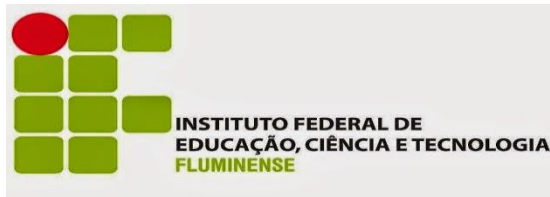


MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: INTERVENÇÃO DIDÁTICA POR
MEIO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS
(UEPS) NO ENSINO MÉDIO**

Material de apoio a professores de Física no ensino de Cosmologia e Radioatividade

Mestranda: Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

Orientadora: Renata Lacerda Caldas

Campos dos Goytacazes - RJ

2017

SUMÁRIO

1 Introdução

2 UEPS Cosmologia

2.1 Atividades iniciais

2.1.1 Estudo de caso: origem do Universo

2.1.2 Confeção do universo-caixa

2.1.3 Simulação dos movimentos da Terra, Sol e Lua

2.2 Situações-problema

2.3 Introdução aos conceitos fundamentais

2.3.1 Concepções históricas sobre o Universo

2.3.2 Cosmologia: o estudo da origem e da evolução do Universo

2.3.3 Texto da Peça teatral: O sistema solar

2.3.4 Fenômenos astronômicos

2.3.5 Ordem de grandeza e Medidas astronômicas

2.3.7 Relatividade do movimento

2.3.8 Gravitação Universal

2.3.9 Leis de Kepler e satélites artificiais

2.4 Aprofundando os conhecimentos

2.4.1 Modelos cosmológicos modernos

2.4.2 Teoria do Big Bang

3 UEPS Radioatividade

3.1 Atividade inicial

3.1.1 Estudo de caso

3.2 Situações-problema

3.3 Texto inicial: A radioatividade e a história do tempo presente

3.4 Introdução aos conceitos fundamentais

3.4.1 Descoberta da radioatividade

3.4.2 Núcleo atômico

3.4.3 Fusão nuclear

3.4.4 Fissão nuclear

3.4.5 Decaimento radioativo

3.5 Aprofundando os conhecimentos

3.5.1 Aplicações da radioatividade

4 Referências Bibliográficas

Apêndice A – UEPS Cosmologia

Apêndice B – UEPS Radioatividade

Apêndice C – Questionário sobre o vídeo

Apêndice D – Lista de Exercícios

Apêndice E - Questionário de avaliação da UEPS

Anexo A – Como construir um mapa conceitual

1. INTRODUÇÃO

O ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) é um assunto bastante discutido e avaliado por pesquisadores, tanto que os currículos de Física já contemplam estes tópicos há algum tempo. Entretanto, os professores ainda têm certa resistência na abordagem destes conteúdos, seja pela formação inadequada durante a graduação, seja na falta de formação continuada (D'AGOSTIN, 2008). Tais fatores propiciam uma insegurança nos docentes, que ao se depararem com tais conteúdos, quase sempre, os ignoram. Por essa razão, o ensino da FMC não tem sido tratado de forma adequada e com a importância que lhe é devida. Avanços científicos e tecnológicos cada vez mais presentes na vida de alunos e professores confirmam essa importância.

Neste material serão abordados os conteúdos de Cosmologia e Radioatividade que são exemplos de tópicos da FMC. No entanto, a abordagem destes conteúdos, não pode ser feita de forma tradicional. São temas relevantes que necessitam ser abordados de forma atraente e que desperte no aluno o interesse pelas aulas. Estes são os fatores que contribuíram para a motivação deste trabalho. Sendo assim, o material aqui apresentado constitui uma proposta de ensino de tópicos da FMC por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para o Ensino Médio. Para isso, foram escolhidos como objetos de estudo o ensino da Cosmologia e da Radioatividade.

A proposta foi elaborada nos moldes das Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (MOREIRA, 2011), que são sequências didáticas fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa na qual são sugeridos passos para sua construção. Estas unidades de ensino podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, ou seja, aquela voltada à sala de aula.

Alguns princípios são bem marcantes nas UEPS, como o conhecimento prévio do aluno, as situações-problema como organizadores prévios e a utilização de recursos diversificados na introdução de um tema que se pretende ensinar. O conteúdo é apresentado de uma forma mais geral e a partir daí, o assunto é abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora. As UEPS para o ensino de Cosmologia e de Radioatividade encontram-se nos apêndices deste material.

2. UEPS COSMOLOGIA

A seguir, o conteúdo de apoio é apresentado de acordo com a sequência apresentada na UEPS Cosmologia. A duração prevista para o desenvolvimento do conteúdo, em classe, é de 20 horas/aula, podendo ser adaptado conforme o tempo disponível do professor e de acordo com o conhecimento prévio dos alunos.

2.1 Atividades iniciais

a) Estudo de caso

Estudo de caso: Origem do Universo

Renato é um estudante do primeiro ano do ensino médio de uma escola estadual, assim como alguns colegas, ele acredita que a disciplina de Física é muito difícil, e provavelmente, vai ficar com nota baixa. A razão desse pensamento negativo, afirma Renato, é porque a Física tem muitos cálculos e fórmulas que ele não consegue decorar. No entanto, a professora de Física garantiu que neste bimestre vai apresentar uma proposta diferente para a turma, cujo tema será Cosmologia e Movimento.

– *Mas, o que é cosmologia? É o mesmo que astronomia?* Começaram assim, os questionamentos de Renato.

– *Cosmologia é a Ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo,* disse a professora, *enquanto Astronomia é o estudo dos astros.*

– *Engraçado! Eu pensava que astronomia se referia aos signos do horóscopo* – completou Renato.

– *Não Renato, isso é outra coisa: é astrologia!* – respondeu a professora

– *Você tem razão, professora! Este assunto é muito interessante... sempre tive curiosidade em saber mais sobre isso...* Refletiu Renato.

– *Então vamos começar? Vocês vão responder algumas perguntas sobre o Universo.* Concluiu a Professora.

Se você tivesse presente na aula, que opinião teria sobre as questões abaixo?

1) Para você, como foi o início do Universo?

2) E como será o fim?

3) Como será que o Universo está hoje em comparação com o início?

b) Confecção do Universo-caixa

Figura 1: Materiais para a confecção do universo caixa



Fonte: a autora (2016).

c) Simulação dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua

Figura 2: Kit para a simulação dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua



Fonte: a autora (2016).

2.2 Situações-problema

- Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?
- Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?
- Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?
- As galáxias estão realmente se afastando umas das outras, ou é o espaço que está sendo esticado pela expansão cósmica?

2.3 Introdução aos conceitos fundamentais

Figura 3 – *Print screen* da tela do vídeo Astronomia



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=0JfksHOJX5U>. Acesso em 10 out. 2016. Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura 4 – *Print screen* da tela do vídeo Heliocentrismo



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ZzSEldjwOE4>. Acesso em: 14 nov. 2016.

2.3.1 CONCEPÇÕES HISTÓRICAS SOBRE O UNIVERSO¹

Aos poucos, o ser humano constatou que havia certa regularidade em alguns fenômenos da natureza. O Sol aparecia incansavelmente um dia após o outro; depois do inverno tinha-se a primavera; depois da seca retornava o período das chuvas, e assim por diante. Isso permite pensar que desde muito cedo o ser humano demonstrou consciência de que sua sobrevivência dependia do conhecimento da ordem do Universo.

As divindades foram utilizadas como as primeiras formas para conceber essa ordem. O Universo deveria ser habitado por espíritos sobrenaturais, responsáveis pelos acontecimentos. Os deuses eram responsáveis pela manutenção da organização, e, para ser capaz de influenciá-los, o ser humano passou a fazer oferendas e sacrifícios com o objetivo de sensibilizar as divindades.

Essas práticas por mais primitivas que fossem, aos poucos acabaram estabelecendo relações verdadeiras com base nas observações da natureza e constituíram a base da Ciência moderna.

O mesmo ocorreu com os astrólogos, que buscando observar os astros para entender suas influências no destino das pessoas, forneceram uma quantidade considerável de dados para os estudos astronômicos.

Em certo sentido, a Ciência forjou-se sobre o legado desses investigadores primitivos. Todavia, os cientistas modernos se diferem desses investigadores, principalmente pelo uso sistemático da razão e da experimentação.

2.3.2 COSMOLOGIA: o estudo da origem e da evolução do Cosmos²

Atualmente podem parecer ingênuas as versões primitivas de mundo, porém muitas delas atingiram um alto grau de sofisticação, mesmo recorrendo ao uso de espíritos e deuses para explicar a ordenação do Universo. Assim, as Cosmologias antigas são as formas disponíveis de dar sentido ao mundo naqueles tempos.

Cosmologia egípcia

¹ PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.1. São Paulo: FTD, 2013.

² PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.1. São Paulo: FTD, 2013.

Por volta do segundo milênio antes de Cristo, os egípcios conheciam muito bem o céu, pois haviam aprendido a relacionar as cheias do rio Nilo com a conformação celeste. Sabiam, por exemplo, que o transbordamento do rio coincidia com a aparição, antes da alvorada da estrela *Sirius*, a mais brilhante do céu daquela região.

Mesmo com esse e outros dados astronômicos, a Cosmologia egípcia era fortemente influenciada por aspectos espirituais, e eles acreditavam que divindades governavam o Cosmos. Em uma das versões cosmológicas mais importantes, o suporte do Universo era representado por uma porção de terra alongada na forma de uma travessa, o deus Geb. O céu, uma abóbada salpicada de pontos cintilantes, era a deusa Nut, que se encaixava sobre a travessa-terra. O deus Shu representava o ar, apoiando-se sobre Geb e sustentando Nut. A travessa-terra se assentava sobre a água e, abaixo dela, fechando o Universo egípcio, existia outra travessa. O Sol e a Lua eram dois deuses que percorriam o céu em dois barcos. À noite, ambos passavam por baixo da Terra para reaparecer novamente no céu pelo outro lado.

Essa representação pode nos parecer engraçada e até arbitrária por não explicar os eclipses, as estações do ano e as fases da Lua. Mas devemos nos perguntar se essas eram questões a serem respondidas por um modelo do Universo. Os egípcios sabiam prever com boa precisão as estações do ano, as fases da Lua e até mesmo os eclipses, e foram capazes de desenvolver um dos mais precisos calendários da Antiguidade com base em informações sobre o céu. No entanto, esses conhecimentos não estavam integrados na sua Cosmologia. Para eles, o céu era o palco para os deuses!

É mais correto dizer que a Cosmologia egípcia espelhava suas convicções e seus interesses, que se vinculavam basicamente à vida após a morte. As múmias e as pirâmides confirmam que havia um interesse muito maior pelo mundo espiritual do que pelo mundo físico. Não parece que os sábios egípcios se preocupassem em entender o céu com base nos movimentos de astros, assim como fazemos hoje. Explicações desse tipo não tinham sentido num céu povoado por divindades.

Não é por acaso que o Universo do povo egípcio era alongado como as terras ocupadas ao longo do Nilo, e que a travessa-terra se assentava sobre água. O rio e suas cheias anuais determinavam o ambiente ocupado pelo povo. O modelo do mundo egípcio não podia ignorar esse fato. Os modelos, em geral, não se afastam do que se conhece e se almeja em determinada época e local. Os egípcios não fugiram à regra.

As teorias sobre o mundo surgem de concepções preexistentes. A Cosmologia egípcia era profundamente pautada pela convicção na existência e no valor da vida após a morte, e isso influenciou decisivamente a forma de representação do Universo.

Para muitos de nós, a Cosmologia egípcia mais se parece com uma doutrina religiosa, pois com certeza, não se enquadra no que consideramos hoje como Ciência. Na verdade, o que faltava para ela se tornar científica era responder à questões como: a que distância da Terra ficam o Sol e os planetas? Por que observamos as estrelas se moverem no céu? Nosso espaço é preenchido por algo ou é vazio?

Respostas a essas perguntas vão exigir observações sobre os fenômenos.

Cosmologia grega

Os gregos foram os primeiros a produzir representações do Universo e a fornecer algumas respostas. Para o filósofo grego Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), o Universo era finito, isto é, existia somente em uma região limitada do espaço. Esse “lugar” onde tudo ocorria deveria ter uma forma esférica. No entanto, diferentemente de uma bola de futebol, que dentro tem somente ar, nosso Universo, para Aristóteles, era formado de uma série de esferas cristalinas concêntricas como uma cebola, que é formada de várias camadas.

No centro do Universo estava a Terra, que sempre permanecia parada. Considerando que a Terra era o centro de tudo, a primeira camada a envolvê-la era a esfera lunar, onde, como o nome indica, estava situada a Lua. Em seguida, havia a esfera do planeta Mercúrio. Na terceira camada, Vênus, e, na quarta, o Sol. Somente na quinta, na sexta e na sétima viriam respectivamente Marte, Júpiter e Saturno. As últimas esferas seriam o local das estrelas fixas, que tinham esse nome por parecerem estar sempre no mesmo lugar em relação à Terra. É importante lembrar que os planetas Urano e Netuno não haviam sido descobertos nessa época e por isso Aristóteles não os incluiu no seu modelo de Cosmos.

