto em qualquer região do espaço a partir do qual sua expansão tenha se originado. Não podemos confundir o conceito de expansão com o conceito de explosão: em uma explosão, por exemplo, de um artefato (granada), os estilhaços são gerados e deslocam-se tendo como origem um centro, que é o próprio artefato. Como vimos, na teoria do Big Bang, a expansão do Universo se refere à matéria, ao espaço e ao tempo, ou seja, se antes do Big Bang não havia espaço, logo não há possibilidades da existência de um centro.

Tudo o que conhecemos sobre o Universo é baseado no arcabouço teórico da física e em observações (afastamento das galáxias, radiação cósmica de fundo e abundância de elementos

leves). No momento, não há sentido em afirmar algo sobre antes do Big Bang, pois consideramos que tudo se originou dele.

Hoje sabemos que o Universo se expande, e esse fato foi comprovado por Hubble em 1929 quando, por meio de observações, constatou que as galáxias estavam se afastando da Terra. Como vimos, ele comparava as medidas de distâncias com as velocidades das galáxias, o que o levou a concluir que quanto mais distante estava uma galáxia, maior era a velocidade com que ela se afastava de nós.

Você deve se lembrar que o Big Bang formou apenas alguns elementos leves, por exemplo: o hidrogênio, o hélio e o lítio, em um processo denominado nucleossíntese primordial. Então, devemos entender que todos os elementos pesados foram gerados nos núcleos das estrelas!

Ao reler a Seção 1.1 você deve ter percebido também que o Universo, hoje, é plano (em larga escala), constituído por 4,4% de matéria bariônica, de 22,6% de matéria escura e por 73% de energia escura. Todas essas conclusões e estimativas são baseadas no modelo cosmológico padrão. É estranho concluir que a matéria responsável pela formação das estrelas, galáxias, planetas, cometas e os seres vivos é praticamente uma exceção.

Avançando na prática

O modelo das bexigas e a expansão do Universo

Descrição da situação-problema

Imagine que após a palestra sobre a expansão do Universo o público tenha ficado desconfiado com os argumentos apresentados por você para justificar a sua evolução e que, de repente, um dos participantes tenha levantado a mão e feito a seguinte pergunta: poderíamos reproduzir a mesma situação observada por Hubble por meio de algum modelo? Você rapidamente diz que tal possibilidade existe. Então, explica que há um modelo capaz de simular de maneira bem simplificada o fenômeno da expansão do Universo por meio da inflação de bexigas!

A sua tarefa agora é explicar detalhadamente, após uma pesquisa rápida e a releitura da Seção 1.1, como o modelo das bexigas pode ser utilizado para exemplificar a expansão do Universo. Uma fonte interessante de consulta ao modelo das bexigas é o site do Sloan Digital Sky Survey, disponível em: <<http://cas.sdss.org/dr5/pt/proj/basic/universe/expanding.asp>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

Então, vamos em frente!

Resolução da situação-problema

Após uma pesquisa rápida na internet, por meio do endereço eletrônico citado, você verá que a ideia desse modelo que utiliza materiais de baixo custo como balões, fitas métricas, canetas e folhas de papel é propor uma atividade prática na qual o fenômeno da expansão do Universo possa ser visualizado. Assim, o que se faz é desenhar algumas galáxias na superfície de uma bexiga e, posteriormente, inflá-la, pouco a pouco, de modo que se possa observar e anotar as alterações entre as distâncias das galáxias desenhadas. Essa representação considera duas dimensões espaciais, representadas pela superfície da bexiga; e uma dimensão temporal, representada pelo raio da bexiga.

A simulação pode ser organizada da seguinte maneira: após a confecção dos desenhos das galáxias na superfície da bexiga e a realização de um conjunto de sopros, segure a boca da bexiga e observe o que ocorre. Você vai perceber que elas se afastaram, já que o raio da bexiga aumentou. Ou seja, se o raio da bexiga representa o tempo, então, quando este avança, a distância entre as galáxias aumenta (lembre-se de que o espaço e o tempo evoluem). Foi exatamente isso que Hubble observou! Ou seja, Hubble comprovou por meio de observações que as galáxias estavam se afastando da Terra.

Caso queira aumentar a complexidade da análise, você ainda poderia, após um primeiro conjunto de sopros, medir a circunferência da bexiga e a distância entre suas galáxias. Se repetir o processo algumas vezes ou até a bexiga perder o formato esférico, você vai obter um conjunto de dados que podem ser utilizados na construção de um gráfico onde no eixo das abscissas serão colocados os valores do raio (dimensão de tempo) e, no eixo das ordenadas, os valores das distâncias medidas. Esse gráfico possibilita uma outra forma de visualização do afastamento das galáxias com o passar do tempo e até mesmo a possibilidade do cálculo de suas velocidades.

Faça valer a pena

1. Em sala de aula, após um debate de ideias sobre as possíveis origens do Universo, alguns alunos formularam as seguintes hipóteses:

I. Se o Universo está em expansão, então, todas as estruturas que observamos hoje já estiveram mais próximas, ou seja, há um centro para o Universo.

II. Se o Big Bang representa a geração do próprio espaço e do próprio tempo, então, é como se o espaço e o tempo tivessem começado ali, no momento do Big Bang.

III. Se o evento denominado Big Bang só gerou elementos leves como o hidrogênio e o hélio, então, podemos afirmar que somos os “filhos” das estrelas.

De acordo com o que estudamos sobre a teoria do Big Bang, analise as hipóteses levantadas e assinale a alternativa correta.

- a) As hipóteses I, II e III estão corretas.
- b) As hipóteses I e II são corretas, mas a hipótese III é falsa.
- c) A hipótese I é correta, porém as hipóteses II e III são falsas.
- d) Todas as hipóteses são falsas.
- e) A hipótese I é falsa, porém as hipóteses II e III são corretas.

2. Um respeitado jornal de circulação nacional apresentou uma matéria na qual o jornalista fez os seguintes comentários a respeito das fases de evolução do Universo:

I. “Sabemos hoje que o Universo teve início com uma grande explosão.”

II. “Os fótons que interagiram com os elétrons pela última vez durante a recombinação são observados na Terra em todas as direções. Como esses fótons têm, hoje, uma frequência de radiação de micro-ondas, nós os chamamos de radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM).”

III. “Podemos dizer que a época da recombinação foi aquela em que o Universo entrou em uma fase em que não havia qualquer fonte de luz, a chamada idade das trevas.”

Analise os comentários do jornalista e assinale a alternativa correta.

- a) Os comentários I, II e III são corretos.
- b) Somente os comentários II e III são corretos.
- c) Somente os comentários I e II são corretos
- d) Somente o comentário I é correto.
- e) Todos os comentários são incorretos.

3. O início do século XX é um período da história extremamente rico em debates, proposições de modelos teóricos e descobertas importantes que impulsionaram o avanço da ciência em seus diversos ramos.

Considerando esse momento extraordinário da história humana, assinale a alternativa que apresenta a correlação correta entre o cientista e sua descoberta.

- a) Em 1923, Edwin Hubble descobre que os objetos nebulosos não eram galáxias.
- b) Os trabalhos de Alexander Friedmann (1888-1925) apontavam para a impossibilidade de variação do tamanho do Universo.
- c) Em 1929, Edwin Hubble descobre que a velocidade de afastamento das galáxias era inversamente proporcional à distância delas em relação ao referencial Terra.
- d) Em 1908, a astrônoma Henrietta Leavitt (1868-1921) descobre a correlação entre o período de pulsação e a luminosidade das estrelas variáveis chamadas cefeidas.
- e) Em 1927, o abade Georges Lemaître (1894-1966) prevê a existência da radiação cósmica de fundo.

Seção 1.2

O Universo em larga escala

Diálogo aberto

Na seção anterior, você aprendeu alguns conceitos básicos sobre a origem e a evolução do Universo. Nesta seção, iremos discutir temas relacionados às galáxias e sua distribuição em larga escala. Nesse caminho, aprenderemos como elas se formam, como se diferenciam, como se agrupam e como se relacionam entre si. Conheceremos melhor a galáxia que habitamos, a Via Láctea, e visualizaremos a nossa posição dentro dela. Enfim, faremos várias outras descobertas fantásticas!

Lembra-se da palestra e das atividades desenvolvidas na escola dirigida por Raul, cuja finalidade foi explicar de maneira simples a evolução do Universo? Pois bem, uma semana se passou desde o primeiro encontro e você terá uma nova experiência com o seu público. Dessa vez, sua tarefa será utilizar a sala de informática como um instrumento na aprendizagem da astronomia. Imagine que os alunos, empolgados com a possibilidade de utilização da sala de informática, tenham pedido a você que mostrasse os diversos tipos de galáxias existentes no Universo. Assim, sua tarefa será ajudá-los na busca e identificação dessas estruturas magníficas.

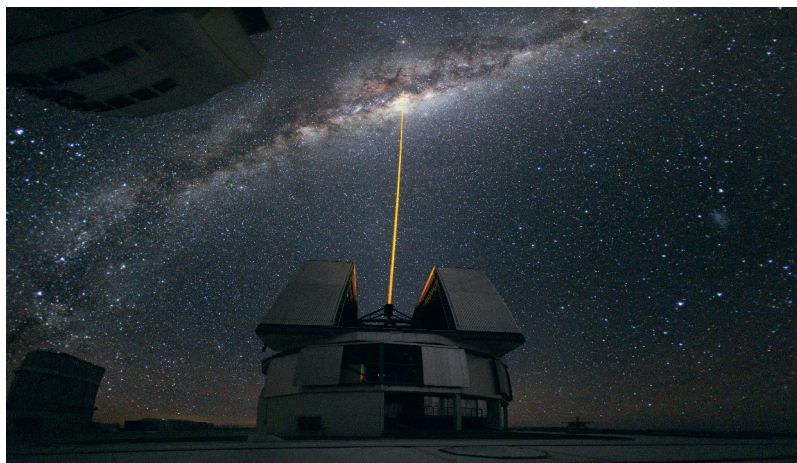
Espero que ao final desta seção você tenha condições de ajudar os alunos da escola de Raul nessa nova etapa. Vamos lá?

Não pode faltar

Você conhece a origem da palavra galáxia? Ela tem origem grega (*galaktikos*) e significa "branco leitoso". Caso você observe o céu em uma noite límpida, sem luar, em uma região isenta da poluição luminosa das cidades, perceberá uma faixa de luz fraca e difusa que atravessa o hemisfério celeste de um horizonte a outro. Chamamos essa faixa leitosa de formação estelar de Via Láctea. Vários povos antigos a perceberam e esse nome deriva dessas primeiras observações. É interessante ressaltar que os povos indígenas brasileiros também a notaram e chamavam esse caminho

esbranquiçado que atravessava o céu de suas aldeias de “o caminho da anta” (*Tapi’i rapé*, em Guarani) ou “a morada dos deuses”, e nele identificaram suas próprias constelações. A Figura 1.4 mostra a Via Láctea, a nossa galáxia!

Figura 1.4 | Parte da Via Láctea vista da Terra



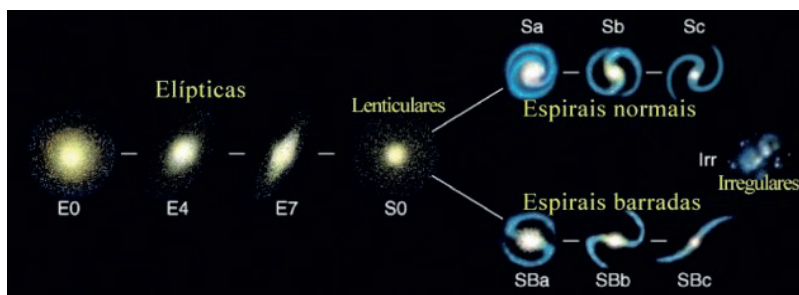
Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6a/A_Laser_Beam_Towards_the_Milky_Way%27s_Centre.jpg>. Acesso em: 14 maio 2017.

Mas, afinal, o que são galáxias? Como elas se formaram? Você deve se recordar da Seção 1.1, na qual estudamos uma época da evolução do Universo denominada a idade das trevas, em que a matéria passou por um processo de reorganização, colapsando em regiões de maiores densidades. Nesse período, se formou uma espécie de teia cósmica controlada pela matéria escura. Regiões com elevadas densidades atraíam mais matéria, enquanto que regiões menos densas iam se tornando imensos vazios. Nessas localidades de elevada densidade, denominadas halos de matéria escura, houve a formação das primeiras estrelas. Esse fato nos leva a concluir que a formação de qualquer estrutura, desde estrelas a superaglomerados de galáxias, ocorre devido a instabilidades gravitacionais. Existem dois possíveis modelos para explicar a formação das galáxias: o colapso monolítico e o modelo hierárquico (PICAZZIO, 2011). No cenário monolítico, parte da matéria em colapso (gás) dá origem às estrelas e a aglomerados globulares (agrupamentos de estrelas). Se a massa de gás da nuvem em colapso apresentar certa rotação, ocorrerá um processo em que há a formação de um disco no qual as estrelas vão se acomodando com o passar do tempo. Já o segundo cenário, o

hierárquico, diz que em primeiro lugar há formação de pequenas galáxias (um pouco maiores que aglomerados globulares) e que elas se fundem, gerando galáxias cada vez maiores. O modelo que mais se adapta às observações e aos parâmetros cosmológicos é o hierárquico. Embora o processo de sua formação seja um tema ainda em discussão, uma galáxia pode ser entendida como uma associação de estrelas, planetas, corpos celestes, gases, poeira interestelar e matéria escura ligadas gravitacionalmente. Essas associações apresentam formas, tamanhos e propriedades bem distintas, podendo conter trilhões de estrelas ou apenas milhões, serem achatadas ou esféricas, apresentarem ou não barras etc. Apesar de serem bastante estudadas atualmente, a compreensão dessas estruturas ocorreu apenas no início do século passado. O primeiro a apontar um telescópio para a Via Láctea foi Galileu Galilei (1564-1642), no século XVII, o que permitiu que ele concluísse que ela era composta por uma grande quantidade de estrelas. Depois de Galileu Galilei, uma série de estudos e debates sobre esses objetos foram realizados e era comum confundir-os com nebulosas. Como já mencionado na Seção 1.1, coube a Edwin Hubble, em 1923, mostrar que esses objetos nebulosos observados eram, na verdade, outras galáxias.

Em 1936, Edwin Hubble propôs um modelo de classificação para as galáxias baseado em sua morfologia e que ainda é utilizado hoje. Esse modelo divide as galáxias em quatro tipos morfológicos: elípticas, espirais (normais e barradas), lenticulares e irregulares (LÉPINE, 2008). A Figura 1.5 mostra a classificação de Hubble.

Figura 1.5 | Classificação das galáxias segundo Hubble



Fonte: Picazzio (2011, p. 233).

As observações de Hubble e posterior classificação mostraram a diversidade das galáxias existentes no Universo. Agora que já sabemos que existem vários tipos de galáxias e que elas podem ser classificadas

de acordo com sua morfologia, vamos estudar as características que regem tal classificação.

As galáxias elípticas se assemelham a uma elipse com diferentes excentricidades, ou seja, uma verdadeira bola de estrelas com diferentes graus de achatamento. São simbolizadas pela letra E, seguida de um número inteiro que varia de 0 a 7, indicando sua excentricidade: as galáxias elípticas do tipo E0 possuem um formato aproximadamente circular, enquanto uma galáxia elíptica do tipo E7 possui forma semelhante a um grão de arroz. Esses tipos de galáxias apresentam núcleos brilhantes, com regiões externas mais tênues e bordas mal definidas. Outra característica marcante é a de quase não possuírem gás ou poeira, ou seja, a matéria-prima que permite a formação contínua de estrelas é escassa. Essas galáxias são formadas, em grande maioria, por estrelas de população II (velhas) (LÉPINE, 2008; PICAZZIO, 2011; OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

As galáxias espirais, como a Via Láctea, apresentam discos com núcleos e halos difíceis de serem observados, já que eles possuem brilhos elevados. Vale lembrar que o halo é uma região que está ao redor da galáxia, como mostra a Figura 1.6. O disco e os braços espirais dessas galáxias são compostos por estrelas de população I (jovens) e bastante gás e poeira, especialmente nos braços, o que garante uma alta taxa de formação estelar que, conseqüentemente, justifica o brilho intenso observado. Já o halo é constituído de uma população de estrelas do tipo II (velhas). Os braços espirais estão enrolados em torno do núcleo, dando não mais do que uma volta ao seu redor. As galáxias espirais podem ser divididas em dois grupos: as normais e as barradas. O que distingue um grupo de outro é a existência ou não de uma formação com aspecto de barra com origem central e que se estende para a borda da galáxia. Cada um dos grupos citados anteriormente ainda é subdividido em quatro subgrupos, levando-se em consideração o tamanho relativo da região central e o afastamento dos braços espirais dessa região. A galáxias espirais normais são simbolizadas pela letra S; já as espirais barradas, por SB; as letras minúsculas a, b, ou c são utilizadas para descrever características das regiões centrais e dos braços espirais. Por exemplo, uma galáxia espiral barrada e com os braços espirais próximos é designada por SBa; já uma galáxia espiral não barrada e com os braços mais afastados da região central reduzida é designada por Sc (LÉPINE, 2008; PICAZZIO, 2011; OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

Há uma classe intermediária de galáxias apresentando um pequeno disco e um grande bojo, porém sem evidências de braços. Essas galáxias são denominadas lenticulares e representadas por S0. Entre algumas de suas características está sua similaridade com as galáxias elípticas, sendo facilmente confundidas com estas, principalmente quando distantes. Existem também algumas galáxias que não se enquadram em nenhum dos três tipos descritos, sendo denominadas irregulares. Essas galáxias têm formas arbitrárias e não apresentam um eixo de simetria (LÉPINE, 2008; PICAZZIO, 2011; OLIVEIRA; SARAIVA, 2014). O Quadro 1.2 traz um resumo das principais propriedades das galáxias apresentadas na classificação de Hubble.

Quadro 1.2 | Resumo das propriedades das galáxias da sequência de Hubble

Propriedade	Espirais	Elípticas/lenticulares	Irregulares
Massa (Sol)	$10^9 - 10^{12}$	$10^7 - 10^{13}$	$10^8 - 10^{11}$
Diâmetro (kpc)	5 – 30	1–1000	1–10
Luminosidade (Sol)	$10^8 - 10^{11}$	$10^6 - 10^{12}$	$10^7 - 10^9$
Pop. estelar	Jovem e velha	Velha	Jovem
Tipo espectral	A a K	G a K	A a F
Gás	Bastante	Muito pouco	Bastante
Poeira	Bastante	Muito pouco	Depende
Cor	Azulada no disco; amarelada/ vermelha no bojo	Amarelada/vermelha	Azulada

Fonte: Picazzio (2011, p. 235).

Quando iniciamos o estudo de uma galáxia em particular, algumas de suas componentes estruturais devem ser conhecidas. As componentes mais comuns são a esferoidal (núcleo, bojo e halo) e a de disco (disco fino, disco grosso, barra e braços espirais). Para visualizarmos melhor tais componentes, vamos utilizar como modelo a Via Láctea, que é a galáxia onde estamos localizados. A sua estrutura está representada na Figura 1.6, na qual podemos observar algumas das componentes citadas.



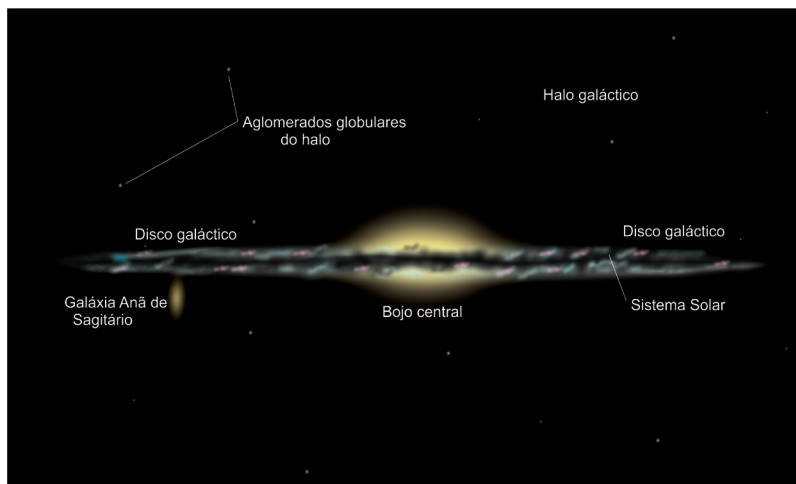
A unidade mais apropriada para a medida de distâncias dentro do sistema solar é a unidade astronômica (UA), que representa a distância média entre a Terra e o Sol. O valor da unidade astronômica é **1UA = 150.000.000 (1,5 × 10⁸km)**. Quando se trata de medidas de distância na escala cósmica, as unidades mais apropriadas são: o ano-luz, que corresponde à distância percorrida pela luz em um ano, e o parsec (pc). Sendo o ano-luz uma medida de distância que está relacionada com um certo intervalo de tempo (**1 ano = 31.536.000 s**) e com a velocidade da luz (**c = 3 × 10⁵ km / s**), ele pode ser estimado usando a seguinte relação:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ano-luz} &= V \cdot t \\ &= 3 \times 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \times 31536000\text{s} \\ &\cong 9,46 \times 10^{12} \text{km.} \end{aligned}$$

A relação entre ano-luz e pc é: **1pc ≅ 3,26 anos-luz**. Agora, você já pode compreender as várias escalas usadas para estudar o Universo.

A Via Láctea é uma galáxia espiral barrada constituída de um disco composto por um núcleo, que é envolto por um halo praticamente esférico. Os braços espirais e a matéria entre os braços constituem o disco, que tem forma circular e achatada, com diâmetro de 30.000 parsecs (100.000 anos-luz) e espessura de 300 parsecs, aproximadamente. O disco está embebido no halo, que é uma região esférica constituída de aglomerados globulares e grande quantidade de matéria não luminosa, cuja extensão é de aproximadamente 100.000 parsecs em torno do centro da galáxia. No centro da galáxia está o núcleo, composto por grande quantidade de gás, poeira, estrelas e um imenso buraco negro, todos inseridos em um espaço de três parsecs de diâmetro. O núcleo é envolvido por uma estrutura em forma de barra, denominada bojo nuclear, que é uma região com cerca de 2.000 pc de raio, constituída de estrelas velhas. E nós, onde estamos? O Sistema Solar está localizado em um dos braços espirais (o braço de Órion) na periferia da galáxia, a cerca de 8.500 parsecs de seu centro.

Figura 1.6 | Componentes da Via Láctea: a figura aponta algumas das componentes principais da nossa galáxia, além de mostrar a posição aproximada do Sistema Solar.



Fonte: <<https://goo.gl/A3sq2Q>>. Acesso em: 15 maio 2017.

Estima-se que a massa contida na Via Láctea seja da ordem de 10^{12} massas solares e que sua luminosidade vista de fora seja equivalente a valores entre 10^6 a 10^{11} luminosidades solares (LÉPINE, 2008; PICAZZIO, 2011; OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).



Pesquise mais

Você já ouviu falar em galáxias ativas, em radiogaláxias ou mesmo em quasares? Que tal conhecer um pouco mais sobre essas galáxias peculiares? Acesse a videoaula em que o professor João Evangelista Steiner apresenta uma excelente discussão sobre tais assuntos. Disponível em: <<http://iptv.usp.br/portal/video.action?idItem=20397>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

Você deve ter ficado espantado com os valores de variáveis como massa, distância e luminosidade apresentados até agora. Mas entenda que quando pensamos em distribuição de matéria em grandes escalas, por exemplo, em um raio de um bilhão de anos-luz, a nossa noção de medida é extrapolada. Nesse cenário, observamos uma tendência de as galáxias se agruparem. Esses agrupamentos, em escalas menores, formam os grupos e aglomerados de galáxias e, em escalas maiores, os superaglomerados e os filamentos cósmicos,

também chamados de “muros”. Os maiores muros podem ter até 700 milhões de anos-luz de extensão.



Exemplificando

A nossa galáxia, por exemplo, faz parte de um grupo de aproximadamente 40 galáxias denominado Grupo Local. O grupo local se estende por uma região com diâmetro aproximado de oito milhões de anos-luz. Esse agrupamento abriga duas galáxias espirais gigantes, a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda, também conhecida como M31, sendo elas as maiores galáxias do Grupo Local. Praticamente toda a massa do Grupo Local, estimada em cerca de 2×10^{12} massas solares, está concentrada nessas duas grandes espirais. Para que você tenha uma ideia de quão massivas são a Via Láctea e a Andrômeda, saiba que a galáxia M33 (a galáxia do Triângulo), a terceira mais massiva do Grupo Local, tem menos de um décimo da massa da Via Láctea. Saiba também que a soma da massa de todas as outras 38 galáxias conhecidas não chega a 10% da massa do Grupo Local.

Os aglomerados de galáxias, por sua vez, são estruturas que comportam milhares de galáxias e se estendem em regiões com diâmetro de 20 milhões de anos-luz. A massa total de um aglomerado varia entre 10^{14} e 10^{15} massas solares. Como exemplo de aglomerados de galáxias podemos citar os aglomerados de Virgem e de Coma, descobertos por Charles Messier e William Herschel. É interessante notar que, apesar de serem supermassivos, a massa das galáxias (2 a 3%), somada à massa do gás intra-aglomerado (12 a 15%), não totaliza a massa total prevista para esses objetos. Se a matéria composta por prótons e nêutrons não explica o valor previsto, devemos concluir que a maior parcela da massa estimada nos aglomerados se deve à presença da matéria escura (aproximadamente 85%). O Universo comporta estruturas ainda mais colossais que as vistas até agora: os superaglomerados de galáxias! Os superaglomerados são objetos em formação e estão longe de uma situação de equilíbrio, que apresentam dimensões de 100 milhões de anos-luz e massas entre 10^{16} e 10^{17} massas solares (PICAZZIO, 2014). Podemos citar como exemplos dessas estruturas os superaglomerados de Perseus-Peixes, Shapley e Hidra-Centauro.

Pelo fato de as estruturas do Universo se comportarem de maneira dinâmica e tenderem a se agrupar, podemos esperar que passagens próximas ou mesmo colisões de galáxias devem ser comuns nesse

ambiente cósmico. Hoje, sabemos que a passagem de uma galáxia próxima de outra, mesmo sem haver colisão, gera deformações em ambas e pode desencadear surtos de formação estelar. Espera-se que em três ou quatro bilhões de anos haja um encontro quase frontal entre a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda, que se dirige em nossa direção a uma velocidade de 120 km/s. O resultado dessa colisão será, após centenas de milhões de anos, a formação de uma galáxia elíptica gigante.



Refleta

Mencionamos que choques entre galáxias são eventos comuns no Universo. O que você acha que ocorre com as estrelas e seus respectivos sistemas planetários quando esses objetos monstruosos se encontram?

Sem medo de errar

Sendo o responsável pelas atividades que visam preparar os alunos da escola do diretor Raul para a participação na Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA), você deve utilizar o laboratório de informática para ajudá-los a identificar e classificar algumas galáxias. Lembra-se?

Imagine, então, que eles tenham acessado o site da Nasa e selecionado o conjunto de objetos mostrado na Figura 1.7. Agora, eles esperam por sua ajuda! Vamos lá?

Figura 1.7 | Conjunto de tipos de galáxias do Universo



PGC 83677



NGC 4394



NGC 6814



M87



NGC 55

Fonte: <<https://nasasearch.nasa.gov/search?query=el%C3%ADptica+galaxy&affiliate=nasa&utf8=>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

Para concluir esta etapa, você deve fazer uma revisão atenta do conteúdo da Seção 1.2 e utilizar a classificação das galáxias idealizada por Hubble para identificar e classificar as estruturas contidas na Figura 1.7.

Seguindo o proposto, você chegará à conclusão de que:

- PGC 83677 é uma galáxia lenticular.
- NGC 4394 é uma galáxia espiral barrada.
- NGC 6816 é uma galáxia espiral.
- M 87 é uma galáxia elíptica.
- NGC 55 é uma galáxia irregular.

Avançando na prática

Identificando estruturas e fenômenos no Universo

Descrição da situação-problema

Imagine agora que os alunos, ao utilizarem o laboratório de informática, tiveram acesso a alguns sites contendo imagens que remetiam a estruturas e fenômenos encontrados no Universo. Como a todo momento eles pediam sua atenção e apontavam empolgados para as novas descobertas, buscando compreender seus significados, você resolve escolher algumas dessas imagens e explicá-las a todos, tornando a aula mais produtiva. As imagens selecionadas são mostradas a seguir. Então, que tal decifrá-las?

Figura 1.8 | Estruturas e fenômenos presentes no Universo



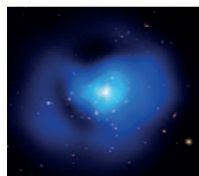
I - Abell 1185



II - NGC 2207 e IC 2163



III - HCG 87



IV

Fonte: <<https://nasasearch.nasa.gov/search?query=cluster+galaxy&affiliate=nasa&utf8=>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

Resolução da situação-problema

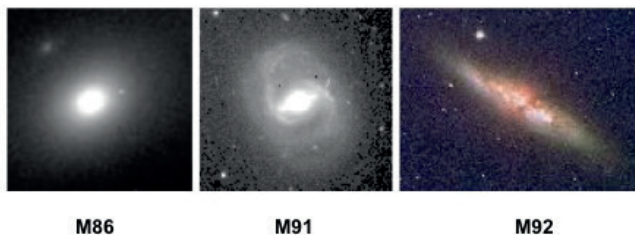
O seu objetivo é identificar o que são as estruturas e fenômenos representados no conjunto de imagens da Figura 1.8. Para obter êxito nessa nova etapa, você deve fazer uma releitura atenta da seção.

Após seguir essas orientações, você deverá ser capaz de relacionar as imagens com seus respectivos significados, como mostrado a seguir:

- Imagem I: aglomerado de galáxias Abell 1185.
- Imagem II: colisão entre duas galáxias espirais.
- Imagem III: pequeno grupo de galáxias HCG 87.
- Imagem IV: representação de um aglomerado de galáxias permeado por matéria escura.

Faça valer a pena

1. Observe as figuras a seguir, em que são mostradas as galáxias M86, M91 e M92.



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/galax/index.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

De acordo com a classificação de Hubble, assinale a alternativa que contém a associação correta entre a galáxia e sua respectiva classificação.

- M86 – SBb; M91 – S0; M92 – Sc.
- M86 – S0; M91 – SBb; M92 – Irr.
- M86 – Irr; M91 – Sb; M92 – SBc.
- M86 – E7; M91 – SBb; M92 – Irr.
- M86 – Irr; M91 – SBc; M92 – E5.

2. A seguir são apresentadas algumas afirmações sobre a Via Láctea:

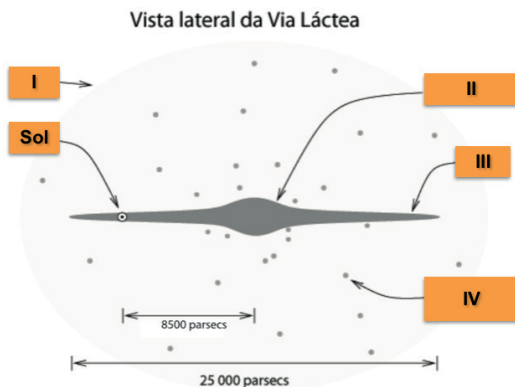
I. O Sistema Solar está localizado em um dos seus braços espirais, conhecido como o braço de Órion, que está localizado na periferia da galáxia, a cerca de 8.500 parsecs de seu centro.

II. As galáxias espirais podem ser divididas em dois grupos: as normais e as barradas. Observações e modelos sugerem que a Via Láctea é uma galáxia espiral normal.

III. Em um futuro distante, ou seja, daqui a três ou quatro bilhões de anos, haverá um encontro quase frontal entre a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda. De acordo com seus conhecimentos sobre a Via Láctea, analise as afirmações e assinale a alternativa correta.

- a) As afirmações I e II são corretas.
- b) As afirmações II e III são corretas.
- c) As afirmações I e III são corretas.
- d) Somente a afirmação III é correta.
- e) Todas as afirmações são corretas.

3. Observe a figura:



Fonte: adaptada de Oliveira e Saraiva (2014, p. 582).

Agora, com base em seus conhecimentos sobre a Via Láctea, assinale a alternativa que completa corretamente os espaços indicados com os números I, II, III e IV, com suas respectivas componentes.

- a) I – halo; II – bojo; III – disco; IV – aglomerados globulares.
- b) I – bojo; II – halo; III – disco; IV – aglomerados globulares.
- c) I – halo; II – disco; III – bojo; IV – galáxias do grupo local.
- d) I – disco; II – bojo; III – halo; IV – galáxias do grupo local.
- e) I – aglomerados globulares; II – bojo; III – disco; IV – halo.

Seção 1.3

Fronteiras da Física: matéria e energia escuras

Diálogo aberto

Para entender a evolução do Universo e discutir algumas possibilidades que dizem respeito a seu possível futuro, necessitamos estudar suas principais componentes. O Universo possui três componentes: a matéria bariônica (4,4%), a matéria escura (22,6%) e a energia escura (73%). O comportamento delas irá ditar o processo de evolução do Universo, ou seja, o destino do Cosmos será dependente da distribuição de matéria e energia. Veremos, por exemplo, que há uma grande quantidade de matéria escura que permeia estruturas como as galáxias e os aglomerados de galáxias, porém, essa matéria exótica não pode ser detectada diretamente, sendo somente estimada de maneira indireta. Sabe-se da existência da matéria escura desde a década de 1930. Nas décadas seguintes, foi descoberta a presença desse tipo de componente também nas galáxias. Também se sabe que a outra componente desconhecida, a energia escura, provavelmente é a responsável pela aceleração da expansão do Universo.

Lembra-se de sua última visita à escola do diretor Raul? Naquele dia, você utilizou o laboratório de informática para ajudar os alunos a aprenderem a reconhecer os vários tipos de galáxias existentes em nosso Universo e enfatizou que a maior parte da massa que constituía esses sistemas não era bariônica. Naquela ocasião, os alunos ficaram surpreendidos com a beleza, com o exotismo e com a dimensão das estruturas apresentadas. Porém, a surpresa veio acompanhada de novas perguntas, por exemplo: o que são a matéria e a energia escuras? Qual é o formato do Universo? Do que ele é composto? Como será o seu fim?

De imediato, você prometeu responder a essas perguntas, assim como dar um desfecho para esse cenário fantástico de origem, evolução e fim do Universo. Entretanto, como o tempo da aula estava se encerrando, foi combinado que a promessa seria cumprida em um próximo encontro.

Espero que ao final desta seção você tenha condições de responder às perguntas levantadas e assim encerrar o nosso primeiro ciclo de estudos que, até o momento, abordou a origem, a evolução e o futuro do Universo. Vamos lá?

Não pode faltar

As componentes do Universo

Na Seção 1.1, abordamos detalhadamente vários temas que discutiam a origem e a evolução do Universo, mas assuntos relacionados às suas componentes ou mesmo à sua forma geométrica foram apresentados rapidamente e serão retomados aqui de forma mais detalhada. Ao final desta seção, teremos um panorama geral do possível futuro do Universo e perceberemos a importância de parâmetros como a densidade (matéria e energia), a geometria e a taxa de expansão nesse contexto.

A observação sistemática do Universo fez com que os astrônomos e físicos concluíssem que a matéria como a conhecemos, formada pelos átomos da tabela periódica, constitui praticamente uma exceção no Universo. Como veremos, o Universo apresenta três componentes principais: a matéria bariônica, a matéria escura e a energia escura. As medidas mais recentes mostram que a matéria bariônica, conhecida também como a matéria normal, corresponde a 4,4% de toda a massa-energia do Universo; a matéria escura, a 22,6%; e a energia escura, a 73%. É estranho termos a consciência de que desconhecemos a natureza do que constitui 95,6% do Universo. Mas devemos enfatizar que, embora de naturezas desconhecidas, é de extrema importância o estudo dessas componentes escuras, pois elas irão definir o possível destino do Cosmos.



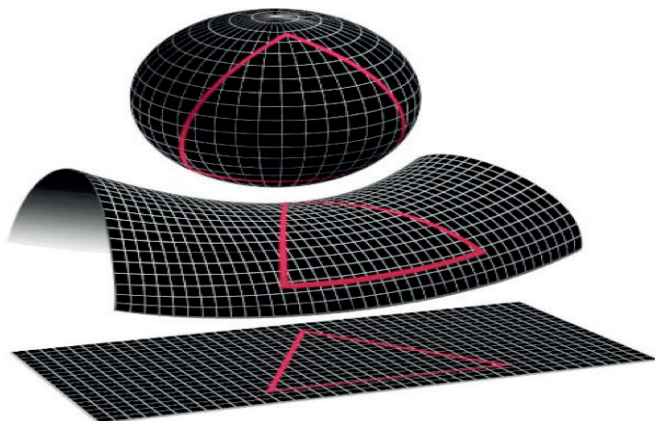
Assimile

Os modelos teóricos mostram que a forma geométrica do Universo é determinada pela sua quantidade de matéria e energia, podendo assumir um formato plano, aberto ou fechado. O parâmetro de densidade, que representa a relação entre as densidades de suas diferentes componentes (matéria, energia escura, radiação, estrelas, neutrinos etc.), define o formato do Universo. Ele pode ser definido como:

$$\Omega = \frac{\rho_o}{\rho_c}$$

em que ρ_c (10^{-29} g/cm³) e ρ_o são a densidade crítica e a densidade estimada por observação, respectivamente (PICAZZIO, 2011). Desse modo, se o parâmetro de densidade Ω for igual a 1, ou seja, se a densidade observada for igual a densidade crítica, teremos um Universo com geometria plana. Entretanto, se a densidade observada for menor que a densidade crítica, estaremos diante de um Universo com geometria aberta (uma espécie de sela de cavalo). Porém, caso a densidade observada seja maior que a densidade crítica, o Universo terá uma geometria fechada (como uma esfera). Lembre-se de que a densidade observada, que é utilizada para o cálculo do parâmetro de densidade, é a soma das densidades de todas as componentes do Universo. As duas primeiras possibilidades (geometria plana e aberta) apontam para um Universo infinito; e, a terceira (geometria fechada), para um Universo cíclico. A ideia de um Universo fechado é comum a várias visões cosmológicas antigas, porém, incompatível com a teoria da inflação. Essa incompatibilidade ocorre porque o Universo fechado pode se contrair, acabando em um Big Crunch e, a partir daí, evoluir via um novo Big Bang. A Figura 1.9 apresenta as três possíveis geometrias do Universo.

Figura 1.9 | Os possíveis formatos para a geometria do Universo: Universo fechado, Universo aberto e Universo plano



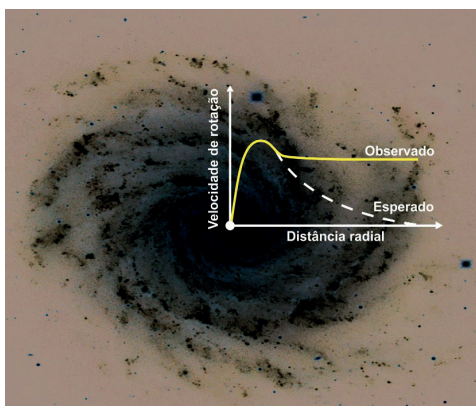
Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang>. Acesso em: 10 abr. 2017.