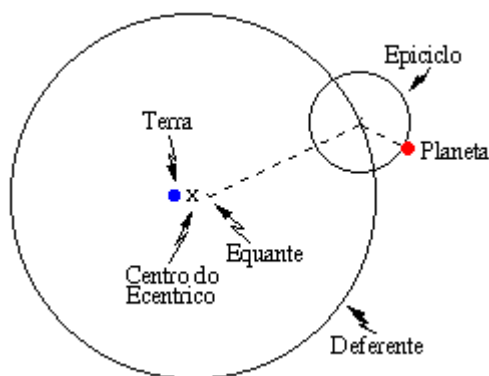
Os movimentos de cada planeta e do Sol eram explicados pelo giro de cada uma das camadas celestes consideradas rígidas e constituídas de um material cristalino. Cada astro estava preso em um ponto determinado da camada esférica, fazendo que toda ela tivesse de girar para provocar seu movimento, como ocorre quando uma pessoa brinca em um carrossel. Por isso, cada objeto deveria estar em uma camada diferente, pois já se sabia que cada um deles desenvolve uma velocidade determinada e, assim, não poderia

girar em uma mesma esfera. Essa é a versão mais simples do Cosmos geocêntrico, ou seja, aquele que considera a Terra parada no centro do Universo.

Universo Geocêntrico de Ptolomeu³

Apesar da dificuldade de compreender e explicar o movimento observado dos planetas do ponto de vista geocêntrico (a Terra no centro do Universo), o geocentrismo foi uma idéia dominante na Astronomia durante toda a Antiguidade e Idade Média. O sistema geocêntrico também é conhecido como sistema ptolomaico, pois foi Cláudio Ptolomeu, o último dos grandes astrônomos gregos (150 d.C.), quem construiu o modelo geocêntrico mais completo e eficiente. Ptolomeu explicou o movimento dos planetas através de uma combinação de círculos: o planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado epiciclo, cujo centro se move em um círculo maior chamado deferente. A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente (portanto o deferente é um círculo excêntrico em relação à Terra). Para dar conta do movimento não uniforme dos planetas, Ptolomeu introduziu ainda o equante, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme.

Figura 5: Modelo geocêntrico de Ptolomeu



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>. Acesso: 15 mar. 2017.

O objetivo de Ptolomeu era produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correta, e nesse ponto ele foi razoavelmente bem sucedido. Por essa razão esse modelo continuou sendo usado sem mudança substancial por 1300 anos.

Universo Heliocêntrico de Copérnico

³ <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>

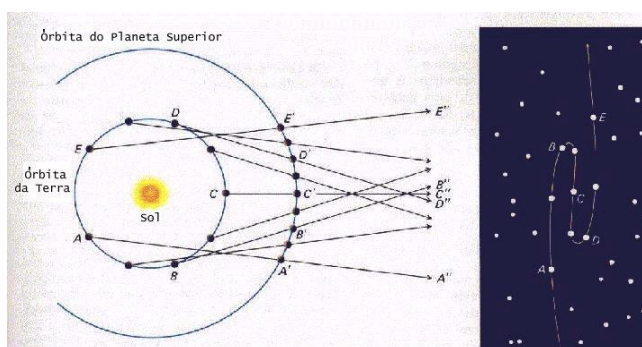
Em 1492 termina a ocupação árabe (mouras) da península ibérica, que se iniciou em 711, e começa a Renascença. Inicia-se a tradução dos textos árabes e gregos, trazendo para a Europa os conhecimentos clássicos de Astronomia, Matemática, Biologia e Medicina.

Nicolau Copérnico representou o Renascimento na Astronomia. Copérnico (1473-1543) foi um astrônomo polonês com grande inclinação para a matemática. Estudando na Itália, ele leu sobre a hipótese heliocêntrica proposta (e não aceita) por Aristarco (300 a.C.), e achou que o Sol no centro do Universo era muito mais razoável do que a Terra. Copérnico registrou suas ideias num livro - *De Revolutionibus* - publicado no ano de sua morte.

Os conceitos mais importantes colocados por Copérnico foram:

- introduziu o conceito de que a Terra é apenas um dos seis planetas (então conhecidos) girando em torno do Sol
- colocou os planetas em ordem de distância ao Sol: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno (Urano, Netuno e o planeta anão Plutão).
- determinou as distâncias dos planetas ao Sol, em termos da distância Terra-Sol.
- deduziu que quanto mais perto do Sol está o planeta, maior é sua velocidade orbital. Dessa forma, o movimento retrógrado dos planetas foi facilmente explicado sem necessidade de epiciclos.

Figura 6: Modelo heliocêntrico de Copérnico



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>. Acesso: 15 mar. 2017.

Copérnico manteve a ideia de que as órbitas dos planetas eram circulares, e embora o movimento dos planetas ficasse simples de entender no seu sistema, as posições previstas para os planetas não eram em nada melhores do que as posições previstas no sistema de Ptolomeu.

2.3.3 TEXTO DA PEÇA TEATRAL: O SISTEMA SOLAR⁴

PERSONAGENS:

1. SOL
2. LUA
3. TERRA
4. VÊNUS
5. MARTE
6. JÚPITER
7. SATURNO
8. NETUNO
9. PLUTÃO
10. URANO
11. MERCÚRIO

Cenário: Pouca luz; pano preto representando o universo. Algumas estrelas de vários tamanhos. Inicia-se a cena com efeitos sonoros (cósmicos). Todos os planetas giram em torno do Sol. A Terra gira em torno do Sol e de si mesma. A Lua gira em torno da Terra.

TERRA: Ai. Ui, Ai, Ui !!!

SOL: O que foi Terra?

TERRA: Ai Sol alguma coisa está acontecendo comigo. Estou sentindo alguns movimentos estranhos.

MARTE: Movimentos estranhos? Há milhares de anos você faz esses movimentos estranhos, é difícil compreender que graça tem ficar girando, girando, girando... em torno de si mesma.

TERRA: Meu amigo Marte esses movimentos são extremamente necessários. Quando giro em torno de mim mesma acontece a rotação, um giro completo dura 24 horas, proporcionando ao ser humano o dia e a noite. Meu movimento ao redor do Sol leva 365 dias, um ano inteiro e dá-se nome de translação.

SOL: O que vocês estão dizendo? Todos giram ao meu redor. Sou o Astro Rei.

⁴ LOPES, V. C. Q. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/?p=conteudo&pag=conteudo&idconteúdo=47&idcat=12&subcat=>>> acesso em: 12 ago. 2015.

TERRA: É! Mas por muito tempo alguns sábios afirmavam que eu era o Centro do Universo e todos vocês giravam em torno d'euzinha.

MERCÚRIO: Galileu Galilei, Astrônomo e Matemático acabou com essa farsa. Hoje sabemos muito bem que você não passa de um simples planeta, assim como nós.

TERRA: É Mercúrio! Mas vocês não se esqueçam que sou a única que pode abrigar seres humanos proporcionando água, oxigênio, luz, enfim a vida.

SATURNO: Sim, mas eu sou considerado o mais belo de todos os planetas.

JÚPITER: Sou o maior! Não sei porque o ser humano escolheu você para viver. Tenho espaço sobrando para todos. Um dia, irão me descobrir querida Terra, bay, bay !!!

PLUTÃO: Ei, companheiros para que essa aflição? Eu era o mais novo dos planetas, fui descoberto esses dias 1930 e agora nem planeta sou mais e não estou nem um pouco preocupado com o ser humano. Dou graças por não se interessarem por mim.

URANO: Nossa Plutão que rebeldia!

PLUTÃO: Rebeldia Urano? Será que vocês notaram como nossa amiga Terra está acabadinha? O ser humano aos poucos está destruindo-a .

TERRA: Ui, Ui, Ai, Ai...

PLUTÃO: Viram só? Com certeza o responsável por todo esse auê da Terra é o ser humano.

NETUNO: O que foi agora Terra vai me dizer que a humanidade está novamente em guerra.

TERRA: Não Netuno não é guerra não! É algo estranho, não consigo decifrar.

VÊNUS: Ai, Ai, Ai... Vai ver estão desmatando mais uma floresta.

TERRA: Fique quieto Vênus, não tire conclusões precipitadas me arrepio só de pensar que meu oxigênio está em perigo.

PLUTÃO: Viram só! Por essa razão é que não quero a humanidade vivendo em mim!

SOL: Quantas besteiras, sabemos que o ser humano involuntariamente machuca a Terra mas ela teve muito mais graça depois que foi habitada.

SATURNO: E antes deles chegarem não existia ninguém para nos admirar. Fique sabendo que meus anéis são muito admirados.

PLUTÃO: Saturno não diga isso! Olhe para a Terra, parece doente! O ser humano é um vírus, uma doença.

MARTE: Que exagero Plutão chego a ficar vermelho de vergonha.

PLUTÃO: Exagero nada Marte, vou continuar assim, cada vez mais afastado de vocês, principalmente da Terra.

MERCÚRIO: Que covardia! Eu que sou o menor de todos não tenho medo. E olha que fica pertinho da Terra!!

TERRA: Ai, Ai, Ui, Ui...

URANO: Ih! Começou de novo! Astro rei, o que acha de tudo isso?

SOL: Eu? Tudo isso me preocupa Urano. Meus raios solares estão afetando a Terra devido a destruição da camada de ozônio da nossa companheira, tenho medo de machucá-la ainda mais.

TERRA: Não se preocupe Sol, sou forte e sei me defender o que me preocupa é o bem estar da humanidade.

PLUTÃO: O que é isso? Você está cega, como pode perdoar tanta agressão?

TERRA: Uma boa mãe sempre perdoa os erros dos filhos.

NETUNO: Ei Lua, por que está tão calada? O que acha de tudo isso?

LUA: É! Também estou preocupada, mas tenho um papel importante para o ser humano.

TERRA: Eles lhe adoram Lua. Dizem que até para plantarem seguem o seu ciclo. A Senhora é uma grande inspiradora de poetas e amantes.

PLUTÃO: Grande coisa! E assim desperta a curiosidade deles. Isso é preocupante!

TERRA: Ui, Ui, Ai, Ai...

URANO: O que será que eles estão aprontando agora?

PLUTÃO: Mas é muito fácil! Poluição, queimadas, agressão ao solo, matança de animais...

TERRA: Que horror! Será que não daria para ser um pouquinho otimista?

PLUTÃO: Impossível com esses predadores à solta.

TERRA: Ai, Ai, Ui, Ui...

PLUTÃO: Viram só.

URANO: Terra nos diga o que realmente você está sentindo. É dor?

TERRA: Não! Desta vez não é dor!

(barulho de foguete)

SOL: Ei ouçam, que barulho é esse?

LUA: Não sei, mas parece perto.

PLUTÃO: Ai eu vou é ficar quietinho aqui.

TERRA: Ai, Ai, Ui, Ui...

(barulho de foguete)

SATURNO: Terra estamos curiosos, o que está acontecendo?

NETUNO: É, nos diga! Estamos ansiosos.

TERRA: O ser humano está...

URANO: Está o que?

TERRA: Não sei acho que...

VÊNUS: O que, fale logo?

TERRA: Não me apresse Estrela Dalva.

VÊNUS: Não me chame desse nome.

JÚPITER: Ora, parem com isso! Terra se concentre!

TERRA: Não consigo descobrir, é algo que nunca aconteceu. Ai, Ui, Ai, Ui...

PLUTÃO: Viram ela não consegue reconhecer a própria morte, está cega, eu heim!

BARULHO

MARTE: Ouçam!!!

TERRA: Eu sei, acho que sei o que está acontecendo!

MERCÚRIO: Ela sabe, Ela sabe, Ela sabe.

MARTE: Nos diga Terra!! Terra chora.

VÊNUS: Viram, eu avisei!

SOL: Ora, pare de chorar e nos diga agora: o que está acontecendo?

TERRA: É que... (*chora*)

VÊNUS: Ah não, pare de choramingar e nos diga logo.

SOL: Terra, se não parar de chorar e nos dizer o que está acontecendo jogarei meus raios solares em você e te destruirei.

(Terra, para e pensa)

TERRA: Esta bem tenho que ser forte. O ser humano está me deixando.

TODOS: Oh!

SOL: Te deixando? Como assim?

TERRA: Está indo embora para conquistar o espaço.

JÚPITER: Não sendo o meu.

PLUTÃO: Conquistar o espaço, eles que fiquem lá no deles, no meu espaço mando eu.

MARTE: Todos eles?

TERRA: Não, apenas astronautas embarcando em um foguete que chamam de Apolo 8.

TODOS: Oh!

SOL: E para onde vão?

TERRA: Aonde? Não sei!!!

TODOS: Oh!!!

PLUTÃO: Tenho que sair daqui, o vírus está solto. O QUE FAÇO? Me ajudem!

MARTE: Ora, acalme-se. Você é um planeta ou um asteróide?

PLUTÃO: Não me chame de asteróide, viu! Eu só estou com medo, vivi tanto tempo sem ser descoberto, agora eu corro o risco de ser invadido por esses, por esses seres humanos.

TERRA: Ai, Ui...

URANO: Começou de novo.

TERRA: Descobri, descobri para onde estão indo.

MARTE: Com certeza, estão à minha procura. Sou o planeta maior próximo da Terra.

TERRA: Não Marte você está errado, está indo em outra direção.

PLUTÃO: Ai, Ui, eu vou é entrar em órbita!

NETUNO: Vieram à minha procura. O ser humano adora minha cor azul esverdeado, vai ver pensa que tenho água e plantas como a Terra.