As observações astronômicas recentes (satélites como o COBE/WMAP e *redshift surveys* de aglomerados de galáxias) sugerem que, em grandes escalas, o Universo é plano, homogêneo (idêntico em sua totalidade) e isotrópico (mesma constituição em todas as direções).

A matéria escura

Em meados de 1930, os trabalhos de Fritz Zwicky (1898-1974) sobre os aglomerados de galáxias apontavam para a possibilidade de o Universo não ser dominado pela matéria bariônica. Seus trabalhos evidenciavam que algum tipo de matéria, que hoje conhecemos como matéria escura, permeava os aglomerados de galáxias. Os estudos desses aglomerados de galáxias permitiram que compreendêssemos que tais estruturas possuem três componentes principais, assim como que a maior parte da massa contida neles é devida à componente escura. Hoje sabemos que as galáxias do próprio aglomerado contribuem com 2% a 3% da massa do aglomerado; o gás intra-aglomerado, com 12 a 15%; e a matéria escura, com 85%. Por volta de 1960, surgiram as primeiras evidências de que esse tipo de matéria também estava presente nas galáxias. Já na década de 1980, vários cientistas estudaram e estimaram a massa de galáxias espirais através de sua curva de rotação. A curva de rotação de uma galáxia é um gráfico que relaciona a posição de uma determinada estrela com sua velocidade de rotação em torno do centro galáctico (PICAZZIO, 2011). A Figura 1.10 apresenta um esboço de duas curvas de rotação para uma galáxia espiral: uma teórica (linha pontilhada) e outra obtida pelas medidas de velocidades (linha contínua).

Figura 1.10 | Representação esquemática da curva de rotação de uma galáxia espiral



Fonte: Oliveira e Saraiva (2014, p. 594).

A linha pontilhada indica a forma esperada da curva para a quantidade de matéria luminosa que a galáxia contém. A curva contínua indica a forma da curva obtida pelas medidas das velocidades. A diferença entre as duas curvas é atribuída à existência

da matéria escura. A partir da análise das curvas de rotação de galáxias espirais, os astrônomos concluíram que o afastamento em relação à região central da galáxia não era acompanhado de uma queda na massa, e sim de um aumento linear dessa grandeza. Era sabido que a luminosidade das galáxias espirais decrescia ao nos dirigirmos do centro rumo à periferia, pois a quantidade de estrelas observadas diminuía nessa direção. Sabia-se também, por meio de modelos teóricos baseados nas leis de Newton, que as velocidades de rotação de estrelas localizadas na periferia das galáxias espirais deveriam ser menores quando comparadas com as velocidades de rotação de estrelas localizadas em regiões mais centrais. Você deve ter percebido que há uma contradição entre a estimativa teórica e o que se observava, ou seja, se a quantidade de estrelas diminui quando nos distanciamos do centro, como a massa pode aumentar? Como discutido anteriormente, esse fato aponta para a possibilidade da existência de uma grande quantidade de matéria que permeia as galáxias, mas que os astrônomos não conseguem observar diretamente, já que ela só interage de forma gravitacional (não emite nenhum tipo de radiação eletromagnética). Essa matéria misteriosa é a matéria escura, e isso constitui a maior porcentagem da massa das galáxias. Estimativas sugerem que a quantidade de matéria escura em uma galáxia é aproximadamente dez vezes maior que a quantidade de matéria bariônica. Esse fato também explica o comportamento plano das curvas de velocidade de rotação mesmo em posições mais afastadas da região central.

Quando pensamos nas componentes do Universo, devemos lembrar que matéria escura constitui 22,6% de toda a densidade do Universo, e que sua detecção se dá por meio do estudo do movimento de estrelas individuais em galáxias e do movimento de galáxias em aglomerados de galáxias. Ao aplicarmos a lei da gravitação a esses movimentos, concluímos que a massa apontada pelo modelo teórico é muito superior à massa observável (estrelas, poeira e gás). A natureza real da matéria escura ainda não é compreendida. Experimentos para tentar detectar sua presença em escala atômica (colisão dessas partículas com núcleos) já foram idealizados, porém sem resultados expressivos. Existem várias teorias sobre o que seria a tal matéria escura. Provavelmente ela seja composta de partículas subatômicas, menores que nêutrons, prótons e elétrons, e ainda indetectáveis pelos atuais instrumentos de medição utilizados pelos cientistas.



Você sabia que podemos estimar a massa de uma galáxia? Por exemplo, para realizarmos uma estimativa da massa de uma galáxia espiral, devemos considerar que todas as estruturas contidas nela, como as estrelas, os sistemas planetários, o gás e a poeira, giram em torno de seu núcleo. Assim, admitindo que uma estrela na periferia da galáxia descreve um movimento circular de raio R em torno do núcleo galáctico, podemos, por meio da segunda lei de Newton, estimar um limite inferior para sua massa. Nesse cenário, a estrela que orbita a região central da galáxia espiral estará submetida a duas forças: a força centrípeta (F_C) e a força gravitacional (F_G). Imaginando um sistema em equilíbrio, a magnitude dessas duas forças se igualam, e o valor mínimo para a variável em análise pode ser obtido por:

$$M_G^{espiral} = \frac{V_{estrela}^2 \times R}{G_0},$$

em que $M_G^{espiral}$ é a massa da galáxia; G_0 é a constante de gravitação, cujo valor é igual a $6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$; e $V_{estrela}$ é a velocidade da estrela escolhida para análise. Caso deseje, por exemplo, avaliar a massa da Via Láctea a partir da posição do Sistema Solar até seu centro, basta substituir os valores de velocidade e de distância na equação. Lembre-se de que a velocidade de rotação do Sol é igual a $2,2 \times 10^5 \text{ m/s}$ e que a distância entre nós e o centro da galáxia é de aproximadamente 8.300 pc.

Caso estivéssemos interessados em estimar a massa de uma galáxia elíptica, poderíamos utilizar o teorema do virial, que afirma que em um sistema estacionário (aquele cujas propriedades não variam com o tempo) a soma da energia potencial gravitacional das partículas com o dobro de sua energia cinética é nula ($E_{pot} + 2 \times E_c = 0$), e calcular diretamente o valor da variável em análise por meio da equação:

$$M_G^{eliptica} = \frac{2 \times V_{estrelas}^2 \times R}{G_0},$$

em que $M_G^{elipticas}$ é a massa total da galáxia e $V_{estrelas}$ é a velocidade média das estrelas.

A energia escura

Na Seção 1.1, ao estudarmos a evolução do Universo a partir do Big Bang, constatamos que, ao entrarmos na “Era da Matéria”, a densidade de radiação se tornou praticamente desprezível quando comparada à densidade de matéria, o que possibilitou a formação

das estruturas observadas hoje. Entretanto, quando o Universo tinha aproximadamente 10 bilhões de anos, uma outra componente, denominada energia escura, passou a dominar o balanço energético do Universo (PICAZZIO, 2011). Embora a astrofísica observacional ofereça evidências de sua existência, definir essa grandeza é uma tarefa complicada, já que não sabemos o que ela é e nem como medi-la. Acredita-se que se a energia escura dominasse o balanço energético em tempos mais remotos, talvez estruturas mais complexas, por exemplo, as galáxias não teriam se formado.

A energia escura, ao contrário da matéria escura, não pode ser detectada por meio de efeitos gravitacionais ao se observarem estruturas como galáxias e aglomerados de galáxias. O único efeito oriundo dessa componente é a aceleração da taxa de expansão do Universo. Esse efeito foi observado por dois grupos de astrônomos que, no final do século XX, estudavam supernovas do tipo Ia (funcionam como bons marcadores na determinação de distâncias), localizadas a centenas de milhões de anos-luz da Terra. A partir dos resultados dessas observações, os dois grupos concluíram, de forma independente, que a expansão do Universo estava sofrendo um processo de aceleração (PICAZZIO, 2011).



Pesquise mais

Você já ouviu falar em supernovas? E em supernovas do tipo Ia? As supernovas são eventos astronômicos que ocorrem durante o estágio final da evolução de estrelas massivas, sendo caracterizados por uma explosão muito brilhante. Mais especificamente, as supernovas de tipo Ia são eventos que podem se originar em sistemas binários (sistemas compostos por duas estrelas), quando uma estrela anã branca recebe a massa de sua companheira, ou também a partir da coalescência de duas anãs brancas.

Que tal assistir à simulação da explosão de uma supernova do tipo Ia? O vídeo indicado mostra a explosão gerada pela fusão de duas estrelas anãs brancas. O sistema binário está localizado na nebulosa planetária Henize 2-428, que é constituído por duas anãs brancas que estão se aproximando lentamente e devem se fundir em aproximadamente 700 milhões de anos.

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=58hwrMX9fyo>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

Acreditamos que você deve estar curioso para saber o que está ocasionando a aceleração do processo de expansão do Universo que estamos observando. Para tentar explicar esse fenômeno, utilizamos a teoria da relatividade geral, proposta por Albert Einstein. Essa teoria relaciona as propriedades geométricas do espaço com as fontes de energia-momentum disponíveis no meio (SOUZA, 2004). Estamos habituados a pensar que as únicas fontes de energia capazes de modificar a estrutura da natureza são aquelas que estão relacionadas com a matéria bariônica e com a radiação. Porém, uma fonte de energia menos comum, mas de grande relevância no estudo do Cosmos, é a energia proveniente do vácuo. Essa energia pode ser a causa da provável expansão acelerada do Universo que, como mencionado anteriormente, foi observada ao se analisar o brilho de supernovas do tipo Ia.

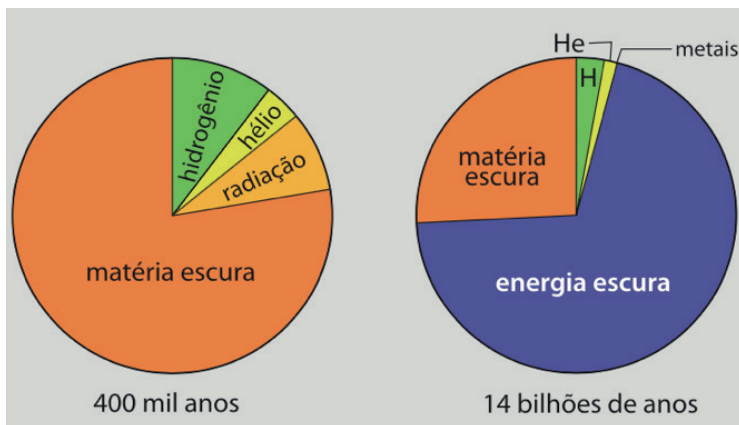


Refleta

Se o vácuo pode ser entendido como a ausência de matéria, como ele pode gerar uma pressão capaz de acelerar o Universo?

Teoricamente, tal expansão acelerada seria viável pois, diferentemente das Leis de Newton utilizadas para descrever as interações de atração gravitacional, a teoria da relatividade geral permite que a gravidade tenha um caráter repulsivo em um meio onde exista uma pressão suficientemente negativa para viabilizar o processo. Isto é, a energia escura, associada com a pressão exercida pelo vácuo, poderia ser encarada como uma "força de repulsão cósmica" que faz o Universo se expandir de forma acelerada. Hoje ainda não sabemos muito a respeito da energia do vácuo, e essa é uma área de pesquisa em que astrônomos e físicos de partículas estão trabalhando em conjunto na tentativa de compreender melhor a estrutura do Cosmos. Vale a pena enfatizar que a energia escura representa aproximadamente 73% de toda a densidade do Universo. A Figura 1.11 mostra as porcentagens das várias componentes do Universo em duas épocas distintas: a 400 mil anos e a 14 bilhões de anos após o Big Bang.

Figura 1.11 | Distribuição das componentes do Universo: à esquerda, a distribuição a cerca de 400 mil anos; e, à direita, a distribuição atual

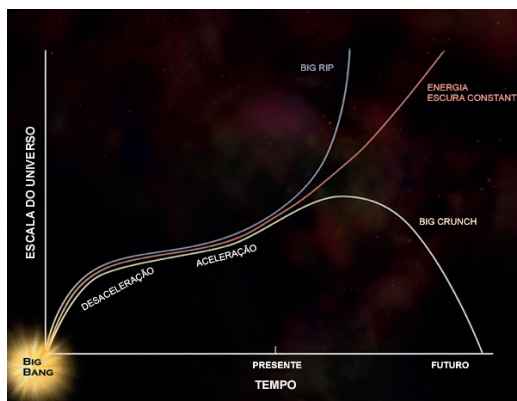


Fonte: Picazzio (2011, p. 275).

O futuro do Universo

Até aqui, discutimos muitos assuntos sobre a origem e a evolução do Universo. Agora, chegou o momento de apresentarmos algumas perspectivas sobre o seu futuro que, como veremos, será dependente da quantidade de matéria e energia existentes. Há três possibilidades para descrever o destino do Universo: uma expansão acelerada, uma contração ou uma expansão superacelerada. A Figura 1.12 mostra os três panoramas possíveis.

Figura 1.12 | O futuro do Universo, que pode evoluir de três maneiras distintas, dependendo da quantidade de matéria que contém



Fonte: Daminieli e Steiner (2010, p. 79).

No primeiro cenário, assumimos que a energia escura é uma constante da natureza. Logo, o Universo deve se expandir para sempre. Como vimos anteriormente, as observações apontam para uma expansão acelerada, portanto, todas as estruturas ligadas gravitacionalmente se afastarão umas das outras e, em centenas de bilhões de anos, é bem provável que galáxias não sejam mais avistadas no céu.

Já no segundo cenário, a densidade de energia escura vai diminuindo com o passar do tempo até deixar de existir e a densidade de matéria aumenta, atingindo um valor um pouco superior à densidade crítica. Nesse caso, a expansão cessa e a força da gravidade começa a atrair toda a matéria e radiação em direção a um único ponto. Ou seja, o Universo entrará em processo de contração rumo a uma singularidade. Ainda analisando as possibilidades desse cenário, chega-se à conclusão que Universo pode terminar em *Big Crunch* (inverso do Big Bang) e, posteriormente, até mesmo renascer em um novo Big Bang.

Embora as perspectivas de análise dos primeiros cenários sejam interessantes, o cenário mais fantástico é o terceiro. Nele, a pressão negativa do vácuo é maior que a prevista pelos modelos e observações atuais. Como consequência desse fenômeno, a taxa de expansão do Universo se torna superacelerada e, em poucos bilhões de anos, o espaço se expande de tal maneira que nenhuma força da natureza é capaz de freá-lo. Aqui, um cenário catastrófico surge: primeiro, as estrelas escapariam da atração gravitacional de suas galáxias. Depois, os planetas escapariam de suas órbitas em torno das estrelas. Em seguida, os planetas seriam destruídos. Depois, os átomos seriam separados das moléculas; os elétrons, dos átomos; os prótons e nêutrons, dos núcleos. Por fim, os quarks se separariam e o Universo se tornaria uma gigantesca "sopa de partículas elementares". Esse cenário é conhecido como *Big Rip* (Grande Ruptura).

De certa forma, conclui-se que o futuro do Universo está estritamente relacionado à maneira como a densidade de suas componentes (matéria bariônica, matéria escura e energia escura) vão se comportar ao longo do tempo. Logo, o entendimento desse comportamento é de extrema importância, já que ele praticamente definirá o padrão de sua evolução. Considerando que a densidade crítica é a densidade necessária para interromper a expansão observada atualmente, qualquer um dos cenários individuais descritos

ao longo desta seção podem se tornar reais, dependendo do valor assumido pelo parâmetro de densidade: se ele for maior ou igual a 0, teremos um Universo em expansão perpétua (com geometria plana ou aberta), porém, caso ele assuma um valor menor que 0, estaremos diante de um Universo que terá sua expansão interrompida, seguida de uma contração (com geometria fechada). Atualmente, as observações sinalizam para um Universo plano, em expansão acelerada, homogêneo e isotrópico.

Sem medo de errar

Lembra-se da situação-problema apresentada no início da seção? Você ficou encarregado de auxiliar os alunos a buscarem respostas para as indagações levantadas durante os debates ocorridos em seu último encontro com a turma. Essas novas dúvidas estavam relacionadas aos seguintes temas: as componentes do Universo, sua geometria e seu possível futuro. Após ter realizado uma releitura atenta da Seção 1.3, sua primeira tarefa deve ser organizar as perguntas levantadas pelos alunos e relacioná-las aos conceitos já discutidos, buscando uma compreensão contextualizada com os dados teóricos e observacionais levantados nos últimos anos. Desse modo, um exemplo de organização possível seria:

- O que são matéria e energia escuras?
- Qual é o formato do Universo?
- Do que ele é composto?
- Como será o seu fim?

Agora, após a releitura da seção e a organização das perguntas, chega o momento em que você deve preparar respostas para as questões citadas. Segue um texto contendo uma possível abordagem contextualizada para as indagações.

A matéria contida no Universo e que podemos observar (matéria bariônica) corresponde a somente 4,4% do todo, ou seja, tudo o que você observa na forma de planetas, estrelas, galáxias, gases, poeira, pessoas etc. é praticamente uma exceção! Ou seja, 96,6% do Universo é, para nós, algo desconhecido. O termo desconhecido refere-se à matéria e energia escuras. As primeiras evidências da existência da matéria escura surgiram no início do século passado, em meados de 1930, por meio do estudo de aglomerados de galáxias. Algumas décadas depois, foi cogitado que esse tipo de matéria

permeava as galáxias individualmente. Esse tipo de matéria postulada não interage com a matéria comum, e só podemos detectá-la por meio de interações gravitacionais sobre a matéria visível, por exemplo: as galáxias e os aglomerados de galáxias. A matéria escura corresponde a 22,6% do total da densidade do Universo. Os outros 73% são atribuídos à energia escura. Essa energia hipotética estaria distribuída por todo o espaço e provavelmente seria a responsável por acelerar a expansão do Universo, como sugerem as observações de supernovas de tipo Ia. Ao contrário da matéria escura, a energia escura não pode ser detectada via interações gravitacionais e há indicações que sua origem esteja relacionada à pressão exercida pelo vácuo. Ela age como uma espécie de “força repulsiva”, atuando em larga escala e em oposição à gravidade. É bom enfatizar que o Universo é composto por essas três componentes e que a maneira como elas vão se distribuir ao longo do tempo vai determinar o destino do Universo.

Há um parâmetro de densidade que nos dará uma ideia da geometria do Universo. Esse parâmetro é a razão entre a densidade observada e a densidade crítica. Se o valor desse parâmetro for igual a 1, estaremos diante de um Universo plano. Entretanto, se o valor desse parâmetro assumir um valor menor que 1, então, o Universo terá uma geometria aberta. Porém, caso esse mesmo parâmetro tenha um valor maior que 1, o Universo em questão terá uma geometria fechada. Atualmente, as observações apontam para um Universo plano em largas escalas.

O destino do Universo está ligado ao comportamento de suas componentes. Assim, há praticamente dois destinos para o Universo: uma expansão perpétua (acelerada ou superacelerada) ou uma expansão seguida de contração. O que vai definir seu possível futuro é o parâmetro de densidade. Se o valor desse parâmetro for maior ou igual a 0, teremos um Universo em expansão perpétua (com geometria plana ou aberta). Porém, caso ele assuma um valor menor que 0, estaremos diante de um Universo que terá sua expansão interrompida, seguida de uma contração, fenômeno conhecido como *Big Crunch* (com geometria fechada). Aqui, o Universo poderia renascer por meio de um novo Big Bang. Lembre-se também de que na expansão superacelerada ocorre o que chamamos de *Big Rip*, ou seja, a expansão é tão acelerada que o Universo se tornaria uma verdadeira “sopa de quarks”. Atualmente, as observações sinalizam para um Universo plano,

em expansão acelerada, homogêneo e isotrópico.

Como vimos, foi redigida uma possível resposta às questões levantadas, mas sintá-se à vontade para elaborar suas próprias argumentações com o objetivo de respondê-las.

Avançando na prática

Como medir as componentes bariônica e escura em uma galáxia

Descrição da situação-problema

Uma das perguntas mais comuns e intrigantes feitas pelas pessoas diz respeito à essência da matéria escura e sua relação com a matéria bariônica da qual somos formados. Sabemos muito pouco sobre essa componente escura do Universo. Porém, há possibilidades de se debater o tema, mesmo com tal deficiência.

Imagine que tenham surgido as seguintes questões durante um momento da aula em que você estava discutindo a existência da matéria escura em galáxias espirais individuais:

- “Professor, como os astrônomos medem a quantidade de matéria bariônica de uma galáxia?”
- “Como sabemos que a matéria escura está realmente presente nessas estruturas?”
- “Poderíamos fazer uma estimativa da quantidade de matéria escura de uma galáxia?”

Logo, sua primeira tarefa consiste em realizar uma releitura atenta do material estudado até o momento e responder à primeira questão proposta. Posteriormente, você deve utilizar os dados a seguir e realizar um cálculo para estimar a quantidade de matéria bariônica presente na galáxia em questão. Vamos lá!

- Escolha do tipo de galáxia (espiral ou elíptica): galáxia espiral.
- Escolha da distância da estrela ao centro da galáxia: 40 kpc.
- Escolha da velocidade aproximada da estrela: $2,20 \times 10^5$ m/s.
- Realização de cálculos (utilização de equações apresentadas no texto): equação para o cálculo da massa de uma galáxia espiral.
- Considerar que a massa de matéria escura é aproximadamente dez vezes maior que a massa de matéria bariônica.

Resolução da situação-problema

Um modelo de resposta é mostrado a seguir, mas lembre-se que é importante que você desenvolva sua própria argumentação a respeito do tema.

Os astrônomos, em uma primeira aproximação, calculam a massa de uma galáxia com base em sua luminosidade: galáxias mais luminosas contêm mais estrelas, portanto, são mais maciças do que as menos luminosas. Desse modo, encontramos uma medida direta da massa luminosa das galáxias. Existem, porém, outros métodos mais gerais para avaliar a massa total de uma galáxia. Eles exploram o movimento de rotação de estrelas em galáxias espirais, já que, assim como os planetas do Sistema Solar, as estrelas e nuvens de gás que compõem essas galáxias possuem movimento de rotação e descrevem órbitas mais ou menos circulares em torno do centro galáctico. Nesse movimento, a velocidade de cada estrela depende, além da distância do seu centro, da parcela de massa galáctica presente no interior da sua órbita. Logo, o estudo sistemático desses movimentos permite medir a massa total das galáxias em espiral. O gráfico representando as velocidades medidas em função da distância do centro é chamado de curva de rotação galáctica.

O cálculo aproximado da matéria bariônica presente em uma galáxia espiral pode nos dar uma estimativa da quantidade de matéria escura que ela possui. Considerando os dados fornecidos, temos:

$$M_G^{espiral} = \frac{V_{estrela}^2 \times R}{G_0} \text{ em que, dividindo o valor encontrado pela}$$

massa do Sol, encontramos $M_G^{espiral} = 4,5 \times 10^{11}$ massas solares.

Lembre-se de que a quantidade de matéria escura presente em uma galáxia é aproximadamente dez vezes superior à quantidade de matéria bariônica, ou seja, a galáxia em análise deve conter aproximadamente $4,5 \times 10^{12}$ massas solares de matéria escura! Toda essa massa que não pode ser observada diretamente é a responsável pelo fato de curvas de rotação das galáxias apresentarem um comportamento diferente do previsto.

Faça valer a pena

1. Ao examinarmos os espectros de muitas estrelas de uma galáxia em espiral, esperamos que as estrelas nas bordas da galáxia se movam mais lentamente do que as mais internas. Entretanto, a natureza nos reserva uma

surpresa: após um crescimento linear (em correspondência com a região central), a curva de rotação se estabiliza em um valor constante à medida que aumenta a distância do centro.

De acordo com seus conhecimentos sobre as principais componentes do Universo, assinale a alternativa que apresenta uma explicação coerente que justifique as ideias contidas no texto.

- a) O que explica a situação descrita é a presença de matéria bariônica em excesso nas galáxias do tipo espiral.
- b) O que explica a situação descrita é a presença de energia escura nas galáxias do tipo espiral.
- c) O que explica a situação descrita é o excesso de estrelas na periferia das galáxias do tipo espiral.
- d) O que explica a situação descrita é a presença de matéria escura nas galáxias do tipo espiral.
- e) O que explica a situação descrita é a ausência de matéria escura nas galáxias do tipo espiral.

2. Durante uma aula de Astronomia, o professor pede aos alunos que analisem as seguintes afirmações enquanto verdadeiras (V) ou falsas (F):

I. O Universo possui três componentes: a matéria bariônica, a matéria escura e a energia escura.

II. Os possíveis cenários para o futuro do Universo são: uma expansão acelerada, uma contração ou uma expansão superacelerada.

III. A teoria da relatividade geral não prevê uma expansão acelerada do Universo, pois a gravidade não pode assumir um caráter repulsivo.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

- a) I - F; II - V; III - V.
- b) I - V; II - F; III - V.
- c) I - V; II - V; III - V.
- d) I - F; II - F; III - F.
- e) I - V; II - V; III - F.

3. Com o estabelecimento do modelo cosmológico do Big Bang, acreditava-se que a expansão inicial de 13,7 bilhões de anos estaria diminuindo com o tempo, mas duas equipes de pesquisadores independentes descobriram que a expansão estava acelerando.

A seguir, são realizadas algumas afirmações sobre a expansão do Universo. Analise-as enquanto verdadeiras (V) ou falsas (F):

I. Esse efeito foi observado por dois grupos de astrônomos que, em meados de 1988, estudavam supernovas do tipo Ia localizadas a centenas de milhões de anos-luz da Terra.

II. A energia escura, assim como a matéria escura, não pode ser detectada por meio de efeitos gravitacionais ao se observar estruturas como galáxias e aglomerados de galáxias.

III. A energia proveniente do vácuo pode ser a causa da provável expansão acelerada do Universo.

Agora, assinale a alternativa que apresenta a resposta correta:

- a) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- b) As afirmativas I e III são falsas e a afirmativa II é verdadeira.
- c) As afirmativas I e III são verdadeiras e a afirmativa II é falsa.
- d) As afirmativas I e II são falsas e a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são falsas.

Referências

- BALTHAZAR, Wagner Franklin; OLIVEIRA, Alexandre Lopes de. **Partículas elementares no ensino médio**: uma abordagem a partir do LHC. São Paulo: Livraria da Física, 2010.
- BERNARDES, Luander. **Exoplanetas, extremófilos e habitabilidade**. 2004. 206 f. Dissertação (Mestrado em Astronomia) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- DAMINELLI, Augusto; STEINER, João. **O fascínio do Universo**. São Paulo: Odysseus, 2010.
- LÉPINE, Jacques R. D. **A Via Láctea**: nossa ilha no Universo. São Paulo: Edusp, 2008.
- OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria de Fátima. **Astronomia e astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.
- PICAZZIO, Enos (Org.). **O céu que nos envolve**: introdução à astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: Odysseus, 2011.
- PIRES, Antônio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- RAUCHFUSS, Horst. **Chemical evolution and the origin of life**. Berlin: Springer, 2008.
- SALINAS, Silvio R. A. **A física do século XX**. Estudos Avançados. vol. 24, n. 68 São Paulo: 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100025>. Acesso em: 9 mar. 2017.
- SHAW, Andrew M. **Astrochemistry**: from astronomy to astrobiology. John Wiley & Sons, 2006.
- SOUZA, Ronaldo E. **Introdução à cosmologia**. São Paulo: Edusp, 2004.

Astronomia I

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo!

Nesta unidade, nosso objeto será estudar temas relacionados à gravitação, às estrelas e ao Sistema Solar. Na Seção 2.1 veremos como eram os primeiros modelos utilizados para descrever o Sistema Solar que, na Antiguidade, era entendido como o próprio Cosmos. Veremos como o pensamento aristotélico influenciou a construção dos primeiros esboços da configuração do Sistema Solar. Estudaremos os modelos de Ptolomeu, de Copérnico e de Kepler. Veremos também como a lei da gravitação universal de Isaac Newton, foi importante para a quebra de vários paradigmas, por exemplo, o do "céu perfeito". Além disso, veremos como as leis de Kepler e da gravitação podem ser aplicadas a problemas reais, como no lançamento de satélites artificiais.

Já na Seção 2.2, estudaremos as estrelas, como elas nascem, evoluem e morrem. Além disso, daremos a devida atenção às suas propriedades e classificação. No final dessa seção, focaremos na geração de energia proporcionada por essas incríveis estruturas autogravitantes, assim como da relação delas com a vida no planeta Terra.

Por fim, na Seção 2.3, nosso interesse estará focado no estudo mais detalhado do Sistema Solar. Entenderemos como ele se forma, qual é a sua estrutura e quais são os processos físicos envolvidos na sua criação e evolução. No término dessa seção, nosso objetivo será a definição e o estudo de sistemas extrassolares.

A partir do estudo desta unidade, espera-se que você adquira competências e demonstre habilidades de compreensão, interpretação, levantamento de hipóteses e difusão dos conhecimentos apresentados em cada seção sob a forma de temas específicos.

Seção 2.1

Gravitação

Diálogo aberto

É comum ouvirmos dizer que a tecnologia “encurtou as distâncias” no mundo. Entretanto, o mais correto seria pensarmos que a tecnologia encurtou não só as distâncias no mundo como também as distâncias entre os mundos! Hoje em dia, utilizamos muito os satélites artificiais para diversos fins: comunicação, exploração espacial e planetária, observação da terra, transmissão de dados, Sistema de Posicionamento Global (GPS), etc. Todas essas magníficas aplicações tecnológicas modernas só foram possíveis graças aos trabalhos de gigantes como Copérnico, Kepler, Galileu, Newton, Einstein, entre outros.

Imagine que você faz parte de uma equipe que trabalha em uma empresa de consultoria aeroespacial, denominada Abequar Projetos e Consultorias. Um representante de um grupo de investidores está em busca de ajuda para estudar a possibilidade de exploração da Terra a partir de recursos e tecnologias brasileiros. O grupo pretende financiar a construção e o lançamento de satélites, porém, não conhece muito sobre os aspectos técnicos da exploração espacial e requereu alguns encontros para discutir alguns temas específicos. Para um primeiro encontro, o gerente da empresa solicitou que você estruturasse e apresentasse uma conferência abordando os seguintes temas:

- Um breve histórico da evolução da compreensão dos céus.
- As órbitas keplerianas.
- Os satélites artificiais e as órbitas keplerianas.
- A vida útil dos satélites artificiais.

Esperamos que ao final desta seção você seja capaz de planejar uma ótima conferência informativa ao grupo de investidores. Vamos lá!

Não pode faltar

Breve histórico

As estrelas e os planetas sempre fascinaram a humanidade. Ao longo dos tempos, muitas teorias surgiram para tentar explicar os

movimentos desses corpos. Os gregos foram os primeiros a apresentar teorias que tentavam explicar o que era observado na esfera celeste, deixando de lado as ideias místicas comumente difundidas pela maioria dos povos. Naquela época, o Universo conhecido era restrito aos elementos do Sistema Solar e, para muitos povos, os astros eram deuses ou símbolos das divindades.

Até certo momento, os gregos viam a Terra como uma superfície achatada. Pensadores como Anaximandro (pensador que viveu entre 609 e 546 a.C.), ao tentarem explicar os fenômenos que ocorriam no horizonte, disseminavam a ideia da forma cilíndrica do planeta Terra. Entretanto, em meados de 300 a.C., Platão e Aristóteles propuseram que a Terra era esférica e que todos os outros corpos celestes estavam à sua volta (PIRES, 2008). Essa ideia, apesar de ser incorreta, conseguia explicar os eclipses, e deu suporte ao que é considerado o primeiro modelo universal inabalável sobre o funcionamento do mundo: o modelo geocêntrico (“geo”, em grego, significa Terra).

Aristarco de Samos (310-230 a.C.) já adotava o modelo heliocêntrico (“hélios”, do grego, Sol), ou seja, aquele em que o Sol estava no centro do Universo. Porém, esse modelo não foi bem acolhido pela concepção ideológica da época e acabou sendo esquecido. O modelo adotado foi o geocêntrico. Assim, em concordância com a ideologia dominante, o modelo mais bem aceito era o de Cláudio Ptolomeu (90-170), que perdurou até o início do Renascimento. Seu modelo geocêntrico era um tanto quanto confuso, mas conseguia explicar os fenômenos que eram observados na esfera celeste.

No século XVI, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) fez com que a ideia do heliocentrismo voltasse a ser discutida. Para Copérnico estava claro que, o Sol era o centro do Universo, e que todos os planetas giravam em torno da estrela central. Em termos religiosos, era inconcebível que Deus tivesse colocado o Sol como centro do Universo e não a Terra, de modo que o modelo de Copérnico sofreu muita rejeição. Há relatos que dizem que sua grande obra, *De revolutionibus orbium coelestium*, só foi publicada quando ele estava no leito de morte. Além disso, continha uma introdução não escrita por ele, ressaltando que as hipóteses ali apresentadas não deveriam ser levadas como uma descrição da realidade, mas sim como mero artifício matemático para corrigir problemas no modelo ptolomaico.



Você já ouviu falar sobre a máquina de Anticítera? Acredita-se que ela foi um dispositivo que teve origem na Grécia antiga e era capaz de calcular os movimentos dos planetas, estima-se que sua origem tenha acontecido aproximadamente em 80-87 a.C. Ela foi o primeiro ancestral dos computadores astronômicos. Esse dispositivo foi encontrado nos destroços de um naufrágio na ilha grega de Anticítera. Essa máquina utilizava uma engrenagem diferencial, que acreditava-se ter sido inventada no século XVI. Por ser pequena e complexa, chegou a ser comparada a um relógio do século XVII. Acesse o link indicado e leia o artigo *Mecanismo de Anticítera: o primeiro computador desenvolvido por Arquimedes* para conhecer mais sobre esse incrível dispositivo. Disponível em: <http://portalaeda.edu.br/novo/wp-content/uploads/2016/08/REVISTA-SINTESE_07.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

Por volta do final do século XVI ressurgiu a ideia do geocentrismo, cuja autoria é devida ao conceituado astrônomo Tycho Brahe. Ele acreditava que o Sol girava em torno da Terra, e os demais planetas giravam em torno do Sol descrevendo órbitas circulares. O embate retomado entre as duas teorias, heliocentrismo e geocentrismo, fez com que os astrônomos da época fizessem observações mais apuradas. No início do século XVII, aluno e assistente de Tycho Brahe, Johannes Kepler, concluiu que realmente os planetas orbitavam o Sol, porém, não descreviam movimentos uniformes em órbitas circulares, como previa o modelo de Copérnico.

Apesar da revolução filosófica, científica e cultural que acompanhava as ideias renascentistas, ainda continuava sendo uma heresia afirmar que, na verdade, eram os planetas que giravam em torno do Sol, e não da Terra. Giordano Bruno foi julgado pela Inquisição e queimado vivo numa fogueira por defender o heliocentrismo e a existência de outros sistemas planetários. Galileu Galilei, por volta de 1630, publicou a obra *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*, na qual defendia que o Sol era o centro imóvel do Universo, enquanto a Terra girava em sua volta. Um dos primeiros a observar o céu noturno com a ajuda de um telescópio foi Galileu. E em 1610, ele conseguiu descobrir as quatro maiores luas de Júpiter. Essa foi considerada a primeira observação de satélites orbitando outro planeta. Ele também constatou que a Lua apresentava crateras, assim como observou e explicou corretamente as manchas solares. Todas

essas descobertas, somadas à descoberta de que Vênus possuía fases, similares às fases da Lua, contradiziam o modelo geocêntrico defendido pela Igreja. Como resultado de suas ideias, foi convocado pelo Papa em Roma e, temendo ser queimado pela Santa Igreja, se retratou de forma humilhante perante a corte do Santo Ofício (PIRES, 2008).

Foi nesse clima tenso e repressor que as bases da ciência moderna se desenvolveram.



Assimile

Você sabia que o céu, por muito tempo, foi considerado um local perfeito e que o Universo antigo se restringia ao Sistema Solar? Na verdade, é sabido que os povos antigos percebiam os movimentos diários dos astros na esfera celeste (uma espécie de esfera fictícia de raio indefinido e concêntrico com as coordenadas da Terra, onde os objetos visíveis no céu poderiam ser representados como projeções) de maneira quase imediata, porém, a percepção do movimento anual das estrelas e do Sol em relação às estrelas fixas exigiam observações mais apuradas e prolongadas. Foi por meio dessas observações que aquelas civilizações perceberam o movimento de algumas "estrelas" em relação às estrelas fixas. Na realidade, o que eles estavam observando eram os planetas do nosso Sistema Solar, e não estrelas como imaginavam. Naquele tempo, os planetas conhecidos eram: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. A palavra planeta foi utilizada para denominar as "estrelas móveis", de modo que essa palavra significa astro móvel ou astro errante.

Nesse período da história da humanidade, o céu era considerado um local perfeito. Esse conceito levou o homem a admitir que os movimentos dos astros também deveriam se aproximar da perfeição. Assim, a visão geométrica desse "espaço sagrado" só poderia ser representada por uma figura geométrica perfeita, no caso, a circunferência. Partindo desse pressuposto, os astros deveriam percorrer circunferências em movimentos uniformes.

O Sistema Solar e seus modelos

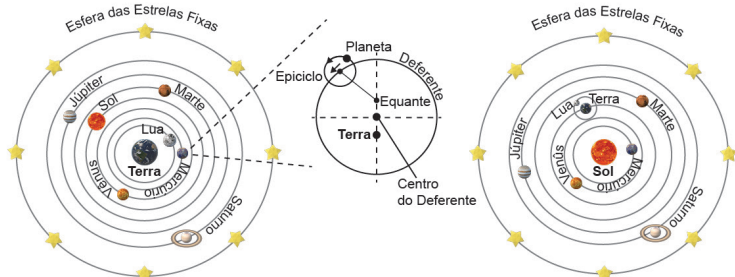
O modelo geocêntrico foi sistematizado por Cláudio Ptolomeu no século II, em sua obra intitulada *Almagestum*. Nela estão resumidos os principais conceitos sobre o mundo, a Terra, a Lua, o Sol, os planetas e as estrelas, assim como os seus funcionamentos, centrados na visão geocêntrica. Ptolomeu foi um dos grandes sábios gregos. Ele viveu toda a sua vida em Alexandria. Conhecia profundamente a geografia, a matemática, as geometrias plana e esférica, a astronomia, o calendário,

além de muitas outras áreas do conhecimento. Seu modelo foi concebido a partir de ideias preexistentes, e era sustentado por dois princípios: o da excelência dos movimentos circulares e uniformes e o da não alterabilidade do Cosmos (PICAZZIO, 2011).

É interessante ressaltar que o modelo ptolomaico, além de filosófico, era também matemático, prevendo com muita precisão a posição dos planetas, mesmo tendo a necessidade de utilizar para tal finalidade complicações geométricas, por exemplo, as definições epiciclos e deferentes (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014). Nota-se que o Universo de Ptolomeu era essencialmente aristotélico, ou seja, finito, formado por esferas concêntricas e com a Terra ocupando uma posição central. Uma representação desse modelo é mostrada na Figura 2.1. É interessante observar que o posicionamento dos planetas e da Lua adotado por ele, a partir da Terra, levava em consideração o tempo que cada astro demorava para dar uma volta completa na esfera celeste, ou seja, astros mais lentos estavam supostamente mais distantes.

Ptolomeu utilizou em seu modelo o conceito de epiciclos. Esse conceito foi criado porque o movimento real dos astros na esfera celeste não coincidia com a posição prevista pelos movimentos circulares e uniformes associados à ideia de um “céu perfeito”. Para não entrar em conflito com a noção de movimento circular uniforme, foi utilizada a teoria dos epiciclos: cada planeta giraria em movimento circular uniforme em torno de um ponto que, por sua vez, giraria em movimento circular e uniforme em torno da Terra (vide Figura 2.1). O movimento circular descrito pelo planeta era denominado epiciclo, e a circunferência descrita pelo centro do epiciclo recebia o nome de deferente (MILONE et al., 2010).

Figura 2.1 | Sistemas planetários de Ptolomeu e Copérnico: a imagem à esquerda representa o modelo geocêntrico e seus epiciclos, já a figura à direita é uma representação do modelo heliocêntrico



Fonte: adaptada de Milone et al. (2010, p. 10-11).

Sabemos que os planetas descrevem movimentos retrógrados, ou seja, a observação sistemática do deslocamento de um planeta no céu vai nos levar a concluir que, na maior parte do tempo, ele se deslocará entre as estrelas no sentido de Oeste para Leste, no denominado sentido direito. Entretanto, durante algum período de tempo, notaremos que ele volta no céu, deslocando-se de Leste para Oeste, no denominado movimento retrógrado. Você já deve imaginar que esse fato trouxe problemas para a teoria dos epiciclos, pois com o fato das observações se tornarem mais precisas, um único epiciclo não era mais capaz de explicar os fenômenos ocorridos na esfera celeste. Uma forma encontrada para contornar momentaneamente o problema estava associada à adição de vários epiciclos e deferentes para um mesmo planeta. Logicamente, a solução desses problemas, com a adição de mais elementos na configuração geométrica, tinha um limite a partir do qual os cálculos de uma posição se tornavam tão complicados que havia necessidade de remodelar o sistema. Aqui, percebe-se a necessidade da adoção de um modelo que explique os movimentos dos astros de maneira mais sutil.

Por volta de 1543, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico propôs um modelo que prometia explicar o movimento dos planetas de maneira mais simples (vide Figura 2.1). O modelo heliocêntrico de Copérnico considerava o Sol como o centro do Universo e que os planetas giravam ao seu redor em movimento circular e uniforme. Aqui, uma observação importante a ser feita diz respeito ao tratamento dado à Lua: ela era considerada uma exceção, pois descrevia um movimento circular em torno da Terra. A lógica de posicionamento dos planetas a partir da posição central do Sol seguiu a mesma sistemática utilizada no modelo geocêntrico: quanto mais lento fosse o movimento dos planetas entre as estrelas, mais distante ele estaria do Sol. O modelo de Copérnico ainda conseguia explicar de maneira bem simples o movimento retrógrado e as laçadas dos planetas.



Exemplificando

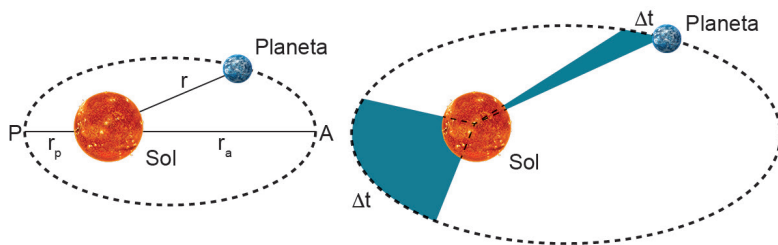
Você conhece o significado do termo “laçadas dos planetas”? Que tal ver uma simulação desse fenômeno a partir do GeoGebra e entender o seu significado? Disponível em: <<https://www.geogebra.org/m/xD8P5q2c>>. Acesso em: 5 maio 2017.

Assim como o modelo geocêntrico, o modelo de Copérnico já havia sido discutido por pensadores como Aristarco de Samos (281 a.C.) e Nicolas de Cusa (1401-1464), mas sem realizar um tratamento matemático mais robusto. O modelo de Copérnico, além de ser mais simples do que o de Ptolomeu, também explicava e previa o movimento dos planetas de maneira bastante confiável. Como já dissemos, ele segue diversos aspectos da estrutura do modelo de Ptolomeu, por exemplo, a crença em esferas (orbes) transparentes concêntricas, assim como a utilização de órbitas circulares e movimentos uniformes (PIRES, 2008). Devemos lembrar que Copérnico foi capaz de determinar os períodos e os raios das órbitas dos planetas com precisão excelente, apesar do fato de considerar essas órbitas sempre circulares. Porém, um dos problemas enfrentados pelo modelo de Copérnico estava no campo filosófico, já que ele praticamente excluía a necessidade da Terra de ocupar uma posição central no Universo, o que ia de encontro com a visão clássica já enraizada e defendida pela Igreja. Dessa maneira, o homem foi tirado do centro do Universo de forma ríspida, e devemos imaginar que uma quebra de paradigma de muitos séculos só poderia ser sustentada por argumentos fortes, incontestáveis e capazes de mudar a visão de Universo da época para sempre, o que não ocorreu naquele momento específico da história devido a vários fatores, entre eles o de não haver uma tecnologia capaz de propiciar uma observação mais profunda do Cosmos.

As leis de Kepler

Johannes Kepler descobriu que os movimentos dos planetas do Sistema Solar poderiam ser explicados de maneira simples a partir de três leis. Ele desenvolveu seu trabalho com base em estudos árduos dos dados experimentais obtidos pelo seu mestre Tycho Brahe, o que o levou a concluir que o verdadeiro formato da órbita marciana era a de uma elipse, com o Sol posicionado em um de seus focos (CALÇADA; SAMPAIO, 1993). Hoje conhecemos a generalização dessa descoberta como a primeira lei de Kepler: cada planeta percorre uma órbita elíptica com o Sol em um dos focos da elipse (vide Figura 2.2).

Figura 2.2 | Primeira e segunda leis de Kepler: à esquerda, P e A representam o periélio e o afélio, respectivamente



Fonte: adaptada de <<https://goo.gl/e53J1h>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

Note que a primeira lei de Kepler não exclui a possibilidade de a órbita ser circular pois, como sabemos, a circunferência é uma elipse particular de excentricidade nula. O ponto da órbita no qual o planeta está mais próximo do Sol é denominado periélio; e o ponto no qual o planeta está mais afastado, afélio.

Em 1609, Kepler foi mais longe, descobrindo que os planetas não giram ao redor do Sol em velocidade constante, como antes se supunha, mas aceleram e desaceleram, sendo que seus ritmos estão relacionados às suas órbitas. Conhecemos essa descoberta como a segunda lei de Kepler: a área varrida por uma reta que “liga” o planeta ao Sol é proporcional ao intervalo de tempo gasto para varrê-la. Matematicamente, essa lei pode ser escrita como:

$$A = k\Delta t$$

Em que k é uma constante denominada velocidade areolar do planeta (indica a área varrida pelo planeta em um certo tempo) e A é a área varrida pela reta que “liga” o planeta ao Sol. Vale frisar que a velocidade areolar de um planeta é constante, mas varia de um planeta para outro, já que eles estão em diferentes posições no Sistema Solar.

Alguns exemplos das consequências da segunda lei de Kepler no entendimento da dinâmica planetária podem ser resumidos a seguir, de acordo com Calçada e Sampaio (1993):

- A velocidade linear de translação de um planeta é variável ao longo da trajetória.
- No periélio, o planeta possui uma velocidade de translação máxima; já no afélio a velocidade de translação é mínima.

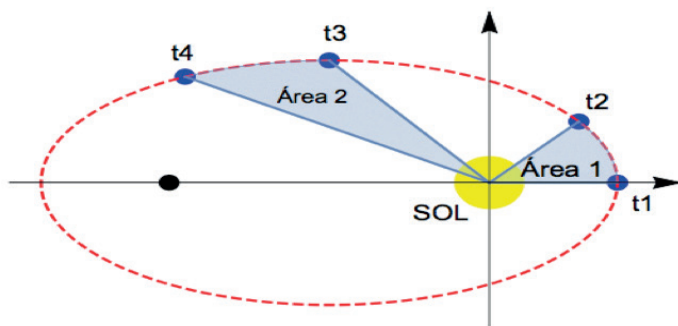
- O planeta, em sua órbita elíptica, tem movimento variado, sendo acelerado do afélio ao periélio e retardado do periélio ao afélio.
- Em órbita elíptica, sendo retardado o movimento do planeta, sua energia cinética deve diminuir. Porém, quando acelerado, sua energia cinética deve aumentar.
- Se a trajetória do planeta é circular, com o Sol no centro da órbita, então, seu movimento será uniforme.



Exemplificando

Você realmente entendeu a segunda lei de Kepler? Observe a figura a seguir e considere que o período de translação de Plutão corresponde a quase 250 anos terrestres, ou seja, enquanto Plutão completa uma volta ao redor do Sol, a Terra completa 250 voltas.

Figura 2.3 | Representação da segunda lei de Kepler



Fonte: elaborada pelo autor.

Imagine, então, que entre os pontos t1 e t2, Plutão tenha gasto 50 anos; e que entre os pontos t3 e t4, ele também tenha gasto 50 anos. Logo, pela segunda lei de Kepler, a área 1 é igual à área 2. Isso só é possível devido à variação da velocidade do planeta em seu movimento de translação. Quando ele está próximo ao Sol, se move mais rapidamente do que quando está mais afastado.

Já em 1619, Kepler (1571-1630) faz um novo avanço que, posteriormente, permitiu que o físico inglês Isaac Newton (1643-1727) desenvolvesse a teoria da gravitação universal. Ele conseguiu mostrar que a razão entre o quadrado do tempo que um planeta leva para

completar uma órbita (período T) e o cubo da distância média (R) do planeta ao Sol é uma constante. Essa façanha é conhecida como a terceira lei de Kepler, e pode ser escrita como:

$$\frac{R^3}{T^2} = C$$

Em que C é uma constante de proporcionalidade.

Alguns apontamentos podem ser feitos a partir do entendimento da terceira lei de Kepler (CALÇADA; SAMPAIO, 1993):

- Se considerarmos um planeta em órbita circular, a distância média será o próprio raio da circunferência, e o tempo será o período de um movimento circular e uniforme.
- Quanto mais afastado o planeta estiver do Sol, maior será o seu período de translação.
- A terceira lei de Kepler pode ser aplicada para um sistema composto por um planeta e seus satélites. Nesse caso, o planeta fará o papel do Sol.



Exemplificando

Que tal ver uma simulação das leis de Kepler, assim como observar a simulação de um satélite artificial orbitando a Terra?

Lei das órbitas e lei das áreas - 1ª e 2ª leis de Kepler. Disponível em: <<https://www.geogebra.org/m/KJyhGsye>>. Acesso em: 5 maio 2017.

Lei dos períodos - 3ª lei de Kepler. Disponível em: <<https://www.geogebra.org/m/wYVXTWBP>>. Acesso em: 5 maio 2017.

Órbita do satélite e velocidade. Disponível em: <<https://www.geogebra.org/m/GFT8ucB7>>. Acesso em: 5 maio 2017.

No século XX, satélites artificiais foram projetados para orbitarem a Terra com diversos objetivos, por exemplo: comunicações, meteorologia, transmissão de dados, observações da Terra e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Mas podemos aplicar as leis de Kepler ao sistema Terra-satélites? Em princípio, as leis de Kepler também são aplicáveis aos satélites. Elas são válidas se assumirmos que a Terra é uma esfera com distribuição de massa uniforme, e também que nenhuma outra força atua sobre o satélite. Na realidade, essas hipóteses não são verdadeiras, pois além da Terra não ser uma esfera, o Sol, a Lua, a radiação solar, e outros diversos fatores, atuam sobre o satélite, alterando assim sua órbita kepleriana. Dessa

maneira, as leis de Kepler podem ser aplicadas apenas como uma boa aproximação da realidade.

É interessante notar que a distância média do posicionamento dos satélites em relação à Terra varia de acordo com a aplicação desejada. Se o objetivo do satélite é obter imagens detalhadas da superfície da Terra, ele deve ser posicionado em uma órbita cuja distância média da superfície terrestre varia entre 700 e 900 km. Esse tipo de satélite possui uma velocidade média de 27.000 km/h. Se a finalidade for utilizar o satélite para comunicações, a órbita utilizada deve ser a geoestacionária. Nesse tipo de órbita, o satélite é colocado no plano do Equador a 35.800 km de distância da superfície da Terra. Os satélites do sistema GPS estão localizados a cerca de 20.200 km de distância da superfície terrestre e movem-se a uma velocidade média de 14.040 km/h.



Assimile

Você já sabe que um satélite é continuamente tirado da sua posição ideal de operação, razão pela qual precisa ser constantemente reposicionado por meio de manobras orbitais. Para executar essas manobras, o satélite aciona de modo intermitente vários propulsores, que utilizam propelente armazenado no satélite (combustível mais o oxidante). Atualmente, é a quantidade de propelente que limita a vida de um satélite geoestacionário. Ao fim do seu período de vida útil, o satélite é conduzido a uma espécie de "cemitério dos satélites", uma posição orbital onde é depositado o lixo espacial. A partir dessa posição, ele tem sua reentrada na atmosfera terrestre monitorada. Geralmente, eles se desintegram ou caem no mar.

Os trabalhos de Kepler, de certa forma, finalizam a busca pela compreensão dos movimentos vistos no céu e até hoje, os trabalhos de Kepler são utilizados. Mas coube ao seu contemporâneo, Galileu Galilei, apontar novas direções para a astronomia. Com a manipulação de um instrumento tecnológico da época, o telescópio, ele desvendou alguns dos enigmas escondidos nas profundezas do Universo. A partir de suas observações, tomamos ciência de que o céu não é um lugar estático, mas sim dinâmico, e que os objetos celestes, diferentemente da visão clássica, não eram perfeitos: possuíam fases, crateras, satélites e até mesmo discos. Galileu também mostrou à humanidade que a Via Láctea era composta de um conjunto enorme de estrelas, e que os elementos desse conjunto se multiplicavam à medida que o poder de aumento do telescópio se elevava. Entretanto,

como mencionado anteriormente, Galileu foi duramente perseguido pela Santa Igreja, e foi nesse ambiente de tensão que aconteceu uma verdadeira revolução na ciência e na filosofia.

A lei da gravitação universal

Vimos que, desde Kepler, os movimentos planetários tinham se tornado razoavelmente previsíveis, porém o principal paradigma do estudo do céu ainda não havia caído: quais regras se aplicam lá? Elas são válidas aqui na Terra?

Do ponto de vista filosófico, o céu e a Terra ainda estavam separados, da mesma forma que na época de Aristóteles.

Em meados de 1665, Isaac Newton iniciou a construção da teoria que iria equiparar os acontecimentos do mundo celeste com os do mundo terreno. Você já deve ter ouvido a história da queda da maçã: um certo dia, Newton estava sentado sob uma macieira e viu uma maçã caindo de uma árvore. Então, pensou que devia haver alguma razão para a maçã cair no chão e não ir para cima. A discussão sobre a veracidade da história pode ficar em segundo plano, mas devemos entender que Newton percebeu que a força que atraiu a maçã para a Terra deveria ser a mesma exercida para atrair a Lua, mantendo-a em órbita. A generalização do raciocínio nos permite concluir que as forças citadas são da mesma natureza que as forças que o Sol exerce para atrair e manter os planetas em sua órbita.

Ele chamou essas forças de forças gravitacionais e, a partir das leis de Kepler, deduziu que a força gravitacional entre o Sol e um planeta tinha intensidade diretamente proporcional à massa do planeta e à massa do Sol, bem como inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros. Essas conclusões podem ser estendidas a dois corpos materiais, constituindo-se assim a lei da gravitação universal: dois pontos materiais quaisquer, de massas m e M , separados pela distância d , atraem-se gravitacionalmente com força que atua na direção da reta que por eles passa e cuja intensidade é:

$$F_G = G_0 \frac{mM}{d^2}$$

Em que G_0 é uma constante universal, cujo valor é igual a $6,7 \times 10^{-11} \text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$, que tem o mesmo valor para qualquer par de pontos materiais.

Ao pensarmos em uma aplicação prática da lei da gravitação universal, podemos tomar como exemplo um satélite artificial em torno da Terra descrevendo uma órbita circular. Nessa situação, a força resultante que mantém o satélite em órbita é igual à força centrípeta. Logo, esta deve ter a mesma intensidade da força gravitacional:

$$\begin{aligned}
 F_G &= F_C \\
 G_0 \frac{mM}{d^2} &= \frac{mV^2}{R} \\
 V^2 &= G_0 \frac{M}{R} \\
 V &= \sqrt{G_0 \frac{M}{R}}
 \end{aligned}$$

Em que m e M são as massas do satélite e da Terra, respectivamente; R é a distância do satélite à Terra; e V é a velocidade de translação do satélite. A partir desse equacionamento, podemos deduzir a velocidade de translação do satélite.

Se considerarmos um satélite em movimento circular, podemos ainda, com a ajuda da lei da gravitação universal, chegar na terceira lei de Kepler, considerando que a velocidade linear V está relacionada com a velocidade angular, ω , por:

$$\begin{aligned}
 V &= \omega R \\
 V &= \frac{2\pi}{T} R
 \end{aligned}$$

Então, elevando os dois lados da equação anterior ao quadrado

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

e comparando com

$$V^2 = G_0 \frac{M}{R}$$

obtida anteriormente, chegamos na terceira lei de Kepler:

$$\begin{aligned}
 \frac{4\pi^2 R^2}{T^2} &= G_0 \frac{M}{R} \\
 \frac{R^3}{T^2} &= \frac{G_0 M}{4\pi^2}
 \end{aligned}$$

Em que a expressão do segundo membro da equação anterior é a constante C , sendo assim, a terceira lei de Kepler aplicada para satélites. Vemos que a terceira lei de Kepler é basicamente uma consequência direta da lei da gravitação universal de Newton.



Reflita

Ao considerarmos um satélite artificial em órbita circular em torno da Terra, podemos dizer que sua velocidade de translação depende de sua massa e de sua altitude?

Newton praticamente estabeleceu as bases para a ciência moderna. Sua famosa obra, chamada *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural), é tida como um dos primeiros livros a adotar o rigor e a precisão das narrativas científicas modernas.

Sem medo de errar

Lembra-se da situação-problema proposta no início da seção? Você ficou encarregado de estruturar e apresentar uma conferência abordando os temas que eram motivos de dúvidas entre os membros de um grupo de investidores.

Após fazer uma releitura da Seção 2.1, você poderia pensar em uma conferência que iniciasse com uma apresentação da evolução sobre o que se entende a respeito do Sistema Solar, ou seja, poderia expor as ideias advindas da Grécia nos tempos de Platão e Aristóteles, passando pelos modelos de Ptolomeu, Copérnico e Kepler. Poderia comentar, também, sobre a importância das observações de Galileu e da lei da gravitação universal de Newton para a evolução da exploração espacial.

Já no que se refere aos satélites artificiais, você poderia comentar sobre as órbitas keplerianas e a relação entre as velocidades de translação dos satélites e suas massas (segundo a lei da gravitação universal, há uma dependência ou não?). Você ainda poderia comentar que os satélites artificiais não descrevem órbitas keplerianas e que, por esse motivo, há necessidade de correção constante das órbitas por meio de acionamento de propulsores. Além disso, essa correção consome combustível (propelente), o que influencia de maneira direta a vida útil dos satélites, assim como a relação custo-benefício.

O texto apresentado é apenas um direcionamento dos pontos mais importantes dos temas que teriam de ser abordados. Lembre-se de que você deve organizar as suas próprias ideias e, a partir delas, planejar a estrutura mais adequada para a conferência!

Avançando na prática

Lançamento de um satélite de telecomunicações

Descrição da situação-problema

Imagine que o grupo de investidores deseja lançar um satélite em órbita geoestacionária para fins de telecomunicações. Desse modo, o satélite deve ficar “parado” em relação a um ponto fixo na Terra, para que a emissão e recepção de sinais entre o satélite e a estação transmissora localizada na Terra seja facilitada. Um esquema apontando uma proposta viável para a confecção do satélite é apresentado a eles:

- Massa do satélite: a ser definida.
- Tecnologia embarcada: a ser definida.
- Massa de propelente: 48% da massa total.
- Massa de propelente utilizada pela manobra final rumo ao “cemitério” dos satélites: 2% da massa do propelente.
- Massa de propelente para manter a órbita estacionária: igual a 23 kg por mês.
- Custo de projeto e lançamento: a ser definido.

O grupo foi alertado de que a quantidade de propelente limitava a vida útil do satélite, impactando a relação investimento-lucro.

Após tomar ciência da análise técnica e dos custos envolvidos, os investidores apontam para a possibilidade de execução do projeto, porém com a garantia de que o satélite tenha carga igual a 6.000 kg e vida útil de no mínimo dez anos. Além disso, foi questionada, também, a quantidade de propelente estimada para a viabilidade de operação do satélite.

Agora, a sua tarefa é reler atentamente a Seção 2.1, responder ao questionamento relacionado ao uso do propelente e verificar a viabilidade da proposta.

Resolução da situação-problema

Após fazer uma releitura da seção, você poderia argumentar que por não se manter em uma órbita kepleriana, o satélite precisa ser constantemente reposicionado por meio de manobras orbitais. Para executar essas manobras, o satélite aciona de modo intermitente vários propulsores, que utilizam propelente armazenado. Você poderia explicar também que, ao final do período de operação útil do satélite, ele deve ser conduzido a uma órbita para onde se destina todo o lixo espacial, permitindo, assim, que outro satélite ocupe seu lugar no espaço.

Para avaliar a proposta do grupo de investidores, você deve primeiro encontrar a massa utilizada como propelente, que é 48% de 6.000 kg, o que dará um valor de 2.880 kg de combustível utilizado para corrigir os desvios das órbitas keplerianas, manter o satélite em órbita geoestacionária e realizar a manobra final. Já a massa utilizada no deslocamento rumo ao "cemitério de satélites" é igual a 2% de 2.880 kg, o que representa 57,6 kg. Então, 2.880 kg menos 57,6 kg é igual a 2.822,4 kg. Como são consumidos 23 kg de propelente por mês, os 2.822,4 kg de propelente são suficientes para operar por 122,7 meses (2.822,4 dividido por 23 kg é igual a 122,7 meses), que é, aproximadamente igual a 10,2 anos (122,7 meses dividido por 12 meses é igual a 10,2 anos). Assim, você conclui que o projeto é viável.

Faça valer a pena

1. Por volta de 1543, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico propôs um modelo que prometia explicar o movimento dos planetas de maneira mais simples. Com relação ao modelo, leia algumas afirmações:

- I. O modelo foi sistematizado em sua obra intitulada *Almagestum*.
- II. O modelo heliocêntrico de Copérnico considerava que o Sol estava no centro do Universo e que os planetas giravam ao seu redor, em movimento circular e uniforme.
- III. A lógica de posicionamento dos planetas a partir da posição central do Sol seguiu a mesma sistemática utilizada no modelo geocêntrico.

De acordo com seus conhecimentos sobre os modelos para o Sistema Solar, depois de ler as afirmações, assinale a alternativa correta.

- a) A afirmação I é verdadeira, mas as afirmações II e III são falsas.
- b) A afirmação II é verdadeira, mas as afirmações I e III são falsas.
- c) A afirmação I é falsa, mas as afirmações II e III são verdadeiras.
- d) A afirmação III é verdadeira, mas as afirmações I e II são falsas.
- e) Todas as afirmações são verdadeiras.

2. Com relação ao modelo de Ptolomeu, leia as seguintes afirmações:

I. Ele é essencialmente aristotélico, ou seja, finito, formado por esferas concêntricas e com a Terra ocupando uma posição central.

II. Ptolomeu utilizou em seu modelo o conceito de epiciclos.

III. O posicionamento dos planetas e da Lua a partir da Terra, adotado no modelo, levava em consideração o tempo que cada astro demorava para dar uma volta completa na esfera celeste, ou seja, astros mais lentos estavam supostamente mais distantes.

De acordo com os seus conhecimentos sobre os modelos para o Sistema Solar, depois de ler as afirmações, assinale a alternativa correta.

a) A afirmação III é verdadeira, mas as afirmações I e II são falsas.

b) A afirmação I é falsa, mas as afirmações II e III são verdadeiras.

c) A afirmação II é verdadeira, mas as afirmações I e III são falsas.

d) A afirmação I é verdadeira, mas as afirmações II e III são falsas.

e) Todas as afirmações são verdadeiras.

3. Sobre as leis de Kepler, considere as seguintes afirmações:

I. Cada planeta percorre uma órbita elíptica, na qual o Sol ocupa um dos focos da elipse.

II. A área varrida pela reta que "liga" um planeta ao Sol é diretamente proporcional ao intervalo de tempo gasto para varrê-la.

III. A razão entre o quadrado do tempo que um planeta leva para completar uma órbita (período T) e o cubo da distância média (D) do planeta ao Sol é variável.

De acordo com os seus conhecimentos sobre as leis de Kepler, depois de ler as afirmações, assinale a alternativa correta.

a) As afirmações I e II são verdadeiras, mas a afirmação III é falsa.

b) A afirmação II é verdadeira, mas as afirmações I e III são falsas.

c) A afirmação I é falsa, mas as afirmações II e III são verdadeiras.

d) A afirmação III é verdadeira, mas as afirmações I e II são falsas.

e) Todas as afirmações são verdadeiras.

Seção 2.2

Estrelas

Diálogo aberto

Nesta seção, vamos estudar as estrelas e veremos que elas geram a energia necessária para a existência da vida na Terra. Ainda pensando em energia, perceberemos que ela pode ser utilizada em muitas aplicações tecnológicas modernas, desde aquecimentos residenciais até fornecimento de energia para subsistemas embarcados em satélites.

Lembra-se de que você fazia parte da equipe de uma empresa de consultoria aeroespacial denominada Abequar Projetos e Consultorias? Pois a empresa está envolvida na construção de uma estrutura de captação de energia solar de um satélite de comunicação. Você se pergunta: de onde vem a energia das estrelas? Como elas geram energia? Ela é eterna? Como elas surgem? Qual será o destino do Sol? Ele é uma estrela como as outras? Maior? Menor? Que diferença isso faz em sua luminosidade, no seu tempo de vida?

São respostas a essas questões que esta seção pretende lhe dar.

Não pode faltar

Estrelas e suas propriedades

Ao observarmos o céu noturno, mal podemos imaginar que seus inúmeros pontos brilhantes, as estrelas, podem nos ajudar a entender alguns dos vários enigmas do Universo. Assim como elas já inspiraram poetas e auxiliaram povos a se localizarem em suas jornadas através dos continentes e mares, hoje, além de fundamentarem a compreensão de nossa própria existência, ainda permitem que acessemos informações sobre o passado e o futuro da principal fonte de energia responsável pela vida na Terra: o Sol. Somente com o avanço da tecnologia foi possível comprovar que esses pontinhos flamejantes no céu eram, na verdade, corpos celestes do mesmo tipo que o Sol. Em seções anteriores, vimos que as estrelas se originam do colapso de imensas nuvens de gás (hidrogênio e hélio)

e poeira. Dessa forma, elas podem ser entendidas como imensas esferas de gás (principalmente hidrogênio) que se encontram a altas temperaturas, produzindo energia termonuclear, mantendo-se em equilíbrio (a pressão de radiação sustenta o colapso gravitacional) (PICAZZIO, 2011) e diferem dos planetas exatamente pelo fato de estes não possuírem fonte interna de energia nuclear. Agora, como já temos uma ideia do sistema físico que estamos abordando, faremos um estudo de algumas de suas principais propriedades básicas: temperatura, luminosidade, composição química, brilho, cor, tempo de vida, etc.

Uma estrela nasce quando se inicia a queima nuclear em seu núcleo. Antes dessa queima, ela é denominada protoestrela. Sabe-se que a dinâmica de evolução de uma estrela está correlacionada com sua massa inicial. Há um limite mínimo de massa para que uma estrela se forme. Esse limite está entre 75 e 87 vezes a massa de Júpiter, e essa variação está relacionada à metalicidade da estrela, ou seja, para estrelas com metalicidade similar à solar, o limite é 75 vezes a massa de Júpiter. Já para estrelas com metalicidade inferior, o limite é de 87 vezes a massa de Júpiter. Objetos com massas inferiores ao limite mínimo estabelecido são chamados de anãs marrons.

Quando examinamos a idade de uma estrela, percebemos que quanto maior a sua massa, mais curto é o seu tempo de vida. Essa característica se deve ao fato de que estrelas grandes possuem maior pressão em seus núcleos e, conseqüentemente, queimam o hidrogênio mais rapidamente. Estrelas maiores vivem em média cerca de um milhão de anos, enquanto estrelas menores, por exemplo, as anãs vermelhas, queimam seu combustível muito lentamente e podem durar de dezenas a centenas de bilhões de anos. A nossa estrela, o Sol, pode ser considerada uma estrela de baixa massa, e tem uma estimativa de vida de aproximadamente 11 bilhões de anos. Quando se analisa a composição química das estrelas da Via Láctea, observa-se que as suas massas se devem a uma composição de aproximadamente 71% de hidrogênio e 21% hélio, com alguns traços de elementos mais pesados. É interessante notar que, tendo um longo ou curto tempo de vida, as estrelas passam cerca de 90% de sua vida queimando hidrogênio em seu centro, na chamada fase estável.

As dimensões estelares dependem de sua massa e variam ao longo das fases de sua evolução, sendo que seus raios podem variar entre 0,2 e 13 raios solares no período em que existe queima

de hidrogênio em seu núcleo. Logo após essa etapa, uma estrela pode ter a sua dimensão alterada de forma robusta e até mesmo destruir sistemas planetários. Assim, não é difícil imaginar que se o raio da estrela cresce, mas não há nenhum acréscimo de massa ao sistema, então, a densidade da estrela deve diminuir. O raciocínio é verdadeiro, porém, devemos atentar ao fato de que, na região central dessas verdadeiras “usinas nucleares”, a densidade continua elevada, garantindo a viabilidade do processo de produção de energia, o que garante a continuidade de sua “luta” contra o colapso gravitacional.

Quando pensamos em temperatura, devemos esperar que o valor dessa variável no centro de uma estrela seja maior do que em sua superfície. A temperatura superficial de uma estrela depende de sua massa e da fase de sua evolução, podendo variar entre 2 mil e 40 mil K. Já no centro, considerando os mesmos parâmetros citados, a temperatura pode variar entre 10 milhões e 5 bilhões de K. As temperaturas superficiais e nucleares do Sol, por exemplo, são da ordem de 6 mil e 15 milhões de K, respectivamente.

As estrelas possuem duas propriedades que são de extrema importância para o seu estudo: sua cor e o seu brilho. A cor de uma estrela depende de sua temperatura superficial, enquanto o seu brilho depende da quantidade de luz que ela irradia por segundo, através de toda a sua superfície.

O brilho de uma estrela corresponde à taxa com que sua energia luminosa é emitida, sendo proporcional às suas temperaturas e área superficiais. Como vimos, as estrelas gigantes vermelhas possuem temperaturas relativamente baixas, porém, grande área superficial e, assim, são estrelas brilhantes, luminosas. Já as estrelas anãs brancas possuem temperaturas superficiais altas, entretanto, por serem muito pequenas, elas têm áreas superficiais também muito pequenas e são pouco brilhantes. É impossível observar uma anã branca a olho nu.



Exemplificando

Você conhece o termo magnitude aparente? Quando olhamos para o céu, o brilho aparente de uma estrela é o que percebemos mais facilmente. Na Antiguidade, os astrônomos classificavam as estrelas mais brilhantes como estrelas de primeira magnitude e as menos brilhantes de segunda, terceira, quarta, quinta e sexta magnitudes. Essa classificação se baseava na sensibilidade do olho! No século XIX, o astrônomo inglês

Norman R. Pogson fez comparações entre a intensidade da luz medida das estrelas (utilizando fotômetros) com a escala antiga de magnitudes. Ele percebeu que uma diferença de 5 magnitudes correspondia a um fator de 100 na quantidade de luz recebida, e que a escala antiga seguia um padrão logarítmico. Hoje, assumindo que a estrela mais brilhante do céu (estrela Vega) possui magnitude zero, que I_0 é a indicação de um fotômetro para essa estrela e que I é a indicação do mesmo fotômetro para uma outra estrela-alvo de estudo, a magnitude aparente pode ser calculada pela equação $m = -2,5 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

Outra característica importante das estrelas é sua luminosidade. Esta pode ser entendida como a taxa de emissão de energia emitida por segundo pela superfície da estrela (potência que ela pode gerar). Matematicamente, podemos representar essa grandeza como:

$$L = 4\pi \times R^2 \times \sigma \times T^4 \left[\text{erg.s}^{-1} \right]$$

Em que T , R e σ são a temperatura superficial, o raio da estrela e constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é igual a $5,67 \times 10^{-5} \text{ erg.cm}^{-2}.\text{K}^{-4}.\text{s}^{-1}$.

Para que tenhamos uma noção da ordem de grandeza da energia produzida pelo Sol a cada segundo, imagine que a Terra possua uma população de aproximadamente seis bilhões de habitantes. Se cada um deles deixasse uma lâmpada de 100 W acesa em tempo integral durante 50 anos, a energia gasta ainda seria 400.000 mil vezes menor que a energia gerada pelo Sol em um mísero segundo!



Refleta

Por que será então que, até o momento, ainda utilizamos tanto combustíveis fósseis que geram efeito estufa, quando poderíamos usar uma energia limpa e virtualmente inesgotável?

Estrelas e suas classificações

As estrelas podem ser classificadas por meio da análise de seus espectros (relacionada a sua temperatura superficial). A primeira classificação espectral foi feita por Angelo Secchi em 1863, e ela continha estrelas de sete tipos espectrais básicos: O, B, A, F, G, K e M (classificação de Harvard). Posteriormente, foram adicionados os

tipos N, S, WC, WN, entre outros. A seguir, veja um quadro com os principais tipos espectrais.

Quadro 2.1 | Classificação em tipos espectrais

Tipo espectral	Temperatura superficial (K)	Cor	Estrelas típicas
O	25000 – 50000	Azul	Mintaka
B	11000 – 25000	Azulada	Rigel
A	7500 – 11000	Branca	Sirius
F	6000 – 7500	Branco-amarelado	Canopus
G	5000 – 6000	Amarela	Sol
K	3500 – 5000	Laranja	Aldebaran
M	2700 – 3500	Vermelha	Antares

Fonte: adaptado de Friaça et al. (2008).

Vale lembrar que podemos classificar as estrelas de acordo com suas temperaturas dentro de um tipo espectral, para isso é utilizada uma subdivisão de zero a nove. Quanto menor o número, maior a temperatura, ou seja, estrelas do tipo B0 são mais quentes que estrelas do tipo B2.



Exemplificando

Você sabia que para mensurar o quão brilhante é uma estrela, independentemente de sua distância, utiliza-se o conceito de magnitude absoluta? A magnitude absoluta (M) de uma estrela é a magnitude com a qual a veríamos se ela estivesse a uma distância de 10 parsecs. Matematicamente, ela se relaciona com a magnitude aparente (m) pela equação: $m - M = 5 \times \log(d) - 5$, em que d é a distância da estrela em parsec.

Outra forma de classificar as estrelas é baseada em sua luminosidade (relacionada ao tamanho de seu raio). O quadro a seguir mostra essa classificação.

Quadro 2.2 | Classes de luminosidade

Classe	Designação	Classe	Designação
I	hipergigantes	V	normais sequência principal
II	supergigantes	VI	subanãs
III	gigantes	VII	anãs brancas
IV	subgigantes		

Fonte: adaptada de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_estelar>. Acesso em 26 jul. 2017.

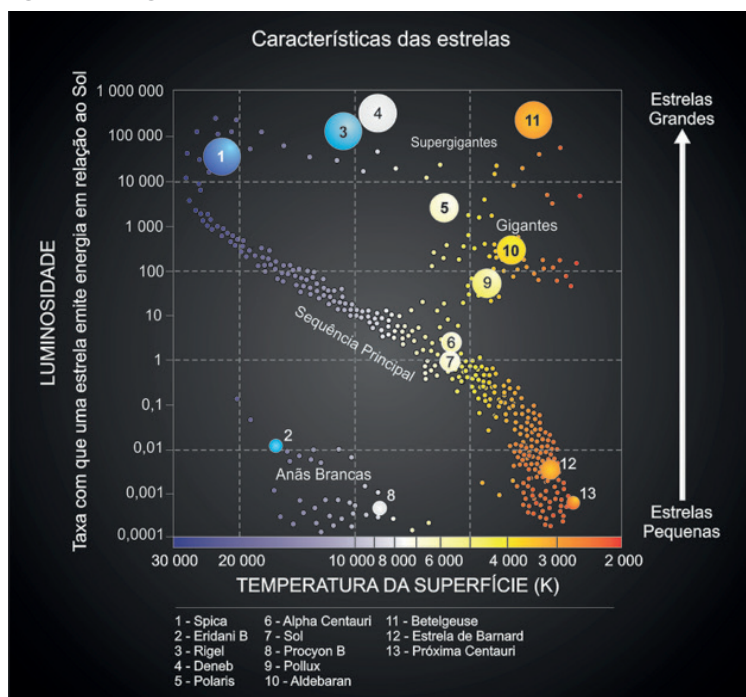
Tomando como exemplo o Sol, podemos classificá-lo como uma estrela do tipo G2V, em que V indica a classe de luminosidade das estrelas anãs.



Assimile

Em meados do século XX, dois astrônomos (o dinamarquês Ejnar Hertzsprung e o norte-americano Henry Norris Russel) descobriram, de forma independente, que o brilho intrínseco e a temperatura estelar estavam correlacionados ao tamanho das estrelas. Um diagrama que apresenta esse tipo de correlação é conhecido como diagrama de Hertzsprung-Russel (HR). Convencionou-se colocar nesse diagrama a magnitude absoluta (ou luminosidade) no eixo das ordenadas e a sequência de tipos espectrais (ou temperatura) no eixo das abscissas.

Figura 2.4 | Diagrama HR



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

No gráfico, vemos uma faixa denominada sequência principal, posição em que as estrelas ficam a maior parte de suas vidas. As estrelas situadas nessa região queimam hidrogênio e gozam de certa estabilidade, já que há um equilíbrio garantido pela produção de energia em seu

núcleo que se opõe ao colapso gravitacional. É interessante notar que as estrelas da sequência principal de massa igual têm luminosidade e temperatura superficiais muito semelhantes. Quanto maior a massa dessas estrelas, mais brilhante e quente ela será; quanto menor a massa, menos luminosa e mais fria. O Sol e Sirius, por exemplo, são estrelas da sequência principal, mas como Sirius possui o dobro da massa do Sol, é 20 vezes mais brilhante e possui temperatura superficial mais elevada do que a do Sol (aproximadamente 10.000 K contra 6.000 K).

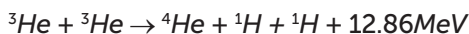
A geração de energia nas estrelas

As estrelas podem ser consideradas verdadeiras usinas de produção de energia por meio da fusão nuclear. Para que o processo de produção de energia ocorra, é necessário que os núcleos atômicos estejam próximos o suficiente, ou seja, eles devem vencer a repulsão elétrica que faz com que cargas elétricas de mesmo sinal se repilam, o que não é uma tarefa nada fácil. Felizmente, o interior estelar favorece esse tipo de reação: devido às altas temperaturas, esses núcleos atômicos adquirem velocidades enormes e, conseqüentemente, energia suficiente para que ocorra a fusão. Desta forma, pode ocorrer a geração da energia que é necessária para contrabalançar a contração gravitacional produzindo hélio através da fusão do hidrogênio com outras partículas.