TERRA: Não, não. O ser humano não está a procura de outros planetas.

TODOS: Não?

TERRA: Não.

SOL: Ei, eles não seriam nem bobos de quererem me habitar não conseguiram ao menos chegar próximo à mim. Virariam churrasquinho.

URANO: Não estão à procura de planeta e sabem que o calor do Sol é insuportável, só resta...

TODOS: A Lua.

LUA: Eu? O que querem comigo?

TERRA: Não sei colega. Mas estão indo em sua direção.

PLUTÃO: Querida Lua foi tão bom te conhecer.

JÚPITER: Seja forte companheira.

(Barulho)

LUA: Ai, Ui, Ai, Ui.

TERRA: E eles chegaram.

PLUTÃO: Pobre amiga! *(Lua começa a rir)*. Que sensação gostosa, está-me fazendo cócegas. *(risadas)*

MERCÚRIO: Parece que não é tão ruim assim!

SOL: Nos diga Lua como você está?

LUA: Me sinto preenchida e feliz.

PLUTÃO: Não claro que não, estão felizes, no princípio tiveram medo mas agora...*(suspiros)* É emocionante.

(Barulho foguete)

LUA: Ai, Ui.

PLUTÃO: Era bom demais para ser verdade! Já colocaram as manguinhas de fora.

LUA: Ei, espere, não vão embora.

SOL: Estão indo embora?

LUA: Sim, que pena, acho que não gostaram de mim. *(chorar)*

PLUTÃO: Foi tão bom assim?

LUA: Foi.

PLUTÃO: Então o que estamos esperando vamos chamar a atenção deles, para virem nos visitar.

JÚPITER: Ora só, longe do jeito que você está, até parece que irão lhe achar.

SATURNO: Virão em busca de meus anéis.

MARTE: Sou vermelho, e vermelho chama a atenção.

TERRA: *(se dirige ao público)* E uma coisa eles tem razão à humanidade tem o grande sonho de conquistar o espaço não sabemos quando será, mas uma coisa é certa, estão tentando e nós continuaremos aqui a sua espera.

Música

FIM

2.3.4 FENÔMENOS ASTRONÔMICOS⁵

Figura 7 – *Print screen* da tela do vídeo Fases da Lua

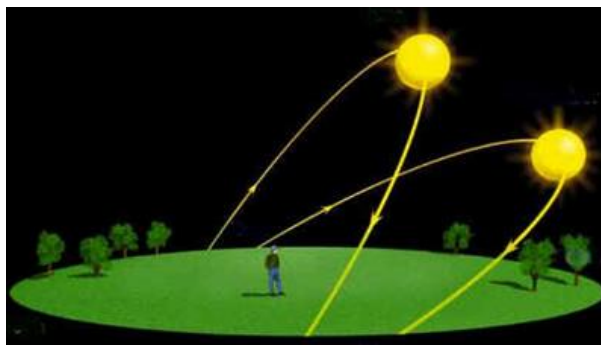


Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=N2wTtaJEtNY>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Formação dos dias e noites

Como a Terra é iluminada pelo Sol, é sempre metade de sua superfície que, num certo instante, recebe a luz solar. Nessa região o Sol é visível no céu, sendo, portanto, dia. Na outra, escura, é noite, não estando o Sol presente no céu.

Figura 8: Posição do Sol.



<http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>.
Acesso em 13 mar. 2017

⁵ <http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>

À medida que a Terra vai girando em torno de seu eixo imaginário, a luz solar vai progressivamente atingindo diferentes regiões da Terra, provocando o movimento do Sol de leste para oeste e produzindo a sucessão dos dias e das noites.

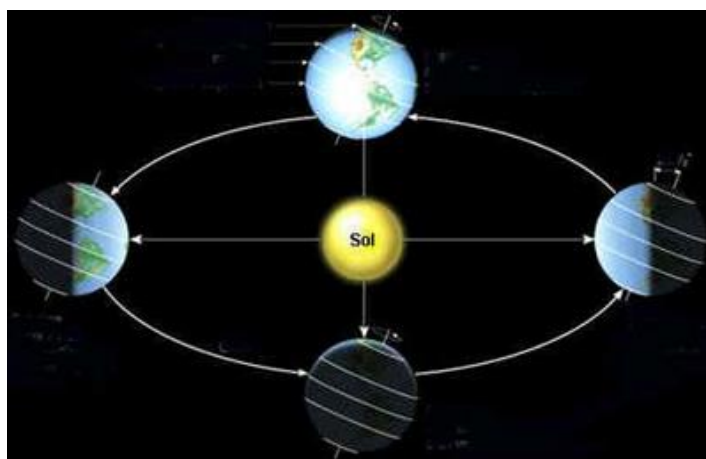
Dependendo do lugar da Terra em que estamos, observamos o Sol com trajetórias diferentes em relação ao horizonte. Se estivermos, por exemplo, num dos pólos geográficos (latitude 90°), o céu parecerá girar em torno de um eixo que passa exatamente por nós e perpendicularmente ao chão. O Sol e os demais astros descreverão trajetórias circulares, paralelas ao horizonte, sem nascer ou se pôr durante períodos de 24 horas.

Nos pólos da Terra, portanto, não existe nascente ou poente. É por isso que nessas regiões (e também em regiões próximas a eles) ocorre o fenômeno conhecido como “Sol da meia-noite”, pois mesmo à noite o Sol pode estar acima do horizonte.

Nos pólos isso acontece durante seis meses seguidos. Esse período de tempo é chamado de Grande Dia Polar. Por outro lado, em outra época o Sol fica sempre abaixo do horizonte, ocorrendo a Grande Noite Polar, que dura outros seis meses.

Para observadores que estiverem na latitude de 0° (sobre o Equador da Terra), o Sol e os demais astros descreverão trajetórias perpendiculares ao horizonte. Se, no entanto, estiverem em latitudes intermediárias entre 0° e 90° , os astros vão descrever trajetórias inclinadas em relação ao horizonte.

Figura 9: Movimento de rotação da Terra.



<http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>

Mas há fenômenos que não são explicáveis apenas considerando-se que a Terra possui um movimento de rotação. É o caso das estações do ano.

A iluminação da Terra muda durante o ano por causa da translação. Em cada estação do ano a duração dos dias e das noites é diferente. Quando numa determinada cidade é verão, significa que tal cidade está localizada no hemisfério mais iluminado pelo Sol, naquele momento. Então, ali os dias são mais longos e as noites mais curtas.

Estações do ano⁶

O movimento de translação é aquele que o planeta Terra realiza ao redor do Sol junto com os outros planetas. O tempo necessário para completar uma volta ao redor do Sol é de 365 dias, 5 horas e cerca de 48 minutos e ocorre numa velocidade média de 107.000 km por hora.

O tempo que a planeta leva para dar uma volta completa ao redor do Sol é chamado "ano". O ano civil, aceito por convenção, tem 365 dias. Como o ano sideral, ou o tempo concreto do movimento de translação, é de 365 dias e 6 horas, a cada quatro anos temos um ano de 366 dias, dia este que é acrescentado ao nosso calendário no mês de fevereiro e que recebe o nome de ano bissexto.

O movimento de translação é o responsável pelas quatro estações do ano: verão, outono, inverno e primavera, que ocorrem em razão das diferentes localizações da Terra no espaço.

Figura 10: Estações do ano.



<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>. Acesso em 17 mar. 2017.

⁶ <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>

Em determinados meses do ano um hemisfério recebe luz e calor com mais intensidade que o outro, dando origem a verões e invernos. Quando é verão no hemisfério sul é inverno no hemisfério norte e vice-versa. Já no outono e primavera, a quantidade de luz e calor se equivale.

Quando ocorre o recebimento de luz e calor de forma desigual nos hemisférios o fenômeno é chamado de solstício, esse período acontece nos dias 21 de junho e 21 de dezembro, e marcam a chegada do inverno e do verão.

No momento em que os dois hemisférios recebem luz e calor de maneira igual, o fenômeno é denominado de equinócio, que se inicia nos dias 21 de março e 23 de setembro, a principal característica desses dias é que as noites e os dias possuem o mesmo tempo de duração (12 horas), essas datas determinam o começo do outono e da primavera.

*Fases da Lua*⁷

As fases da Lua ocorrem porque ela não possui luz própria. Nós só a vemos quando ela é iluminada pelo Sol e reflete a luz dele. E, como a Lua está em órbita da Terra, durante alguns momentos dessa trajetória a face dela que permanece voltada para nós não recebe luz do sol, ficando totalmente no escuro. Conforme ela vai progredindo em sua órbita em torno da Terra, pouco a pouco sua face voltada para nós vai recebendo iluminação do Sol.

Tradicionalmente usamos quatro denominações para descrever as fases principais da lua: Lua nova, quarto minguante, quarto crescente e Lua cheia.

Lua nova é a denominação dada para fase da Lua quando a sua face visível não recebe luz do Sol. Ou seja, a Lua encontra-se entre o Sol e a Terra, portanto, como sua face visível está voltada para nós e de costas para o Sol, não podemos vê-la.

Em seguida a esta fase, temos a fase da Lua “quarto crescente”, quando a parte visível da Lua começa a receber a luz do Sol e, para nós, ela fica com uma forma de semicírculo apontando para leste. Esta fase culmina com apenas metade da parte visível da Lua recebendo a luz do Sol (por isso chama-se “quarto”, porque apenas $\frac{1}{4}$ da Lua está iluminado).

⁷ <http://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua/>

Após o quarto - crescente, temos a fase de Lua cheia, quando seu lado visível da Terra encontra-se totalmente iluminado pelo Sol (a Terra está entre o Sol e a Lua, porém não confunda com a ocorrência de um eclipse lunar. Neste caso de que falamos, a órbita da Lua está com certa inclinação que permite que ela receba a luz do Sol).

O último estágio, ou fase da Lua, é a fase de quarto - minguante. Nesta fase, a parte iluminada da face visível da Lua vai diminuindo. Durante este período ela assume novamente o aspecto de um semicírculo até culminar com apenas $\frac{1}{4}$ da Lua iluminado pelo Sol novamente, só que desta vez no sentido inverso da fase quarto - crescente.

Este ciclo todo, dura cerca de 29 dias 12 horas 44 minutos e é chamado de período sinódico da Lua. Ele difere do tempo em que a Lua leva para dar uma volta completa em torno da Terra (período sideral) em cerca de 2 dias. Isso por que o período sinódico (das fases) é determinado de acordo com a posição da Lua com relação ao Sol e o período sideral (translação) é determinado de acordo com a posição da Lua em relação às estrelas. Como a Terra também se movimenta em torno do Sol, toda vez que a Lua chega perto de concluir seu ciclo, o Sol já sofreu um deslocamento de alguns graus sendo necessários mais alguns dias para que a Lua assuma uma posição em relação ao Sol que caracterize suas fases.

Figura 11: Fases da Lua



<http://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua>. Acesso em 17 mar. 2017

Marés⁸

Maré é o fenômeno da subida e da descida do nível das águas de uma região por causa dos efeitos gravitacionais criados pela Lua e pelo Sol. A lei da atração

⁸ <http://www.iag.usp.br/siae98/fenomastro/mares.htm>

gravitacional mostra que entre dois pontos materiais, separados pela distância D , e com massas M e m , ocorre uma força de atração. É graças à força gravitacional que os astros podem orbitar uns em torno de outros.

Quando dois corpos estão muito afastados um do outro, o tamanho de cada um pode ser considerado como um ponto quando comparado com a distância entre eles. Nesse caso, pode-se aplicar a lei da gravitação universal como se os corpos fossem dois pontos materiais, com a massa suposta concentrada no centro de massa de cada um deles. Mas, se dois corpos estão suficientemente próximos para que seus tamanhos sejam uma fração considerável da distância entre eles, então não mais se pode supor forças agentes no centro de massa de cada um.

É isso que acontece com a força gravitacional que a Lua e o Sol aplicam sobre a Terra. A região da Terra que estiver voltada para um desses astros sofre uma atração gravitacional maior do que aquela sofrida pela região mais distante. Essas forças desiguais causam acelerações desiguais que acabam deformando, temporariamente, a distribuição de massas na Terra. Nas regiões que estão na direção da linha que une os centros dos corpos, teremos as marés altas enquanto que nas regiões que estão a 90° dessa linha, teremos marés baixas.

Devido ao movimento de rotação da Terra, a cada instante regiões diferentes da Terra estarão submetidas às marés baixas e altas, fazendo com que o fenômeno seja cíclico em cada local.

Maré Lunar: As maiores marés sobre a Terra são causadas pela Lua. Em regra geral, quando a Lua se encontra o mais próximo possível do zênite de um local, ou diametralmente oposta, temos a maré alta. Quando a Lua se encontra a cerca de 90° dessa região, temos as marés baixas. O intervalo de tempo entre duas marés altas causadas pela Lua é de cerca de 12h25m. No mar, em locais afastados das costas, o desnível entre a maré alta e a maré baixa é de cerca de 1 m. Mas em baías fechadas esse desnível pode chegar a cerca de 20 m.

Maré Solar: Apesar de ter uma massa muito maior que a da Lua, o Sol exerce uma maré sobre a Terra, de cerca de 2,5 vezes menor do que aquela causada pela Lua. Isso se explica devido à grande distância entre o Sol e a Terra. Por causa do Sol, as marés altas de um local ocorrem por volta do meio-dia e da meia noite.