A energia no interior das estrelas pode ser gerada por meio de alguns processos básicos, um deles é o ciclo próton-próton. Nesse processo temos a fusão de dois núcleos de hidrogênio (^1H) com o deutério (^2H), nessa fusão um pósitron e um neutrino são liberados ao transformar um próton em nêutron. O pósitron resultante dessa reação se aniquila com um elétron, e sua massa se converte em energia liberada através dos raios gama. Logo após essa reação, temos que o deutério produzido no início pode sofrer fusão com outro hidrogênio (^1H), produzindo um isótopo (mesmo número de prótons) leve de hélio (^3He).



Agora a reação pode ocorrer de três diferentes formas, e que resultarão na produção de um núcleo ^4He : *pp1*, *pp2* e *pp3*. A cadeia *pp1* ocorre com uma frequência de 91% e, nela, o ^4He se produz pela fusão de dois núcleos de ^3He .



Se a estrela possui um núcleo com temperatura menor do que 15×10^6 K, ela apresentará um processo de fusão nuclear conhecido como cadeia próton-próton. Nesse processo, temos dois átomos de hidrogênio se fundindo para formar um núcleo de deutério (${}^2\text{H}$), um pósitron (elétron com carga positiva) e um neutrino (partícula subatômica), sendo que este último consegue deixar a estrela em direção ao meio interestelar. O pósitron, no entanto, colide com os elétrons, gerando energia. Logo em seguida, temos a fusão do núcleo de deutério com o outro núcleo de hidrogênio resultando um isótopo de hélio (${}^3\text{H}$) com liberação de energia na forma de fótons (raios gama). Em uma última etapa, dois isótopos de hélio se fundem formando um átomo de hélio (${}^4\text{He}$) e dois núcleos de hidrogênio. Em uma certa fase da vida das estrelas os processos termonucleares autorregulados contribuem para garantir seu equilíbrio, permitindo um período longo de estabilidade. Esse período de estabilidade corresponde à maior parte de sua vida e, como vimos, é denominada sequência principal. Todas as estrelas da sequência principal produzem energia, realizando a conversão dos núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio (cadeia próton-próton). Se aproximadamente 70% a 80% da massa das estrelas está na forma de hidrogênio, podemos concluir que elas têm combustível o bastante para passar muito tempo de sua existência dentro dessa faixa específica.

Quando as estrelas da sequência principal começam a não ter hidrogênio o suficiente em seu centro, elas começam a se expandir e se transformam em estrelas gigantes vermelhas.

Evolução e morte das estrelas

Como vimos, as estrelas passam a maior parte de suas vidas na sequência principal, porém, no início e no final de sua vida, elas ficam fora dessa faixa. Depois, o hidrogênio presente em seu núcleo se esgota, a estrela deixa a sequência principal e se move no diagrama HR em direção à região das gigantes vermelhas. Nessa fase, a região central da estrela é constituída quase que totalmente por hélio e não temos mais a produção de energia. No entanto, ela continua irradiando a energia que estava acumulada em seu centro (o caroço estelar) através de sua superfície. Há uma perda significativa dessa energia armazenada com consequente esfriamento e, então, ela se contrai, aumentando sua temperatura e densidade, e liberando energia gravitacional, e isso será responsável por uma nova injeção

de calor dentro da estrutura. Logo em seguida, o hidrogênio que está presente acima do caroço de hélio começa a queimar, o que irá aumentar a massa e o tamanho do caroço de hélio. Então, mais energia gravitacional é liberada ao sistema, e soma-se a ela a energia oriunda da queima da camada externa de hidrogênio. Todo esse processo gera o aquecimento das partes mais externas da estrela, isto é, a sua envoltória, que inevitavelmente se expande. A estrela aumenta seu brilho e se torna uma gigante vermelha.

O futuro de uma estrela dependerá essencialmente de sua massa. Sendo assim, vamos estudar os estágios de sua evolução e o seu fim a partir dos dados contidos no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 | Resultado da evolução estelar em função da massa

Massa inicial (M_{\odot})	Objeto compacto	Massa final (M_{\odot})
até 10	Anã branca	Menor que 1,4
de 10 a 25	Estrela de nêutrons	1,4
acima de 25	Buraco negro	5 a 13

Massa (M_{\odot})	Evolução	Final
até 0,08	Não funde H	Anã marrom
de 0,08 a 0,5	Funde H	Anã branca de He
de 0,5 a 10	Funde H e He	Anã branca de C e O
de 11 a 100	Funde H, He, C, Ne, O, Si	Estrela de nêutrons ou buraco negro
acima de 100	Criação de pares, SN	Desintegração total ou buraco negro

Fonte: adaptado de Oliveira e Saraiva (2014, p. 270-279).

Observando o quadro, nota-se que existe uma classe de objetos que não é capaz de fundir o hidrogênio em seu núcleo. Esses objetos recebem o nome de anãs marrons. Falamos rapidamente sobre elas no início da seção. Esses objetos são considerados estrelas “fracassadas”, ou seja, eles se formam como uma estrela, pelo colapso gravitacional, mas não conseguem juntar matéria suficiente para promover a fusão nuclear. Geralmente, possuem massa entre 13 e 75 vezes a massa de Júpiter e produzem energia por fusão de deutério, um isótopo pesado e bem mais raro do hidrogênio.

Estrelas com massas entre 0,08 e 10 massas solares terminam suas vidas como anãs brancas. Na fase de gigante vermelha, elas aumentam seu brilho constantemente até o momento em que contraem seu caroço de tal forma que a densidade e a temperatura são suficientes para iniciar o processo em que temos o núcleo de hélio sendo transformado em carbono. A queima do hélio ocorre em temperaturas da ordem de 10^8K . Essa ignição ocorre subitamente e recebe o nome de “flash do hélio”. A partir do momento em que temos o fim dos núcleos de hélio no núcleo da estrela, acaba a produção de energia nuclear e o caroço se contrai até se tornar uma anã branca. Esse será o destino do Sol daqui a uns cinco bilhões de anos.

Agora, vamos analisar a evolução de estrelas de massas maiores, que se tornarão as chamadas supernovas. Sabemos que estrelas massivas esgotam seu combustível nuclear rapidamente, deixando a sequência principal em escalas de tempo da ordem de dezenas de milhões de anos. Elas se tornam gigantes vermelhas enormes (supergigantes vermelhas) com um enorme caroço de hélio que está rodeado por uma camada onde ainda ocorre a queima do hidrogênio. A partir da contração do caroço dessas estrelas, o hélio queima, transformando-se em carbono e oxigênio. Agora, diferentemente do cenário descrito para as estrelas de baixa massa, temos um caroço inerte de carbono e oxigênio, rodeado por uma camada em que ainda existe a queima dos núcleos de hélio que, por sua vez, está rodeada por uma camada de queima de hidrogênio. O mecanismo para gerar energia e evitar o colapso estrutural da estrela passa pelo processo de contração do caroço inerte de carbono e oxigênio. Ao atingir temperaturas da ordem de três bilhões de graus e densidades próximas a milhões de g/cm^3 , o carbono e o oxigênio passam a queimar progressivamente em neônio, magnésio, silício, fósforo, enxofre, e assim por diante, até o níquel e o ferro. Todas essas reações liberam energia, que logo é irradiada pela superfície da estrela. Ocorre, então, uma rápida contração do caroço, contrabalanceando perdas cada vez maiores de energia. A densidade e temperatura centrais aumentam de forma absurda, e o caroço estelar começa a perder mais energia, já que passa a produzir os elementos mais pesados que o ferro. Nesse estágio, nem os neutrinos conseguem escapar facilmente e acabam sendo os principais responsáveis pelo transporte da energia do caroço para a envoltória, e esse, por sua vez, aquece cada vez mais. Logo temos que, as reações nucleares começam a ocorrer no próprio manto estelar e, então, o caroço que

está em contração livre acaba colapsando inteiramente, e provoca a fissão de todos os elementos pesados, que se desintegram de volta em núcleos de hélio. O vento de neutrinos aumenta significativamente e acaba se tornando uma onda de choque que varre o manto estelar, explodindo no espaço. O caroço colapsado, emerge agora como uma estrela de nêutrons que gira rapidamente ou como um pulsar (estrela de nêutrons, girando rapidamente com o eixo de rotação e o feixe de radiação desalinhadados). Essa explosão gigantesca é conhecida como supernova.

Uma das principais características das estrelas de nêutrons corresponde à sua alta velocidade de rotação. Outra característica importante é seu poderoso campo magnético, cujos efeitos, combinados com a rotação, tornam possíveis a detecção e a investigação desses objetos, ou seja, eles são uma espécie de "farol cósmico" (PICAZZIO, 2011).

As estrelas massivas que explodem como supernovas e deixam estrelas de nêutrons como remanescentes, produzem o que chamamos de supernovas tipo II. Porém, como vimos na Unidade 1, supernovas podem ser originadas a partir de sistemas binários, em que uma anã branca recebe grande parte da quantidade de matéria de sua companheira, uma estrela de grande massa. Assim, a anã branca explode como supernova, desintegrando-se totalmente ou deixando como remanescente um objeto muito mais denso: o buraco negro. Nesse caso, a supernova é chamada tipo I.

Mas afinal, o que seria um buraco negro? Após a explosão de uma supernova, o que resta da estrela é um núcleo compacto em contração contínua. A diminuição do raio faz com que a gravidade atinja valores muito elevados, e com esses valores de gravidade nem a luz consegue escapar desse objeto, justificando, assim, a denominação buraco negro. Esse buraco possui o que chamamos de horizonte de eventos. O horizonte de eventos, ou ponto de não retorno, é definido como região crítica ao seu redor, ou seja, uma fronteira teórica a partir da qual a força da gravidade é tão forte que nada, nem mesmo a luz, pode escapar, pois a sua velocidade é inferior à velocidade de escape do buraco negro. O raio do horizonte de eventos varia com a massa do buraco negro, e pode ser estimada pela equação de Schwarzschild:

$$r_s = \frac{2 \times G_0 \times m}{c^2}$$

Em que r_s é o raio de Schwarzschild, G_0 é a constante gravitacional, m é a massa do objeto e c é a velocidade da luz.

As explosões de supernovas enriquecem o meio interestelar com elementos químicos (inclusive aqueles além do ferro), muitos dos quais são os constituintes de nossos corpos. Além disso, esses eventos ainda podem desencadear processos de formação estelar.



Pesquise mais

Você sabe de onde vem o ferro presente no aço, que é também incorporado em nossa estrutura biológica? Que tal saber mais a respeito acessando a página do Departamento de Astronomia da Universidade de São Paulo? Lá você poderá assistir a uma animação que explica a origem do ferro. Você também pode fazer o download de um livro complementar que discute de forma simples as origens dos elementos químicos. Disponível em: <<http://www.iag.usp.br/astrofísica/cultura-e-extensao/materiais-didaticos/rockstar-e-origem-do-metal>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

Sem medo de errar

Agora, você consegue trabalhar no projeto de captação de energia solar para o satélite. Você já sabe que as estrelas são capazes de gerar muita energia, e que essa energia vem do processo de fusão nuclear que ocorre no seu núcleo. Você sabe também que apesar de as estrelas gerarem energia, elas não são eternas. Elas possuem fins diferentes dependendo de sua massa, e podem se transformar em uma anã branca, estrela de nêutrons ou até mesmo um buraco negro.

Você viu que o Sol é a nossa maior fonte de energia, e que ele é uma estrela anã que está na sequência principal e, por isso, ainda está transformando hidrogênio em hélio em seu núcleo. Você viu também que quando não houver mais hidrogênio em seu núcleo para ser transformado em hélio, o Sol sairá da sequência principal e se transformará em uma gigante vermelha e que, no fim de sua vida, será uma anã branca.

Agora que você já tem todas essas informações, mãos à obra para concluir esse projeto!

Avançando na prática

Estrelas maiores duram mais?

Descrição da situação-problema

Durante uma apresentação da Abequar Projetos e Consultorias, alguém lhe pergunta o que aconteceria se o Sol tivesse uma massa três vezes maior. Conseguiríamos captar uma energia maior? Teríamos uma fonte de energia por mais tempo?

Resolução da situação-problema

Como vimos, uma estrela da sequência principal com uma massa maior que o Sol seria mais brilhante e quente. Logo, teríamos uma energia maior. Mas por ser mais massiva, essa estrela ficaria menos tempo na sequência principal, ou seja, seu tempo de vida seria mais curto.

Faça valer a pena

1. Sobre o processo de evolução estelar, analise as seguintes afirmativas enquanto verdadeiras (V) ou falsas (F):

I. As estrelas passam a menor parte de suas vidas na sequência principal, porém, só no final de sua existência, elas ficam fora dela.

II. As estrelas com massas entre 0,08 e 10 massas solares terminam suas vidas como anãs brancas.

III. Depois de esgotado todo o seu hidrogênio central, a estrela deixa a sequência principal e se move no diagrama HR em direção à região das gigantes vermelhas.

Agora, assinale a alternativa que apresenta a ordem correta:

a) I - F; II - V; III - V.

d) I - F; II - F; III - F.

b) I - V; II - F; III - V.

e) I - V; II - V; III - F.

c) I - V; II - V; III - V.

2. Sobre a energia produzida no núcleo das estrelas e sua utilização, analise as seguintes afirmativas:

I. A energia termonuclear tem sua origem em um processo de fusão envolvendo quatro núcleos de hidrogênio que se transformam em um núcleo de hélio.

II. Satélites espaciais utilizam painéis com células fotovoltaicas para converter em energia elétrica a energia entregue pelo Sol na forma de ondas eletromagnéticas.

III. Lamínulas de vidro são utilizadas para proteger o sistema de coleta de energia solar dos satélites espaciais.

Assinale a alternativa que apresenta a correspondência correta.

- a) As afirmativas I e II são incorretas e a afirmativa III é correta.
- b) Todas as afirmativas são corretas.
- c) As afirmativas I e III são corretas e a afirmativa II é incorreta.
- d) As afirmativas II e III são incorretas e a afirmativa III é correta.
- e) Todas as afirmativas são incorretas.

3. Sobre o processo de evolução estelar, analise as seguintes afirmativas:

I. Estrelas massivas que explodem como supernovas e deixam como remanescentes estrelas de nêutrons produzem o que chamamos de supernovas tipo I.

II. Uma das características básicas das estrelas de nêutrons é sua alta velocidade de rotação, com períodos estimados em frações de segundo.

III. Supernovas de tipo II podem ser originadas a partir de sistemas binários, nos quais uma anã branca acaba recebendo uma grande quantidade de matéria de sua companheira, uma estrela de grande massa.

Assinale a alternativa que apresenta a correspondência correta:

- a) As afirmativas I e II são incorretas e a afirmativa III é correta.
- b) Todas as afirmativas são corretas.
- c) Todas as afirmativas são incorretas.
- d) As afirmativas II e III são incorretas e a afirmativa III é correta.
- e) As afirmativas I e III são corretas e a afirmativa II é incorreta.

Seção 2.3

Formação do Sistema Solar

Diálogo aberto

Caro aluno, vamos supor que você faça parte de uma equipe que está tentando buscar financiamentos para explorar um cometa que está próximo à Terra. A exploração, ao analisar o cometa, tem como objetivo entender um pouco mais sobre o Sistema Solar.

Sua tarefa é escrever um relatório explicando a todos a importância de explorar cometas para entender a formação do Sistema Solar.

Para o relatório, é importante que sejam abordados alguns temas com relação ao Sistema Solar:

- Sua estrutura conhecida.
- A hipótese de sua origem.
- Os processos de formação.
- A importância do estudo dos sistemas extrassolares na compreensão da sua origem.

Esperamos que ao final desta seção você seja capaz de elaborar um ótimo relatório a ser entregue aos investidores sobre esse assunto. Vamos lá!

Não pode faltar

Origem do Sistema Solar

Atualmente, sabemos que nosso Sistema Solar foi formado há cerca de 4,6 bilhões de anos (aproximadamente 9 bilhões de anos após o Big Bang) mas, há muito tempo, essa era uma questão que intrigava a maior parte dos cientistas. Como ele foi formado? Como surgiram os planetas? Por que os planetas giram em torno do Sol? Esses eram alguns dos questionamentos a serem respondidos. A hipótese aceita atualmente sobre a origem do Sistema Solar surgiu em 1755 e foi sugerida pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e publicada em *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014). Essa hipótese, chamada de

hipótese nebular, diz que o Sistema Solar foi formado a partir de uma nuvem de gás e poeira, também conhecida como nebulosa. Em 1796, o matemático francês Pierre-Simon Laplace desenvolveu essa teoria dizendo que a nebulosa se contrai sob a influência da gravidade, e que sua velocidade rotacional aumenta até que ela colapse em um disco. Laplace publicou essa hipótese em seu livro *Exposition du Système du Monde* (1824) (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

Existem dois dados fundamentais que ajudam a sustentar a hipótese nebular: a datação de meteoritos e o plano da eclíptica. Meteorito é o nome dado a um meteoróide quando entra na atmosfera terrestre. Muitas vezes, quando um meteorito atinge a superfície da Terra, é possível recuperá-lo e submetê-lo à datação radioativa para que seja identificada sua idade. Quando se realiza essa datação, a idade encontrada é de aproximadamente 4,55 bilhões de anos, que é considerada a idade aproximada do Sistema Solar, já que se acredita que esses meteoritos tenham se formado na mesma época do Sol e os planetas do Sistema.



Exemplificando

Você sabe como é realizada uma datação radioativa? Como já foi dito, podemos utilizar a datação para medir a idade de um meteorito. A datação utiliza o decaimento radioativo de um determinado nuclídeo para medir a idade de objetos com formações geológicas. Utilizamos o decaimento radiativo quando temos isótopos instáveis no objeto no qual queremos realizar a datação. Por serem instáveis, esses isótopos decaem em um tempo que chamamos de meia-vida, e é a partir dessa meia-vida que é possível estimar a idade de um objeto.

Na arqueologia, a datação por radiocarbono (decaimento radioativo do carbono-14) é muito utilizada. Nos meteoritos, podemos utilizar a datação utilizando o urânio-238 e rubídio-87.

O segundo fator que sustenta a hipótese nebular é o fato de que todos os planetas giram praticamente no mesmo plano (plano da eclíptica). Esse conceito sugere que o Sistema Solar se formou a partir de um disco achatado, que é exatamente o que a hipótese nebular nos diz.



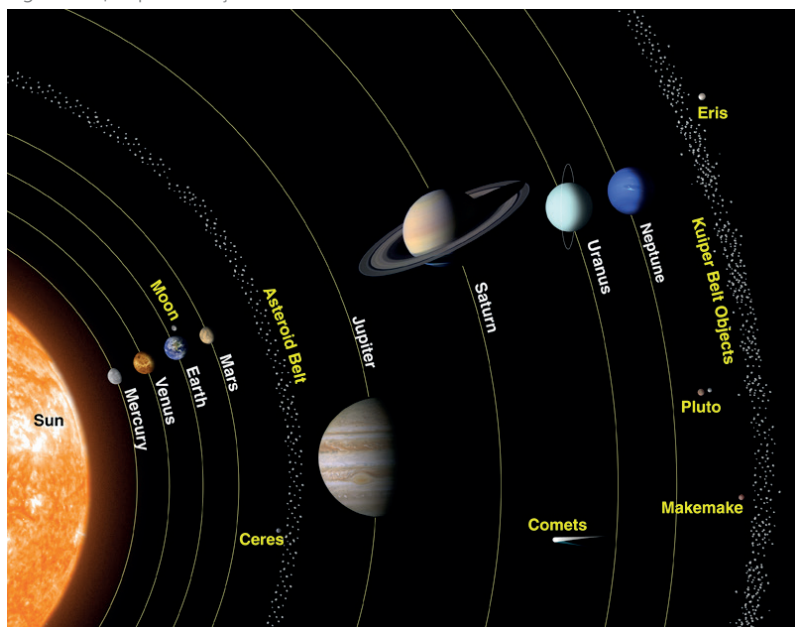
Você sabe o que são meteoroides? São objetos que viajam pelo espaço, e acredita-se que eles se originaram a partir de fragmentos de asteroides ou da poeira cósmica. Esses meteoroides podem ter o tamanho de um grão de poeira ou até mesmo chegar a quilômetros de diâmetro. Quando eles atingem a atmosfera terrestre, sua temperatura aumenta devido ao atrito com o ar, e eles se tornam incandescentes. Alguns desses meteoroides são tão pequenos que, ao interagirem com a atmosfera terrestre, são vaporizados, deixando um rastro brilhante no céu. Esses meteoroides são chamados de meteoros (do grego "meteoron", fenômeno do céu), popularmente conhecidos como estrelas cadentes. Outros meteoroides conseguem vencer o atrito com a atmosfera e atingir a superfície terrestre: esses são chamados de meteoritos. Os meteoritos podem ser metálicos (siderito), rochosos (aerólitos) ou metálicos-rochosos (siderólito). Agora, você pode estar se perguntando: muitos meteoritos caem na Terra? Sim! Temos milhões de meteoritos caindo sobre a Terra todos os dias! (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

A grande questão a ser respondida neste momento é como uma nuvem de gás e poeira se transformou em um disco achatado e como se formaram o Sol e os planetas dentro desse meio.

Estrutura do Sistema Solar

Além de gás e poeira, nosso Sistema Solar é composto de oito planetas, planetas anões, asteroides, cometas, satélites naturais e o Sol. A força gravitacional exercida pelo Sol faz com que os planetas, asteroides e cometas girem ao seu redor em uma órbita elíptica praticamente no plano da eclíptica. Na Figura 2.5 podemos ver uma representação artística do nosso Sistema Solar. Nessa representação, é possível ver também o cinturão de asteroides (região do Sistema Solar que abriga a maioria dos asteroides) e o cinturão de Kuiper (região onde se concentram milhares de corpos que possuem composições parecidas com as dos cometas).

Figura 2.5 | Representação artística do Sistema Solar



Fonte: <<https://spaceplace.nasa.gov/t-shirt/en/solar-system-lrg.en.png>>. Acesso em: 3 jul. 2017.

Sabemos que planetas são corpos celestes que não possuem luz própria, apenas refletem a luz do Sol. Os planetas do nosso Sistema Solar são Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Os quatro primeiros são planetas sólidos, pequenos, possuem densidade elevada, elementos químicos pesados e estão relativamente próximos do Sol. Eles são chamados de planetas terrestres ou telúricos. Os quatro últimos são planetas gasosos, grandes, possuem baixa densidade, elementos químicos mais leves e estão mais afastados do Sol. São chamados de planetas jovianos ou gigantes.

No Sistema Solar, temos também os planetas anões. Para que um planeta seja considerado anão, ele deve orbitar ao redor do Sol; ter massa suficiente para que haja equilíbrio hidrostático, mantendo, assim, sua forma esférica; e não ter sua órbita desimpedida (principal diferença entre esses objetos e os planetas). Atualmente, temos cinco planetas anões classificados: Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Éris.

Na próxima unidade iremos realizar um estudo mais detalhado sobre os planetas.



Exemplificando

Você sabia que até 2006 nosso Sistema Solar possuía nove planetas? O nono planeta era Plutão. Porém, em 2006, a União Astronômica Internacional (UAI) decidiu que Plutão não deveria mais ser classificado como planeta, mas sim como planeta anão. Isso ocorreu pois a UAI estabeleceu uma definição para planeta e Plutão não atendia uma das características de um planeta. Essa característica é a de não possuir uma órbita desimpedida. Plutão está localizado no chamado Cinturão de Kuiper, que possui milhares de pequenos corpos celestes e, dessa forma, não possui uma órbita "limpa". Ele foi, então, rebaixado a planeta anão.

Asteroides e cometas são corpos com órbitas muito bem definidas ao redor do Sol. As principais diferenças entre esses dois objetos são sua composição e seu tamanho. Os asteroides são corpos rochosos e metálicos. Eles podem atingir centenas de quilômetros de diâmetro. Já os cometas são corpos formados basicamente por gelo, poeira e pequenos fragmentos rochosos. Além disso, o tamanho deles pode chegar a dezenas de quilômetros.



Assimile

Cometas são pequenos corpos celestes e orbitam o Sol em elipses alongadas. Acredita-se que eles tenham se originado das sobras da formação do Sistema Solar. Sua composição é basicamente gelo e poeira, com um núcleo sólido e gelado (DAMINELLI; STEINER, 2010). Eles são pequenos e difíceis de serem observados, a não ser que passem perto do Sol, pois, nesse momento, tornam-se visíveis. O calor da nossa estrela faz com que o gelo da superfície do cometa se sublima, formando uma nuvem de poeira e gás em torno do cometa. Essa nuvem é chamada de coma. Ao redor do Sol temos uma alta pressão de radiação, que acaba "empurrando" essa nuvem de gás, formando uma espécie de cauda no cometa. Assim, temos a imagem bem conhecida de um cometa.

Um cometa muito conhecido é o cometa Halley, que se torna visível para nós aproximadamente a cada 75,3 anos. As últimas aparições desse cometa foram em 1910 e 1986. Sua próxima aparição será no ano de 2061.

Figura 2.6 | Imagem do cometa Halley realizada em 8 de março de 1986



Fonte: <<https://goo.gl/pQ7fk6>>. Acesso em: 3 jul. 2017.

Outros corpos celestes que estão presentes em nosso Sistema Solar são os satélites naturais, que são objetos que orbitam algum outro objeto maior. Nosso exemplo mais simples para esses corpos é a Lua que por orbitar a Terra é considerado um satélite natural do nosso planeta. Podemos encontrar satélites naturais em planetas, planetas anões, estrelas ou até mesmo em galáxias.

Para completar o rol de objetos que fazem parte do nosso Sistema Solar, temos a nossa estrela Sol. Ele é a estrela central do Sistema Solar, e todos os outros corpos celestes descritos aqui orbitam ao seu redor.

Processos de formação do Sistema Solar

Como já foi dito anteriormente, a hipótese moderna para a formação do Sistema Solar é dada pela hipótese nebular, isto é, a partir de uma nuvem de gás e poeira. Mas como isso seria possível?

Basicamente, existem dois tipos de forças que atuam sobre a nebulosa: a força gravitacional e a força devido à pressão térmica. A força gravitacional tem a função de contrair a nebulosa, enquanto a pressão térmica tem a função de expandi-la. A princípio, temos essas duas forças em equilíbrio, mas esse equilíbrio pode ser perturbado pela aproximação da nebulosa a um outro objeto ou até mesmo pela explosão de uma supernova em suas proximidades. Caso isso ocorra, a nebulosa inicia um processo de contração devido à força gravitacional. Se a nebulosa for densa o suficiente, fria e possuir algum movimento de rotação, temos o início do processo de formação do sistema.

Essa nebulosa, inicialmente, pode ser considerada uma esfera de gás em rotação, portanto, tem um momento angular. Ao se contrair, esse momento angular deve ser conservado, procurando um estado de mínima energia. Assim, para atender à conservação do momento angular e à busca pelo estado de mínima energia, a nebulosa começa a colapsar na forma de um disco em rotação, com diversos fragmentos de matéria. Uma maior parte da matéria fica concentrada no centro desse disco. Quando essa matéria do centro atinge uma temperatura de 2.000 K – 3.000 K, temos a formação de uma protoestrela. Uma protoestrela como essa pode ter dado origem ao Sol.



Assimile

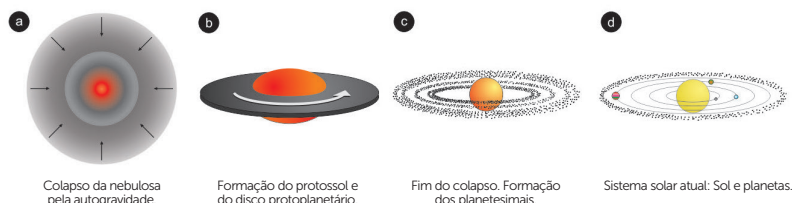
Todo corpo em rotação possui um momento angular associado a ele. Esse momento angular quantifica a rotação desse corpo. Segundo as leis da física, um sistema fechado (sistema que não tem interação com outros sistemas) sempre irá conservar seu momento angular. Um exemplo clássico dessa conservação é o caso do patinador no gelo. Sabemos que o momento angular é dado por $L = I \omega$, em que I é o momento de inércia e ω é sua velocidade angular. Quando um patinador está girando, ele possui um certo momento angular. Ao encolher os braços e as pernas, seu momento de inércia diminui. Como ele está sobre o gelo, o atrito pode ser desprezado, fazendo com que ele se torne um sistema fechado. Dessa maneira, para que seu momento angular seja conservado, sua velocidade angular deve ser aumentada. Quando a nebulosa começa a contrair temos o mesmo efeito: seu momento de inércia diminui, fazendo com que ela gire cada vez mais rápido.

Nosso sistema, agora, é composto de uma protoestrela central e um disco de gás e poeira (disco protoplanetário) girando ao seu redor. A partir desse disco, temos a formação dos outros objetos do Sistema Solar. A hipótese nebular diz que esses objetos não se formaram da mesma maneira que o Sol, ou seja, pelo colapso da matéria central do disco em rotação, mas sim pela junção dos fragmentos que restaram no disco após a formação do Sol. Esses fragmentos foram se unindo através da atração gravitacional, dando origem aos chamados planetesimais e, posteriormente, aos demais corpos celestes do nosso Sistema Solar (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

Acredita-se que os planetas não foram formados exatamente na posição em que eles estão em relação ao Sol, mas que estavam mais afastados e foram migrando para suas posições atuais. Segundo

Friaça et al. (2000), a teoria que explica a posição de cada planeta no Sistema Solar é a teoria da migração planetária, também conhecida como Modelo de Nice (possui esse nome devido ao local onde foi desenvolvido: Observatório Cotê d'Azur em Nice, França). Esse modelo diz que os planetas sofreram diversas colisões com fragmentos do sistema, e essas colisões alteraram suas posições até as conhecidas. Muitos acreditam também que, em alguma colisão desses fragmentos com a Terra, tenha sido dada origem à Lua, teoria proposta em 1975 por pesquisadores do Instituto de Ciências Planetárias de Tucson e pelo Instituto Harvard-Smithsonian de Astrofísica. Na Figura 2.7 podemos ver a representação da hipótese nebular.

Figura 2.7 | Representação da hipótese nebular



Fonte: <<https://goo.gl/KWkKlK>>. Acesso em: 6 jul. 2017.

Desse modo, vemos que a hipótese nebular, juntamente com a teoria da migração planetária, é capaz de explicar a forma conhecida do Sistema Solar, em que temos o Sol como estrela central e os planetas girando no plano da eclíptica.

Sistemas extrassolares

Como já foi dito anteriormente, a hipótese mais aceita sobre a formação do Sistema Solar nos diz que ele se formou a partir de uma nebulosa, e sabemos que existem muitas nebulosas no Universo. Agora, você pode se perguntar: será que existem outros sistemas parecidos com o nosso? Sim, podemos ter muitos outros sistemas como o Sistema Solar.

Até pouco tempo atrás, não tínhamos tecnologia o suficiente para detectar planetas fora do Sistema Solar, isso porque os planetas não emitem luz visível, emitem apenas radiação no infravermelho, e detecção era praticamente impossível. Atualmente, com o avanço da tecnologia, já é possível detectar diversos planetas fora do nosso Sistema Solar por meio de diversos métodos. Esses

sistemas são chamados de sistemas extrassolares, e os planetas que orbitam a estrela central desses sistemas são chamados de planetas extrassolares ou exoplanetas. Até junho de 2017, haviam sido descobertos 3.498 exoplanetas e 582 sistemas extrassolares. Esses números são frequentemente atualizados no site disponível em: <<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>>. Acesso em: 7 jul. 2017. Um estudo mais detalhado sobre os exoplanetas será realizado na próxima unidade.



Refleta

Ao considerarmos os sistemas extrassolares existentes no Universo, podemos dizer que em algum desses sistemas há estrelas centrais parecidas com o Sol?

Como vimos, já foram encontrados centenas de sistemas extrassolares. Com o passar dos anos, esse número tende a aumentar muito mais, e essas descobertas irão nos ajudar a realizar um estudo mais profundo sobre a origem do nosso Sistema Solar.



Pesquise mais

Já sabemos que a hipótese nebular é a que melhor explica a formação do Sistema Solar, bem como o fato de que o Sol é a estrela central do nosso sistema. Ele tem grande importância para a nossa vida na Terra.

Que tal pesquisar um pouco mais sobre essa estrela tão importante para nós, como sua localização, características, estrutura, etc.? Na página da Universidade de São Paulo indicada a seguir, é possível estudar com mais detalhes essa importante estrela. Disponível em: <<http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/sol.html>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

Sem medo de errar

Você se lembra da situação-problema descrita no início da seção? Você deveria escrever um relatório a fim de explicar para um grupo de investidores a importância de se estudar os cometas do Sistema Solar, para que eles entendam um pouco mais sobre a formação do nosso Sistema.

Após estudar a Seção 2.3, você poderia iniciar o seu relatório escrevendo sobre a estrutura conhecida do Sistema Solar, quais

objetos fazem parte do nosso Sistema e quais são as principais diferenças entre eles.

Depois disso, você poderia escrever sobre a hipótese atual da formação do Sistema Solar, explicando quais são os fatores conhecidos para se acreditar nessa hipótese. Por exemplo, você poderia escrever sobre o fato de os planetas do Sistema Solar orbitarem o Sol no plano da eclíptica.

Outra coisa importante que você não deveria deixar de escrever é sobre a formação do Sol e dos planetas; sobre o motivo pelo qual acreditamos que os cometas tenham a mesma idade do Sistema Solar; e sobre o fato de que, ao estudarmos esses objetos, poderíamos compreender um pouco mais sobre a formação do Sistema Solar.

Avançando na prática

Importância dos cometas para entender o Sistema Solar

Descrição da situação-problema

Durante a sua palestra para os engenheiros e investidores, uma pessoa lhe faz a seguinte pergunta: "Você disse que, ao estudarmos um cometa, podemos saber um pouco mais sobre a formação do Sistema Solar. Mas por que podemos encontrar informações sobre a origem do Sistema Solar estudando cometas?"

Sua tarefa é explicar um pouco mais sobre a teoria de formação do nosso sistema.

Resolução da situação-problema

Um modelo de resposta é mostrado a seguir, mas é importante que você tente desenvolver sua própria resposta.

A hipótese moderna de formação do Sistema Solar, a hipótese nebulosa, nos diz que nosso sistema se formou a partir do colapso de uma nebulosa em rotação. Essa nebulosa colapsa em um disco e, inicialmente, uma certa quantidade de matéria fica concentrada na parte central desse disco, que continua colapsando até formar uma protoestrela que, posteriormente, deu origem ao Sol. Nesse momento, temos o Sol e um disco protoplanetário com muito material disperso. Uma parte desses fragmentos que estão dispersos no disco se aglomeram, dando origem aos planetas, mas uma parte dos fragmentos ficam livres no disco. Acredita-se que esses fragmentos livres são o que conhecemos hoje como asteroides e cometas.

Sendo assim, ao estudarmos um cometa, estamos estudando os fragmentos do disco protoplanetário que deu origem aos planetas do nosso Sistema Solar.

Faça valer a pena

1. Sobre o processo de formação do Sistema Solar, analise as seguintes alternativas enquanto verdadeiras (V) ou falsas (F):

I. A hipótese moderna para a formação do Sistema Solar é dada pela hipótese nebular.

II. A hipótese nebular nos diz que o nosso sistema foi formado a partir de uma nuvem de gás e poeira.

III. Acredita-se que todos os planetas do Sistema Solar tenham se formando pelo mesmo processo de formação do Sol.

Assinale a alternativa que apresenta a correspondência correta:

a) I - F; II - V; III - V.

d) I - F; II - F; III - F.

b) I - V; II - F; III - V.

e) I - V; II - V; III - F.

c) I - V; II - V; III - V.

2. Considere as afirmações a seguir:

Plutão foi rebaixado à planeta anão pois:

I. Orbita ao redor do Sol.

II. Não tem massa suficiente para que haja equilíbrio hidrostático.

III. Não possui órbita desimpedida.

Assinale a alternativa que apresenta a correspondência correta:

a) As afirmativas I e II são incorretas e a afirmativa III é correta.

b) Todas as afirmativas são corretas.

c) As afirmativas I e III são corretas e a afirmativa II é incorreta.

d) As afirmativas II e III são incorretas e a afirmativa III é correta.

e) Todas as afirmativas são incorretas.

3. Com relação aos sistemas extrassolares, analise as afirmações a seguir:

I. São sistemas que, assim como o Sistema Solar, possuem uma estrela central com planetas orbitando essa estrela.

II. Os planetas que orbitam a estrela de um sistema extrassolar são chamados de exoplanetas.

III. Atualmente, não temos tecnologia suficiente para detectar os exoplanetas pertencentes aos sistemas extrassolares.

Assinale a alternativa que apresenta a correspondência correta:

a) Todas as afirmativas são incorretas.

b) Todas as afirmativas são corretas.

c) As afirmativas I e II são corretas e a afirmativa III é incorreta.

d) As afirmativas II e III são corretas e a afirmativa III é incorreta.

e) As afirmativas I e III são corretas e a afirmativa II é incorreta.

Referências

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. **Física clássica, dinâmica, estática e hidrostática**. São Paulo: Atual, 1993.

DAMINELLI, Augusto; STEINER, João. **O fascínio do Universo**. São Paulo: Odysseus, 2010.

FRIAÇA, Amâncio C.S. et al. **Astronomia**: uma visão geral do Universo, São Paulo: EDUSP, 2008.

MILONE, André de Castro et. al. **Introdução à astronomia e astrofísica**: apostila do Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica da Divisão de Astrofísica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: UNPE, 2010. Disponível em: <http://staff.on.br/maia/Intr_Astron_eAstrof_Curso_do_INPE.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2017.

OLIVEIRA, Kepler de; SARAIVA, Maria de Fátima. **Astronomia e astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

PICAZZIO, Enos (Org.). **O céu que nos envolve**: introdução à astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: Odysseus, 2011.

PIRES, Antônio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Physics for scientists and engineers**. 5. ed. Nova Iorque: W. H. Freeman and Company, 2004.

Astronomia II

Convite ao estudo

Na unidade anterior, nos preocupamos em estudar as características do Sistema Solar e hipóteses sobre a sua formação. Iniciamos aquele estudo tentando entender os modelos utilizados para descrever o nosso sistema, as leis de Kepler e a lei da gravitação universal. Depois, estudamos um pouco mais sobre as estrelas, suas propriedades, classificações, evolução, morte, e também estudamos um pouco sobre a hipótese moderna para a origem do Sistema Solar, sua estrutura, composição e, por fim, aprendemos um pouco sobre os exoplanetas, que têm sido notícia atualmente.

Nesta Unidade 3, você é convidado a examinar mais de perto os planetas que compõem o fantástico Sistema Solar: os planetas gasosos, os rochosos e os anões.

Assim, na Seção 3.1, iremos estudar como são formados os planetas e quais são suas principais características. Começando com uma viagem pelo nosso Sistema Solar, estudaremos os nossos oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), suas características e as diferenças entre eles.

Depois dessa viagem pelo Sistema Solar, iremos um pouco mais longe: para os sistemas extrassolares (estudados na unidade anterior), e conhecer um pouco mais sobre os famosos exoplanetas, como são detectados e a sua importância para a astronomia.

Na Seção 3.2, iremos continuar nossa viagem pelo Sistema Solar começando pelas luas, onde estão localizadas e as hipóteses sobre sua formação. Depois, estudaremos um pouco sobre os asteroides, do que eles são formados, onde estão localizados e a importância deles para a astronomia. Saberemos, também, um pouco mais sobre o que são os corpos

transnetunianos e onde estão localizados. E ao final dessa seção, vamos estudar um pouco sobre os anéis planetários, quais planetas os possuem e do que são formados.

Por fim, na Seção 3.3, iremos estudar sobre a astronomia observacional, como eram feitas as observações na Antiguidade e quais são as descobertas da época que são importantes até os dias de hoje. Depois, vamos entender um pouco mais sobre a física por trás das observações e as importantes características da luz. Falaremos dos telescópios utilizados atualmente, quais são os tipos deles e quais são suas diferenças. Mencionaremos, ainda, que temos telescópios tanto na Terra como no espaço, e que cada um tem sua importância para a astronomia. Por fim, estudaremos um pouco sobre as fronteiras da astrofísica observacional e como tudo isso tem avançado. No final da unidade, você entenderá melhor o comportamento da luz e como os instrumentos astronômicos impulsionaram o desenvolvimento da astrofísica.

Imagine-se como professor de Física do ensino médio, tendo de lidar com desafios e situações de ensino e de aprendizagem em sala de aula que se relacionam com os conteúdos da astronomia. Com base no conteúdo desta unidade, vamos refletir sobre algumas possíveis situações que podem gerar situações-problemas docentes, e buscar por soluções para esses problemas de forma a instruí-lo e prepará-lo.

Seja muito bem-vindo a mais uma unidade de estudo da disciplina de *Terra e cosmos*.

Seção 3.1

Os planetas

Diálogo aberto

Suponhamos que você esteja lecionando a disciplina de Física em um colégio de ensino médio e em seu plano curricular esteja inserido conteúdos de astronomia. Então, para uma determinada aula, você deve preparar conteúdos relacionados aos planetas para trabalhar com os alunos. Esse é um assunto que, geralmente, desperta muito a curiosidade dos estudantes.

Após dizer a eles que irão estudar a respeito dos planetas, um aluno diz que gostaria de poder viver em Marte, porque assistiu a um filme no qual humanos se mudavam para lá após a Terra ter se tornado inabitável.

Como você trabalharia essa situação na aula? Diria que não existe planeta que possa ter vida além da Terra no Sistema Solar? Diria que em Marte não há como, mas que pode haver vida em outro planeta? Que talvez, no futuro, seja possível verificar se existe vida em planetas fora do Sistema Solar?

Esperamos que ao final da seção você consiga responder a essas questões com maior clareza.

Vamos lá!

Não pode faltar

O que são planetas?

Planetas são corpos celestes que não possuem luz própria visível e apenas refletem a luz do Sol, mas emitem radiação infravermelha, orbitam uma estrela e são iluminados por ela. Além disso, não ocorrem reações nucleares no interior dos planetas porque eles não têm condições para isso. A definição é dada pela União Astronômica Internacional (UAI) (PICAZZIO, 2011).

Para que um corpo celeste seja considerado um planeta, ele precisa de algumas características:

- Necessita orbitar em torno de uma estrela.
- Necessita que sua órbita seja desimpedida pela força de gravidade de outro planeta.
- Necessita ter forma arredondada, o que se resulta do equilíbrio hidrostático, ou seja, é uma indicação de que a gravidade do planeta predomina nos materiais que o constituem (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

A ideia de que planetas orbitavam estrelas, no século XVII, era somente uma hipótese sem base científica, já que as observações astronômicas não existiam. Christian Huygens (1629-1695) dedicou anos de estudo ao assunto, mas não encontrou nada. Somente depois de dois séculos, o astrônomo Edward Emerson Barnard descobriu uma estrela localizada na constelação de Ofiúco, que possivelmente era orbitada por planetas, já que a estrela fazia movimentos semelhantes à de um bambolê, o que remetia a oscilações, provavelmente, provocadas por planetas.

No ano de 1995, foram encontrados planetas na órbita da estrela 51, Pegasi. Desde então, foram encontrados muitos planetas orbitando estrelas.



Esses planetas fazem parte de conjuntos de corpos de diferentes tamanhos que circundam as estrelas. Não visualizamos os demais corpos porque ainda não dispomos de instrumentação adequada para fazê-lo. (PICAZZIO, 2011, p. 107)

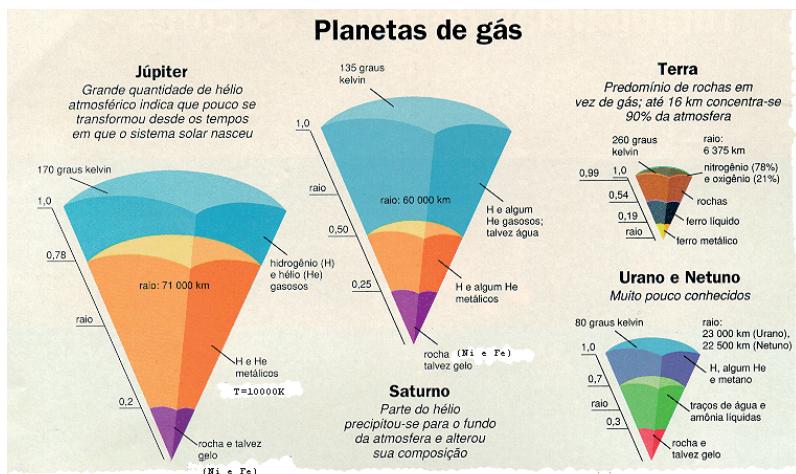
O planeta Terra é localizado no Sistema Solar, que tem este nome justamente porque nele só há uma estrela, o Sol, o qual exerce ação gravitacional com relação aos corpos do Sistema. Esses corpos, como veremos, possuem diversos tamanhos, composições químicas e diferentes distâncias com relação ao Sol.

Planetas gasosos do Sistema Solar

Os planetas gasosos são também denominados de jovianos ou gigantes. São planetas enormes, constituídos por grandes volumes de materiais gasosos. No Sistema Solar temos, como planetas gasosos, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

Esses planetas possuem muita massa e enormes dimensões, o que ocasiona um valor de densidade baixo. Quase não têm partes sólidas, como veremos nos planetas rochosos, mas podem apresentar parte de seu gás em estado líquido. Veja algumas características dos planetas gasosos na figura a seguir.

Figura 3.1 | Características dos planetas gasosos



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/planetas/planetas.gif>>. Acesso em: 2 jul. 2017.

Júpiter é o planeta de maior massa e depois da Lua e de Vênus. É o corpo celeste mais brilhante no céu à noite, devido à luz refletida do Sol. O interessante é que o seu volume é 1.400 vezes o volume da Terra, enquanto a sua densidade equivale a apenas um quarto dela, resultado de sua composição gasosa.

Seu movimento de translação leva cerca de 12 anos. Porém, sua rotação é de apenas dez horas, o que deixa os polos achatados e o equador alongado.



Assimile

A alta atmosfera de Júpiter é composta essencialmente de gás hidrogênio (H_2), cerca de 80% segundo a sonda Galileo. O restante é praticamente hélio (He). Essa composição química é a mesma do Sol e praticamente a predominante no Universo. Isso significa que esse planeta tem a mesma composição química da nuvem primordial que deu origem ao Sistema Solar, há 4,6 bilhões de anos. Sua baixa densidade, $1,33 \text{ g/cm}^3$, revela que essa composição química ainda predomina em seu interior. Compostos

químicos contendo hidrogênio, como metano (CH_4), amônia (NH_3) e água (H_2O) predominam entre as espécies atmosféricas mais densas. Suas camadas externas são compostas de amônia congelada, hidrossulfeto de amônia, água congelada e gases de hidrogênio, hélio, metano, amônia e água (PICAZZIO, 2011, p. 109).

O planeta Saturno é conhecido desde a Antiguidade, mas apenas com o surgimento do telescópio, no século XVII, foi possível observar os seus anéis. Seu movimento de translação demora 29,5 anos, e o de rotação, quase 11 horas, o que provoca as mesmas características de Júpiter: achatamento nos polos e alongamento no equador. É composto, em sua maior parte, por hidrogênio e hélio.



Assimile

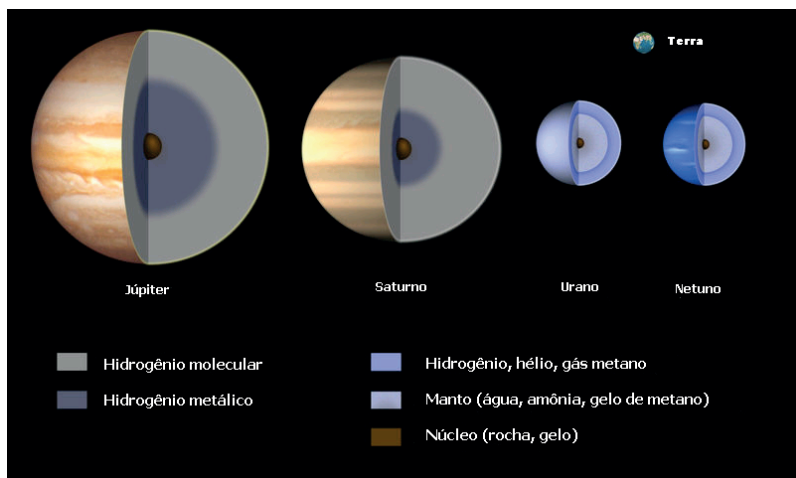
O gás hidrogênio (H_2) está presente até a profundidade de 30.000 km (de Júpiter), quando fica submetido à temperatura de 8.000 K e pressão aproximada de 300 mil atmosferas. Abaixo dessa região, prevalece um envelope de hidrogênio líquido metálico semelhante ao de Júpiter, mas de menor proporção. O campo magnético do planeta é gerado por correntes elétricas que circulam nessa região. Saturno deve ter um núcleo rochoso rico em metais, possivelmente maior que o de Júpiter. Acredita-se que quanto mais rápido se forma um planeta gigante, menor é seu núcleo rochoso. Entre o núcleo e a camada de hidrogênio líquido metálico há um manto composto de amônia, água e metano sob alta pressão e elevada temperatura (adaptado de PICAZZIO, 2011, p. 110).

Urano foi o primeiro planeta a ser descoberto, em 1781, por William Herschel. Sua translação dura 84 anos, e sua rotação, um pouco mais que 17 horas. A composição gasosa é formada de 83% de hidrogênio, 15% de hélio e 2% de metano, etano, acetileno e outros hidrocarbonetos. Além disso, Urano possui coloração azul-esverdeada, causada pela absorção da luz vermelha pelo metano.

Netuno, por sua vez, só foi possível de ser identificado por meio de cálculos matemáticos, quando astrônomos perceberam ações gravitacionais na órbita de Urano. É o último planeta do Sistema Solar e é o quarto maior em tamanho. Sua atmosfera é composta principalmente por hidrogênio, hélio e metano, e possui coloração azulada por conta da presença de gás metano. Uma curiosidade é que Netuno tem uma grande mancha escura, equivalente ao tamanho da Terra.

Por ser o planeta mais distante do Sol, a sua translação é a mais demorada dentre os planetas do Sistema Solar, o que equivale a 164 anos, enquanto que o movimento de rotação se realiza em 16 horas.

Figura 3.2 | Planetas gasosos: composição e tamanho entre eles



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/Interior_dos_gigantes_gasosos.png/500px-Interior_dos_gigantes_gasosos.png>. Acesso em: 21 jul. 2017.

Planetas rochosos e planetas anões do Sistema Solar

Os planetas rochosos do Sistema Solar (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), também conhecidos como telúricos ou terrestres, são os mais densos e os mais próximos do Sol. O fato de serem rochosos pode ser explicado pelo fato de eles se concentrarem mais próximos do centro do Sistema, que, no caso do Sistema Solar, corresponde à posição do Sol, já que materiais mais densos tendem a se concentrar mais próximos do local que os aproxima da força da gravidade.

O planeta Mercúrio é o menor do Sistema Solar e é o que fica mais próximo do Sol. Além disso, é o mais veloz ao realizar a translação em torno do Sol, com uma velocidade de praticamente 48 km/h. Tem apenas 6% do volume da Terra, uma superfície com muitas e grandes crateras, além de vales de lava.

Vênus é o segundo planeta mais próximo do Sol. É também o mais próximo da Terra e tem praticamente o mesmo tamanho que ela. No entanto, possui uma atmosfera extremamente corrosiva de dióxido de carbono e ácido sulfúrico, o que impede que haja vida nesse planeta. Além disso, Vênus é o planeta mais brilhante do Sistema Solar.



Levando em consideração a atmosfera corrosiva de Vênus, seria possível que uma sonda pousasse em sua superfície para coletar amostras? Se sim, como isso ocorreria?

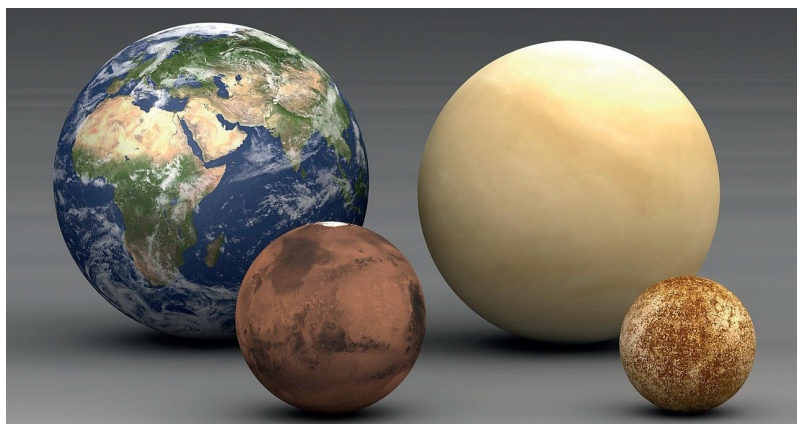
A Terra é o planeta mais conhecido por nós, pois se trata do planeta no qual vivemos. Tem uma idade em torno de 4,6 bilhões de anos, e tem distância ideal do Sol, o que permite a existência da vida. Com a superfície coberta por cerca de 70% de água, tem uma temperatura média de 15 °C.

Marte é o último dos planetas rochosos. Sua atmosfera é constituída por dióxido de carbono. O planeta possui temperatura por volta de -63 °C. Seu movimento de translação demora cerca de 687 dias, e o de rotação, um pouco mais que 24 horas, semelhante ao da Terra.



O diâmetro de Marte é aproximadamente metade do diâmetro da Terra, e seu volume representa cerca de 15% do terrestre. Ele é menor e menos maciço que o núcleo da Terra. A gravidade em sua superfície é 2,5 vezes menor que a terrestre no nível do mar, por isso as figuras de relevo são relativamente mais elevadas que as da Terra ou mesmo de Vênus. Se fosse uma cópia da Terra em menor escala, Marte não teria manto inferior. (PICAZZIO, 2011, p. 115)

Figura 3.3 | Planetas rochosos

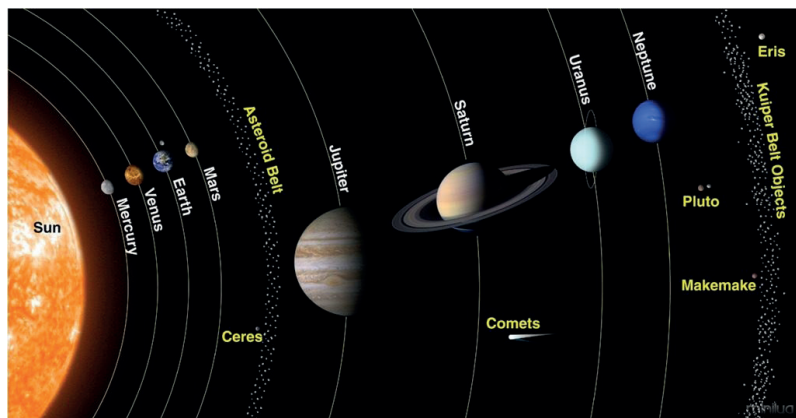


Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Telluric_planets_size_comparison.jpg>. Acesso em: 21 jul. 2017.

Dentre os pré-requisitos da UAI para que um corpo celeste seja considerado planeta, está a condição de que ele obedeça à condição de não ter uma órbita desimpedida. Por conta disso, alguns planetas são considerados anões.

No Sistema Solar, há cinco planetas classificados como anões: Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Éris. Observe a figura a seguir, a qual já apresentamos na unidade anterior, para verificar onde eles estão localizados.

Figura 3.4 | Sistema Solar, incluindo os planetas anões



Fonte: <<https://spaceplace.nasa.gov/t-shirt/en/solar-system-lrg.png>>. Acesso em: 3 jul. 2017.

Em sequência na imagem, da esquerda para a direita, vemos o Sol, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Ceres, cinturão de asteroides, Júpiter, Saturno, cometas, Urano, Netuno, Plutão, Makemake, objetos do cinturão de Kuiper e Éris.



Pesquise mais

Para conhecer mais a respeito dos planetas anões, assista ao vídeo indicado a seguir, em que o professor João Steiner, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, explica o que são planetas anões e cita cinco planetas classificados como anões: Plutão, Ceres, Haumea, Makemake e Éris. Ele também cita alguns candidatos, tais como Orcus, Salacia e Quaoar. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=46_yaeFk6TY>. Acesso em: 3 jul. 2017.

Exoplanetas

Exoplanetas são também chamados de planetas extrassolares, por orbitarem uma estrela que não é o Sol, ou seja, que não estão no Sistema Solar. Eles foram detectados apenas após a década de 1980, devido à falta de tecnologia necessária para a descoberta.



Exemplificando

Até o final do século XVII, a existência de planetas orbitando estrelas era apenas uma hipótese, mais filosófica que científica, pois não havia comprovação observacional. Esse assunto passou a ser tratado com mais rigor por Christiaan Huygens (1629-1695), que passou longos anos procurando sistematicamente planetas extrassolares. Nada foi encontrado. Quase dois séculos depois, mais precisamente em 1916, o astrônomo americano Edward Emerson Barnard comunica a descoberta de uma estrela na constelação do Ofusco que parecia bambolear em torno de sua posição. A discussão sobre a possibilidade de essa oscilação ser causada por planetas em torno da "estrela de Barnard" perdurou por décadas e nada foi comprovado (PICAZZIO, 2011, p. 106).

Até pouco tempo atrás, nós não tínhamos tecnologia o suficiente para detectar planetas fora do Sistema Solar, isso porque os planetas não emitem luz no visível. Logo, sua detecção era praticamente impossível. Segundo Picazzio (2011), em 1988, Bruce Campbell, Gordon Walker e Stephenson Yang observaram uma estrela em busca de exoplanetas e conseguiram encontrar o γ -Cephei. Na época, muitos não confiaram na descoberta.

Os próximos planetas extrassolares só foram descobertos em 1992, quando foram encontrados dois exoplanetas orbitando um pulsar. Porém, sua descoberta só foi confirmada em 2003. Ainda segundo Picazzio (2011) em 1995, o estudante de astronomia Didier Queloz conseguiu detectar a presença de um planeta orbitando a estrela 51, Pegasi. Ao analisar os dados coletados, Queloz percebeu uma oscilação da estrela. Essa oscilação ocorria devido à interação gravitacional da estrela com o planeta. Desde então, diversos planetas foram descobertos em sistemas extrassolares. O primeiro sistema a ter mais de um planeta detectado foi Upsilon Andromedae, que é uma estrela localizada a aproximadamente 44 anos-luz da Terra, na constelação de Andrômeda. Todos os planetas que orbitam Upsilon Andromedae possuem massa maior que Júpiter e órbitas bem elípticas.



Considerando que para que um planeta possa abrigar vida ele deve ter condições favoráveis para isso, como possuir água, não estar muito perto da estrela para não ser muito quente e nem muito longe para não ser tão frio, você pensa que possa existir vida extraterrestre? Pesquise a respeito de exoplanetas já descobertos que possuem potencial para ter vida.

Buscar pela existência de exoplanetas tem se tornado um campo de estudo muito crescente, já que o estudo deles colabora com o conhecimento de como se formou e evoluiu o sistema planetário.

Existem muitas formas de detecção de um exoplaneta. Porém, por conta de eles não possuírem luz própria, é praticamente impossível observar planetas fora do Sistema Solar. No entanto, com o uso de coronógrafos, que são instrumentos que fazem eclipses de forma artificial nas estrelas, já podemos contar com imagens infravermelhas desses exoplanetas. Dentre as formas de detecção podemos citar a astrometria, a medida de velocidade radial (efeito Doppler), a fotometria (trânsito de planetas), a cronometria da chegada de pulsos, a observação direta e microlentes gravitacionais. Leia, a seguir, detalhes sobre os itens mencionados.

- **Astrometria:** este método é utilizado quando os exoplanetas são grandes o suficiente para causar movimentos na estrela que ele orbita, podendo, assim, serem observáveis. Ou seja, a estrela se desloca ao redor do centro de gravidade do sistema. Porém, esse método só funciona se o planeta tiver uma grande quantidade de massa e se a sua órbita estiver de forma perpendicular ao nosso campo de visão.

- **Velocidade radial:** é a técnica responsável pela descoberta da maioria dos exoplanetas, e consiste em analisar como se movimenta uma estrela, utilizando o efeito Doppler. Esse efeito mensura a projeção da estrela e calcula sua velocidade de forma a relacioná-la com a velocidade de quem observa (que também está em movimento). A dificuldade desse método é não conseguir detectar sistemas planetários que não estejam em posição quase de perfil com o observador.

- **Fotometria:** é outra técnica importante que é possível quando o planeta se coloca em posição entre a estrela e a Terra, ocasionando uma queda na quantidade de luz que chega da estrela. Ou seja, uma

forma similar de eclipse. Fazendo a observação várias vezes, pode-se analisar o trânsito do exoplaneta em órbita pela estrela.

- Cronometria de chegada de pulsos: algumas estrelas, chamadas de pulsares (estrelas de nêutrons em alta rotação) emitem ondas na direção do eixo magnético. Quando o eixo aponta em nossa direção, podemos detectar as ondas por radiotelescópios. Essas ondas chegam a nós em períodos muito menores que um segundo, e quando se tem um planeta em órbita ao redor da estrela, a frequência dos pulsos que nos chegam é afetada pela velocidade da fonte que os emitiu, ou seja, o efeito Doppler.

- Microlente gravitacional: é o método que acontece quando os campos de gravitação do planeta e da estrela exaltam ou distorcem a luz de uma estrela distante. Porém, isso somente é possível se esse sistema planetário passar entre a estrela distante e o observador. Também podemos chamar isso de eclipse. Esse método exige que se monitore um grande número de estrelas distante de forma contínua, e é um dos métodos mais eficazes para encontrar exoplanetas localizados entre a Terra e o centro da nossa galáxia.



Pesquise mais

Aproveite para entender mais a respeito dos exoplanetas assistindo ao vídeo indicado a seguir, em que o professor João Steiner, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, explica o que são exoplanetas, quais são suas propriedades e estatísticas e quais são os métodos de busca para encontrá-los. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=iVCTKdvEA5k>>. Acesso em: 3 jul. 2017.

Sem medo de errar

Seu aluno havia dito que gostaria de poder viver em Marte, pois assistiu a um filme no qual humanos se mudavam para lá quando a Terra se tornou inabitável.

Várias dúvidas surgiram a partir dessa ideia. Como reposta, você enquanto professor, após explicar os conceitos a respeito dos planetas, deve esclarecer que, devido às condições atmosféricas de Marte, não é possível se mudar para lá. Você deve salientar, também, que ainda estamos descobrindo muitos planetas em outros sistemas (exoplanetas) e que pode haver algum com condições adequadas para a vida humana, assim como a Terra. Convém também dizer

que, no entanto, ainda não temos equipamentos tecnológicos que descubram quais são os planetas mais adequados para se fazer uma viagem até eles.

Trata-se de um assunto pelo qual muitos alunos se interessam, e você, professor, pode aproveitar para trabalhar conceitos científicos e proporcionar uma aprendizagem significativa.

Avançando na prática

Plutão: o planeta anão

Descrição da situação-problema

Um amigo seu viu uma reportagem sobre os planetas do Sistema Solar e lhe contou que lá dizia que Plutão não é mais considerado planeta, e sim planeta anão. Ele ficou com dúvidas com relação a isso, e você, muito interessado, já que quando estudava, aprendeu que Plutão era, sim, um planeta, decidiu investigar a respeito.

O que você descobriu? Você concordaria com a nova denominação de Plutão como planeta anão?

Resolução da situação-problema

Como você foi pesquisar e utilizou fontes confiáveis, acabou por concordar com a nova denominação de que Plutão é um planeta anão. Como você descobriu, de acordo com a União Astronômica Internacional, o pré-requisito para que um corpo celeste seja considerado planeta é de que tenha massa superior à soma das massas de seus vizinhos de órbita, o que não acontece com Plutão. Logo, a UAI o rebaixou a planeta anão.

Faça valer a pena

1. Planetas são corpos celestes que não possuem luz própria, orbitam uma estrela e são iluminados por ela. Além disso, não ocorrem reações nucleares nos interiores de um planeta porque eles não têm condições para isso. A definição de planeta é dada pela União Astronômica Internacional (UAI): para que um corpo celeste seja considerado um planeta, ele precisa ter algumas características.

Julgue as características a seguir enquanto verdadeiras (V) ou falsas (F):

() Necessita orbitar em torno de uma estrela.

() Necessita que sua órbita seja influenciada pela força de gravidade de outro planeta.

() Necessita ter forma arredondada, o que se denomina equilíbrio hidrostático, ou seja, é uma indicação que a gravidade do planeta predomina nos materiais que o constituem.

() Necessita ter massa superior à soma das massas de seus vizinhos de órbita.

Agora, assinale a alternativa que aponta a ordem correta:

- a) V-V-V-V.
- b) V-F-V-V.
- c) V-F-F-F.
- d) V-F-V-F.
- e) F-V-F-V.

2. Um determinado planeta foi o primeiro a ser descoberto, em 1781, por William Herschel. Sua translação dura 84 anos, e sua rotação, um pouco mais que 17 horas. A composição gasosa é formada de 83% de hidrogênio, 15% de hélio e 2% de metano, etano, acetileno e outros hidrocarbonetos. Além disso, esse planeta possui uma coloração azul-esverdeada por conta da absorção da luz vermelha pelo metano.

Assinale a alternativa que contém o nome do planeta a que o texto se refere.

- a) Netuno.
- b) Saturno.
- c) Urano.
- d) Júpiter.
- e) Mercúrio.

3. Planetas são corpos celestes que não possuem luz própria, orbitam uma estrela e são iluminados por ela. Além disso, não ocorrem reações nucleares nos interiores de um planeta porque eles não têm condições para isso. No Sistema Solar, temos planetas gasosos e planetas rochosos.

A partir do texto, assinale a alternativa que contém os nomes dos planetas rochosos do Sistema Solar.

- a) Terra, Marte, Vênus e Júpiter.
- b) Terra, Marte, Vênus e Saturno.
- c) Terra, Urano, Netuno e Marte.
- d) Marte, Júpiter, Saturno e Netuno.
- e) Vênus, Mercúrio, Terra e Marte.

Seção 3.2

Luas e asteroides

Diálogo aberto

Nesta seção, aprenderemos a respeito das Luas e dos asteroides. Veremos que esses corpos não possuem luz própria e também não são considerados planetas. Conheceremos as principais Luas, asteroides e anéis planetários, bem como suas características principais. Estudaremos fenômenos que podem ser observados no dia a dia, como as fases que a Lua, satélite natural do nosso planeta, possui. Todos esses assuntos são pertinentes às aulas de Física para o ensino médio e, geralmente, despertam o interesse de muitos alunos.

Um de seus alunos foi viajar nas férias para a praia. Na volta às aulas, ele conta que ficou em frente ao mar, sentiu a brisa marítima no rosto, lembrou o gosto da água do mar e pisou na areia quente. Ele disse que, observando as águas do mar quebrando nas pedras, começou a se perguntar por que existem as marés e o que é, afinal, maré baixa e maré alta. Ele fez esses questionamentos para você.

Você, enquanto professor, como responderia? Diria que a maré tem a ver com a influência da Lua? Será que só a Lua influencia a maré ou também outros corpos celestes?

Tudo isso será abordado nesta seção.

Tal indagação é um exemplo da importância do estudo de corpos celestes como as Luas e asteroides, bem como sua influência gravitacional nos planetas próximos. Boa leitura!

Não pode faltar

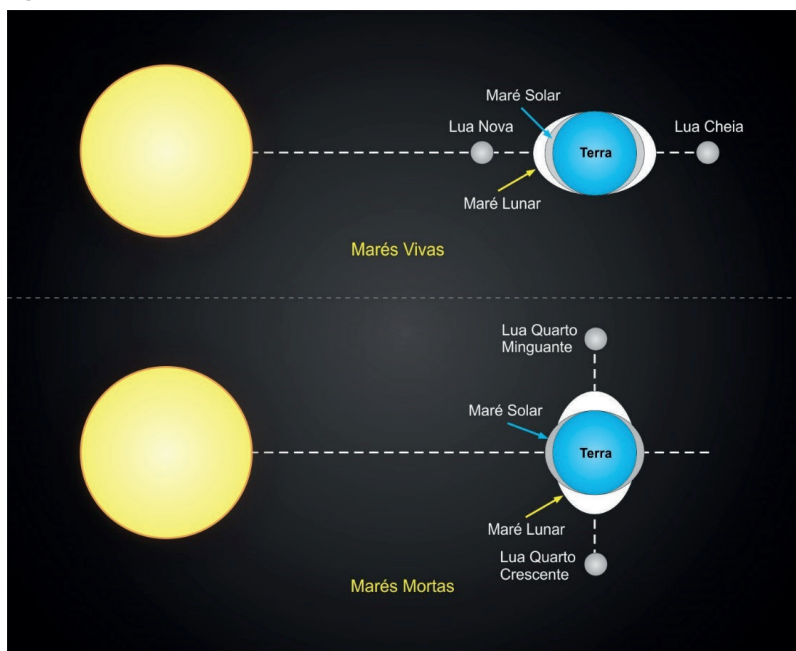
Nesta seção, continuaremos nossa empreitada de conhecimento do Universo. Dessa vez, viajaremos juntos para descobrir os mistérios e as curiosidades a respeito das Luas e asteroides. O que são, qual é a sua origem e onde se situam as Luas e asteroides? Estas são algumas das questões que investigaremos em conjunto para enriquecer ainda mais o que sabemos do Cosmos. Tais questões são de extrema

importância para a astronomia e cosmologia atual pois, a partir delas, podemos encontrar pistas de como tudo o que conhecemos surgiu e como será o nosso futuro de agora em diante.

O estudo das Luas e asteroides, que se iniciou no passado, ainda é cotidiano e atual, e tende a muitos estudos ainda no futuro. A Lua que orbita o nosso planeta Terra, por exemplo, possui influência direta nos fenômenos que acontecem no dia a dia, como nos movimentos de marés. As Luas que orbitam os planetas do nosso Sistema Solar e também outros sistemas podem conter elementos e informações cruciais para a compreensão do surgimento da vida como a conhecemos.

Como exemplo, podemos falar a respeito das marés, que se deve ao fato de a Lua exercer atração gravitacional na Terra, que possui superfície líquida (nossos mares e oceanos). Na verdade, as marés são o resultado de três forças: a interação devido à atração entre a Lua e a Terra; a atração entre a Terra e o Sol; e a rotação da Terra. A principal responsável por esse efeito é a atração que a Lua exerce na Terra, que deforma a superfície líquida do nosso planeta, provocando um acúmulo de água em dois pontos principais, um do lado da Terra próximo à Lua, e o outro do lado oposto. A influência do Sol nesse fenômeno é de cerca de duas vezes menos intensa, mas mesmo assim de grande importância. Quando o Sol e a Lua exercem sua influência em uma mesma direção (ver primeira parte da Figura 3.5), ocorre o fenômeno da maré viva. Quando a interação gravitacional ocorre de maneira perpendicular (segunda parte da Figura 3.5), temos a maré morta. A classificação de maré viva e maré morta é feita de acordo com as fases da Lua, podemos ainda classificar as marés por meio da altura da mesma. Se dentro do ciclo das marés a água do mar atinge sua altura máxima a chamamos de maré alta ou preia-mar, quando ela atinge sua altura mínima a chamamos de maré baixa ou baixa-mar.

Figura 3.5 | Efeito de marés



Fonte: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/figuras/mares.jpg>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

Além disso, o intervalo de tempo entre as marés baixas e altas são de aproximadamente seis horas, variando conforme a fase da Lua e a estação do ano, já que as marés altas ocorrem nas regiões que estão mais próximas ao Sol e à Lua, enquanto nas demais regiões ocorrem as marés baixas.

A distância entre a Terra e a Lua foi obtida apontando-se um laser em direção a um espelho que se encontra na superfície do nosso satélite natural. Com a medida do tempo de ida e volta do feixe de laser e, conhecendo-se a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente 3.10^8 m/s), foi possível obter que sua distância varia de 356.800 km a 406.400 km, com um valor médio de 384.000 km (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

Em comparação com a Terra, a Lua possui dimensões muito inferiores. Sua massa equivale a 1/81 da massa da Terra ($7,36.10^{22}$ kg da Lua e $5,972.10^{24}$ kg da Terra) e seu diâmetro é de 3.476 km (sendo o diâmetro da Terra de 12.742 km). É o quinto maior satélite natural do Sistema Solar, o maior em questão de proporção em relação ao planeta que orbita.

Vista da Terra, a Lua possui o que chamamos de fases, nas quais sua forma parece variar gradualmente à medida que percorre sua trajetória ao redor da Terra. As fases características da Lua são: Nova; Quarto Crescente, Quarto Minguante e Cheia. Esse fenômeno ocorre porque a Lua é um corpo que não possui luminosidade própria, ela é iluminada pelo Sol. “Os astrônomos definem as fases da Lua em termos de número de dias decorridos desde a Lua Nova (de 0 a 29,5 dias) e em termos de sua fração iluminada da face visível (0 a 100%)” (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014, p. 30).

Vamos definir as fases da Lua:

Lua Nova: durante esse período, a face voltada para a Terra não está iluminada, o que torna extremamente difícil a sua observação. Com o passar dos dias, sua iluminação vai aumentando de forma gradual.

Lua Crescente: aproximadamente uma semana após a fase Nova, inicia-se a fase Crescente, na qual 50% da face voltada para a Terra encontra-se iluminada pelo Sol. Realizando sua trajetória ao redor da Terra, a porção iluminada vai aumentando ainda mais, e uma semana depois, uma nova fase surge.

Lua Cheia: a fase Cheia ocorre a partir do momento em que a face da Lua voltada para o nosso planeta encontra-se 100% iluminada. Essa fase se completa até que essa superfície seja iluminada pela metade.

Lua Minguante: a última fase lunar caracteriza-se pela redução da iluminação da porção da superfície visível, de 50% a 0%, até que se chegue novamente ao início de um novo ciclo.



Exemplificando

A iluminação da face da Lua voltada para o Sol é que determina a fase característica. Analise a figura a seguir. A partir dela, é possível compreender a mudança de fases apresentadas de forma gradual.

Figura 3.6 | Fases da Lua apresentadas de forma gradual



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/lua/lua.htm>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

O período sideral da Lua é o tempo que ela leva para completar uma volta em torno da Terra. Esse tempo é de 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 11 segundos, e o intervalo de tempo entre duas fases consecutivas é de 29 dias, 12 horas, 44 minutos e 2,9 segundos. Ou seja, o mês lunar (tempo entre duas fases consecutivas) e o mês sideral (tempo de uma volta completa em torno da Terra) não coincidem, pois possuem uma diferença de 2,25 dias.

Outro fato interessante sobre a Lua é que ela mantém sempre a mesma face voltada para a Terra, o que significa que seu período de rotação em torno de si é sincronizado com a translação (movimento que realiza ao redor da Terra), e a explicação para isso pode ser vista na Figura 3.7. Isso acontece porque, ao longo do tempo, a interação da força de gravidade entre a Terra e a Lua fez com que o satélite natural ficasse sempre em sincronia com seus movimentos de rotação (quando a Lua gira em torno de si mesma) e de translação (a sua volta em torno da Terra), ou seja, os tempos desses movimentos são iguais, o que nos permite ver apenas um lado da Lua.



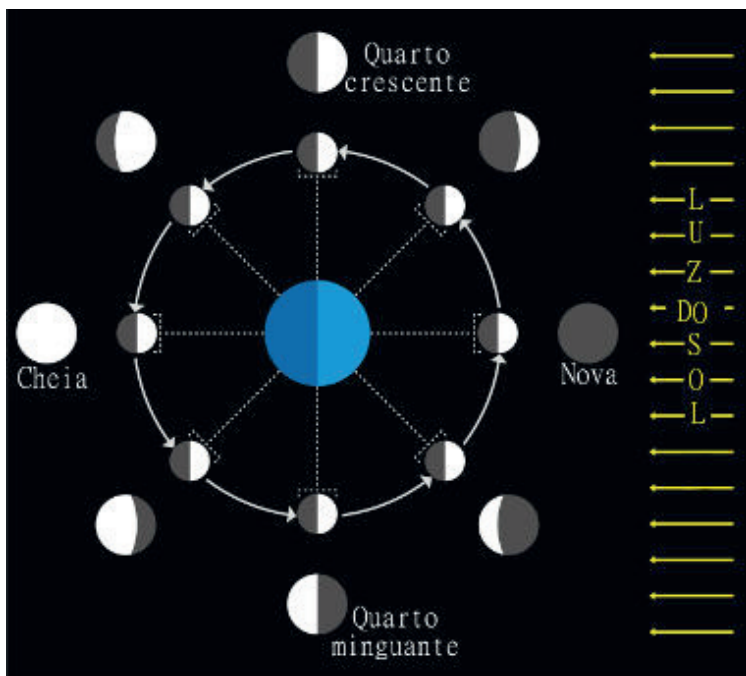
É muito improvável que essa sincronização seja casual. Acredita-se que ela tenha acontecido como resultado das grandes forças de maré exercidas pela Terra na Lua no tempo em que a Lua era jovem e mais elástica. As deformações tipo bojos causadas na superfície da Lua pelas marés teriam freado a sua rotação até ela ficar com o bojo sempre voltado para a Terra e, portanto, com período de rotação igual ao de translação. (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014, p. 51)

Observe a Figura 3.7 para que você visualize melhor porque a Lua tem sempre a mesma face voltada para a Terra.



Exemplificando

Figura 3.7 | A mesma face da Lua sempre voltada para a Terra



Fonte: <<http://alunosonline.uol.com.br/fisica/fases-lua.html>>. Acesso em: 11 out. 2017.

Isso nos faz pensar no que há na face oculta da Lua, já que nunca a vemos. Segundo Oliveira e Saraiva (2014):

Devido à rotação sincronizada da Lua, a face da Lua que não podemos ver chama-se face oculta, que só pode ser fotografada pelos astronautas em órbita na Lua. Note também que, como a Lua mantém a mesma face voltada para a Terra, um astronauta na Lua não vê a Terra nascer ou se pôr. Se ele está na face voltada para a Terra, a Terra estará sempre visível. Se ele estiver na face oculta da Lua, nunca verá a Terra. (OLIVEIRA; SARAIVA, p. 54)



Assimile

Conhecendo a Lua que orbita nosso planeta:

- A distância média entre a Terra e a Lua é de 384 000 km.
- Sua massa é de aproximadamente $1/81$ da massa da Terra ($7,36 \cdot 10^{22}$ kg).
- É o quinto maior satélite do Sistema Solar.
- Possui quatro fases: Nova, Quarto Crescente, Cheia e Quarto Minguante.
- Mantém sempre a mesma face voltada para a Terra.
- É a maior responsável pelo efeito das marés em nossos oceanos.