Maré Luni-solar: Devido à rotação da Terra e dos movimentos orbitais desta e da Lua, as marés vão ocorrendo cada dia em horários ligeiramente diferentes. O efeito combinado das marés causadas pela Lua e pelo Sol é chamado de maré luni-solar. Quando os três astros estão alinhados, ocorrem as marés de maior desnível (as mais altas e as mais baixas também) e essas marés são chamadas de marés de Sízígea. Elas ocorrem por volta das épocas de Lua Nova e Lua Cheia.

Quando o Sol e Lua são vistos a 90º um do outro, ocorrem marés com menor desnível (marés não muito altas nem muito baixas) e são denominadas de marés de Quadratura. Elas ocorrem por volta da Lua Quarto Crescente e por volta da Lua Quarto Minguante. Pelo fato de as marés lunares serem mais intensas, o período principal entre duas marés altas (ou baixas) é muito próximo do período das marés lunares: 12h25m.

Marés terrestres: Apesar do nome parecer paradoxal, ocorrem, de fato, marés terrestres, ou seja, o solo da Terra 'sobe' e 'desce' dependendo das posições do Sol e da Lua. Mas, sobe e desce em relação a quê? E como se explica isso? Não podemos esquecer que boa parte do interior da Terra está na forma pastosa, e que os continentes 'boiam' sobre essa pasta como se cada continente fosse um pequeno barco. Da mesma forma que as marés 'marítimas' deformam a distribuição das águas, elas redistribuem também a parte pastosa da Terra. Com isso, os continentes parecem subir e descer com relação ao centro da Terra. É a esse movimento que chamamos de marés terrestres.

É um fenômeno difícil de ser medido, já que não temos um ponto fixo na superfície da Terra para poder ver o quanto o chão 'subiu' ou 'desceu' devido à maré terrestre. Cálculos mostram que o desnível chega a ser de cerca de 30 cm, ou seja, cerca de um terço do valor do desnível criado pela maré marítima longe das costas.

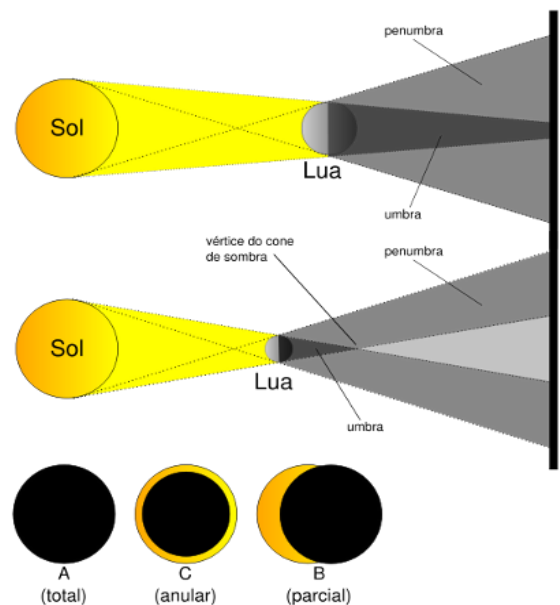
As marés, por representarem forças que causam atritos sobre a matéria que compõe os corpos envolvidos, fazem com que parte da energia de rotação desses corpos seja perdida na forma de calor. Com isso, os corpos envolvidos vão 'parando' de girar. A Lua, por exemplo, mostra sempre a mesma face para a Terra, pois perdeu muita energia de rotação devido às marés que a Terra causa sobre ela. Costuma-se dizer que a Lua tem um movimento de rotação sincronizado com seu movimento orbital em torno da Terra. Num futuro muito distante, a Terra terá um movimento de rotação sincronizado com seu movimento de translação em torno do Sol. Quando isso acontecer, uma dada região da Terra estará sempre voltada para o Sol e na outra será uma noite eterna.

Eclipses

Eclipse é o escurecimento parcial ou total de um corpo celeste, provocado pela interposição de um outro corpo celeste. Os eclipses mais comuns e conhecidos são o do Sol e o do Lua.

Eclipse solar: Um eclipse solar é um raríssimo fenômeno de alinhamentos que ocorre quando a Lua se interpõe entre a Terra e o Sol, ocultando completamente a sua luz numa estreita faixa terrestre. Do ponto de vista de um observador fora da Terra, a coincidência é notada no ponto onde a ponta do cone de sombra risca a superfície do nosso Planeta.

Figura 12: Eclipses solares



Há quatro tipos de eclipses solares:

- o eclipse solar parcial: somente uma parte do Sol é ocultada pelo disco lunar;
- o eclipse solar total: toda a luminosidade do Sol é escondida pela Lua;
- o eclipse anular, eclipse anelar ou eclipse em anel: um anel da luminosidade solar pode ser vista ao redor da Lua, o que é provocado pelo fato de o vértice do cone de sombra da Lua não estar atingindo a superfície da Terra, o que pode acontecer se a Lua estiver próxima de seu apogeu. Isso é similar à ocorrência do eclipse penumbral da lua;

- o eclipse híbrido, quando a curvatura da Terra faz com que o eclipse seja observado como anular em alguns locais e total em outros. O eclipse total é visto nos pontos da superfície terrestre que estão ao longo do caminho do eclipse e estão fisicamente mais próximos à Lua, e podem, assim, ser atingidos pela umbra; outros locais, menos próximos à Lua devido à curvatura da Terra, caem na penumbra da Lua, e enxerga um eclipse anular.

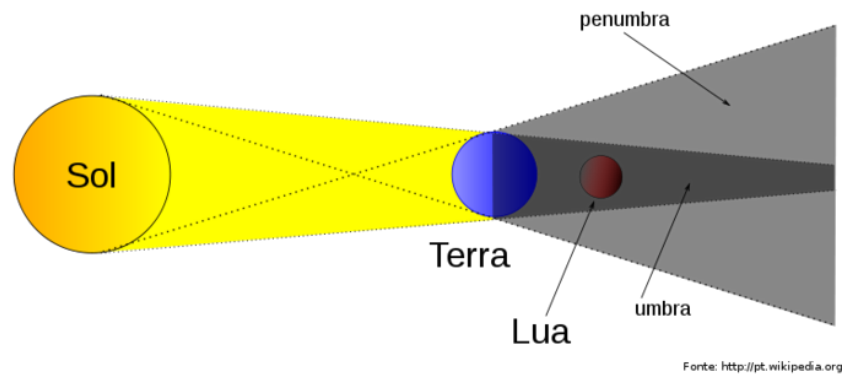
Eclipses solares podem ocorrer apenas durante a fase de Lua Nova, por ser o período em que a Lua está posicionada entre a Terra e o Sol.

Eclipse Lunar: É um fenômeno celeste que ocorre quando a Lua penetra, totalmente ou parcialmente, no cone de sombra projetado pela Terra, em geral, sendo visível a olho nu. Isso ocorre sempre que o Sol, a Terra e a Lua se encontram próximos ou em perfeito alinhamento, estando a Terra no meio destes outros dois corpos. É como se fosse um eclipse solar, porém a Terra encobre a lua nesse caso. Por isso, o eclipse lunar só pode ocorrer quando coincidem a fase de Lua Cheia e a passagem dela pelo seu nodo orbital. Ao contrário dos eclipses solares que são visíveis apenas em pequenas áreas da Terra, os eclipses lunares podem ser vistos em qualquer lugar da Terra em que seja noite no momento do eclipse.

A Lua não desaparece completamente na sombra da Terra, mesmo durante um eclipse total, podendo então, assumir uma coloração avermelhada ou alaranjada. Isso é consequência da refração e da dispersão da luz do Sol na atmosfera da Terra que desvia apenas certos comprimentos de onda para dentro da região da umbra.

Esse fenômeno também é responsável pela coloração avermelhada que o céu assume durante o poente e o nascente. De fato, se observássemos o eclipse a partir da Lua, veríamos o Sol se pondo atrás da Terra. Os eclipses lunares não são frequentes. Em média, acontecem até três vezes por ano (ainda que um ano com três seja raro). Cerca de um terço das ocorrências são os eclipses de penumbra, quase imperceptíveis. Os eclipses lunares parciais acontecem em cerca de um terço das ocasiões, e merecem observação. O terço restante envolve eclipses lunares totais, que atraem multidões de espectadores e astrofotógrafos fascinados.

Figura 14: Eclipse lunar



2.3.5 ORDEM DE GRANDEZA E INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ASTRONÔMICAS

*Ordem de Grandeza*⁹

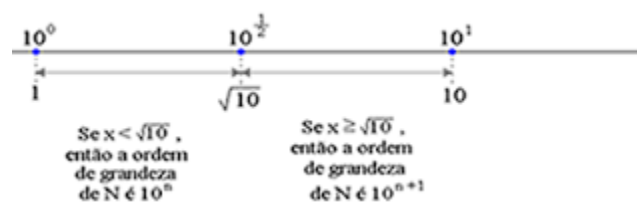
Quando trabalhamos com grandezas físicas, muitas vezes não precisamos nos preocupar com valores exatos. Podemos apenas avaliar, com aproximação, um resultado ou uma medida. Um recurso que facilita os cálculos muito longos, em uma avaliação, é a utilização das ordens de grandeza.

Por definição, ordem de grandeza de um número é a potência de dez mais próxima desse número. Assim, para obter a ordem de grandeza de um número N qualquer, em primeiro lugar, devemos escrevê-lo em notação científica, ou seja, no formato:

$$N = x \cdot 10^n, \text{ em que } 1 \leq x < 10 \text{ e } n \text{ é um número inteiro.}$$

Em seguida, devemos comparar x com o ponto médio do intervalo de 1 (= 100) a 101. Em outras palavras, devemos comparar o valor de x com o valor 100,5, como mostra a figura abaixo:

Figura 15: Gráfico da escala de potências



Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ordem->

⁹ <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ordem-grandeza.htm>

Observe que

$$10^{0,5} = 10^{\frac{1}{2}} = \sqrt{10} \cong 3,16 ,$$

é, aproximadamente, o ponto médio do intervalo $[10^0, 10^1]$ em uma escala logarítmica.

A partir dessa comparação,

- se $x < \sqrt{10}$, então a ordem de grandeza de N é 10^n .
- se $x \geq \sqrt{10}$, então a ordem de grandeza de N é 10^{n+1} .

Ordem de grandeza dos valores de dimensão, tempo e massa de alguns corpos do

Universo:

10^6 – Diâmetro da Lua

10^{30} – Massa do Sol

10^7 – Diâmetro da Terra

10^{21} – Distância da Via-Láctea

10^{11} – Diâmetro da Terra ao Sol

10^{18} – Idade do Universo

Instrumentos de medidas astronômicas¹⁰

Até 1609 todas as observações astronômicas eram feitas a olho nu. Foi nesse ano que Galileu Galilei, tendo ouvido falar sobre um instrumento capaz de aproximar as imagens, construiu uma luneta, e pela primeira vez, o homem pode ver o céu de mais perto.

Foi com uma pequena luneta que Galileu pode verificar que a superfície da Lua era irregular, que o planeta Vênus possuía fases da mesma forma que a Lua, observou os anéis de Saturno, descobriu 4 dos muitos satélites de Júpiter, percebeu que a Via Láctea era composta por um grande número de estrelas, etc.

Luneta ou Telescópio Refrator

A luneta foi descoberta na Holanda e usada por Galileu pela primeira vez para observar o céu. Ela é composta, basicamente, de um tubo, sendo que numa de suas extremidades há uma lente convergente, chamada de Objetiva, que coleta a luz, e na

¹⁰ <http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>

outra uma lente ocular (ou associação de lentes) que serve para ampliar a imagem. O diâmetro da Objetiva se chama Abertura da luneta. O foco da objetiva é o ponto para onde convergem os raios solares. Sua distância até a objetiva se chama de distância focal da objetiva. A razão entre as distâncias focais da objetiva e da ocular definem o Aumento da luneta.

Quando a luz branca atravessa uma lente, ela sofre o efeito de refração diferenciada, também chamada de aberração cromática: cada cor sofre um desvio diferente do desvio sofrido pela outra cor. Assim, a imagem de um objeto esbranquiçado aparece irisado. Para diminuir o efeito da aberração cromática, costuma-se associar duas lentes justapostas para servirem de objetiva. O sistema de lentes é então chamado de Dupleteo.

Figura 16: Luneta



<http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>.
Acesso em 10 mar. 2017.

Telescópio Refletor

No início do século XVII, Newton propôs substituir a lente coletora por um espelho côncavo que faria o mesmo trabalho: coletar a luz proveniente dos astros e focalizá-la num ponto para poder ser observado pela ocular. Nasceu, assim, o telescópio refletor, baseado em espelhos e não mais em lentes. Pelo menos duas vantagens podem ser citadas a favor dos telescópios refletores quando comparados com os refratores:

- isentos do problema de aberração cromática, pois a luz não atravessa nenhuma lente;
- instrumentos mais baratos, pois um menor número de superfícies ópticas deve ser trabalhado com precisão.

Atualmente, ao invés de se fazer um único grande espelho côncavo, constrói-se diversos espelhos menores e então eles são agrupados lado a lado (como ladrilhos no chão) e orientados por um computador para que trabalhem juntos, como se formassem

um único grande espelho. Telescópios com essa características recebem o nome de telescópios de multi-espelhos.