Vamos, agora, expandir nossos horizontes, não somente os espaciais, mas também os de nossos conhecimentos. Vamos falar dos demais satélites naturais do Sistema Solar. Nesse Sistema, o maior satélite natural é Ganimedes, que possui diâmetro de 5.262 km e orbita Júpiter. O segundo maior é Titan, de Saturno, com 5.150 km de diâmetro. Os dois satélites são maiores que o planeta Mercúrio (com diâmetro de 4.878 km) (PICAZZIO, 2011). A nossa Lua, por sua vez, (3.476 km de diâmetro) é maior que Plutão, que possui diâmetro de 2.350 km.

Os satélites naturais do Sistema Solar, que também são chamados de luas, possuem características peculiares que os tornam únicos. Uma das quatro grandes luas de Júpiter e o quarto maior satélite do nosso sistema possui fossas sulfurosas e constantes erupções vulcânicas. Tem uma aparência que mistura cores como branco, vermelho, amarelo e preto, por conta da liberação de enxofre, que ocorre também durante as erupções.



Pesquise mais

Para aprender mais a respeito das luas do Sistema Solar, assista ao vídeo indicado, que apresenta as dez maiores. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jArbHEPUUtA>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

Europa, por exemplo, é uma lua recoberta por gelo, e mantém um oceano por debaixo dessa camada congelada, o que a caracteriza como uma Lua que pode, provavelmente, conter organismos vivos.

Titan, a segunda maior lua do Sistema Solar, é muito semelhante à Terra, pois possui montanhas, desertos, cavernas e lagos. Sua atmosfera é rica em nitrogênio, encontra-se a uma distância aproximadamente dez vezes maior do que a que separa o Sol da Terra, e, em sua superfície, a temperatura média é de $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ (PICAZZIO, 2011).



Refleta

Sabendo que existem luas como Titan, que são semelhantes com a Terra, você pensa que é possível que exista vida em alguma lua do Universo?

Comentamos a respeito das luas do nosso Sistema Solar, mas ficou faltando algo. Ainda não definimos o que é uma lua. Já sabemos o que é um planeta. Então, vamos a mais uma definição de extrema importância no estudo dos corpos celestes.



Assimile

O termo Lua designa os corpos celestes que orbitam outros corpos que não a estrela do sistema. Existem diferentes tipos de luas com características diversas, como coloração, forma (não necessariamente esférica) e origem de formação. Muitas delas são maiores que planetas.

Continuando nossa viagem, o destino a partir de agora é outro: os asteroides e fragmentos rochosos.

Os asteroides e fragmentos rochosos são corpos constituídos de rochas e metais que orbitam o Sol da mesma forma que os planetas. Entretanto, possuem massa muito inferior em comparação a eles. Seu tamanho pode variar de centenas de quilômetros a alguns metros e, geralmente, eles não possuem forma definida. Existem milhares e milhares de asteroides catalogados.

Sua origem também é tema de estudo entre os cientistas. As teorias mais aceitas dizem respeito a: 1) formação a partir do colapso que deu origem ao nosso Sistema Solar; 2) origem por meio da colisão entre corpos celestes rochosos e massivos, tais como planetas.

Grande parte dos asteroides que conhecemos encontram-se entre as órbitas de Marte e Júpiter. Algumas teorias cogitam a possibilidade de, em tempos remotos, ter havido um planeta naquele local. Tal região é conhecida como Cinturão de Asteroides. Nesse cinturão há um asteroide chamado Ceres, o maior dessa localidade, com 1.000 km de diâmetro e com massa de cerca de 1/100 da massa da Lua.

Outro cinturão existente é o Cinturão de Kuiper, situado além da órbita de Netuno até 150 UA (Unidade Astronômica, que equivale à distância média entre o Sol e a Terra) do Sol. Esses asteroides são também chamados de objetos transnetunianos. Devido à influência deles no movimento de outros corpos e através de alguns cálculos, suspeitava-se da existência desses asteroides. A descoberta do primeiro objeto transnetuniano ocorreu somente em 1992. Dez anos depois, em 2002, foi descoberto o objeto 2002LM60, que possui diâmetro de 250 km a mais do que Ceres (o maior asteroide situado entre Marte e Júpiter).

Todos os asteroides, sejam eles do Cinturão de Asteroides ou do Cinturão de Kuiper, são inferiores ao tamanho e à massa da Lua.

A importância dos objetos transnetunianos repousa nas suas características. Por estarem em região muito fria, distantes do Sol, eles preservam a composição química primitiva que deu origem ao Sistema Solar. Eles formam um estofo de matéria que não foi agregado aos corpos maiores, por isso podem fornecer informações inéditas sobre a história e a evolução do Sistema Solar. Suas órbitas, por exemplo, podem nos ajudar a compreender como as órbitas dos planetas gigantes evoluíram desde a formação. (PICAZZIO, 2011, p. 130)



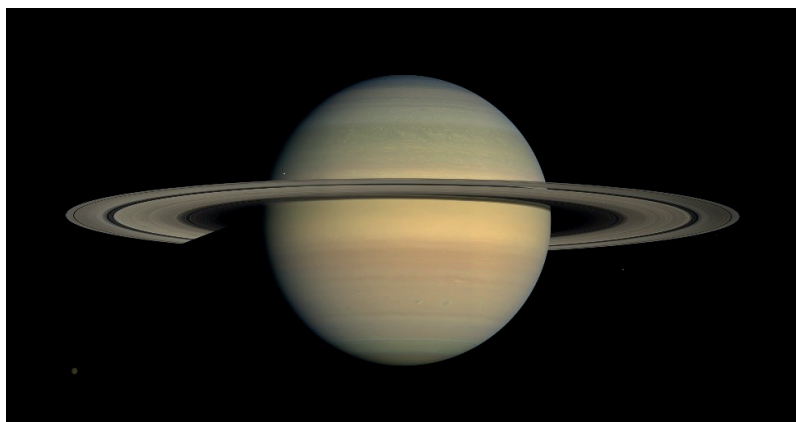
Perceba a amplitude da empreitada de nossas novas descobertas. As distâncias que percorremos em nosso exercício de reflexão foram literalmente astronômicas, e a quantidade de informações e curiosidades que estudamos até o momento foi enorme e, mesmo assim, pouco exploramos sobre o Universo. Há ainda muito mais.

Porém, antes de encerrarmos o assunto da seção, vamos conhecer um pouco sobre os anéis planetários.

Como você deve saber, Saturno é um planeta que possui anéis bem definidos. As imagens realizadas desse planeta revelam sua beleza e magnitude. Quem já observou Saturno pela lente de um telescópio, pequeno ou grande, utilizado para pesquisas ou mesmo um simples, sabe do sentimento de estar contemplando uma das maiores maravilhas que a natureza pode nos proporcionar. Ver no rosto de uma criança ou de um jovem um sorriso de satisfação e a expressão de interesse ao ver Saturno pela primeira vez é uma sensação singular. No entanto, ele não é o único planeta a apresentar anéis. Júpiter, Saturno, Urano e Netuno possuem anéis também. Os anéis planetários são formados por poeira e pequenos fragmentos rochosos que orbitam o planeta.

Os anéis de Saturno são constituídos por partículas de gelo e, por esse motivo, refletem a luz proveniente do Sol, atribuindo ao planeta uma beleza incrível. Por serem formados por partículas escuras, os anéis de Júpiter, Netuno e Urano não são visíveis da Terra. Os de Júpiter, por exemplo, só foram descobertos por meio de uma sonda espacial enviada em direção ao planeta.

Figura 3.8 | Saturno e seus anéis



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saturn_during_Equinox.jpg>. Acesso em: 20 jul. 2017.

É importante dizer, ainda, que:

Todos os planetas gasosos têm anéis, dentro dos respectivos limites de Roche. Saturno apresenta o sistema de anéis mais exuberante. Eles foram descobertos em 1610, quando Galileu Galilei usou sua luneta para observar o planeta. Como todo aparato ótico da época, a luneta de Galileu, que ampliava as imagens em cerca de dez a vinte vezes, era de má qualidade ótica. A lente objetiva era esverdeada, devido ao alto teor de ferro no substrato de vidro, tinha bolhas no seu interior, o polimento das superfícies era ruim, e a imagem produzida pelos bordos da lente era distorcida. Assim, os anéis de Saturno lhe pareciam como um par de saliências difusas de cada lado do planeta. (PICAZZIO, 2011, p. 131)



Podemos, agora, terminar nosso estudo a respeito das luas e asteroides. Como já dissemos, nossa viagem não acaba aqui. Na realidade, ainda há muito o que conhecer a respeito do Cosmos. Na próxima seção, expandiremos ainda mais nossos conhecimentos, pois trataremos das observações realizadas na Antiguidade até as fronteiras da astrofísica observacional. Então, prepare-se e aproveite a nova jornada que proporcionaremos a você.

Sem medo de errar

Você, enquanto professor de Física, pode explicar para os alunos que o efeito das marés, assim como comentamos na seção, se deve ao fato de a Lua exercer atração gravitacional na Terra, que possui superfície líquida. Você pode dizer, também, que as marés são o resultado de três forças: a interação devido à atração entre a Lua e a Terra; a atração entre a Terra e o Sol; e a rotação da Terra. Saliente, também, que a principal responsável por esse efeito é a atração que a Lua exerce na Terra, que deforma a superfície líquida do nosso planeta, provocando um acúmulo de água em dois pontos principais, um no lado da Terra próximo à Lua e outro, no lado oposto.

Você também deve explicar que o intervalo de tempo entre uma maré baixa e uma alta é de aproximadamente seis horas, e que a intensidade varia conforme o lugar e a estação do ano, já que em regiões mais próximas do Sol e da Lua a força gravitacional é maior e, portanto, possui marés mais altas.

Uma viagem a Júpiter

Descrição da situação-problema

Suponha que, enquanto você está trabalhando com conteúdos relacionados aos asteroides com os alunos, um deles questione se é possível que o ser humano viaje até Júpiter e passe pelo Cinturão de Asteroides, que se encontra antes desse planeta e depois de Marte. Além disso, ele questiona o fato de serem enviadas sondas para esse planeta e os demais. Afinal, se o homem foi para a Lua, por que ainda não foi até lá? Além disso, seu aluno também lhe pergunta como as naves e sondas que já viajaram por outros lugares do Sistema Solar podem se deslocar no espaço.

Como você poderia responder à pergunta de seu aluno?

Resolução da situação-problema

Você deveria dizer que com as tecnologias que temos atualmente, ainda não é possível ter uma nave que consiga viajar até Júpiter, que consiga fazer manobras necessárias para desviar dos asteroides do Cinturão e que leve combustível suficiente para voltar. Além disso, como ainda não podemos viajar à velocidade da luz, demoraríamos muito tempo e deveríamos contar com muitos recursos para as necessidades básicas dos astronautas que viajariam.

É exatamente por isso que são enviadas as sondas para esses planetas, pois levaríamos muitos anos para ir e voltar. Além disso, para que uma nave pouse em um planeta e depois saia de lá, teríamos que levar muito combustível, o que impossibilitaria a viagem.

Com relação à segunda pergunta do seu aluno, as naves e as sondas podem se deslocar no espaço de três formas:

- Pela ação e reação (em que a nave queima combustível, este explode e joga a nave para a frente, enquanto a nave joga o combustível para trás).
- Pela inércia (quando ela já está em movimento, as turbinas são desligadas e ela viaja com velocidade constante, já que o vácuo permite que ela permaneça em movimento sem sofrer atrito algum). Assim, só se liga motor novamente quando é necessário pousar em algum corpo celeste ou sair da atração da força de gravidade.

- Pelo efeito estilingue, que acontece quando a nave usa a força gravitacional de um planeta para ganhar impulso e aumentar a sua velocidade. Assim, quando a nave chega perto do planeta, ela é capturada pela gravidade e faz a órbita. Ao fazer a volta, ela é jogada pelo movimento de rotação (força centrífuga) do planeta fora da órbita e com velocidade maior. Um exemplo é a sonda Voyager, lançada em 1977, e que em 2013 utilizou a força gravitacional de Júpiter para sair fora do Sistema Solar. Um outro exemplo disso foi a sonda New Horizons, que chegou até Plutão. Ela utilizou Júpiter para obter o efeito estilingue e aumentar sua velocidade.

Faça valer a pena

1. A Lua é o quinto maior satélite do nosso Sistema Solar, o maior em questão de proporção em relação ao planeta que orbita. Possui um sistema de fases em que sua forma parece variar gradualmente à medida que descreve sua trajetória ao redor da Terra.

Com relação às fases da Lua, marque com V para verdadeiro ou F para falso as afirmativas a seguir e, depois, assinale a alternativa que apresenta a sequência.

() Lua Nova: durante a Lua Nova, a face voltada para a Terra não está iluminada, o que torna extremamente difícil a sua observação. Com o passar dos dias, sua iluminação vai aumentando de forma gradual.

() Lua Crescente: a última fase lunar caracteriza-se pela redução da iluminação da porção da superfície visível, de 50% a 0%, até que se chegue novamente ao início de um novo ciclo.

() Lua Cheia: a fase Cheia ocorre a partir do momento em que a face da Lua voltada para o nosso planeta encontra-se 100% iluminada. Essa fase se completa até que essa superfície seja iluminada pela metade.

() Lua Minguante: aproximadamente uma semana após a fase Nova, inicia-se a fase minguante, na qual 50% da face voltada para a Terra encontra-se iluminada pelo Sol. Realizando sua trajetória ao redor da Terra, a porção iluminada vai aumentando ainda mais e, uma semana depois, uma nova fase surge.

- a) V-F-V-F.
- b) V-F-V-V.
- c) F-V-V-V.
- d) F-F-V-V.
- e) V-V-V-V.

2. O _____ sideral da Lua é o tempo que ela leva para completar uma volta em torno da Terra. Esse tempo é de 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 11 segundos, e o intervalo de tempo entre duas fases consecutivas é de 29 dias, 12 horas, 44 minutos e 2,9 segundos. Ou seja, o mês lunar (tempo entre duas fases consecutivas) e o _____ sideral (tempo de uma volta completa em torno da Terra) não coincidem, pois possuem uma diferença de 2,25 dias.

As palavras que preenchem corretamente as lacunas, respectivamente, são:

- a) mês, período.
- b) mês, semana.
- c) período, mês.
- d) período, dia.
- e) período, fase.

3. Os asteroides e fragmentos rochosos são corpos constituídos de rochas e metais que orbitam o Sol da mesma forma que os planetas, entretanto possuem massa muito inferior em comparação a eles. Seu tamanho pode variar de centenas de quilômetros a alguns metros e geralmente não possuem forma definida. Existem milhares e milhares de asteroides catalogados.

A partir do texto apresentado, assinale a alternativa correta com relação às teorias de origem dos asteroides.

- a) A formação se deu a partir da explosão que destruiu o nosso Sistema Solar.
- b) A origem se deu por meio da colisão entre corpos celestes rochosos e massivos, tais como planetas.
- c) A formação se deu por meio da explosão de uma estrela que havia no Sistema Solar.
- d) A origem se deu por meio da colisão do planeta Saturno com uma de suas Luas.
- e) Os Asteroides são velhos planetas que existiam no Sistema Solar e que sucumbiram.

Seção 3.3

Astronomia observacional

Diálogo aberto

Nesta seção, iremos estudar sobre a astronomia observacional, como eram feitas as observações na Antiguidade e quais são as descobertas dessa época que são importantes até os dias de hoje. Depois vamos entender um pouco mais sobre a Física por trás das observações e as importantes características da luz. Falaremos dos telescópios utilizados atualmente, quais são os tipos deles e quais são suas diferenças. Mencionaremos, ainda, que temos telescópios tanto na Terra como no espaço, e que cada um tem sua importância para a astronomia. Por fim, estudaremos um pouco sobre as fronteiras da astrofísica observacional e como tudo isso tem avançado. No final, você entenderá melhor o comportamento da luz e como os instrumentos astronômicos impulsionaram o desenvolvimento da astrofísica. Devemos ressaltar que todos esses assuntos são pertinentes às aulas de Física para o ensino médio e, geralmente, despertam o interesse de muitos alunos.

Um aluno seu, em um tempo de folga que possuía na casa dele, estava assistindo a conteúdos diversos na internet. Entre uma olhada e outra em redes sociais e sites de notícias, deparou-se com algo que já havia visto, mas não sabia direito o que era e nem para o que servia: o Stonehenge. Com um pouco de receio de perguntar, ele respira, se encoraja e lhe pergunta o que é isso. Como você responderia? Como encararia esse desafio? Você saberia responder de prontidão ou pediria um tempo para uma rápida verificação em textos que conhece?

Tudo isso faz parte de nossa viagem rumo ao conhecimento dos mistérios que circundam o Universo. Então, prepare-se!

Não pode faltar

Para iniciarmos a viagem de conhecimento referente a esta seção, teremos que realizar um movimento diferente. Ainda estamos fazendo uma viagem de reflexão rumo ao conhecimento a respeito dos aspectos mais interessantes, misteriosos e intrigantes da Física. Entretanto, nossa viagem, agora, remete ao passado. Quando se trata

de pesquisa e estudo em ciência, não há como deixar o passado para trás. Pelo contrário, é necessário fazer uso do conhecimento construído e elaborado por diversas pessoas que, como nós, possuíam inquietações e dúvidas a respeito de como o Universo funcionava. E uma das práticas mais antigas, realizadas desde as civilizações mais remotas, é a da observação do céu. A astronomia é, portanto, “considerada a mais antiga das ciências” (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014, p. 1). Os mais antigos registros astronômicos encontrados são de aproximadamente 3000 a.C. e foram realizados por chineses, babilônios, assírios e egípcios. A duração do ano, por exemplo, era um aspecto muito explorado por essas civilizações. Os chineses, desde 700 a.C., já realizavam precisas anotações relativas a cometas, meteoritos e meteoros. Milhares de anos atrás, já se sabia que o Sol variava sua posição no céu ao longo do ano, movendo-se 1° a Leste por dia, e que o ano contempla o tempo em que esse astro leva para completar uma volta em relação às demais estrelas.

Os objetivos das civilizações antigas para a observação do céu eram diversos, variando desde a mensuração do tempo para a prever as melhores épocas de plantio e colheita até estudos sobre a influência dos astros e demais corpos celestes no comportamento humano, além de previsões para o futuro (predições sobre fenômenos celestes e acontecimentos políticos).

As observações astronômicas foram reinterpretadas por uma civilização de outrora no sentido de atribuir os conhecimentos adquiridos à compreensão de como o universo funciona. Adivinhe qual civilização realizou essa reinterpretação? Quando você for professor, seus alunos conseguirão adivinhar? Muitos deles, sim. A civilização grega antiga, em 500 a.C. foi a responsável por compreender a astronomia por meio dos babilônios, como uma maneira de interpretar os conhecimentos adquiridos por meio da observação dos fenômenos celestes para a elaboração de explicações a respeito da constituição do Cosmos e da vida tal qual a conhecemos (PICAZZIO, 2011).

Tales de Mileto (~624-546 a.C.) trouxe à Grécia fundamentos de astronomia relacionados à geometria. Em conjunto com seu discípulo Anaximandro (~610-546 a.C.), propôs modelos de movimento dos corpos celestes que não se baseavam em exibições de poderes dos deuses. Outros nomes dos grandes astrônomos da Grécia antiga são: Pitágoras de Samos, Filolaus de Cretona, Eudóxio de Cnidos,

Aristóteles de Estagira, Aristarco de Samos, Eratóstenes de Cirênia, Hiparco de Niceia, Ptolomeu.



Refleta

Muitos astrônomos gregos foram citados no texto. Mas será que, antes deles, outros já haviam estudado a astronomia? Você se lembra de ter estudado algum deles? E da contribuição deles?

Os egípcios se basearam nos movimentos de translação e de rotação da Terra para a determinação de um calendário, há 6000 anos. O ano civil era composto de 12 meses de 30 dias cada, mais 5 dias adicionais, ao final de cada ano, correspondente aos aniversários dos deuses Osiris, Hórus, Ísis, Néftis e Seth, totalizando 365 dias. Esse ano civil foi dividido em três estações: tempo da inundação, tempo da semeadura e tempo da colheita. A divisão do dia em 24 horas (do pôr do sol ao pôr do sol) deve-se aos egípcios, apesar da sua duração variar em cada época do ano, pois dividiam o período claro em 12 horas e o período escuro também. A divisão da hora em 60 minutos e do minuto em 60 segundos foi resultado do sistema sexagesimal usado na antiga Babilônia, posteriormente utilizado no Egito. (WHITROW, 1993, p. 43)

Muitas das prerrogativas feitas pelos filósofos gregos citados anteriormente se aproximavam muito do que aceitamos nos dias atuais. Portanto, o estudo das observações astronômicas realizadas em tempos remotos é de grande importância para o nosso cotidiano. No passado, há uma preciosa herança que precisamos continuar passando para as gerações futuras, pois a curiosidade, motivadora da descoberta, é uma das características mais essenciais ao ser humano. Além disso, ciência se constrói assim: por meio de curiosidades, dúvidas e de maneira coletiva. Não há um só cientista em toda a história da ciência que tenha feito sozinho, sem a leitura de nenhum material previamente elaborado ou contato com outros estudiosos, alguma contribuição expressiva para a humanidade. Ao contrário, ciência se faz com trabalho em conjunto, com embasamento em diversas pesquisas, com argumentação e aceitação da comunidade científica.



Assimile

Vamos recapitular alguns dos assuntos mais pertinentes discutidos até o presente momento.

- Os mais antigos registros astronômicos são de aproximadamente 3000 anos a.C., e são atribuídos aos chineses, babilônios, assírios e egípcios.
- A civilização grega antiga foi a primeira a interpretar os fenômenos relativos aos corpos celestes, não como proeza e demonstração de poder dos deuses, mas como forma de descrever o Universo e o seu funcionamento.

O que vimos até aqui nos faz questionar: como eram realizadas pelas civilizações antigas as observações dos fenômenos que ocorriam no céu? A resposta é, ao mesmo tempo, óbvia e surpreendente: não havia instrumentos que fossem utilizados para esse propósito. Há 418 anos, Galileu Galilei utilizou o primeiro telescópio astronômico (PICAZZIO, 2011).



Pesquise mais

Desde os tempos mais antigos, a observação do céu auxilia na resolução de problemas que enfrentamos no dia a dia. Um deles dizia respeito à localização das embarcações em alto-mar por meio da observação das estrelas.

As estações do ano, bem como o zodíaco, também podem ser percebidos mediante observação, e ficam bem evidentes no céu estrelado.

Assista ao vídeo indicado a seguir para aprender mais a respeito das constelações e visualizar as mais conhecidas. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jD9wwYaxTgU>>. Acesso em: 4 ago. 2017.

Um dos exemplos de como as civilizações antigas faziam observações a respeito dos fenômenos celestes é o Stonehenge (que, em inglês arcaico, significa eixo de pedra). Ele fica situado a 130 km de Londres e é considerado um dos mais belos monumentos relacionados a grandes blocos de pedra bruta. Essas pedras são compostas de dolerita azulada e arenito, e formam dois anéis concêntricos em torno de dois blocos rochosos em forma de uma ferradura.

Além disso, ele é datado de cerca de 2500 a.C. e possui alinhamento com o Sol, de maneira que seu eixo permite determinar as datas dos solstícios e equinócios. O astrônomo inglês Fred Hoyle (PICAZZIO, 2011) defende a teoria de que o Stonehenge foi construído para ser como um computador capaz de prever, além dos solstícios e equinócios, os eclipses solares.

O importante é ressaltar que o conhecimento de astronomia construído foi resultado de muito tempo de observação, já que não havia equipamentos como os que temos nos dias atuais.

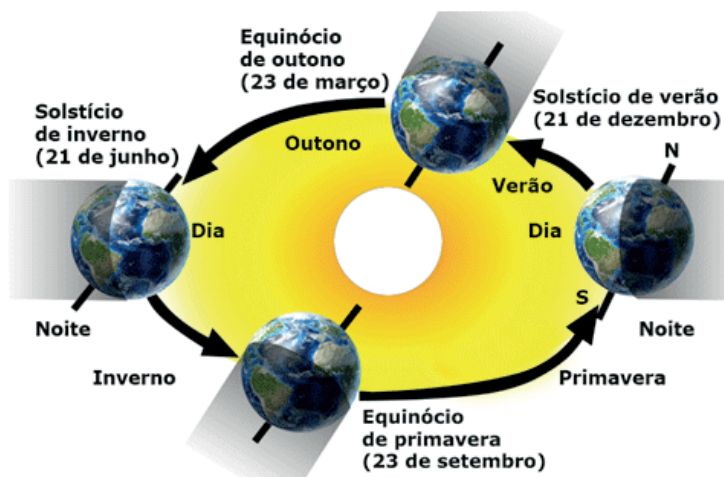
Figura 3.9 | O Stonehenge



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Stonehenge_Wide_Angle.jpg>. Acesso em: 27 jul. 2017.

Devemos relembrar que os solstícios e os equinócios possuem relação com a inclinação que a Terra possui em seu eixo de rotação. Nos dias em que há solstícios e equinócios, a diferença medida é a da incidência de raios solares que são recebidos na superfície terrestre. Por causa da inclinação da Terra e das diferenças entre as incidências de radiação solar recebidas é que temos as quatro estações do ano, e os solstícios e equinócios marcam as transições entre uma estação e outra.

Figura 3.10 | Solstícios e equinócios e as quatro estações do ano



Fonte: <http://www.virtual.ufc.br/solar/aula_link/SOLAR_2/Curso_de_Graduacao_a_Distancia/LFIS/I_a_P/Introducao_a_Astronomia/aula_03/imagens/05/a3t5_1.gif>. Acesso em: 3 ago. 2017.

Desse modo, podemos perceber que, basicamente, as observações astronômicas eram realizadas a olho nu, ou seja, somente com a luz emitida pelas estrelas, analisadas por meio dos olhos humanos. Assim, é necessário apresentarmos conceitos relacionados à natureza da luz para entendermos qual é a sua influência na astronomia antiga e também na dos dias de hoje.

Falar da natureza da luz nos remete a uma das discussões mais intrigantes e interessantes da história da física. Por quê? Porque sua natureza é um tanto quanto contraditória, ou melhor, em termos de conceitos da física, a melhor palavra para descrever isso é "dual". Vamos entender melhor o que estamos querendo argumentar.

No século XVII, havia duas teorias predominantes (aparentemente excludentes) a respeito da natureza da luz, que renderam discussões acaloradas entre os cientistas: a teoria ondulatória da luz e a teoria corpuscular da luz. A teoria ondulatória descrevia a luz com todas as propriedades e características que uma onda possui. Essa teoria foi formulada por cientistas como Robert Hook e Christiaan Huygens. De fato, posteriormente, Thomas Young e Jean-Augustin Fresnel a comprovaram, mediante experimentos de difração da luz, a validade da teoria. Entretanto, a teoria corpuscular da luz, que descrevia a luz com propriedades semelhantes à de pequenos corpos (e que explicava fenômenos como a reflexão), foi formulada por Isaac Newton.

O grande físico inglês Isaac Newton acreditava na possibilidade do vazio e foi o maior advogado da ideia de que a luz seria composta de fluxos de partículas. Após a publicação do seu livro *Óptica*, em 1704, o modelo corpuscular de Newton tornou-se hegemônico durante todo o século XVIII. (BELISÁRIO, 2016, p. 3)



Por sua influência na comunidade científica, a teoria corpuscular predominou até meados do século XIX. Após esse período, essa teoria foi temporariamente descartada por conta dos experimentos que comprovaram a veracidade da teoria ondulatória (PICAZZIO, 2011). A teoria corpuscular retorna no século XX, com Albert Einstein, que ganha o Prêmio Nobel de Física em 1921 pelos seus estudos a respeito do efeito fotoelétrico.



Assimile

A luz apresenta um comportamento único e surpreendente. Ela é onda e também partícula, o que em física expressamos como dualidade onda-partícula. Isso significa que a luz exhibe, ao mesmo tempo:

[...] Propriedades ondulatórias como refração, difração e interferência, além de propriedades corpusculares, como o efeito fotoelétrico, que depende exclusivamente da energia dos fótons incidentes. (PICAZZIO, 2011, p. 29)



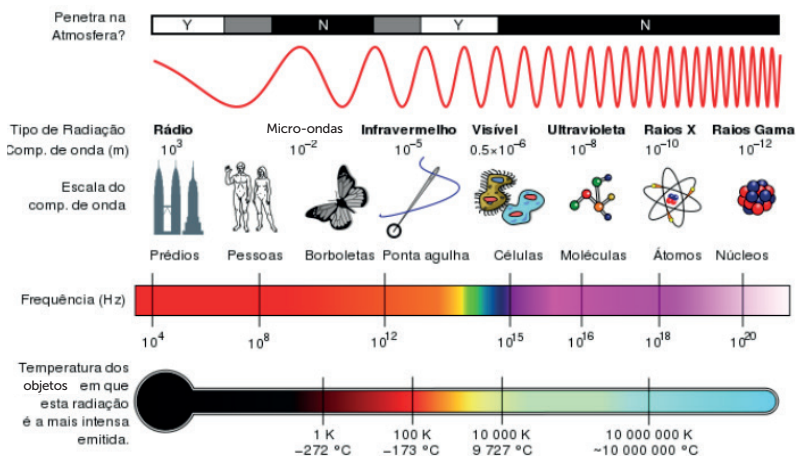
Em termos práticos, isso quer dizer que quando realizamos experimentos para comprovar o caráter ondulatório da luz, verificamos que a teoria ondulatória descreve os fenômenos observados. E quando tentamos comprovar a teoria corpuscular, o resultado também é satisfatório, ou seja, conseguimos de fato afirmar que a luz é formada por pequenos “pacotes” de energia que se comportam de forma semelhante a bolas de bilhar quando colidem. Ela é, portanto, onda e partícula.

Em termos de astronomia, por que é necessário o estudo da luz? Por vários motivos. Um deles é devido à sua propagação retilínea, aspecto que destacaremos quando tratarmos de telescópios.

Outro motivo se deve ao fato de que a luz possui um espectro eletromagnético e pode ser analisada por meio da espectroscopia (importante ferramenta em astronomia). Como vimos, a luz pode ser

considerada onda, e se ela assim se constitui, possui uma característica intrínseca a toda onda que é a frequência. A frequência possui relação direta com a energia, pois onda e frequência são diretamente proporcionais, e a frequência é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda, ou seja, quanto maior a frequência de uma onda eletromagnética, maior é a energia que esta possui, e menor o comprimento de onda.

Figura 3.11 | Espectro eletromagnético



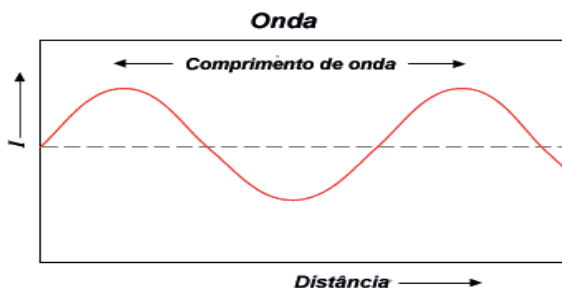
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Espectro_Eletromagn%C3%A9tico.png>. Acesso em: 26 jul. 2017.



Exemplificando

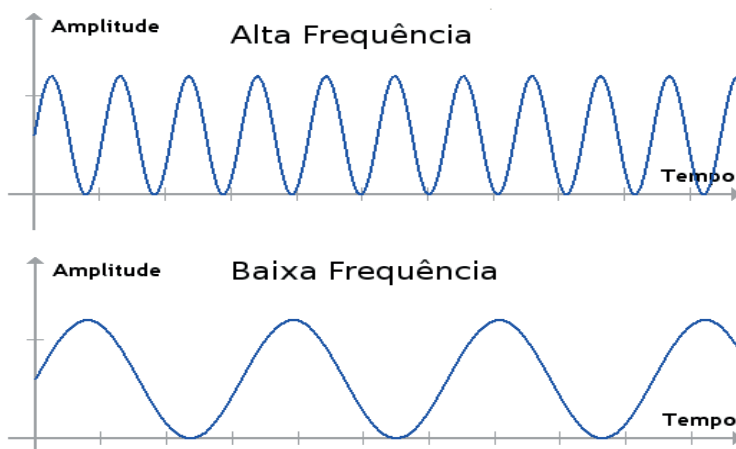
Seus alunos não se lembram de algumas das principais propriedades de uma onda? Vamos relembra-las:

Figura 3.12 | Comprimento de onda



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Comprimento-de-onda.png>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

Figura 3.13 | Frequência de uma onda



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Som_freq.png>. Acesso em: 26 jul. 2017.

O estudo da luz é de extrema importância para a astronomia atual, pois por meio de uma técnica denominada espectroscopia é possível analisar as composições químicas dos astros a distância (pois é impossível a aproximação, mesmo por uma sonda).



Exemplificando

A espectroscopia

A espectroscopia é um estudo do espectro da radiação eletromagnética emitida pelas estrelas, e nos possibilita conhecer algumas características de estrelas e galáxias.

O físico Gustav Kirchhoff (1824-1887), a partir de diversos experimentos com gases e sólidos aquecidos em diferentes condições de temperatura e pressão, elaborou três leis que descrevem o espectro de luz emitido por uma fonte:

1. Um sólido ou líquido aquecido, ou ainda um gás suficientemente denso, emite energia em todos os comprimentos de onda, de modo que produz um espectro contínuo de radiação.
2. Um gás quente de baixa densidade emite luz cujo espectro consiste apenas de linhas de emissão características da composição química do gás.

3. Um gás frio de baixa densidade absorve certos comprimentos de onda quando uma luz contínua o atravessa, de modo que o espectro resultante será um contínuo superposto por linhas de absorção características da composição química do gás (PICAZZIO, 2011).

Cada elemento químico apresenta um espectro de emissão ou absorção diferente e, a partir da análise dos espectros obtidos da luz emitida pelos astros, é possível inferir quais são os elementos presentes nesses corpos celestes.

Perceba a importância da luz para as observações astronômicas. De fato, vimos um pouco sobre a natureza da luz e, agora, trataremos das formas com que ela se comporta e como isso influencia as técnicas de observação.

A luz propaga-se em linha reta e interage com diferentes meios de formas diversas, e uma das mais interessantes interações se dá com as lentes. De posse do conhecimento de como é realizada essa interação, é possível a construção de um equipamento que muito auxiliou as observações astronômicas e auxilia até hoje: o telescópio. Ele é basicamente constituído por um corpo capaz de captar a luz que chega até nós. Com o auxílio de lentes e ou superfícies refletoras, é possível dar um tratamento à imagem de forma que seja possível observar com detalhes diversos corpos celestes, seja por meio de emissão de luz (como as estrelas) ou por meio da reflexão da luz que recebem (no caso de planetas, luas etc.).

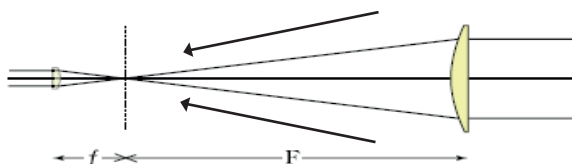


Exemplificando

Princípios básicos do telescópio e os tipos existentes

Para entender um pouco sobre os telescópios, seu aluno precisa lembrar do caráter ondulatório da luz e de que a luz pode sofrer efeitos como a refração (quando a luz passa por uma lente) e a reflexão (quando é refletida em um espelho).

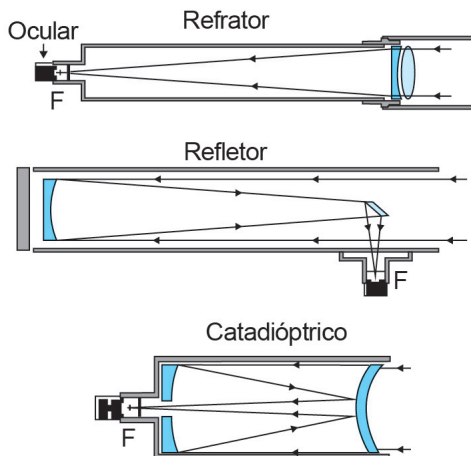
Figura 3.14 | Diagrama básico de um telescópio



Fonte: Picazzio (2011, p. 35).

O diagrama mostra a luz entrando pela lente convergente (à direita) e chegando ao plano focal a uma distância denominada F , saindo pela ocular (à esquerda) de distância focal f , onde se pode observar os corpos celestes (PICAZZIO, 2011).

Figura 3.15 | Tipos de telescópios



Fonte: Picazzio (2011, p. 37).

Devemos ressaltar que existem basicamente três tipos de telescópios baseados no fenômeno que a luz sofre: refrator, refletor e catadióptrico.

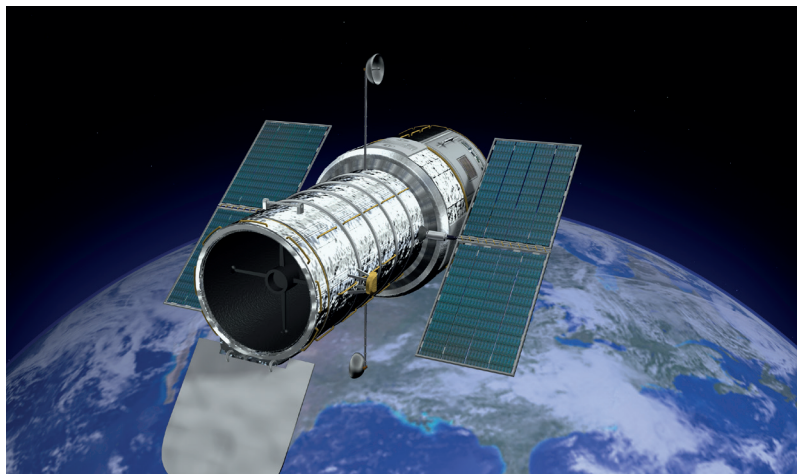
- O telescópio refrator coleta a luz refratada pela lente objetiva que a focaliza, saindo pela lente ocular que se encontra no mesmo eixo óptico do telescópio.
- No telescópio refletor, a luz entra primeiramente no tubo e depois é refletida por um espelho dito primário, refletida pelo secundário, e desviada para fora da montagem até a ocular.
- No catadióptrico (uma junção as duas técnicas: refração e reflexão), a luz é refratada por uma lente chamada de corretora, depois, refletida no espelho primário, e no espelho secundário, que se localiza na parte de trás da lente corretora e, depois, direcionada para a lente ocular, que fica após um orifício no espelho primário. (PICAZZIO, 2011).

Os telescópios mais utilizados atualmente são os refletores, devido à necessidade de áreas coletoras cada vez maiores. Além disso, é mais econômico montar espelhos grandes do que lentes grandes, e é muito mais prático, também, devido ao peso das lentes comparado ao peso dos espelhos.

Há, também, os telescópios posicionados fora da Terra pois, sem a influência da atmosfera terrestre, é possível observar faixas dos espectros eletromagnéticos correspondentes às regiões do ultravioleta, dos raios X e dos raios gama, por exemplo, e sem efeitos de turbulência, emissão ou absorção de radiação (PICAZZIO, 2011).

O Hubble Space Telescope é um dos mais conhecidos. Foi lançado pela Nasa em 1990 e obteve uma série de imagens muito úteis para descobertas científicas.

Figura 3.16 | O telescópio Hubble



Fonte: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/telesc%C3%B3pio-hubble-space-com-a-Terra-gm157308245-4634141>>. Acesso em: 27 jul. 2017.



Os telescópios atualmente fotografam estrelas e galáxias aos milhares de uma só vez. Já não têm apenas lentes de aumento ou espelhos, mas também, e cada vez mais, circuitos eletrônicos que absorvem a luz, registram sua intensidade e decompõem-na de formas variadas. Assim, extraem delas a melhor informação possível. Os computadores encarregam-se de recriar as imagens captadas. Eles podem torná-las mais nítidas, filtrar e recombinar suas cores para destacar detalhes-chave difíceis de identificar diretamente nas fotografias. (DAMINELLI; STEINER, 2010, p. 14)

Para finalizar a viagem que realizamos até agora, vamos explorar os limites da astrofísica observacional. Ingenuamente, poderíamos pensar que toda a informação que chega até nosso planeta é

proveniente de radiação eletromagnética. No entanto, diversas informações podem chegar até nós a partir de meteoritos, neutrinos e ondas gravitacionais. Por meio dos meteoritos, podemos ter acesso à constituição do nosso Sistema Solar. Os neutrinos, por sua vez, nos fornecem informações sobre os processos de produção de energia em nosso Sol. Por fim, as ondas gravitacionais (há pouco detectadas) nos permitem compreender melhor o tecido do espaço-tempo que permeia todo o nosso universo.

Um exemplo digno de registro é o meteorito ALH 84001, com apenas 1,93 kg, encontrado na Antártida, em 1984. Uma análise desse corpo revelou que se trata de material arrancado da superfície de Marte, pelo efeito do impacto de um bólido ainda maior. A descoberta mais fascinante neste meteorito, discutida durante algum tempo, foi que talvez ele contivesse traços de vida fossilizada. Essa descoberta continua sendo questionada e não é aceita por toda a comunidade científica, mas a perspectiva de que esse meteorito seja o portador da informação de que houve vida marciana é instigante. (PICAZZIO, 2011, p. 51)



Nossa viagem em busca do conhecimento não para por aqui. Ainda temos um longo caminho pela frente. Muitos deles discutiremos neste material, mas muitos permanecem um grande mistério para os cientistas. Se você possui questionamentos e dúvidas a respeito dos temas que cercam a astronomia e a astrofísica, não se sinta só. Todos os grandes cientistas, os da Antiguidade e os atuais, também se sentiam ou sentem-se assim, e isso os impulsionou e continua os motivando rumo a novas descobertas. Apresente isso a seus alunos. Deixe claro que ciência parte de alguns dos sentimentos mais humanos que possuímos: a dúvida e a curiosidade.

Sem medo de errar

Você deve explicar para seus alunos que o Stonehenge é um exemplo de que diversas civilizações antigas realizaram observações sobre fenômenos celestes. É um monumento datado de cerca de 2500 a.C. que possui alinhamento com o Sol, sendo que seu eixo de pedra permite determinar as datas dos solstícios e equinócios.

As observações astronômicas, na época, eram muito importantes para o cotidiano daquelas civilizações, como na agricultura, por

exemplo. Como o Stonehenge ajudava na determinação dos equinócios e solstícios, as civilizações conseguiam saber a época certa do ano para a semeadura e para a colheita.

Hoje em dia, entretanto, como vimos na seção, temos instrumentos muito mais precisos para coletar informações do céu. Também temos conhecimentos teóricos muito mais profundos que nos permitem, além da previsão das estações do ano, uma compreensão muito maior do Universo e do nosso lugar nele. Retome a leitura e busque alguns dos elementos apontados aqui: que instrumentos temos hoje que não tínhamos séculos atrás? Como esses instrumentos e o desenvolvimento de novas teorias nos permitiram compreender o Cosmos de uma forma completamente nova no último século?

Faça valer a pena

1. O estudo da luz é de extrema importância para a astronomia atual, pois por meio de uma técnica denominada _____ é possível analisar as composições químicas dos astros a distância (pois é impossível a aproximação, mesmo por uma sonda). Essa técnica é um estudo do espectro da radiação eletromagnética emitida pelas estrelas, por exemplo. E esse estudo nos possibilita estudar algumas características de estrelas e galáxias.

A qual técnica se refere o texto?

- a) Refração da luz.
- b) Espectroscopia.
- c) Dualidade onda-partícula.
- d) Radiação eletromagnética.
- e) Observacional.

2. A respeito de observações astronômicas, ainda há muito o que ser descoberto pelo ser humano, já que, com o avanço da tecnologia, desenvolvemos instrumentos e métodos cada vez melhores. No entanto, não podemos deixar de valorizar tudo o que já foi construído e estudado até hoje, pois as observações realizadas no passado são responsáveis pelos conhecimentos que possuíamos a respeito do Universo como um todo.

Analisar as alternativas a seguir e, em seguida, assinale a alternativa que apresenta quais são corretas.

I. Os mais antigos registros astronômicos são de aproximadamente 3000 anos a.C. e são atribuídos aos chineses, babilônios, assírios e egípcios.

II. Solstícios e equinócios possuem relação com a inclinação do eixo da Terra e com a incidência de raios solares que chegam ao nosso planeta, além de marcarem as transições entre as estações do ano.

III. A civilização egípcia antiga foi a primeira a interpretar os fenômenos relativos aos corpos celestes como forma de descrever o Universo e o seu funcionamento.

- a) Todas estão corretas.
- b) Apenas I e III estão corretas.
- c) Apenas I está correta.
- d) Apenas II e III estão corretas.
- e) Apenas I e II estão corretas.

3. A luz tem natureza dual. Pode ser considerada, ao mesmo tempo, partícula e onda, sendo que as duas teorias (corpuscular e ondulatória), em conjunto, descrevem de maneira mais completa a natureza da luz.

Com relação à natureza da luz, marque as afirmações a seguir como verdadeiras (V) ou falsas (F). A seguir, assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

() As características de onda que podem descrever a luz foram descritas por Einstein, em seus estudos sobre o efeito fotoelétrico.

() A energia de uma onda eletromagnética é diretamente proporcional à frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda.

() A energia de uma onda eletromagnética é inversamente proporcional à frequência e diretamente proporcional ao comprimento de onda.

- a) V – V – V.
- b) F – V – F.
- c) F – F – F.
- d) V – F – V.
- e) V – V – F.

Referências

BELISÁRIO, R. A natureza da luz: ela se comporta ora como particular, ora como onda. **Revista Pré-Univesp**, São Paulo, n. 61, 2016. Disponível em: <<http://pre.univesp.br/a-natureza-da-luz#.Wd5tu1tSzcc>>. Acesso em 11 out. 2017.

DAMINELI, A.; STEINER, J. **O fascínio do universo**. São Paulo: Odysseus, 2010.

FRANCISCO, W. de C. Urano. **Brasil Escola**. [s.d.] Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/urano-2.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

OLIVEIRA, K. de; SARAIVA, M. de F. **Astronomia e astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

PICAZZIO, E. (Org.). **O céu que nos envolve**: uma introdução à astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: Odysseus, 2011.

WHITROW, G. J. **O tempo na história**: concepções da Pré-História aos nossos dias. rad. M. Luiza X.A. Borges e César Q. Benjamin. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993.

Formação da Terra e surgimento da vida

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo!

Na Unidade 3, você examinou mais de perto os planetas que compõem o fantástico Sistema Solar, como os planetas gasosos, rochosos e anões. Viu como foram formados, bem como quais são suas principais características. Você estudou os oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno); os exoplanetas, bem como as suas formas de detecção; as luas e suas hipóteses de formação; a natureza dos asteroides; os corpos transnetunianos; e os anéis planetários. Estudou também sobre como eram feitas as descobertas na Antiguidade, a física presente nas observações, as características da luz, os telescópios e, por fim, em como as fronteiras da astrofísica avançaram.

Nesta unidade, nosso objeto será o estudo de temas relacionados à formação do nosso planeta e ao surgimento da vida.

Na Seção 4.1, tentaremos responder perguntas como: qual foi a origem do nosso planeta? O que faz da Terra um planeta especial a ponto de abrigar a vida como a conhecemos? Para responder a tais perguntas, estudaremos como foi a formação do planeta Terra e como era o nosso planeta nos instantes iniciais de sua vida. Veremos que o planeta nasceu de um corpo planetesimal e que passou por diversas situações até chegar ao que conhecemos hoje. Iremos estudar sobre a formação do nosso satélite natural, a Lua. Além disso, veremos que, realmente, o planeta Terra é especial, com condições adequadas para abrigar diversos tipos de vida, já que ele está na chamada zona habitável do Sistema Solar e possui algumas características essenciais para a vida, por exemplo: água líquida em sua superfície.

Na Seção 4.2, faremos uma “viagem” do interior da Terra até sua superfície, a fim de responder a algumas questões, como: a Terra sempre teve as características que conhecemos hoje? Se a Terra é um planeta rochoso, será que ela é inteiramente formada por materiais no estado sólido? Com essa “viagem”, iremos entender um pouco mais sobre o local onde vivemos. Entenderemos o que são e como funcionam as famosas placas tectônicas, das quais sempre escutamos falar nos noticiários, e aprenderemos um pouco sobre o magnetismo na Terra: veremos que ele tem um papel fundamental para a proteção do nosso planeta. Estudaremos também um pouco sobre o ciclo da água do planeta, que é extremamente importante para a nossa sobrevivência e, por fim, compreenderemos, também, um pouco mais sobre a nossa atmosfera.

Por fim, na Seção 4.3, iremos investigar algumas das questões que mais intrigam os cientistas e os amantes da astronomia e que ainda continuam sem resposta: como surgiu a vida na Terra? Será que a vida surgiu primeiramente no espaço e depois foi trazida para o nosso planeta? Se sim, de que forma isso pode ter ocorrido? Para tentar entender um pouco sobre essas questões, iremos estudar sobre a origem e toda a diversidade de vida que existe no planeta Terra. Vamos aprender sobre as teorias endógena e exógena da vida. E, finalmente, não podemos esquecer de uma das grandes perguntas da ciência: existe vida extraterrestre?

Suponha que você faz parte de um grupo que faz divulgação de ciências em escolas para alunos de ensino fundamental e médio. Nessa função, você enfrentará muitos desafios científicos e, a partir do estudo desta última unidade, esperamos que você seja capaz de responder a algumas dessas perguntas. Além disso, esperamos que você seja capaz de compreender e interpretar as hipóteses que aqui serão apresentadas, além de buscar respostas para questões ainda em aberto.

Seção 4.1

Formação da Terra

Diálogo aberto

O planeta Terra é um grande laboratório de estudos para nós e, algumas vezes, nos pegamos pensando sobre o nosso planeta e tentando entender como ele se formou, como era em seus primeiros anos após a sua formação, como foi capaz de se tornar um planeta habitável. Ao olhar para o céu em uma noite de lua cheia, você já deve ter se perguntado também: como a Lua se formou? Por que ela possui uma órbita ao redor da Terra? Todas essas questões, com certeza, já devem ter passado pela sua cabeça em algum momento.

Como membro do grupo que faz divulgação de ciências em escolas para alunos de ensino fundamental e médio, você foi convidado para palestrar sobre a origem da vida em nosso planeta.

Lembrando de todas as questões que em algum momento já passaram por sua cabeça, você tem, agora, a tarefa de apresentar as hipóteses sobre a origem da vida no planeta Terra de forma clara e acessível a todos os alunos. Para essa palestra, é importante abordar alguns temas, por exemplo:

- Origem e formação do planeta Terra.
- Como o nosso planeta evoluiu.
- A hipótese para a formação da Lua.
- Como era no nosso planeta nos primeiros anos após sua origem.
- Por que a Terra pode ser considerada um planeta habitável.

Esperamos que ao final desta seção você seja capaz de preparar uma ótima palestra para ser apresentada em uma escola. Vamos lá!

Não pode faltar

Planetesimais e o início da formação da Terra

Como já vimos neste livro, existe uma hipótese atual para a formação do Sistema Solar: a hipótese nebular. Ela nos diz que o nosso sistema se formou a partir do colapso de uma nebulosa. Agora, você pode se perguntar: como o nosso planeta se formou depois desse colapso?

Durante o colapso, o gás e a poeira pertencentes à nebulosa formaram um disco em rotação. Uma grande quantidade de matéria se acumulou no centro desse disco, dando origem a uma protoestrela (objeto que irá se tornar uma estrela) que, futuramente, se tornou o Sol. Nesse momento da formação do Sistema Solar, tínhamos um disco com fragmentos, gás e poeira (que restaram do colapso da nebulosa) e o Sol no centro desse disco, conhecido como disco protoplanetário (OLIVEIRA, 2014). Nesse momento, se inicia uma nova fase para o Sistema Solar: a formação dos planetas e demais corpos celestes.

Após o colapso, o disco começou a esfriar, e apenas o Sol, que dentro dele possuía reações nucleares acontecendo, manteve sua temperatura. Após esse rápido resfriamento, o material presente no disco protoplanetário começou a condensar rapidamente, formando corpos rochosos ou de gelo com diâmetros que variavam entre 0,1-100 km, chamados de planetesimais. Através da atração gravitacional, esses planetesimais começaram a acretar outros planetesimais, formando corpos cada vez maiores e dando origem aos protoplanetas (objeto na fase inicial de se tornar um planeta). Conforme os protoplanetas acretavam mais matéria, o impacto com suas superfícies aquecia seu interior.



Assimile

No processo de acreção, a matéria presente nos arredores de um objeto já formado se incorpora ou aglutina ao redor dele devido a influências gravitacionais e colisões, tornando o objeto cada vez maior.

Dessa forma, foram se formando todos os planetas do Sistema Solar e, conseqüentemente, a Terra. A hipótese sobre como os planetas se formaram a partir do disco protoplanetário foi desenvolvida pelo físico alemão Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker (1912-2007), em 1945 (OLIVEIRA, 2014).

No processo de formação da Terra e dos demais planetas do Sistema Solar, alguns desses planetesimais foram empurrados por perturbações causadas pelas próprias planetas, formando o cinturão de Kuiper e a nuvem de Oort.

A formação da Lua

No Sistema Solar, temos os chamados satélites naturais, que são corpos celestes que orbitam um planeta ou um corpo maior. Nosso exemplo mais conhecido é a Lua, único satélite natural da Terra e o quinto maior do Sistema Solar. Ela é considerada um dos satélites mais densos do nosso sistema e possui uma composição muito semelhante à da Terra, o que sugere que as duas tenham tido origem à mesma distância do Sol. Existem diversas hipóteses sobre a formação da Lua, que ocorreu há aproximadamente 40 bilhões de anos após a formação do nosso sistema.



Pesquise mais

Você já sabe que existem diversas hipóteses sobre como a nossa Lua foi formada. Que tal pesquisar um pouco mais sobre essas hipóteses?

Você pode encontrar algumas das teorias no site disponível em: <<https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/formacao-da-lua>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

A hipótese mais aceita durante muitos anos foi a chamada de Big Splash. Essa hipótese diz que ocorreu uma grande colisão entre a Terra e um planetesimal chamado Theia. A princípio, acreditava-se que a Terra teria acretado toda a matéria de sua órbita, logo, não existiria nenhum corpo em rota de colisão com o nosso planeta (MARQUES, 2016). Em 1772, o matemático Lagrange mostrou que na órbita da Terra, ao redor do Sol, existem alguns pontos de estabilidade em que o planeta não sofre atração nem repulsão. Esses pontos são conhecidos como pontos de Lagrange. Assim, Theia teria ficado em um mesmo local por algum tempo até que, em algum momento, ela tivesse acretado matéria suficiente para sair da estabilidade do ponto de Lagrange e seguir em direção à Terra (MOURÃO, 1987).



Exemplificando

Pontos de Lagrange são pontos no espaço onde os campos gravitacionais de dois corpos celestes se combinam para deixar um terceiro corpo em equilíbrio gravitacional.

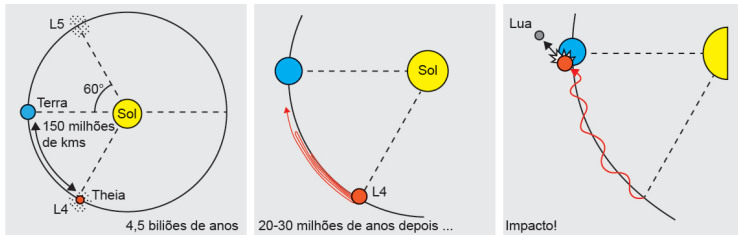
Esses pontos foram definidos por Joseph-Louis Lagrange e, atualmente, são muito úteis para o lançamento de alguns satélites ao espaço. Por exemplo, podemos considerar o Sol e a Terra como sendo os dois

corpos para encontrar os pontos de Lagrange. No sistema Sol-Terra, é possível encontrar cinco pontos de Lagrange, ou seja, cinco pontos em que temos um equilíbrio gravitacional. Se um satélite for lançado até um desses pontos ao redor da Terra, ele irá se mover junto com ela.

Acredita-se que essa colisão não foi frontal, mas sim lateral, e que parte do planetesimal Theia teria sido incorporado à Terra, e a outra parte, projetada no Sistema Solar. A parte projetada no nosso Sistema teria se unido, formando a Lua (MARQUES, 2016).

A teoria do Big Splash foi proposta em 1975 por cientistas do Instituto de Ciências Planetárias de Tucson e do Instituto Harvard-Smithsonian de Astrofísica. A Figura 4.1 ilustra essa teoria.

Figura 4.1 | Teoria Big Splash



Fonte: adaptada de <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/BigSplash.png>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

No início de 2017, um novo estudo foi publicado contradizendo essa principal hipótese sobre a formação da Lua. Nele, os cientistas dizem que como a composição da Lua e da Terra são praticamente idênticas é muito mais provável que tenham ocorrido diversas colisões de objetos com a Terra ("cenário de múltiplos impactos"), e que essas colisões teriam ejetado ao redor da Terra uma grande quantidade de detritos, formando um disco ao redor do nosso planeta. Assim, detritos se acumularam, dando origem à Lua (RUFU, 2017).

Portanto, vemos que ainda não existe uma teoria concreta sobre a formação do nosso satélite natural, e que ainda hoje existem muitas pesquisas para entender a nossa Lua.

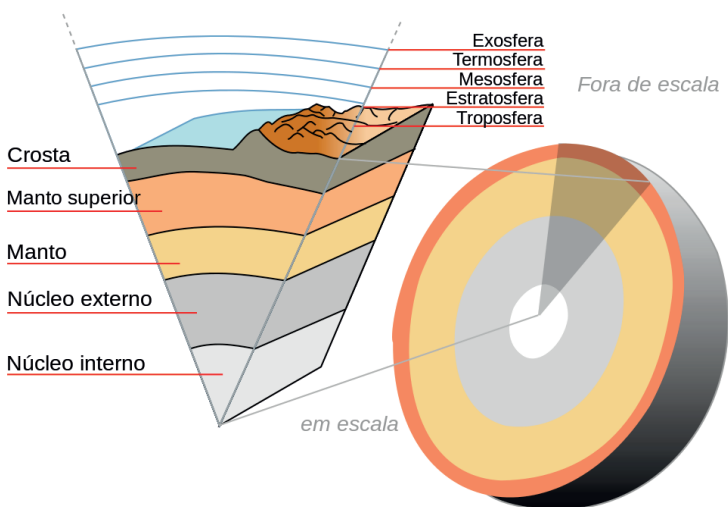
A Terra primitiva

Como já foi dito no começo da seção, a hipótese mais aceita sobre a origem da Terra nos diz que ela se formou a partir da acreção de diversos planetesimais. Mas e quando essa acreção terminou, a Terra já tinha as características que conhecemos atualmente? A resposta a essa pergunta é não, pois a Terra passou por um processo que chamamos de diferenciação.

Vimos que o protoplaneta Terra sofreu diversas colisões até se transformar em um planeta. Durante essas colisões, o protoplaneta teve sua temperatura elevada, até que ele atingiu a temperatura de fusão de silicatos, ferro e níquel. Nesse momento, tem-se início o processo de diferenciação, um processo que separa os materiais do nosso planeta.

Os materiais mais densos migraram para o interior do planeta, e os menos densos, para a superfície, dando origem à crosta do planeta. Os materiais de densidade média, como o silicato, ficaram na zona média da Terra, dando origem ao manto terrestre. O núcleo, local da matéria mais quente e densa, permanece até hoje com uma temperatura elevada e no estado líquido. Na Figura 4.2, temos uma ilustração do nosso planeta após a fase de diferenciação com todas as suas camadas geológicas.

Figura 4.2 | Camadas geológicas da Terra



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Terra#/media/File:Crosta-terrestre-corte-portugues.svg>>. Acesso em: 9 ago. 2017.

Nesse momento, temos a Terra primitiva dividida em três zonas: núcleo, manto e crosta (ERNESTO, 2002). E, como ainda não havia atmosfera formada, nosso planeta sofreu diversas colisões de meteoritos. Com essas colisões, iniciou-se uma grande atividade vulcânica na Terra, liberando uma grande quantidade de lava e vapor de água contidos no interior dela. Esse vapor de água formava nuvens densas, que se resfriavam, condensavam e caíam em forma de chuva.

Esse processo de evaporação, condensação e precipitação permitiu que a superfície da Terra resfriasse e, dessa maneira, foi possível a existência de água no estado líquido. Assim, temos a formação dos oceanos primitivos. Todo esse processo também deu origem à atmosfera como a conhecemos.

Terra: o único planeta habitável

Há muitos anos o ser humano se pergunta: será que existe vida inteligente fora da Terra? Até o momento, continuamos sem uma resposta a essa pergunta. Uma questão que conseguimos responder é sobre quais seriam os elementos básicos para a existência da vida, em que a primeira resposta é a água. Então, você pode se perguntar: mas por que a água? Onde existe água sempre existe alguma coisa viva. Conseqüentemente, sempre que buscamos alguma vida, nos questionamos sobre a existência da água.

Mas por que há vida no planeta Terra?

A localização da Terra em uma região específica do Sistema Solar e sua composição quando formada privilegiaram o nosso planeta com a vida. A Terra possui compostos orgânicos como o carbono, que é um elemento fundamental para a origem da vida. Além disso, sua distância em relação ao Sol possibilitou que ela mantivesse a água no estado líquido. Além de ter uma boa distância com relação ao Sol, sua temperatura não tem uma grande variação, e seu tamanho influencia nessa variação, já que ela consegue conservar sua atmosfera. Logo, para que exista vida tal qual a conhecemos em algum planeta, este deve possuir características como as da Terra.

Até o momento, falamos apenas que a Terra primitiva possuía características importantes para a origem da vida. Mas quando essa vida surgiu? E como ela surgiu?

Na Paleontologia, existem estudos que mostram que as primeiras evidências de vida no nosso planeta datam de 3,8 bilhões de anos (OLIVEIRA, 2014), ou seja, um bilhão de anos após a formação do planeta. Essa datação foi realizada em fósseis microscópicos de bactérias e algas. Em vista disso, imagina-se que uma evolução molecular possa ter dado origem à vida no nosso planeta, e essas formas de vida teriam sofrido mutações, evoluindo e se adaptando às condições da Terra.

Outra pergunta que você pode se fazer é: conhecemos outros planetas que poderiam abrigar vida como a nossa?

Como já foi dito, para que exista vida, o planeta deve ter algumas características básicas com relação à sua posição no sistema onde se localiza. Dizemos que os planetas que contêm essas características estão na zona habitável do seu sistema.

A zona habitável é definida como uma região ao redor da estrela de um sistema onde possam existir planetas que tenham condições para o surgimento e evolução da vida. Para isso, dizemos que esse planeta não pode estar muito afastado e nem muito próximo à estrela central do sistema, para que haja água no estado líquido em sua superfície. Sabemos que para que exista água líquida no planeta, ele deve estar a temperaturas variáveis entre 0 °C e 100 °C (temperaturas de congelamento e fusão da água). Para encontrarmos a zona habitável, utilizamos a seguinte equação:

$$R = \left(\frac{0,5L}{4\pi\sigma T^4} \right)^{0,5},$$

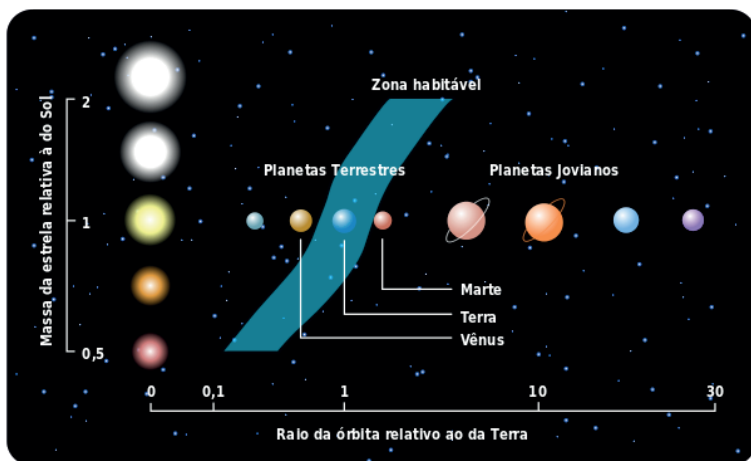
em que L é a luminosidade da estrela em watts, T é a temperatura no planeta em Kelvin e σ é a constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Na Figura 4.3 vemos uma ilustração da zona habitável do Sistema Solar.



Refleta

Você acha que seria possível saber se um exoplaneta está dentro da zona habitável de seu sistema apenas conhecendo a luminosidade de sua estrela central e sua distância até essa estrela?

Figura 4.3 | Zona habitável do Sistema Solar



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Zona_habitavel-pt.svg>. Acesso em: 13 jul. 2017.



Exemplificando

Para encontrarmos a zona habitável do Sistema Solar, precisamos encontrar a distância R para a faixa de temperatura em que temos a água em estado líquido, entre 273 K e 373 K. Sabendo que a luminosidade do Sol é $3,846 \times 10^{26} W$, teremos:

$$R = \left(\frac{0,5L}{4\pi\sigma T^4} \right)^{0,5}$$

$$R_1 = \left(\frac{(0,5)(3,846 \times 10^{26})}{4\pi(5,67 \times 10^{-8})(273)^4} \right)^{0,5} = 2,20 \times 10^{11} m$$

$$R_2 = \left(\frac{(0,5)(3,846 \times 10^{26})}{4\pi(5,67 \times 10^{-8})(373)^4} \right)^{0,5} = 1,18 \times 10^{11} m$$

Assim sendo, vemos que a zona habitável do nosso Sistema equivale a uma distância do Sol que vai desde $1,18 \times 10^{11} m$ até $2,20 \times 10^{11} m$.

Agora, você pode se perguntar: o planeta Terra realmente está dentro da zona habitável? Sim! A Terra está a uma distância de aproximadamente $1,5 \times 10^{11} m$ do Sol, portanto, está dentro da zona habitável do Sistema Solar.

Sem medo de errar

Após todo o estudo realizado aqui, você poderia começar a preparar sua palestra descrevendo qual é a hipótese para a formação do planeta Terra. Você pode falar que a hipótese mais aceita

atualmente nos diz que o planeta Terra teve origem a partir de corpos chamados planetesimais, e explicar o que são esses objetos.

Depois, você poderia falar um pouco sobre a formação do satélite natural do nosso planeta, a Lua. Você poderia abordar um pouco o tema das hipóteses que podem ter dado origem a ela.

Uma coisa importante que você não poderia deixar de falar é sobre o significado da zona habitável de um sistema, explicando por que se busca água nos planetas a fim de encontrar algum tipo de vida. Bom trabalho!

Avançando na prática

Busca de planetas na zona habitável

Descrição da situação-problema

Durante a apresentação da sua palestra, um aluno lhe questiona sobre a zona habitável dos sistemas extrassolares, se só poderíamos encontrar planetas em uma zona habitável em sistemas que tivessemos uma estrela central com as mesmas características da nossa estrela, o Sol.

Sua tarefa agora é explicar um pouco mais sobre a zona habitável.

Resolução da situação-problema

Um modelo de resposta é mostrado a seguir, mas é importante que você tente desenvolver sua própria resposta.

Em qualquer sistema extrassolar podemos encontrar exoplanetas na zona habitável. Não precisamos necessariamente ter uma estrela como o Sol no centro do Sistema para que haja um planeta na zona habitável. Para verificar se um exoplaneta está na zona habitável, basta conhecermos a luminosidade de sua estrela central em watts e saber a distância do planeta até a estrela do seu sistema. Conhecendo a luminosidade, podemos encontrar o raio da zona habitável por meio da equação $R = \left(\frac{0,5L}{4\pi\sigma T^4} \right)^{0,5}$. Conhecendo o raio da zona habitável, basta compará-lo com a distância do planeta à sua estrela. Se esse planeta estiver dentro do raio, ele estará na zona habitável do sistema.

Faça valer a pena

1. Sobre a origem da Terra, analise as seguintes afirmações:

I. Muito antes da Terra ter se dividido em núcleo, manto e crosta, ela já possuía a atmosfera formada.

II. Nosso planeta sofreu com diversas colisões de meteoritos, o que deu origem a uma grande atividade vulcânica.

III. A atividade vulcânica durante a fase da Terra primitiva ajudou a formação dos oceanos do nosso planeta.

De acordo com o contexto, selecione a alternativa correta.

a) As afirmações I e II são verdadeiras, e a afirmação III é falsa.

b) As afirmações I e III são verdadeiras, e a afirmação II é falsa.

c) As afirmações II e III são verdadeiras, e a afirmação I é falsa.

d) Todas as afirmações são falsas.

e) Todas as afirmações são verdadeiras.

2. Sobre o fato de o planeta Terra ser um planeta habitável, analise as seguintes afirmações:

I. A presença de compostos orgânicos como o carbono na Terra privilegiou o nosso planeta com a origem da vida.

II. A distância da Terra com relação ao Sol não influenciou a origem da vida no nosso planeta.

III. A existência de água líquida foi essencial para a origem da vida na Terra.

De acordo com o contexto, assinale a alternativa correta.

a) Todas as afirmações são corretas.

b) Todas as afirmações são falsas.

c) As afirmações I e II são corretas e a afirmação III é falsa.

d) As afirmações I e III são corretas e a afirmação II é falsa.

e) As afirmações II e III são corretas e a afirmação I é falsa.

3. A seguinte matéria foi publicada no jornal *O Estado de S. Paulo* no dia 24 de agosto de 2016:

"Um grupo de cientistas anunciou nesta quarta-feira, 24, em artigo na revista *Nature*, a descoberta de um planeta em órbita em torno da estrela mais próxima do Sistema Solar, a anã-vermelha Proxima Centauri. O planeta, que tem massa 30% maior que a da Terra, está na chamada zona habitável".

Fonte: <<http://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,cientistas-encontram-planeta-em-zona-habitavel-proximo-ao-sistema-solar,10000071741>>. Acesso em: 9 ago. 2017.

Sobre a chamada "zona habitável", assinale a alternativa correta.

a) Uma das condições para que um planeta esteja na zona habitável é a existência da água no estado gasoso.

- b) A região da zona habitável depende apenas da temperatura superficial da estrela central do sistema.
- c) Para determinar a localização da zona habitável de um sistema, precisamos conhecer a luminosidade da estrela central do sistema e as temperaturas de congelamento e fusão da água.
- d) Atualmente, não foi encontrado nenhum exoplaneta na chamada zona habitável.
- e) Para encontrar a zona habitável de um sistema extrassolar, precisamos conhecer apenas a luminosidade de sua estrela central.

Seção 4.2

Aspectos geofísicos da Terra

Diálogo aberto

Em algum momento você já deve ter se perguntado: será que a Terra sempre teve as características que conhecemos hoje em dia? Como foram formadas e de que são compostas as camadas do nosso planeta? Será que a atmosfera terrestre, que é tão importante para a nossa vida, existe desde a sua formação? As tais placas tectônicas, o que elas são exatamente? Por que seu movimento pode causar os desastres naturais que vemos com frequência na mídia? Pode ter a certeza de que essas questões não passam apenas pela sua cabeça, pois é muito natural tentarmos entender um pouco mais sobre o local onde vivemos.

Na situação hipotética desta unidade, você faz parte de um grupo que faz divulgação de ciências em escolas para alunos de ensino médio e fundamental. Dessa vez, você foi convidado a participar de um programa de TV e falar sobre o nosso planeta. Para isso, você vai ter que lembrar os pontos mais importantes sobre o assunto, por exemplo:

- Informações básicas sobre o nosso planeta.
- A Terra evoluiu bastante até chegar ao planeta como conhecemos hoje.
- Núcleo, manto e crosta terrestre.
- Formação da atmosfera terrestre.
- Teoria de formação dos continentes e placas tectônicas.

Lembre-se de que você deve se preparar levando em consideração o público que assistirá ao programa, ou seja, a população em geral. Portanto, traduza para termos compreensíveis os conceitos que for usar. Esperamos que ao final da seção você seja capaz de se preparar e fazer uma ótima apresentação. Vamos lá!

Não pode faltar

Informações básicas sobre a Terra

Nesta seção, iremos conhecer um pouco mais sobre o planeta no qual vivemos, a Terra. Como já vimos anteriormente, ela teve origem há cerca de 4,6 bilhões de anos, e a vida nela surgiu um bilhão de anos depois. Ela é considerada um planeta telúrico (ou rochoso), o terceiro mais próximo do Sol e o único na zona habitável do nosso Sistema Solar. Além disso, sofre interações gravitacionais dos demais corpos do Sistema Solar, principalmente do Sol, nossa estrela central, e da Lua, nosso único satélite natural.

Muitas vezes, nosso planeta é chamado de Planeta Azul, pois, quando visto do espaço, é realmente azul. Essa imagem se dá devido ao fato de termos aproximadamente 70% do nosso planeta coberto por água. Na Figura 4.4, podemos ver uma imagem da Terra obtida em 1972, durante a missão Apollo 17.

Figura 4.4 | Imagem da Terra obtida em 1972 durante a missão de Apollo 17



Fonte: <https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_329.html>. Acesso em: 18 jul. 2017.

A Terra, além de orbitar a estrela Sol, também possui um movimento de rotação sobre o seu próprio eixo. Esse eixo de rotação possui um ângulo de $23,4^\circ$ em relação ao seu plano orbital. A distância média entre o Sol e a Terra é de aproximadamente $1,5 \times 10^8$ km, e ela o orbita

uma vez a cada 365,26 dias solares, ou 366,26 rotações. Esse tempo é considerado um ano sideral. A velocidade orbital média da Terra ao redor do sol é de aproximadamente 1×10^5 km/h.

Algumas características físicas da Terra são apresentadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 | Características físicas da Terra

Diâmetro	$1,28 \times 10^4 \text{ km}$
Área da superfície	$5,1 \times 10^8 \text{ km}^2$
Volume	$1,08 \times 10^{12} \text{ km}^3$
Densidade	$5,5 \text{ g} / \text{cm}^3$
Massa	$5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$
Gravidade	$9,78 \text{ m} / \text{s}^2$
Período de rotação	0,997 dias

Fonte: Williams, (2004); Allen, (2000); Yoder (1995).



Exemplificando

A seguir, temos um quadro comparativo com algumas características dos outros planetas do Sistema Solar.

Quadro 4.2 | Comparação de algumas características dos planetas do Sistema Solar

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno
Distância média ao Sol (milhões km)	57,9	108	149	228	778	1427	2870	4497
Período de translação	88 dias	224,7 dias	365 dias	687 dias	11,8 anos	29,4 anos	84 anos	164,8 anos
Período de rotação	58,6 dias	243 dias	23,9 horas	24,5 horas	9,5 horas	10 horas	16 horas	18 horas
Diâmetro equatorial (km)	4.878	12.000	12.756	6.787	142.800	120.600	51.800	49.100
Massa (massa terrestre)	0,055	0,81	1,0	0,1	317,8	95,1	14,5	17,2
Temperatura da superfície (°C)	-170 a 430	464	15	-40	-120	-180	-210	-220
Nº de satélites naturais	0	0	1	2	63	47	27	13

Fonte: adaptado de <<http://sci.esa.int/education/53711-winners---portugal/?fbclid=IwAR1bsecured=-1>>. Acesso em: 9 ago. 2017.

Até o presente momento, o único planeta que sabemos ter sido capaz de desenvolver a vida tal como conhecemos é a Terra. Isso graças a diversos fatores, como sua distância até o Sol e seu tamanho, como já vimos na seção anterior.

Interior da Terra e sua superfície

Já sabemos que a Terra foi formada a partir dos chamados planetesimais. Na época em que era um protoplaneta, ela não possuía uma atmosfera que a protegesse de impactos com outros planetesimais. Logo, ela acabou sofrendo muitos impactos e isso fez com que sua energia interior aumentasse e fosse convertida em calor. Com os impactos, o protoplaneta também começou a aumentar sua dimensão. Isso, adicionado ao aumento de sua energia interior, fez com que sua temperatura aumentasse até atingir o ponto de fusão dos silicatos, ferro e níquel que formavam o nosso protoplaneta. Assim, deu-se início a fase de diferenciação.

Durante o processo de diferenciação, ocorreu uma separação dos materiais da Terra, de acordo com as suas densidades. Materiais como o ferro, o silício e o níquel migraram para o centro do nosso planeta pelo fato de serem muito densos. Foram esses materiais que deram origem ao núcleo terrestre. Os silicatos associados ao ferro, silício e níquel possuem uma densidade média. Assim, permaneceram em uma zona média da Terra, a qual deu origem ao manto terrestre. Os silicatos associados ao alumínio, por serem materiais de baixa densidade, migraram para a superfície da Terra e se solidificaram, dando origem à crosta terrestre.

O núcleo possui ferro em grande quantidade (cerca de 80%), mas contém também um pouco de níquel e silício. A temperatura do núcleo é de aproximadamente 6.000 °C. Ele é dividido em duas partes: núcleo externo e interno. O núcleo externo está no estado líquido, e vai de 2.900 km a 5.150 km de profundidade, enquanto o núcleo interno está no estado sólido, e vai de 5.150 km a 6.371 km de profundidade. A parte interna do núcleo está no estado sólido devido à alta pressão naquela região.

O manto terrestre é altamente viscoso e vai até uma profundidade de 2.900 km. Existe uma parte do manto que está no estado sólido, e outra parte apresenta a característica de uma pasta viscosa. É nessa região que se encontra o magma da Terra. A temperatura dessa camada da Terra varia de 100 °C até 3.500 °C, sendo que a temperatura mais baixa corresponde à região próxima à crosta, e a mais elevada, à região próxima ao núcleo.