Radiotelescópios

O olho humano só é capaz de perceber radiações que correspondem à faixa visível do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético completo engloba as 'cores' raios-X, o ultra-violeta, o infra-vermelho e as ondas de rádio. Sabemos, hoje, que muitos astros emitem parte de sua energia em forma de ondas de rádio. Para poder estudar melhor tais astros, foram concebidos e construídos os radiotelescópios, que conseguem detectar as ondas na faixa rádio do espectro eletromagnético.

Devido às características das ondas de rádio, os radiotelescópios devem ter dimensões muito maiores do que as dos telescópios que trabalham na faixa visível do espectro. Por isso, os radiotelescópios costumam ter antenas coletoras de vários metros de diâmetro, chegando a algumas centenas de metros. Os radiotelescópios são os responsáveis pelos estudos de pulsares, quasares, regiões nebulosas ricas em hidrogênio etc.

Telescópios Espaciais

Um dos grandes empecilhos para a melhoria nas imagens obtidas por telescópios baseados em solo terrestre é a atmosfera da Terra. A atmosfera terrestre impõe restrições quanto à quantidade, ao tipo e à qualidade da luz dos astros recebida na Terra. Para eliminar o problema da influência da atmosfera terrestre sobre as observações astronômicas, optou-se por instalar telescópios em satélites artificiais e pô-los em órbita em torno da Terra, numa altura em que a atmosfera terrestre fosse quase que inexistente. Surgiu, assim, uma nova modalidade de estudos astronômicos: a astronomia espacial.

Figura 17: Telescópio



<http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>. Acesso em 10 mar. 2017.

Isentos da interferência da atmosfera terrestre, os telescópios espaciais puderam observar os astros de uma forma totalmente impossível antes do advento da tecnologia espacial. Astros que emitiam 'luz' numa região do espectro que era totalmente absorvida pela nossa atmosfera, agora podiam ser observados e estudados a partir do espaço.

2.3.6 RELATIVIDADE DO MOVIMENTO¹¹

A velocidade de uma partícula depende do referencial de quem está observando ou medindo a velocidade. Um referencial é um objeto no qual está fixado um sistema de coordenadas.

Quando dois referenciais A e B estão se movendo um em relação ao outro com velocidade constante, a velocidade de uma partícula P, medida por um observador do referencial A, é em geral diferente da velocidade medida por um observador do referencial B. as duas velocidades estão relacionadas através da equação

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA},$$

onde \vec{v}_{BA} é a velocidade de B em relação a A. Os dois observadores medem a mesma aceleração:

$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB}.$$

Movimento Circular Uniforme

Se uma partícula descreve uma circunferência ou arco de circunferência de raio r com velocidade constante v , trata-se de um movimento circular uniforme. Nesse caso, a partícula possui uma aceleração \vec{a} cujo módulo é dado por

$$a = \frac{v^2}{r}.$$

Esta aceleração se deve a uma força centrípeta \vec{F} cujo módulo é dado por

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

O vetor \vec{a} aponta para o centro da circunferência e é chamado de aceleração centrípeta. O tempo que a partícula leva para descrever uma circunferência completa é dado por

¹¹ HALLIDAY, D; RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*. Volume 1. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

$$T = \frac{2\pi r}{v}.$$

O parâmetro T é chamado de período de revolução ou, simplesmente, período.

2.3.7 GRAVITAÇÃO UNIVERSAL¹²

O primeiro enunciado da lei da gravitação universal é: matéria atrai matéria na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância.

As leis de Kepler apenas descrevem os movimentos planetários, não entrando na discussão referente às suas causas. Analisando esses movimentos, em particular, o da Lua, Newton percebeu que, se a velocidade de um astro em movimento varia, pelo menos em direção, deve existir uma força agindo sobre o astro, produzindo essa mudança de velocidade. Do mesmo modo que um corpo preso a um barbante gira sob a ação de uma força exercida através do barbante, a Lua deve descrever seu movimento ao redor da Terra porque nosso planeta exerce uma força sobre ela.

A grande “sacada” de Newton foi perceber que essa força tinha a mesma natureza daquela que faz os corpos caírem sobre a Terra. Em outras palavras, se a Lua não estivesse em movimento, ela cairia sobre a Terra.

As forças determinadas pela atração entre dois corpos, seja as que fazem os corpos caírem sobre a Terra, seja as que garantem os movimentos dos planetas em torno do Sol ou o movimento da Lua em torno da Terra, são genericamente chamadas de forças gravitacionais.

Newton concluiu que as intensidades das forças gravitacionais dependem diretamente das massas dos corpos envolvidos e variam inversamente em relação ao quadrado das distâncias que separa os corpos. Esses resultados constituem a *lei da gravitação universal*, válida para quaisquer corpos materiais e que pode ser enunciada da seguinte forma:

A intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos quaisquer é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.

Para efeito de formulação matemática da lei, consideremos dois pontos materiais de massas m e M , separados por uma distância d . A intensidade F da força de atração gravitacional será dada por:

¹² PIETROCOLA et al. (2015)

$$F = \frac{G \cdot m \cdot M}{d^2}.$$

A força gravitacional que atua à distância, numa direção que une os corpos ou seus centros, é uma força de campo. Na verdade o que temos é um par de forças, de ação e de reação, uma agindo em cada corpo, que têm a mesma intensidade.

Na fórmula da lei, a constante de proporcionalidade G é chamada de *constante de gravitação universal*. Seu valor não depende da natureza dos corpos envolvidos nem da distância entre eles nem do meio onde estão colocados, sendo

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}.$$

É importante observar que o valor de G é muito pequeno. Por isso, a intensidade da força de atração gravitacional é reduzida quando os corpos que interagem têm massa pequena, como veículos, pessoas, etc., podendo ser desprezada. Entretanto, quando pelo menos um dos corpos tem massa considerável, a intensidade da força gravitacional adquire valores elevados. É o que acontece no caso de planetas, estrelas, satélites e outros astros.

2.3.8 LEIS DE KEPLER E MOVIMENTO DOS SATÉLITES¹³

Com a elaboração da teoria da Gravitação Universal, Isaac Newton (1643-1727) forneceu os últimos argumentos que faltavam para a consolidação do sistema heliocêntrico, iniciado havia muito tempo por outros cientistas. Mas, vamos entender melhor as leis que descrevem o movimento planetário determinadas por Kepler.

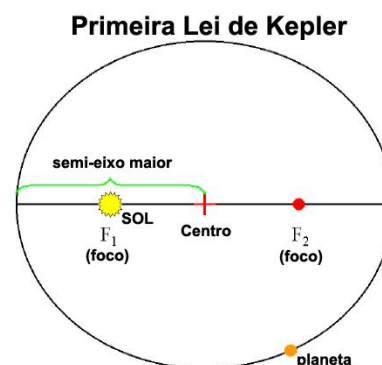
Em seu trabalho com os dados astronômicos das posições dos planetas, particularmente do planeta Marte, Kepler percebeu que havia três características importantes que descreviam os movimentos dos planetas ao redor do Sol. Essas características foram posteriormente definidas como três leis que levam seu nome.

Primeira lei de Kepler ou lei das órbitas

¹³ PIETROCOLA, et al. (2015)

Sobre esta lei, as órbitas descritas pelos planetas em torno do Sol são representadas por elipses, onde o Sol ocupa um dos focos. Pelo fato de o movimento não ser circular, a distância entre o Sol e o planeta varia com o ponto da trajetória. Isso significa que ora o planeta se encontra mais perto do Sol, ora se encontra mais longe. Entretanto, é importante salientar que as órbitas planetárias são elipses pouco excêntricas, em outras palavras, “atenuadas”, quase excêntricas.

Figura ??: Primeira lei de Kepler

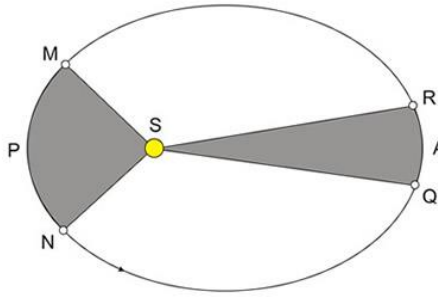


PIETROCOLA, et al. (2015)

Segunda lei de Kepler ou lei das áreas

A velocidade dos planetas varia ao longo de sua órbita, de modo que a linha imaginária que une o planeta ao Sol cubra áreas iguais em intervalos de tempos iguais. Essa lei de Kepler indica que a velocidade do planeta muda ao longo de sua órbita. Pode-se chegar a essa conclusão analisando os arcos da elipse descritos pelo astro, pois o planeta percorre distâncias diferentes em intervalos de tempos iguais. Ou seja, o movimento não é uniforme, a velocidade muda a cada instante. No periélio, posição da órbita mais próxima do Sol, o planeta se desloca mais rapidamente, com maior velocidade; no afélio, ponto da órbita mais distante do Sol, ao contrário, sua velocidade diminui.

Figura ?? – Segunda lei de Kepler



PIETROCOLA, et al. (2015)

Terceira lei de Kepler ou lei dos períodos

A razão entre o quadrado do período de translação do planeta e o cubo da sua distância média do Sol é constante para todos os planetas. Assim, quanto mais distante um planeta estiver do Sol, maior será seu período de revolução e menor será sua velocidade orbital, conclusão essa obtida também pela segunda lei. Por outro lado, quanto mais perto do Sol o planeta estiver, menor será seu período de revolução. Isso explica, além da variação de velocidade ao longo da órbita, o fato de os planetas mais distantes do Sol serem sempre mais lentos em relação aos mais próximos.

Considerando T_1 o período de um planeta cuja órbita tem raio médio R_1 , T_2 o período de um planeta cuja órbita tem raio médio R_2 , e assim sucessivamente, podemos escrever:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \dots$$

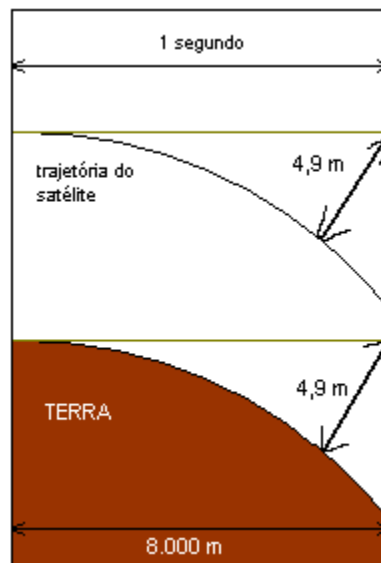
Assim, o quadrado do período T de translação de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio R de sua órbita.

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

A constante de proporcionalidade K só depende da massa do Sol, não dependendo das características específicas de nenhum planeta.

Movimento dos Satélites¹⁴

O movimento da Lua em torno da Terra é semelhante a um bloco movendo-se em círculo em torno de um ponto central. Embora nenhuma corda a prenda, a Lua está sempre em sua órbita. Mas por que a Lua não cai na Terra? Para entender melhor o movimento da Lua, deve-se primeiramente examinar o movimento dos satélites artificiais.



<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Jorge/movimento%20satelites.html>. Acesso 10 mar. 2017.

Figura 16: Movimento dos satélites.

Em 8 km, a Terra se curva 4,9 m para baixo em relação a um plano horizontal tangente ao ponto de origem desses 8 km (figura 14).

No primeiro segundo de vôo, o satélite cai $4,9t^2 = 4,9$ m, isto é, exatamente o mesmo que a Terra se curva em relação ao plano tangente. Por isso, o satélite não estará mais perto nem mais longe da Terra do que estava no segundo anterior.

Este argumento pode ser repetido no próximo segundo e em todos os segundos sucessivos.

Assim, o satélite nunca atingirá a superfície da Terra embora esteja constantemente caindo tornando-se, de fato, um satélite artificial terrestre.

¹⁴ <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Jorge/movimento%20satelites.html>

Supondo que a Terra não tivesse atmosfera, não existiria a resistência do ar e o satélite ficaria permanentemente em órbita. É por isso que 8 km/s é a velocidade crítica para colocar-se um satélite numa órbita muito próxima da superfície da Terra.

O mesmo raciocínio serve para o caso da Lua. É claro que os dados são outros, isto é, a aceleração da gravidade na órbita da Lua em torno da Terra é muito menor do que $9,8 \text{ m/s}^2$ e sua velocidade de translação nessa órbita também é menor ($\sim 1 \text{ km/s}$).

O raciocínio também se aplica aos satélites artificiais de fato existentes, cujas órbitas obviamente se situam em altitudes onde a resistência do ar é desprezível. Mas o satélite não se desloca em linha reta. Ele se desloca sobre uma trajetória curva, frequentemente uma circunferência. A exemplo do que acontece com a esfera que se desloca dentro do aro metálico, deve haver, pois, uma força sendo exercida sobre ele.

Essa força é a atração da Terra sobre o satélite e é a mesma força responsável pela queda livre de uma pedra abandonada de uma certa altura e, neste caso, o movimento se dá em uma linha reta.

Por que a mesma força que atrai a pedra em queda livre é capaz de manter um satélite descrevendo uma circunferência em torno da Terra? A resposta se relaciona com a velocidade. Para colocar-se um satélite em órbita circular a uma determinada distância do centro da Terra, é preciso conferir-lhe uma velocidade de um determinado módulo e de direção tangente à órbita que o satélite descreverá. É claro que o módulo da velocidade depende da distância R entre o ponto de lançamento e o centro da Terra (raio da órbita).

Há, portanto, dois fatores que influem no lançamento do satélite: o raio R da órbita e a velocidade v com que o satélite é lançado. Pode-se demonstrar que o módulo da aceleração da gravidade (g) no ponto da órbita é:

$$g = \frac{v^2}{R}.$$

Isto permite entender o problema do satélite de forma ainda mais completa se o satélite possuir, em certa distância da Terra, a velocidade apropriada, tal que v^2/R seja a aceleração da gravidade nesse ponto, e se essa velocidade for tangente à sua órbita, a aceleração da gravidade o manterá numa órbita circular. Essa aponta sempre para o centro da circunferência e, em cada ponto desta, a velocidade é tangente à curva da trajetória.

De um modo geral, quando um corpo é mantido numa órbita circular com velocidade de módulo constante (seja um satélite, uma pedra amarrada num barbante ou um cubo de gelo girando preso à uma corda sobre uma superfície muito lisa) o módulo da aceleração que causa a mudança da direção da velocidade em cada instante é v^2/R e recebe o nome de *aceleração centrípeta* (a_c) por apontar sempre para o centro da circunferência.

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

Usando a segunda lei de Newton ($F=ma$), concluímos que o módulo da *força centrípeta* (F_C), responsável pela aceleração centrípeta, é

$$F_C = m \cdot a_c = m \cdot \frac{v^2}{R},$$

tendo as mesmas características atribuídas à aceleração. Sendo m a massa do satélite, a força que o mantém em sua órbita é mg , simplesmente o seu peso no ponto de sua órbita que se encontra. No caso da órbita ser circular, esta mesma força é também uma força centrípeta e vale

$$F_C = m \cdot \frac{v^2}{R}.$$

Assim, F_C nada mais é do que a mesma força (o peso) e que é adotado no caso em que ela mantém um satélite em órbita circular. Quando escrevemos

$$m \cdot g = m \cdot \frac{v^2}{R},$$

não podemos esquecer disso. Estamos nos referindo à uma mesma força (o peso) de duas formas diferentes. A "única" força exercida sobre o satélite, conseqüentemente, a responsável pela órbita, é a atração gravitacional da Terra sobre ele. Isto confirma a hipótese feita na parte anterior, quando afirma-se que a relação entre a velocidade de lançamento e o raio da órbita é:

$$g = \frac{v^2}{R}.$$

Portanto, a velocidade de lançamento é

$$v = \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

2.4 Aprofundando os conhecimentos

2.4.1 MODELOS COSMOLÓGICOS MODERNOS¹⁵

Desde tempos imemoriais o homem tentou se tranquilizar em relação ao Universo. Inicialmente, através de mitos e lendas, a humanidade elaborou ideias que a permitiram conviver de forma suportável com o universo. Estas visões do universo eram, no entanto, tão variadas e múltiplas quanto a variedade e a multiplicidade de seus criadores.

Até que surgiu uma nova maneira de encarar a natureza, e por extensão, o universo. Esta nova maneira recebe o nome de ciência, e, ao contrário da subjetividade inerente aos mitos e lendas primitivos, é caracterizada pela objetividade. Inicialmente são feitas suposições gerais sobre o objeto de seu estudo, e a partir destas suposições, ou postulados, é elaborada uma teoria científica. A teoria deve explicar os fenômenos aos quais ela pretende se aplicar, e deve fazer previsões de novos fenômenos. As previsões são então testadas através da experiência ou da observação da natureza. Desta forma, uma teoria será comprovada ou não, dependendo dos resultados dos testes.

O estabelecimento da ciência moderna resultou do trabalho de inúmeros pensadores. No caso das ciências exatas, e em particular da física, o primeiro cientista moderno foi sem sombra de dúvida, o grande sábio inglês Isaac Newton (1643-1727). A sua obra marca o início desta maneira rigorosa e objetiva de se estudar a natureza: o método científico.

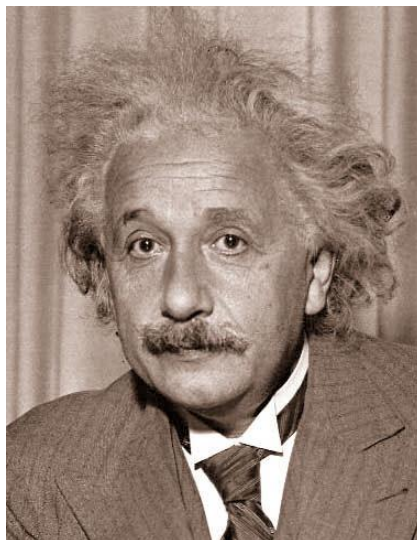
O estudo científico do universo recebe o nome de "cosmologia". Trata-se de uma ramificação da física, ou, mais apropriadamente, da astrofísica. A cosmologia é, portanto, a ciência do universo. O seu fim é entender o universo, e isto inclui a sua formação, a sua evolução e o seu estado presente. Ou seja, responder as definitivas questões: de onde viemos, para onde vamos e onde estamos.

Pode-se afirmar que a cosmologia, como hoje é entendida, teve o seu início em 1917, quando o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) propôs o seu modelo do universo. Baseado na Teoria da Relatividade Geral (TRG), de sua autoria, que é uma teoria de gravitação, e na sua percepção do mundo físico, Einstein estabeleceu um modelo do universo que, em grande escala, era homogêneo, isotrópico -- em média, o

¹⁵ <http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>

esmo em todas as direções -- e estático. A idéia de um universo em expansão, tão popular hoje em dia, e característica principal da cosmologia moderna, não era de forma alguma sequer imaginada.

Figura ?? – Albert Einstein



Fonte:
<http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>.
Acesso em 10 mar. 2017.

Albert Einstein, o criador da Teoria da Relatividade Geral que, entre outras aplicações, é a base para os modelos da cosmologia moderna.

As soluções das equações da TRG, que possuíam como característica a expansão do universo, foram obtidas pela primeira vez pelo russo Alexander Friedmann (1888-1925), tornadas públicas em artigos científicos datados de 1922 e 1924. Estes trabalhos foram seguidos, de forma independente, pelas pesquisas do cosmólogo belga -- e padre católico -- Georges Lemaître (1894-1966), publicadas em 1927 e 1931, que também resultaram em modelos de universo em expansão. Tais modelos alcançaram projeção no mundo científico a partir da descoberta da relação proporcional entre o chamado "desvio para o vermelho" e a distância -- ou mais precisamente o brilho aparente -- das galáxias. Esta relação, investigada por vários astrônomos, foi estabelecida de forma segura e definitiva em 1929 pelo astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953). Verificara-se observacionalmente, que a luz emitida pelas galáxias possuía comprimentos de onda, cujos valores eram deslocados em direção ao vermelho, no espectro de luz visível -- o desvio para o vermelho --, e a relação, ou lei, de Hubble mostrava que este desvio era proporcional à distância das galáxias. Este tipo de relação

entre comprimento de onda da radiação e distância era exatamente o que era previsto pelas soluções de Friedmann e Lemaître.

A descoberta, ou mais apropriadamente, a invenção do conceito de um universo em expansão decorreu de dois aspectos, a saber, de resultados teóricos e de observações astronômicas. Isto significa, na verdade, que a expansão do universo não é um fato empírico, i.e., deduzido diretamente da observação da natureza, como o é, por exemplo -- e para mencionar um caso estreitamente relacionado à cosmologia --, a existência individualizada das galáxias. O grande astrônomo Edwin Hubble teve aqui também atuação decisiva. Foi ele quem mostrou, de forma brilhante e definitiva, que as chamadas "nebulosas espirais" eram objetos astronômicos independentes de nosso sistema estelar, a galáxia da Via Láctea. A sua descoberta foi baseada inteiramente em relações empíricas, obtidas a partir das observações astronômicas. Quer dizer, as galáxias não foram "inventadas", mas, de fato, descobertas.

Ao se aceitar a expansão do universo, as conseqüências são dramáticas. Uma simples extrapolação temporal da expansão do universo, para épocas passadas, leva a um estado de altas densidade e temperatura, que em princípio não tem limites. E acima de tudo estabelece um início para a história do universo.

Muitos cientistas, contemporâneos destes desenvolvimentos científicos, não aceitaram estas idéias, reputando-as como simplórias e até mesmo repugnantes. Entre eles está o astrofísico e cosmólogo inglês Fred Hoyle (1915-2001).

Fred Hoyle tentou inclusive ridicularizar o modelo de Friedmann-Lemaître apelidando-o de universo do "Big Bang". Que poderíamos traduzir, no mesmo espírito, como o universo do "Estrondão". Muitas vezes, Big Bang é traduzido por "Grande Explosão", o que não é apropriado, já que em inglês, o seu equivalente seria "Great Explosion", e não teria a conotoção jocosa pretendida por Fred Hoyle. Adotaremos, portanto, de agora em diante o termo "Estrondão", quando nos referirmos ao modelo do "Big Bang". Tal atitude pode ser considerada como uma homenagem ao grande teórico inglês, através da preservação de sua intenção ao cunhar o termo.

O nome, no entanto passou a pertencer ao jargão científico, caindo quase no esquecimento as características de ridicularização que o motivaram.

Várias tentativas foram feitas no sentido de se evitar a desconfortável -- do ponto de vista científico -- singularidade, predita no universo do Estrondão. Mencionaremos aqui apenas duas delas.

A primeira, o modelo de Eddington-Lemaître, foi proposto pelo astrofísico teórico inglês Arthur Eddington (1882-1944) e Georges Lemaître, com o fim específico de se evitar a singularidade -- eufemismo para "fase desconhecida" -- inicial. Neste modelo, a extrapolação temporal para o passado termina num estado inicial com características semelhantes ao universo estático de Einstein. Em todas as outras fases ele é indistinguível do modelo com singularidade.

A segunda tentativa, de caráter mais amplo e revolucionário, foi proposta por Fred Hoyle e colaboradores. Esta segunda tentativa se ramifica em duas, separadas por quase 50 anos. A primeira, denominada "Cosmologia do Estado Estacionário", foi proposta por Hoyle e pelos cientistas Hermann Bondi (1919-2005) e Thomas Gold (1920-2004), em 1948. A segunda surgiu em 1993, após o fracasso da primeira, e foi idealizada por Hoyle, por Geoffrey Burbidge (1925) e pelo físico teórico indiano Jayant Narlikar (1938-), e denomina-se "Cosmologia do Estado Quase Estacionário". A semelhança dos nomes reflete alguns pontos que elas têm em comum.

Em 1948, como visto acima, Hoyle e, independentemente, Bondi e Gold, propõem o modelo do estado estacionário. O universo é homogêneo, isotrópico e infinito espacialmente, e além disso, ao contrário do universo do Estrondão, tem uma idade infinita. O modelo expande-se, como no Estrondão, mas matéria é contínua e uniformemente criada, de forma a garantir a homogeneidade e isotropia. A teoria não indica de que forma a matéria é criada. A violação da lei da conservação da matéria, lei esta implícita na TRG, foi contornada por Hoyle através de um artifício matemático.

A idéia de criação contínua de matéria foi fortemente questionada durante as décadas de 1950 e 1960, anos que se seguiram à sua proposição. Hoyle propôs uma pequena modificação na TRG para permitir a criação de matéria a partir de um "reservatório" de energia negativa. À medida que a matéria é criada, a conservação da energia resulta num reservatório de energia cada vez mais negativo. A expansão do universo, no entanto, mantém a densidade de energia do reservatório e a densidade média da matéria no universo constantes. Daí vem o termo "estacionário" no nome da teoria. Na época em que foi proposta era uma teoria bastante atrativa pois atribuía uma idade infinita ao universo. Isto era uma grande vantagem em relação à teoria do Estrondão, a qual implicava numa idade do universo cerca de dez vezes menor que a idade geológica da Terra!

Esta inconsistência básica foi o principal sustentáculo, durante muitos anos, do modelo do estado estacionário. A situação mudou entretanto na década de 1960. A

descoberta da radiação de fundo de microondas, em 1965, pelos norte-americanos Arno Penzias (1933-) e Robert Wilson (1936-), a revisão da estimativa da idade do universo, à luz de novos dados observacionais, a descoberta dos quasares, que de certa forma, implicava num quadro consistente de evolução de galáxias, e outros desenvolvimentos teóricos, experimentais e observacionais, levaram paulatinamente a um descrédito na teoria do estado estacionário, e o modelo do Estrondão ocupou de vez o cenário cosmológico.

Os modelos do Estrondão, os modelos de Friedmann-Lemaître, tornaram-se definitivamente a base do chamado "modelo cosmológico padrão", que passou a ser conhecido popularmente pelo termo em inglês "Big Bang". Mas o modelo padrão logo revelou-se um celeiro de problemas.