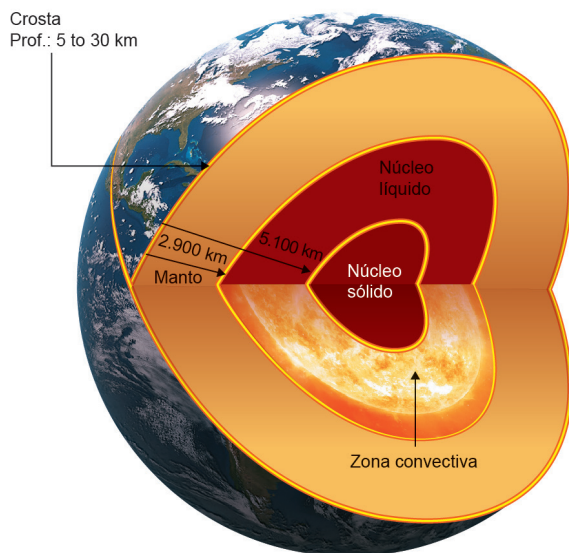


Você sabe o que é o magma? O magma (do grego "pasta") é um fluido que está contido no manto terrestre. É bem provável que os demais planetas rochosos também possuam esse material. Eles são constituídos por rochas e materiais voláteis em fusão. É o magma que dá origem à lava que é expelida quando um vulcão entra em erupção.

A crosta terrestre, também chamada de litosfera, corresponde a uma camada sólida, com uma espessura média de aproximadamente 30 km. Dizemos espessura média, pois ela varia um pouco se estamos considerando a crosta oceânica ou a crosta continental. A crosta oceânica possui aproximadamente 7 km de profundidade, enquanto a crosta continental possui uma profundidade de aproximadamente 40 km.

Na Figura 4.5, temos uma ilustração das camadas do planeta Terra ao final do processo de diferenciação.

Figura 4.5 | Camadas do planeta Terra após o processo de diferenciação



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/planetas/esterra.jpg>>. Acesso em: 3 ago. 2017.

O fato de não ter existido uma atmosfera no início da vida na Terra fez com que o nosso planeta não estivesse protegido contra impactos de meteoritos. Os impactos desses meteoritos na crosta

terrestre deram origem aos vulcões, que liberavam grande quantidade de lava derivada do magma do manto e vapor de água. Esse vapor de água começou a condensar e deu origem às chuvas no nosso planeta. Todo esse processo deu origem aos oceanos primitivos e à atmosfera primitiva. A atmosfera terrestre é formada, em sua maior parte, por nitrogênio (78%) e oxigênio (20%), e está “presa” à Terra devido à atração gravitacional da mesma. Ela tem uma massa de aproximadamente $5,1 \times 10^{18} \text{ kg}$ e o importante papel de absorver a radiação ultravioleta vinda do Sol e, assim, protege a vida no planeta. Outro papel da atmosfera de extrema importância para a vida na Terra é o fato de ela ser capaz de reter o calor no nosso planeta por meio do efeito estufa.

Nesse momento, em que temos a atmosfera terrestre formada, quando olhamos a superfície da Terra, podemos observar três estruturas diferentes: a crosta (definida pela parte sólida), a hidrosfera (parte líquida, correspondente aos rios, lagos, mares, oceanos, etc.) e a atmosfera (parte gasosa). Dessa forma, podemos definir a camada superficial da Terra, que é a junção dessas três estruturas. Chamamos essa camada de biosfera. É nessa camada em que a vida terrestre se manifesta.

Tectônicas de placas e magnetismo

Agora já sabemos, a Terra está dividida em camadas: núcleo, manto e litosfera. Mas podemos nos perguntar: será que os continentes terrestres sempre foram divididos da forma como conhecemos? Existe uma teoria chamada teoria da deriva continental, que afirma que o nosso planeta inicialmente era formado por um grande bloco continental chamado Pangeia e rodeado por um imenso oceano, o Pantalassa.



Pesquise mais

Como já foi dito, acredita-se que inicialmente o planeta Terra não possuía as características dos continentes tal como conhecemos atualmente. Acredita-se que o nosso planeta era composto por apenas um bloco continental, que foi chamado de Pangeia (do grego, “terra única”). Esse bloco continental era rodeado por um único oceano, o Pantalassa (TEIXEIRA, 2009). A teoria que explica como formaram-se os continentes a partir de um único bloco continental é chamada de

teoria da deriva continental. Que tal pesquisar um pouco mais sobre essa teoria? No site indicado a seguir, você pode encontrar um pouco mais sobre ela. Disponível em: <http://ufr.br/lapa/index.php?option=com_content&view=article&id=%2093>. Acesso em: 9 ago. 2017.

Mas o que teria acontecido para que esse bloco continental tivesse se dividido e formado os continentes conhecidos atualmente?

A litosfera terrestre possui diversas rachaduras, que formam as chamadas placas tectônicas (MARQUES, 2016). Essas placas não estão estáticas, pois, como vimos anteriormente, abaixo da litosfera temos o manto terrestre, composto por magma em movimento. O movimento do magma no manto faz com que as placas tectônicas se movam, afetando a estrutura do nosso planeta. Marques (2016) explica o movimento das placas tectônicas que deu origem à Cordilheira dos Andes e ao Himalaia. Portanto, vemos que esse movimento pode alterar a estrutura da Terra.

As placas tectônicas estão sempre em movimento. Elas se afastam e entram em atrito constantemente. Agora você pode se perguntar: o movimento das placas tectônicas afeta o nosso cotidiano? Sim! Esse movimento pode, muitas vezes, causar deformações em rochas, atividades vulcânicas, terremotos etc.

Atualmente, são conhecidas 55 placas tectônicas: 15 maiores e principais e 40 menores. Na Figura 4.6 podemos observar a ilustração de algumas dessas placas.

Figura 4.6 | Principais placas tectônicas do nosso planeta



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Placa_tect%C3%B3nica#/media/File:Placas_tect2_pt_BR.svg>. Acesso em: 9 ago. 2017.

As regiões que estão nos limites das placas tectônicas, indicadas pelas diferentes cores, são as mais suscetíveis a desastres naturais como terremotos, vulcões e tsunamis, como apontam as setas que indicam a tendência de pressão ou afastamento.

A teoria que estuda esses movimentos que ocorrem na litosfera é chamada tectônica de placas. Podemos classificar três diferentes limites entre as placas tectônicas, levando em consideração o modo como elas se movimentam: limites conservativos ou transformadores, construtivos ou divergentes e destrutivos ou convergentes.

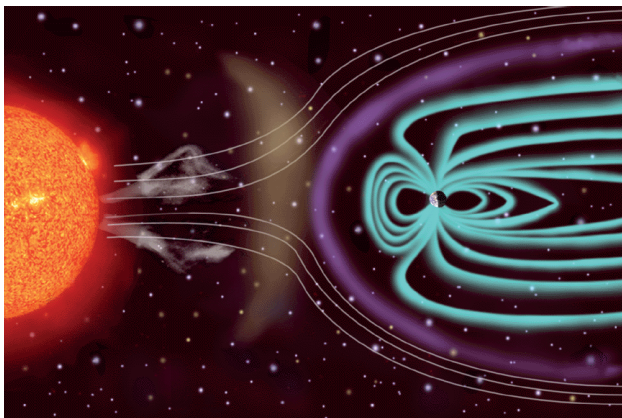
Nos limites conservativos, uma placa tectônica desliza horizontalmente em relação a outra. Quando ocorre esse tipo de movimento, podemos ter como resultado a origem de grandes rachaduras, tanto nos oceanos como nos continentes. Um movimento como esse deu origem à Falha de San Andreas, na Califórnia.

Nos limites construtivos, as placas tectônicas se afastam e o magma contido no manto se dirige para a superfície, dando origem a uma nova litosfera. Esse tipo de movimento pode dar origem a atividades vulcânicas e terremotos.

Por fim, nos limites destrutivos, temos uma colisão entre duas placas, sendo que uma delas, a de maior densidade, fica por cima da outra placa. Esse tipo de movimento pode dar origem a vulcões e cadeias montanhosas, como a Cordilheira dos Andes.

Outra característica muito importante do planeta Terra é a existência de um campo magnético. Sabemos que o efeito do campo magnético terrestre se estende por milhares de quilômetros no espaço, criando o que chamamos de magnetosfera. Essa magnetosfera cria uma barreira magnética para as partículas carregadas vindas do espaço e principalmente do Sol (ERNESTO, 2002). Na Figura 4.7, vemos uma ilustração da proteção feita pela magnetosfera contra os ventos solares.

Figura 4.7 | Magnetosfera protegendo o nosso planeta dos ventos solares de radiação



Fonte: <<https://spaceplace.nasa.gov/review/solar-tricktionary/solarwind.en.gif>>. Acesso em: 3 ago. 2017.

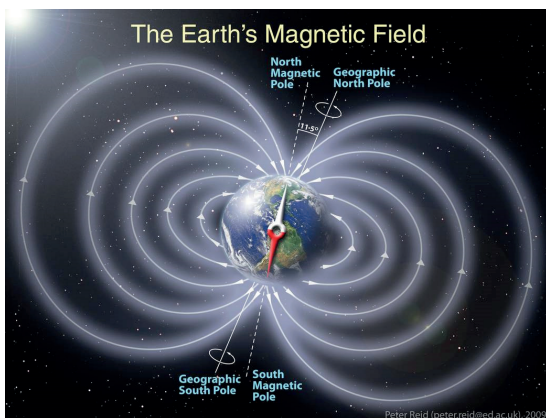


Refleta

Você já ouviu falar em aurora polar? É o nome dado àquele lindo brilho que é observado no céu noturno nas regiões polares. Mas por que esse fenômeno acontece nesses locais? Será que há alguma ligação com o campo magnético terrestre?

A Terra funciona como se existisse um grande ímã em seu interior. Os polos magnéticos norte e sul do nosso planeta estão a uma inclinação de aproximadamente $11,5^\circ$ em relação ao eixo de rotação da Terra, como mostra a Figura 4.8.

Figura 4.8 | Inclinação do campo magnético terrestre



Fonte: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/607968main_geomagnetic-field-orig_full.jpg>. Acesso em: 3 ago. 2017.

Mas de onde surge o campo magnético terrestre? Sabemos que o núcleo da Terra tem ferro e níquel a uma temperatura de aproximadamente 6.000°C. Logo, eles estão em estado de fusão. Esse líquido se movimenta constantemente, gerando correntes elétricas, o que cria um campo magnético. Esse é considerado o campo magnético principal da Terra, e a teoria que explica o seu surgimento é chamada de teoria do dínamo, desenvolvida pelo físico americano Walter Maurice Elsasser (1904-1991) (DEMOREST, 2001). Além do campo magnético do núcleo, ainda temos o externo, que está ancorado na crosta da Terra. Esse campo magnético tem origem nas rochas magnéticas que estão presentes na crosta terrestre. O campo magnético do núcleo é muito mais intenso que o da crosta terrestre. Por isso, é ele quem domina o campo magnético da Terra.

Ciclo da água e atmosfera

O ciclo da água ou ciclo hidrológico é de extrema importância para a vida no planeta Terra. É esse ciclo que realiza a purificação da água doce e salgada do planeta. Ele se inicia com a evaporação da água dos oceanos, rios, lagos e até mesmo das plantas. Chegando na atmosfera terrestre, esse vapor de água encontra uma região mais fria, onde condensa. Então, ocorre uma precipitação, fazendo com que esse vapor de água volte à superfície da Terra na forma de chuva, granizo ou neve (dependendo da temperatura do ar onde esse vapor de água foi condensado). Parte dessa precipitação retorna para os oceanos, seja direta ou indiretamente; outra parte é absorvida pelas plantas e pelo solo, que alimentam os lençóis freáticos e os aquíferos subterrâneos. Nesse momento, se inicia um novo ciclo: a água é novamente evaporada, se condensa, precipita e retorna à superfície. O ciclo acaba modelando a crosta terrestre, devido à erosão causada por essas precipitações. Esse ciclo, juntamente com a nossa atmosfera, são de extrema importância para a manutenção da vida na Terra, já que eles ajudam a regular o clima do nosso planeta.

Sem medo de errar

Na situação-problema desta seção, você deveria se preparar para um programa de TV no qual deve falar sobre o planeta Terra.

Após o estudo detalhado desta seção, você pode se preparar lembrando de algumas informações básicas sobre o planeta Terra,

por exemplo: sua distância até o Sol e a Lua, seu ângulo de rotação, seu diâmetro, densidade, massa etc. Você pode lembrar quais foram os processos pelos quais o nosso planeta passou até chegar às características que conhecemos atualmente.

Não se esqueça de mencionar sobre as camadas que formam a Terra: o núcleo, manto e crosta; do que eles são formados; em qual estado físico eles se encontram etc.

Um item muito importante que você não pode deixar de falar é sobre como foi formada a nossa atmosfera e por que ela é tão importante para a proteção do planeta. É fundamental ressaltar também a importância do campo magnético terrestre para a proteção da Terra. Não se esqueça também de mencionar sobre a teoria da deriva continental, que é a teoria de como se formaram os continentes do nosso planeta.

Avançando na prática

Origem dos continentes

Descrição da situação-problema

Durante a sua palestra, um aluno lhe pergunta como seria possível que um único pedaço de terra, como a Pangeia, teria dado origem aos continentes como conhecemos hoje. Ele lhe pergunta quais são as evidências encontradas que comprovam essa teoria.

Sua tarefa agora é a de explicar de forma clara o que significa essa teoria e como ela foi pensada.

Resolução da situação-problema

A hipótese mais aceita sobre a formação da Terra tal como conhecemos hoje em dia nos diz que, quando o nosso planeta foi formado, ele era composto por apenas um bloco continental, que foi chamado de Pangeia (do grego “terra única”). Esse bloco continental era rodeado por um único oceano, o Pantalassa. A teoria que explica como formaram-se os continentes a partir de um único bloco continental é chamada de teoria da deriva continental.

Existem diversos argumentos que justificam essa teoria: argumentos morfológicos, litológicos, paleoclimáticos e paleontológicos. Os argumentos morfológicos nos dizem que, se olharmos para as costas continentais, veremos muitas similaridades entre elas, ou seja, corresponde ao argumento de que antigamente

elas se “encaixavam”. Os argumentos litológicos nos mostram que rochas encontradas na América do Sul e na África possuem a mesma idade e são formadas pelos mesmos minerais. Os argumentos paleoclimáticos nos mostram que foram encontrados sedimentos glaciares em zonas da África do Sul e Índia, indicando que eles já estiveram próximos ao Polo Sul. E, finalmente, os argumentos paleontológicos nos mostram que fósseis de seres vivos da mesma espécie foram encontrados em lugares separados por oceanos e distam milhares de quilômetros, e seria praticamente impossível que esses seres tenham percorrido distâncias tão longas, e ainda separadas por oceanos.

Faça valer a pena

1. Sobre o processo de formação da Terra podemos dizer que:

() A Terra foi formada a partir dos chamados planetesimais.

() O impacto de meteoritos com a superfície terrestre ajudou a formar a atmosfera do nosso planeta.

() O processo que deu origem às camadas do nosso planeta chama-se separação.

() A Terra é formada por três camadas no estado sólido.

Julgue as afirmações como verdadeiras (V) ou falsas (F) e assinale a alternativa que corresponde à sequência correta.

a) F – F – F – V.

c) F – F – F – F.

e) V – V – F – F.

b) V – F – V – F.

d) V – V – V – F.

2. Sabemos que quando ocorreu a formação da Terra, ocorreu um processo de diferenciação, que dividiu a Terra em camadas e, posteriormente, houve a formação da atmosfera terrestre. Sobre o início da Terra, são feitas as seguintes afirmações:

I. Inicialmente, a Terra era formada por dois grandes blocos continentais, que mais tarde deram origem aos continentes como os conhecemos.

II. A teoria que explica a origem dos continentes como os conhecemos é chamada de teoria da deriva continental.

III. A crosta terrestre é formada por diversas placas tectônicas que estão em constante movimento. Esse movimento fez com que os continentes cheguem às configurações que conhecemos.

Considerando as afirmações, assinale a alternativa correta:

a) Todas as alternativas são falsas.

b) A alternativa I é falsa e as alternativas II e III são verdadeiras.

c) A alternativa II é falsa e as alternativas I e III são verdadeiras.

d) A alternativa III é falsa e as alternativas I e II são verdadeiras.

e) As alternativas I e III são falsas e a alternativa II é verdadeira.

- 3.** Sobre o campo magnético terrestre, são feitas as seguintes afirmações:
- I. O campo magnético terrestre se estende por milhares de quilômetros no espaço, criando o que chamamos de magnetosfera.
 - II. O campo magnético terrestre protege a Terra contra partículas carregadas vindas do espaço.
 - III. A Terra funciona como se existisse um grande ímã em seu interior.
- Com relação ao campo magnético terrestre assinale a alternativa correta.
- a) A alternativa I é falsa e as alternativas II e III são verdadeiras.
 - b) A alternativa II é falsa e as alternativas I e III são verdadeiras.
 - c) A alternativa III é falsa e as alternativas I e II são verdadeiras.
 - d) Todas as afirmações são verdadeiras.
 - e) Toda as afirmações são falsas.

Seção 4.3

Aspectos físicos do surgimento da vida

Diálogo aberto

A origem da vida no planeta Terra até hoje continua sendo um enigma para nós. Existem diversas hipóteses sobre como ela pode ter surgido, desde a de que tenha sido a partir de matéria inorgânica na Terra até mesmo a que ela possa ter surgido no espaço. Você também, em algum momento, já deve ter pensado sobre como ocorreu a origem da vida.

Você faz parte de um grupo que faz divulgação de ciências em escolas para alunos de ensino fundamental e médio. Dessa vez, você terá que resolver um problema na sua família: seu sobrinho pediu sua ajuda, dizendo que precisava fazer um trabalho para o colégio sobre a origem da vida na Terra. Quais são os conhecimentos que ele precisará dominar para fazer um bom trabalho? Entre eles, com certeza estarão: quais foram as primeiras hipóteses que surgiram sobre a origem da vida? Quais são as teorias sobre a origem endógena ou exógena da vida? Como a vida evoluiu na Terra? Como os seres vivos evoluem? Como explicar a diversidade de vida na Terra?

Esperamos que, ao final desta seção, você seja capaz de ajudar seu sobrinho a realizar um belo trabalho. Vamos lá!

Não pode faltar

Origem e diversidade da vida na Terra

Você saberia dizer o que é vida? Esta é uma pergunta que ainda possui diversas respostas. Dependendo de para quem a fazemos, podemos receber diferentes respostas, por exemplo: um psicólogo poderia responder pensando na vida psíquica, já um teólogo, pensando na vida espiritual.

Outra pergunta importante quando estamos falando da vida é: o que diferencia os seres vivos, tal como os conhecemos, da matéria orgânica? À primeira vista, essa diferença pode estar muito clara, mas quando olhamos quimicamente para os seres vivos e para a matéria orgânica, percebemos que elas são muito semelhantes. Ainda sobre

a vida, sabemos que sua evolução acontece através de uma evolução química e biológica da matéria.



Assimile

Qual é a diferença entre os seres vivos e a matéria orgânica? Na verdade, os seres vivos são formados a partir da matéria orgânica juntamente com a matéria inorgânica. A matéria orgânica, por sua vez, é formada por compostos químicos formados por moléculas orgânicas (substâncias químicas que possuem o carbono em sua estrutura). Exemplos de matéria orgânica seriam a glicose, a proteína, o carboidrato etc. Já exemplos de matéria inorgânica seriam água, sais minerais, dióxido de carbono etc.

Antigamente, filósofos como Aristóteles (384-322 a.C.) acreditavam na *pneuma* (uma espécie divina que poderia ter dado origem à vida animal). Ele acreditava, ainda, que seres como insetos, enguias, ostras, sapos e ratos surgiam de forma espontânea devido a fatores externos, por exemplo: a partir de madeira podre, palha etc. Essa hipótese era conhecida como geração espontânea ou abiogênese (DAMINELLI; DAMINELLI, 2007). Por muito tempo, muitos cientistas tentaram contradizer esse pensamento, mas sem sucesso. Até que por volta de 1862, o biólogo francês Louis Pasteur (1822-1895) realizou um experimento que derrubou essa hipótese. Ele mostrou que os seres que teriam se originado dessa forma, na realidade, nasciam a partir de germes que já existiam. Deu-se, então a teoria da biogênese, que descreve a origem endógena da vida na Terra (a vida teria se originado na Terra). Na realidade, a geração espontânea não teria sido descartada completamente, pois ainda não existia uma explicação de como teria surgido a “primeira vida” que daria origem às outras.

Origem endógena e exógena da vida

Sabemos que cerca de um bilhão de anos após a formação da Terra, ela já possuía condições para que a vida se originasse. A hipótese de que a vida tenha surgido em nosso planeta por meio de uma evolução química, biológica e de materiais inorgânicos para orgânicos é chamada de hipótese da origem endógena da vida. Nessa hipótese, a evolução da matéria inorgânica para a orgânica teria ocorrido lentamente, considerando as condições climáticas do início da Terra, quando havia uma quantidade muito grande de meteoros

colidindo com o planeta e grande produção de descargas elétricas. Toda a radiação vinda do espaço, juntamente com essas descargas elétricas em contato com os gases da atmosfera terrestre, teria dado origem às primeiras moléculas orgânicas, chamadas de monômeros orgânicos. Essa teoria é conhecida como hipótese heterotrófica. Ela foi descrita por Alexander Oparin e John Haldane, em 1924 (MAIA, 2012). Através das precipitações, essas moléculas orgânicas teriam sido levadas aos oceanos do nosso planeta, formando a chamada “sopa primordial”, que teria dado origem à vida. Nesse momento, existiam apenas seres heterotróficos, que não eram capazes de sintetizar seu próprio alimento. Com a evolução química e biológica ocorrendo, começaram a surgir os seres autotróficos, e esses sim conseguiam sintetizar seu próprio alimento a partir da matéria inorgânica. Os seres autotróficos começaram a realizar a fotossíntese, produzindo o oxigênio (O_2) e dando origem à famosa camada de ozônio (O_3). Naquele momento, tínhamos no planeta Terra condições suficientes para a manutenção da vida.

Em 1953, Stanley L. Miller e Harold C. Urey realizaram um experimento que testava a hipótese heterotrófica. Nele, simularam condições muito semelhantes às da Terra primitiva em um sistema sem oxigênio e com os gases atmosféricos existentes naquela época. Eles simularam as condições de descargas elétricas e de condensação da água e, após algum tempo, obtiveram como resultado diversas moléculas orgânicas. Esse experimento não comprovou a veracidade da origem da vida na Terra, mas mostrou que era possível que, a partir de gases simples e energia, fossem formadas moléculas orgânicas simples, como previsto por Oparin e Haldane.



Assimile

O experimento de Miller e Urey foi extremamente importante para entender o que pode ter ocorrido na Terra primitiva para dar origem à vida. Que tal entender um pouco mais sobre como foi realizado esse experimento? No vídeo indicado a seguir, há uma explicação de como eles conseguiram realizar esse experimento e verificar o surgimento de moléculas orgânicas a partir de gases simples. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Wa_tSLtOx1o>. Acesso em: 4 ago. 2017.

Outra questão que há muito tempo os cientistas e filósofos buscam resposta diz respeito aos locais onde existiria vida. Análises

realizadas em meteoritos na década de 1830 mostraram que era possível encontrar matéria orgânica naqueles meteoritos. Com essa descoberta, logo começaram a surgir hipóteses da origem exógena da vida, ou seja, de que a vida teria se originado no espaço e que teria sido transportada para o nosso planeta através dos meteoros. Essa hipótese foi chamada de panspermia (MAIA, 2012). Em 2016, a sonda espacial Rosetta foi enviada ao espaço pela NASA a fim de realizar um estudo da superfície de um cometa. Essa missão espacial foi capaz de detectar o aminoácido glicina, que é utilizado para produzir proteínas nos organismos vivos. Essa descoberta reforça a origem exógena da vida na Terra e de que a vida foi trazida do espaço por meio de meteoritos. A hipótese da origem exógena da vida não soluciona a questão sobre a origem dela, pois a pergunta de como se originou a primeira vida, seja ela na Terra ou no espaço, não havia sido respondida. Outra questão diz respeito a qual seria a forma dessa vida vinda do espaço para que pudesse sobreviver a todas as condições de radiação, pressão e temperatura até chegar ao nosso planeta. Sendo assim, todas essas hipóteses permanecem, até o momento, sem uma prova concreta.



Refleta

Vimos que existem duas hipóteses sobre a origem da vida: endógena e exógena. E que existe uma teoria sobre como a vida surgiu aqui na Terra (hipótese endógena) a partir da matéria inorgânica. Acredita-se, ainda, que a vida evoluiu segundo a hipótese heterotrófica de Oparin e Haldane. Será que a hipótese heterotrófica também seria válida se pensarmos na origem exógena da vida?

Por ser uma questão de muito interesse, a origem da vida na Terra passou a ser estudada em diversas áreas, por exemplo: Astrofísica, Geologia, Química, Biologia etc. Como a vida evoluiu em nosso planeta também é uma pergunta difícil de ser respondida. Hoje em dia, podemos recuperar apenas uma pequena parte das informações sobre a evolução da vida na Terra através do estudo de fósseis. Os fósseis mais antigos encontrados (de bactérias e algas) datam de aproximadamente 3,8 bilhões de anos (OLIVEIRA, 2014). Logo, vemos que após um bilhão de anos da formação da Terra, já havia vida em nosso planeta. É praticamente impossível encontrar fósseis mais antigos do que esses, pois eles são encontrados em agregados

rochosos e em rochas mais antigas, que já migraram para o centro da Terra (DAMINELI; DAMINELI, 2007).

Sabemos que desde a origem da vida em nosso planeta os seres vivos sofreram mutações e foram se adaptando ao ambiente onde viviam. Essas mutações e adaptações deram origem à grande diversidade biológica existente na Terra. Esses seres, além de se adaptarem ao meio em que viviam, também evoluíram segundo a teoria darwiniana, que selecionou as formas de vida mais adaptadas às condições da Terra (MAIA, 2012).



Pesquise mais

Você sabe o que é a teoria darwiniana? Ela foi desenvolvida por Charles Darwin (1809-1882) e descreve uma seleção natural de indivíduos pelo ambiente onde vive.

A teoria de Darwin possui alguns princípios básicos:

- Os indivíduos não são iguais em uma mesma espécie. Eles possuem características diferentes entre si.
- Os indivíduos são capazes de se reproduzir, criando muitos descendentes, mas apenas alguns deles atingem a maturidade, devido à seleção natural.
- Para uma mesma espécie, o número de indivíduos é mantido aproximadamente constante.
- Os indivíduos que evoluem e possuem variações compatíveis com o ambiente onde vivem possuem uma chance maior de atingir a maturidade e deixar dependentes.

Para encontrar um pouco mais de informações sobre a teoria da evolução, acesse o link indicado. Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Seresvivos/Ciencias/bioselecaoatural2.php>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

Para tentar entender um pouco sobre a origem da vida no planeta Terra devemos, primeiramente, observar as características dos seres vivos. Quando realizamos essa observação, percebemos que existe uma molécula que, em todos os indivíduos, é mais abundante, que é a água. O corpo humano possui aproximadamente 70% de água; a alface, cerca de 95%, e uma bactéria, cerca de 75% (DAMINELI; DAMINELI, 2007). Pelo fato de os seres vivos terem sido formados por uma grande concentração de água, surgiu a hipótese de que a origem da vida tenha ocorrido em meio aquoso.



No Quadro 4.3, podemos observar uma comparação da concentração dos elementos químicos em bactérias, mamíferos, cometas e estrelas.

Quadro 4.3 | Concentração de elementos químicos (em % de massa)

Elemento	Bactérias	Mamíferos	Cometas	Sol / Estrelas
Hidrogênio	63	61	56	73,4
Oxigênio	29	26	31	0,8
Carbono	6,4	10,5	10	0,2
Nitrogênio	1,4	2,4	2,7	0,09
Enxofre	0,06	0,13	0,3	0,05
Fósforo	0,12	0,13	0,08	0,0007

Fonte: Damineli e Damineli (2007, p. 269).

Neste quadro, podemos observar que há semelhança nas abundâncias dos elementos em bactérias, mamíferos e cometas, e também como essas abundâncias são diferentes para as estrelas, por exemplo: o Sol. Claramente, somos diferentes de uma bactéria, mas somos muito parecidos quimicamente. Os elementos apresentados no quadro são chamados elementos biogênicos, pois são essenciais para a vida. A vida é basicamente composta a partir de uma combinação desses elementos: água, metano, amônia, dióxido de carbono, proteínas etc. (OLIVEIRA, 2014).

Onde buscar sinais de vida

Outra pergunta que muitos se fazem há anos é sobre a existência ou não de vida fora da Terra. Até o presente momento, não foram encontradas evidências claras de vida fora do nosso planeta, mas alguns elementos básicos para a existência da vida já foram encontrados em outros corpos do Sistema Solar, por exemplo, em Marte e em Europa (que é uma lua de Júpiter).

Marte é um planeta interessante para se pesquisar devido à sua proximidade com a Terra e devido ao fato de que, em seu início, possuía condições favoráveis para a vida. Marte possuía oceanos e, por mais que sofresse impactos de meteoritos, foram mais amenos que os impactos sofridos pela Terra. Outro fator é que Marte possuía temperatura e gravidade amena em seu início. Todos esses fatores fazem de Marte um candidato à existência de vida. Isso se pensarmos no passado pois, há cerca de 3,5 bilhões de anos, o planeta congelou (DAMINELI; DAMINELI, 2007). Se a vida estivesse evoluindo no planeta, essa evolução teria sido interrompida.

Outro corpo celeste candidato à existência de vida é a lua Europa. Ela possui alguns elementos considerados principais quando estamos falando sobre a busca de vida: água líquida (por baixo de uma fina camada de gelo), material orgânico e calor. Acredita-se que possa existir vida na água contida debaixo da fina camada de gelo de Europa, mas enviar uma sonda para lá e furar sua camada de gelo para buscar essas possíveis formas de vida é uma pesquisa economicamente inviável no momento.

Dentro do nosso Sistema Solar, temos apenas esses dois candidatos a abrigar alguma forma de vida. Mas você pode se perguntar: e fora dele? Não é possível encontrarmos algum tipo de vida? Como já foi estudado neste livro, temos diversos sistemas extrassolares formados por planetas que orbitam estrelas, inclusive sabemos que existem diversos planetas que, como a Terra, estão dentro do que chamamos de zona habitável do sistema, que fazem deles candidatos a possuírem condições para a vida.

Um projeto que busca sinais de vida inteligente fora do Sistema Solar é o SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*, Busca de Inteligência Extraterrestre, em português). Esse projeto surgiu em 1959, quando os cientistas Phill Morrison e Giuseppe Cocconi propuseram a busca de sinais de rádio vindos do espaço, já que esses seriam sinais de tecnologia e, conseqüentemente, de vida inteligente. Foi escolhido o sinal nessa frequência devido à pouca interferência e perda de potência sofrida por ele. Essa busca é um tanto quanto complicada, pois não temos como afirmar que, se existir vida extraterrestre, esses seres teriam evoluído da mesma forma que nós, que desenvolveram tecnologias como as nossas e enviaram ondas de rádio que pudessem ser detectadas. Outro fator é a existência de muitas variáveis para se monitorar as ondas de rádio, por exemplo: para qual estrela apontar, por quanto tempo e quais frequências devemos monitorar. Por ser um estudo de muitos anos sem que se saiba ao certo se haveria algum sucesso ao final dele, esse tipo de projeto não recebe muitos investimentos governamentais para sua viabilidade. Por esse motivo, o projeto conta com doações financeiras para pesquisa. O SETI conta ainda com um projeto chamado SETI@HOME, em que voluntários emprestam tempo de processamento de seus computadores pessoais para que sejam analisados os sinais de rádio obtidos.

Sem medo de errar

Após tudo o que você estudou e após suas explicações, seu sobrinho já é capaz de realizar um belo trabalho. Ele começou contando a história de como os antigos filósofos pensavam que algumas formas de vida, por exemplo, os ratos e os sapos, haviam surgido: a partir de uma geração espontânea de objetos, como madeira podre ou palha, e que os demais seres teriam se originado a partir da *pneuma*, que era um ser divino que deu origem aos animais. Seu sobrinho também apontou, no trabalho, sobre o importante experimento de Louis Pasteur, que mostrou que não ocorria a geração espontânea da vida, que uma vida sempre se derivava de outra, mas que esse experimento não explicava de onde surgiu a chamada "primeira vida". Ele também incluiu no trabalho a informação de que existem duas hipóteses de como pode ter surgido essa primeira vida: a endógena e a exógena. Ele explicou no trabalho que a origem endógena assume que a matéria orgânica que deu origem à vida surgiu a partir da matéria inorgânica por meio de evoluções químicas e biológicas, e que a origem exógena assume que a vida surgiu em algum lugar no espaço e foi implantada na Terra por meio de meteoros ou meteoritos que atingiam o nosso planeta.

Também foi acrescentado no trabalho a famosa teoria de evolução de Darwin, o que ele defendia e todas as diferenças e semelhanças entre os seres vivos que aqui habitam, por exemplo: entre nós e uma bactéria.

Avançando na prática

Vida extraterrestre: mito ou realidade?

Descrição da situação-problema

Durante a sua explicação sobre a origem exógena da vida, seu sobrinho lhe interrompe e diz que assistiu a uma reportagem que falava na possibilidade de a vida ter vindo do espaço através de meteoroides que atingiram a Terra. Ele ficou com uma dúvida: será que eles também não poderiam ter atingido outros corpos celestes e iniciado o processo de origem da vida em outros lugares também?

Sua tarefa, agora, é explicar a possibilidade de vida extraterrestre e onde ela seria possível.

Resolução da situação-problema

Em sua resposta, você poderia falar que sim, a vida extraterrestre pode existir, apesar de até o momento não termos nenhuma prova concreta disso. Você também poderia comentar que existem dois objetos em nosso Sistema Solar que poderiam ou podem abrigar vida: Marte e Europa, lua de Júpiter. Você pode dizer que Marte já possuiu água no estado líquido, oceanos em sua superfície, mas que esse planeta congelou. Logo, se a vida existiu nesse planeta, ela já teria sido interrompida. Você pode, ainda, falar a seu sobrinho que a lua Europa possui as três principais peças para a existência da vida: água líquida, matéria orgânica e calor, mas devido ao fato de ela possuir uma camada de gelo à sua volta e de estar muito distante do nosso planeta, estudá-la mais de perto é um projeto economicamente inviável. Você pode também falar que Marte e Europa são dois objetos dentro do nosso Sistema Solar e que, fora dele, também podem existir outros planetas que possuam as três peças fundamentais para a vida (água líquida, material orgânico e calor).

Aproveite para comentar sobre o projeto SETI, que busca sinais de rádio que podem ter sido enviados por vida inteligente de algum lugar do espaço mas que, até o momento, não obteve sucesso.

Faça valer a pena

1. De acordo com a hipótese endógena da vida, analise as seguintes afirmações:

I. Há uma hipótese que afirma que a vida surgiu em nosso planeta através de uma evolução química e biológica, e também de uma evolução de materiais inorgânicos para orgânicos.

II. Toda a radiação vinda do espaço, juntamente com descargas elétricas e em contato com os gases da atmosfera terrestre, teria dado origem às primeiras moléculas orgânicas.

III. Através das precipitações, as moléculas orgânicas formadas na atmosfera teriam sido levadas aos oceanos do nosso planeta, dando origem à chamada “sopa primordial”, que teria dado origem à vida.

Com base em seus conhecimentos sobre a hipótese da origem endógena da vida, assinale a alternativa correta.

- a) A afirmação I é verdadeira e as afirmações II e III são falsas.
- b) A afirmação II é verdadeira e as afirmações I e III são falsas.
- c) A afirmação III é verdadeira e as afirmações I e II são falsas.
- d) Todas as afirmações são falsas.
- e) Todas as afirmações são verdadeiras.

2. Com relação à origem da vida, podemos afirmar que a hipótese _____ da vida afirma que as primeiras moléculas orgânicas foram formadas a partir de _____ e evoluíram aqui na Terra. Já a hipótese _____ da vida afirma que essas moléculas orgânicas se formaram no espaço e foram trazidas para a Terra através de _____ e aqui evoluíram.

Com base no que estudamos sobre a origem da vida, selecione a alternativa que preenche as lacunas corretamente.

- a) endógena – água – exógena – radiação.
- b) endógena – moléculas inorgânicas – exógena – meteoritos.
- c) exógena – moléculas inorgânicas – endógena – meteoritos.
- d) exógena – água – endógena – meteoritos.
- e) endógena – moléculas inorgânicas – exógena – radiação.

3. Saber se existe vida extraterrestre ainda continua sendo um dos grandes mistérios da ciência. Hoje em dia, com toda a tecnologia que temos, conseguimos identificar diversos sistemas extrassolares, e nesses sistemas existem planetas que, como a Terra, estão dentro do que chamamos de zona habitável do sistema.

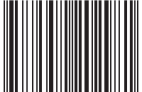
Existe um projeto que busca sinais de vida no espaço, mas ainda sem sucesso. Com base em seus conhecimentos sobre a busca de sinais de vida, assinale a alternativa que descreve corretamente um projeto que faz essa busca.

- a) Projeto SETI, que busca ondas eletromagnéticas emitidas apenas dentro do Sistema Solar.
- b) Projeto Rosetta, que busca sinais de rádio que possam ter sido emitidos por alguma forma de vida inteligente.
- c) Projeto Rosetta, que busca amostras de moléculas em planetas extrassolares.
- d) Projeto SETI, que busca amostras de moléculas em planetas extrassolares.
- e) Projeto SETI, que busca sinais de rádio que possam ter sido emitidos por alguma forma de vida inteligente.

Referências

- AHRENS, Thomas J. **Global Earth Physics: a handbook of physical constants**. 12. ed. Washington: American Geophysical Union, 1995.
- ALLEN, Clabon Walter; Cox, Arthur N. **Allen's astrophysical quantities**. [S.l.]: Springer, 2000.
- DAMINELI, Augusto; DAMINELI, Daniel S. C. Origens da vida. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a21v2159.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2017.
- DEMOREST, Paul. **Dynamo theory and Earth's magnetic field**, 21 maio 2001. Disponível em: <<https://goo.gl/dsiQqR>>. Acesso em: 9 ago. 2017.
- ERNESTO, Marcia; USSAMI, Naomi. Introdução à Geofísica. **Apostila da disciplina AGG0115**, 2002. Disponível: <http://www.iag.usp.br/~eder/apostila/00_Introducao_a_Geofisica_IAG_USP.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2017.
- LAPA. **Deriva continental**. Disponível em: <http://ufrb.br/lapa/index.php?option=com_content&view=article&id=%2093>. Acesso em: 5 set. 2017.
- MAIA, Hernâni L. S.; DIAS, Ilda V. R. **Origem da vida**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.
- MARQUES, Leila Soares; ERNESTO, Marcia. **Terra: fogo, água e ar**, 2016. Disponível em: <http://www.iag.usp.br/~eder/3_idade_1_2016/Apostila_%203%20Idade_2016_Marcia.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2017.
- MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica**. São Paulo: Nova Fronteira, 1987.
- OLIVEIRA, Kepler de; SARAIVA, Maria de Fátima. **Astronomia e astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.
- RUFU, Raluca; AHARONSON, Oded; PERETS, Hagai. A multiple-impact origin for the Moon. **Nature Geoscience**, n. 10, p. 89-94, 2017.
- SCIENTIA. **Formação da Lua**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/formacao-da-lua>>. Acesso em: 5 set. 2017.
- SÓ BIOLOGIA. **A teoria de Darwin**. Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Seresvivos/Ciencias/bioselecaoatural2.php>>. Acesso em: 5 set. 2017.
- TEIXEIRA, Wilson; et al. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.
- WILLIAMS, David R.; Earth Fact Sheet. **NASA**, 2016. Disponível em: <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

ISBN 978-85-522-0298-1



9 788552 202981 >