O primeiro deles é a discordância entre os valores predito e observado da densidade de matéria no universo. O valor predito para a matéria "ordinária", aquela que está em nossos corpos e em tudo que observamos na natureza, também denominada "matéria bariônica", decorre do ajuste da teoria, na fase inicial da expansão, e tem por objetivo o cálculo das abundâncias químicas dos elementos de massa pequena, a chamada "nucleossíntese primordial". Estes elementos atômicos, deutério, hélio e lítio, foram sintetizados, de acordo com o modelo, na fase quente e densa do Estrondão e serviram de matéria prima para a formação dos demais elementos, no interior das estrelas. Por outro lado, o valor observado da densidade de matéria é obtido a partir do censo, isto é, da contagem de objetos luminosos (estrelas, galáxias, etc) no universo. A discrepância entre os dois valores, o predito e o observado, é da ordem de um fator de 10! A explicação desta diferença é dada pelos defensores do modelo padrão como sendo devida à presença de "matéria escura". Quer dizer, ela existe mas por ser "escura", não é detectada. A expectativa é a de que, com a melhoria dos métodos e técnicas observacionais, ela será eventualmente detectada.

O segundo problema é causado pela dinâmica das galáxias, ou seja, pelo movimento das galáxias no universo. A rapidez com que as galáxias se movimentam nos aglomerados de galáxias exige que haja matéria que, pelo seu efeito de atração gravitacional, mantenha as galáxias "presas" nos aglomerados, como é de fato observado. Mas esta matéria não pode ser "ordinária", ou bariônica, cujo conteúdo já foi determinado, como descrito acima. Então ela deve ser matéria exótica, não bariônica, e, além do mais, ESCURA! Pois não é observada diretamente, especialmente, porque ainda não se sabe sequer que matéria é esta! Existem muitos candidatos teóricos para

ela. Mas por enquanto não há nada estabelecido nesta questão. O modelo padrão requer, então, mais uma componente de matéria escura, e desta vez, nem se sabe o que ela é.

O terceiro problema reside na radiação de fundo de microondas. Esta radiação é, de acordo com a teoria, a manifestação atual da "bola de fogo" inicial do Estrondão. As observações mostram que ela é exageradamente uniforme em intensidade. As flutuações de densidades observadas hoje na distribuição de galáxias não se conciliam com a homogeneidade da radiação "cósmica" de fundo, a não ser que ajustes artificiais e hipóteses adicionais sejam introduzidos na teoria.

O quarto problema é a "singularidade" inicial. A expansão iniciou-se no desconhecido e no inexplicável ponto onde todas as leis da física, como a conhecemos, não se aplicam. As tentativas teóricas de abordagem desta singularidade são difíceis de serem testadas observacional e experimentalmente.

Teoria do Estado Quase Estacionário

Os problemas delineados acima levaram Fred Hoyle, Geoffrey Burbidge e Jayant Narlikar, em 1993, a propor um novo modelo cosmológico, semelhante à teoria do estado estacionário mas com correções de alguns de seus defeitos. Como na velha teoria, ela prevê a criação contínua de matéria no universo, ao invés da criação de toda a matéria do universo num único evento, como na teoria do Estrondão. Matematicamente, a influência dos inúmeros eventos de criação de matéria é o estabelecimento de uma oscilação cósmica em torno da solução estacionária das equações cosmológicas. Dai o nome "quase estacionária" para a teoria. O universo presentemente está numa época de expansão que será seguida de uma contração, e assim sucessivamente. O período de oscilação é da ordem de 20-30 bilhões de anos. A teoria matemática subjacente é uma pequena modificação da TRG.

Esta nova teoria oferece cenários alternativos aos do modelo padrão para a síntese primordial dos elementos leves -- todos os elementos são formados no interior das estrelas --, para a homogeneidade e isotropia da radiação cósmica de fundo -- resulta da termalização da energia liberada na criação dos elementos leves --, e para a formação da distribuição de galáxias no universo, i.e., da sua estrutura em grande escala -- galáxias são criadas a partir de galáxias pré-existentes.

Em suma, a cosmologia do estado quase estacionário mantém acesa a chama da busca científica por um modelo consistente do universo. O que, diga-se de passagem, ainda não foi atingido.

Resultados observacionais recentes têm levantado novos problemas para o modelo padrão, e, se mostrado consistentes com uma das previsões da teoria do estado quase estacionário.

Trata-se das observações de supernovas -- explosões de estrelas em sua fase terminal --, em galáxias distantes. A partir de observações, realizadas pelo Telescópio Espacial Hubble, de galáxias com supernovas, mostrou-se que este tipo particular de supernovas são excelentes indicadores de distâncias. O objetivo das observações de supernovas é o de estabelecer a natureza precisa da expansão do universo predita pelo modelo padrão.

Dois grupos de pesquisa americanos usaram amostras de supernovas diferentes e técnicas de análise também diferentes, e chegaram à mesma conclusão: o universo está atualmente em expansão acelerada! O resultado é surpreendente, do ponto de vista dos modelos derivados do paradigma de Friedmann-Lemaître, os quais prevêem universos desacelerados, ou seja, universos em expansão, mas com taxas de expansão progressivamente menores. O modelo padrão pode ser reconciliado com a expansão acelerada desde que haja uma componente energética no universo responsável pela aceleração. Com o fim de se preservar o modelo padrão, recorre-se, então, a esta alternativa energética que forneça a pressão "negativa" necessária à manutenção da expansão acelerada. Esta componente energética recebeu o nome de "energia escura". O termo "escura" do nome é, mais uma vez, o eufemismo astronômico, já tradicional, para "desconhecida". Desconhecida mas não desqualificada. A energia escura tem as seguintes propriedades: sendo escura, não emite luz (i.e., radiação eletromagnética de modo geral), exerce uma grande pressão negativa, e é aproximadamente homogênea (quer dizer, desacoplada da matéria em escalas pelo menos tão grandes quanto de aglomerados de galáxias). Estas propriedades mostram que "energia" é o termo correto para qualificar esta nova componente escura. Ela é portanto qualitativamente bastante diferente da matéria escura.

Concluindo, de acordo com o modelo padrão, e a serem confirmados os resultados das supernovas, teríamos um universo constituído aproximadamente de 2/3 da suposta energia, 1/3 (da suposta) matéria (bariônica e não bariônica) e 1/200 de matéria -- bariônica -- luminosa!

O perfeito entendimento e a detecção destas componentes escuras são vitais para a própria sobrevivência do modelo padrão. Vale a pena ressaltar que, tanto a teoria do estado estacionário quanto a teoria do estado quase estacionário preconizam, desde o

início, muito antes dos projetos de supernovas, nada mais, nada menos, que uma expansão acelerada! E assim a cosmologia moderna tateia no ! O Grande Desconhecido permanece ainda por ser desvendado. Como vimos acima, aproximadamente 99,5% do conteúdo do universo é "escuro", ainda desconhecido. Tudo o que existe, tudo o que pode ser observado com nossos olhos e nossos telescópios constitui apenas 0,5% de todo o "universo" da cosmologia do Estrondão.

2.4.2 TEORIA DO BIG BANG¹⁶

Assim como fizeram diversas civilizações ao longo do tempo, a civilização ocidental também buscou formular um modelo para o surgimento do Universo, e várias idéias foram lançadas. O ano de 1912 marcou a descoberta da evidência observacional que originou a teoria do *Big Bang*.

Para a Ciência atual, nós habitamos em um universo dinâmico que cresce. Imagine a seguinte situação: pense em tudo o que você conhece – sua casa, sua cidade, seu país, o planeta Terra, o Sistema Solar, a Via Láctea, os outros bilhões de galáxias com todas as suas estrelas – e comprima tudo isso em um único ponto. Esse ponto seria muitíssimo quente, e muitíssimo denso, e nele não existiria tempo nem espaço. Não se sabe ao certo quais seriam as condições físicas desse ponto, mas nele não haveria matéria como a conhecemos (os astrônomos chamam esse estado de singularidade). De repente, ocorre uma perturbação e são criados o espaço e o tempo, e o conteúdo desse ponto passa a se expandir rapidamente. Com a queda da temperatura, começam a se formar as primeiras partículas e a matéria do Universo que conhecemos hoje. Essa expansão é chamada atualmente de *Big Bang*.

O nome *Big Bang* surgiu de uma brincadeira, uma tentativa de chacota por um de seus opositores mais emblemáticos, o astrofísico Fred Hoyle (1915-2001), em um programa de rádio, em 1950, ele acreditava que o Universo era quase estacionário que, apesar de se expandir, a sua densidade ficaria constante com a criação de matéria a partir do vácuo. Infelizmente, para Hoyle, o termo “pegou” e passou a ser muito utilizado para nomear a teoria à qual se opunha.

A teoria do *Big Bang* tem três pilares de sustentação:

¹⁶ <http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>

- 1) A expansão do Universo;
- 2) A nucleossíntese primordial, termo que os astrônomos usam para designar a criação da matéria;
- 3) A radiação cósmica de fundo, uma espécie de “eco” da grande quantidade de energia liberada no início do Universo.

A expansão do Universo foi detectada por Slipher e Hubble, em 1912 e 1929. Os trabalhos sobre a nucleossíntese primordial, formação dos primeiros elementos químicos, foram principalmente de autoria de George Gamow (1904-1968). Esse trabalho teórico conseguiu descrever fisicamente o início do Universo com base nas equações da Relatividade Geral. Gamow previu a existência de um fundo de radiação desde o início do Universo que, nos dias atuais, deveria se encontrar a determinada temperatura.

A verificação da existência dessa radiação de fundo (e a comprovação do valor de sua temperatura) aconteceu de forma acidental. Em 1964, Arno Penzias (1933) e Robert Wilson (1936) estavam testando uma nova antena com o objetivo de diminuir a interferência do ambiente, quando detectaram um estranho sinal. Esse sinal parecia vir de todas as direções do espaço e era muito baixo. Foi compreendido que esse sinal era uma radiação do espaço. Era uma radiação residual do passado remoto do Universo da época que era muito quente e denso e que, nos dias de hoje, após a expansão, se diluiu e permeia todo o espaço.

*Texto: Uma breve história do Universo*¹⁷

A famosa teoria do *Big Bang*, acredite se quiser, nada diz sobre o *Big Bang* em si. Ela é extremamente eficiente em explicar como o Universo evoluiu desde aquele momento singular até hoje, e extrapolações dela permitem imaginar como o cosmos será daqui a muitos trilhões de anos, mas o chamado instante $t=0$, aquele em que tudo começou, permanece firmemente postado além de nossa compreensão.

A razão disso é que a nossa física hoje é fraturada em dois grandes mundos. De um lado, a teoria quântica, que descreve o funcionamento das coisas muito, muito pequenas, e explica com incrível precisão como funcionam três das quatro grandes forças conhecidas da natureza. São elas: a força nuclear forte, que mantém os prótons

¹⁷ NOGUEIRA, S. (2009)

grudados dentro dos núcleos atômicos a despeito da repulsão existente entre essas partículas de carga positiva; a força nuclear fraca, que explica certos processos de decaimento radioativo; e a força eletromagnética, que está ligada, como o nome já diz, aos campos elétricos e magnéticos e às propriedades da luz, em suas diferentes variedades (que vão do rádio aos raios gama, passando pelas microondas, pelo infravermelho, pela luz visível, pelo ultravioleta e pelos raios X).

De outro lado, existe uma força que se recusa a receber “tratamento” quântico: a gravidade. Sua melhor explicação teórica hoje vem da teoria da relatividade geral de Einstein, que interpreta os campos gravitacionais como curvaturas num espaço-tempo quadridimensional (composto pelas três dimensões espaciais mais o tempo).

Sendo esta a menos intensa das quatro forças conhecidas (embora seja a que percebemos e compreendemos com maior facilidade), a gravidade se faz sentir mais intensamente quando falamos de grandes escalas. Não é à toa que a cosmologia moderna – o estudo do Universo como unidade – nasceu com a teoria einsteiniana, e os sucessos até hoje obtidos na explicação da evolução do cosmos atestam o grande sucesso das idéias do físico alemão.

Ocorre que, quando se fala do *Big Bang* em si, a relatividade não basta. É preciso incluir também as influências geradas pelas outras três forças da natureza, descritas pela mecânica quântica. O drama é que essas duas grandes teorias físicas – a relatividade e a teoria quântica – são incompatíveis entre si. Elas apresentam diferentes perspectivas a respeito da natureza e suas equações são impossíveis de se combinar.

Alguns sucessos parciais no esforço de agrupar a relatividade e a teoria quântica foram obtidos pelo físico britânico Stephen Hawking (1942-), que combinou as duas teorias para explicar, por exemplo, como buracos negros emitem radiação. No entanto, a reunião final de toda a física elementar numa única teoria ainda não aconteceu, de modo que é impossível interpretar exatamente o que ocorreu no *Big Bang*. A busca por essa “teoria de tudo”, que começou com o próprio Einstein, continua, mas, enquanto ela não termina, temos de aceitar que não há arcabouço teórico capaz de nos dizer o que teria acontecido no momento do *Big Bang*.

Em compensação, se passamos por cima disso sem grandes traumas, somos brindados com detalhes riquíssimos sobre a evolução do Universo.

Por exemplo, muito antes que um segundo tivesse decorrido desde o *Big Bang*, sabemos que o cosmos provavelmente sofreu um aumento radical de tamanho, numa velocidade maior que a da luz! Esse processo de crescimento descontrolado e rápido é

chamado de inflação, e foi graças a ele que o Universo não voltou a entrar em colapso logo no início, implodindo sobre si mesmo.

Quando a gravidade se deu conta do que estava acontecendo, era tarde demais para reunir toda a matéria e energia no ponto em que ela estava originalmente – o Universo havia nascido.

Ainda assim, naquele momento o cosmos estava muito quente, composto apenas pelas partículas mais simples. Eram os quarks – que hoje existem como componentes dos prótons e nêutrons –, os elétrons – velhos conhecidos –, e os fótons – partículas de luz. Àquela temperatura altíssima do início do Universo, eles não conseguiam combinar uns com os outros. A única coisa que ocorreu naquele momento foi aniquilação de matéria. Assim como surgiram logo de cara os quarks, surgiram também os chamados antiquarks – partículas com propriedades em tudo similares, mas com carga oposta. E para acompanhar os elétrons, surgiram os antielétrons, também chamados de pósitrons. Quando partículas idênticas de matéria e antimatéria se encontram, elas se destroem mutuamente, produzindo fótons (energia). Foi o que aconteceu naquele momento. As partículas estavam em altíssima temperatura, muito agitadas, e encontravam seu fim ao se chocar com suas antipartículas equivalentes.

Ao final desse processo de aniquilação mútua, havia um mar imenso de fótons e umas poucas partículas de matéria que ficaram sem par – foi delas que o Universo tirou a matéria-prima para construir tudo que apareceu depois.

Note que tudo isso - a inflação e a aniquilação de matéria com antimatéria - aconteceu antes que decorresse o primeiro segundo. Muita ação e emoção para um Universo-bebê!

Até que o primeiro segundo chegou. Conforme a expansão continuava – agora não mais em ritmo inflacionário – a temperatura geral do cosmos baixava. Estava em cerca de 10 bilhões de graus Celsius (aproximadamente mil vezes a temperatura no centro do Sol) quando os quarks remanescentes conseguiram começar a se juntar em prótons e nêutrons. E, durante cerca de três minutos, o Universo iniciou a fabricação de seus principais elementos químicos. Nessa fase, os prótons e nêutrons começaram a se grudar, formando núcleos atômicos. Esse processo, conhecido como fusão nuclear, fabricou muitos núcleos de hélio (compostos por dois prótons e um ou dois nêutrons) e alguns de lítio (com três prótons). Mas três minutos depois a expansão já havia diluído suficientemente o conteúdo do cosmos para interromper o processo. Resultado: de todos os prótons recém-formados pelos quarks que sobraram da aniquilação, apenas 25%

foram “reprocessados” pela fusão para formar hélio, mais uma quantidade residual de lítio. Uns 75% deles permaneceram intocados, compondo a principal matéria-prima do Universo em evolução, o hidrogênio. Trata-se do núcleo mais simples, composto por um único próton, com ou sem nêutron para acompanhá-lo.

Dali em diante, não muita coisa iria acontecer de imediato. O cosmos continuaria se esfriando, como um mar de elétrons, fótons e núcleos atômicos livres.

A ação só iria voltar a se intensificar dali a 300 mil anos. A temperatura global baixou até uns 3.000 graus, e a essa altura os elétrons já não estavam suficientemente agitados para fugir dos núcleos atômicos – surgiram os primeiros átomos estáveis, com prótons e nêutrons no núcleo e elétrons ao seu redor.

Quando isso aconteceu, foi um ato de libertação para os fótons daquele mar primordial de partículas. Os fótons deixaram de perturbar os elétrons e passaram a circular livremente pelo cosmos.

Diz-se que o Universo se tornou “transparente”, e esses fótons primordiais são exatamente os que são detectados na radiação cósmica de fundo, na forma de microondas. Hoje, observações detalhadas dessas microondas nos dão uma porção de informações sobre como tudo começou. Foi principalmente a partir delas que conseguimos estimar com muita precisão em que momento do passado aconteceu o *Big Bang*. Segundo as últimas observações, feitas com o satélite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) [Sonda Wilkinson de Anisotropia de Microondas], o Universo hoje tem cerca de 13,7 bilhões de anos.

E o fato de que a radiação vem de todas as direções ajuda a esclarecer um engano muito comum – pensar que o *Big Bang* foi uma explosão no sentido convencional, de onde a matéria e a energia se espalharam por um espaço vazio previamente existente. Não é nada disso. Na verdade, o *Big Bang* aconteceu em todo o Universo, inclusive no lugar em que você está agora. Ocorre que o lugar em que você está agora, 13,7 bilhões de anos atrás, era muito menor, e estava compactado junto com todos os outros lugares do Universo atual. A melhor forma de visualizar esse efeito é imaginar que o Universo inteiro fosse a superfície bidimensional de uma bexiga. Você pode pintar vários pontinhos nesse balão, e, ao inflá-lo, notará que os pontos se afastam uns dos outros – como as galáxias se afastam umas das outras –, mas o Universo continuará sendo o que sempre foi, a superfície da bexiga. Ocorre Figura 1.18. A expansão do Universo pode ser imaginada como uma bexiga sendo inflada, que agora ela está mais esticada, inflada, de modo que as distâncias entre os objetos são maiores.

O fato de que a radiação cósmica vem de toda parte ajuda a entender que o *Big Bang* aconteceu em toda parte!

Essas microondas originárias de quando o Universo tinha apenas 300 mil anos também nos dão pistas do que viria depois. Isso porque a radiação é muito homogênea em todas as direções, denotando hoje uma temperatura de cerca de 2,73 Kelvin (cerca de 270 graus Celsius negativos), mas não exatamente; há pequeninas variações, que indicavam uma distribuição ligeiramente heterogênea lá no começo, provavelmente, antes da era inflacionária. Foi dessas “sementes” mais densas que nasceram as primeiras galáxias. A diferença de densidade “facilitou” o trabalho da gravidade mais para frente, repartindo o Universo em regiões relativamente mais ricas em hidrogênio, hélio e lítio, e outras quase completamente vazias.

Berçário das estrelas

As galáxias começaram basicamente como nuvens gasosas, e foi nelas que nasceram as primeiras estrelas. Conforme o gás começa a se agregar por conta da gravidade, passa a se compactar. A compactação segue em ritmo crescente até que, em seu núcleo, a pressão leva à realização de fusão nuclear – nasce uma estrela. Hoje, na Via Láctea, o Sol é apenas uma de 200 bilhões de estrelas. E a Via Láctea é apenas uma galáxia, de centenas de bilhões existentes só no Universo observável. Ela pertence a um agrupamento de galáxias conhecido como Grupo Local, do qual o maior membro é a galáxia de Andrômeda (também conhecida como M31). Essas galáxias próximas dançam ao redor de um centro de gravidade conjunto, pela força da gravidade, ao longo de bilhões de anos. Por vezes se chocam, dando origem a galáxias maiores.

A Via Láctea, por exemplo, vai colidir com Andrômeda em mais ou menos 6 bilhões de anos. E colisões menores, com as chamadas galáxias-satélites, parecem ocorrer com frequência maior.

Dando um novo salto de escala, descobrimos que o Grupo Local pertence a um conjunto ainda maior de galáxias, chamado de Aglomerado de Virgem. E, saltando mais uma vez, percebemos que o Aglomerado de Virgem está agrupado com outros aglomerados para formar o Superaglomerado de Virgem. Os astrônomos agora investigam para saber se há outro nível de organização, além dos superaglomerados. E olhe que estamos falando apenas do Universo observável, com seus 13,7 bilhões de anos-luz de raio, a contar da Terra! (Como o Universo só tem 13,7 bilhões de anos, a luz mais distante que conseguiu chegar até nós e ser observada só pode ter vindo de uma

distância de 13,7 bilhões de anos-luz; 1 ano-luz é a distância que a luz atravessa em um ano, cerca de 9,5 trilhões de quilômetros.) Além disso, segundo a teoria, deve haver muito mais que não podemos ver, meramente, porque ainda não deu tempo!

A teoria do *Big Bang*, com sua incrível sofisticação, deu uma explicação bem interessante sobre a evolução do Universo. Mas um mistério permaneceu. Se tudo que o cosmos fabricou em seu princípio foi hidrogênio, hélio e lítio, de onde vieram os elementos que nos compõem hoje, como carbono, oxigênio e ferro? A resposta tinha de estar em outro lugar, e levou algum tempo para que se descobrisse de onde veio a matéria-prima da Terra e de todas as criaturas que a habitam.

Fábrica de sonhos

A fabricação dos elementos químicos (ou nucleossíntese, como é chamada) começou com o *Big Bang*, mas o mundo seria muito sem graça se só houvesse hidrogênio, hélio e lítio. Felizmente, a arquitetura das estrelas permite a elas complementarem o serviço da “grande explosão”. Foi no núcleo das primeiras estrelas que apareceram os primeiros átomos mais pesados, como carbono e oxigênio. A fusão nuclear se dá no interior das estrelas primeiro usando o hidrogênio como combustível. Ao cabo de milhões ou bilhões de anos (dependendo do porte da estrela: quanto mais massa, mais rapidamente ela gasta seu combustível), o hidrogênio se torna escasso e ela passa a fundir hélio, convertendo-o em carbono; dali, o carbono será fundido em átomos diversos, como neônio, oxigênio, sódio e magnésio. Finalmente, se tiver massa suficiente, a estrela fundirá esses átomos em ferro.

A fusão é a maneira que as estrelas encontram para defender sua estabilidade. Ao fundir elementos em seu núcleo, elas produzem uma pressão de radiação na direção de dentro para fora, que compensa a pressão exercida por sua própria gravidade, de fora para dentro. Ocorre que, quando se chega no ferro, há um impasse. O processo de fundi-lo, em vez de produzir mais energia, exige que mais energia seja depositada no processo – energia que a estrela não tem de onde tirar. Ou seja, é um beco sem saída para o astro, que, sem poder combater a força da gravidade, implode. Se sua massa for algumas vezes maior que a do Sol, ela explodirá na forma de uma supernova. É o urro final de uma estrela moribunda de grande massa. Após esgotar todas as possibilidades de fazer fusão, ela explode suas camadas exteriores. No instante inicial, ela brilha mais que a galáxia inteira em que reside. Ao longo de dias e semanas, seu brilho se torna mais

intenso do que o de todas as estrelas de sua galáxia de origem. É um evento literalmente celestial.

Nesse processo violento são produzidos os elementos mais pesados que o ferro – é da supernova que vem a energia extra requerida para a produção de átomos como os de urânio e plutônio. E o espalhamento desses materiais pelo cosmos após a explosão faz com que aquela região do espaço seja semeada com todos esses elementos pesados. Com o tempo, uma nuvem de gás se condensará ali e dará origem a futuras estrelas, que terão incorporados em si os restos de suas antepassadas. Foi graças a esse processo que o Sol, uma estrela comum pertencente à terceira geração de astros desse tipo, formada cerca de 4,7 bilhões de anos atrás, obteve seus elementos mais pesados.

Da mesma maneira, foi essa presença marcante que permitiu o surgimento de planetas como a Terra, cujo interior é rico em ferro. A vida, como a conhecemos, é baseada em compostos complexos estruturados em cadeias de carbono. Cada átomo de carbono em nossos corpos um dia foi forjado no coração escaldante de uma estrela que nem existe mais.

Com essa assombrosa constatação, a humanidade encontrou um elo profundo com o Universo. Não fosse por todos os processos violentos que têm ocorrido no cosmos afora nos últimos 13 bilhões de anos, não haveria como estarmos aqui. Fecha-se o elo entre a busca humana por origens e a própria história do Universo.

Como gostava de dizer o astrônomo e divulgador de ciência americano Carl Sagan, “somos todos poeira de estrelas”. Mas, longe de ser o final, este é apenas o começo da aventura.

3 UEPS RADIOATIVIDADE

3.1 Atividade inicial

3.1.1 Estudo de caso

Estudo de caso: Radioatividade

A turma de segundo ano do Ensino Médio está estudando neste bimestre um tema bem curioso, a radioatividade. Daniel, Henrique e Amanda ficaram muito interessados no assunto e começaram a conversar sobre uma reportagem que eles assistiram na televisão sobre um acidente que ocorreu no ano de 2011, no Japão em que um terremoto de 8,9 graus na escala Richter e o tsunami provocaram danos na usina nuclear de Fukushima. Na época vazamentos radioativos foram registrados e um iminente desastre nuclear mobilizou a comunidade internacional. Os níveis de radiação no entorno da usina superaram em oito vezes o limite de segurança, forçando a evacuação da população em um raio de 20 km ao redor da usina.

– *Será que isso pode acontecer aqui no Brasil?* – Perguntou Henrique.

– *Claro que sim! Aqui no Brasil também tem usina... lá em Angra.* – Respondeu Daniel.

– *Esse negócio de radiação é perigoso, né? Quero distância disso...* – Disse Henrique.

– *Será que é tão perigoso assim? Acho que não... o que aconteceu foi um acidente. Acredito que cada vez mais a segurança tem sido reforçada para que isso não aconteça.* – Concluiu Amanda.

– *Sei não, Amanda, ainda tem as bombas atômicas que são feitas disso...* Disse Henrique.

– *É mesmo, Henrique?* Indagou Daniel assustado.

– *Também não é assim, né? A forma pela qual a radioatividade é utilizada depende da decisão do homem. Na natureza, por exemplo, encontramos o Sol cuja energia é de origem nuclear...* – disse Amanda – *além disso, existem várias aplicações da radioatividade, como a conservação de alimentos por irradiação, a datação de fósseis... sem contar os benefícios na medicina para o tratamento de doenças.*

– *É mesmo Amanda? Mas o uso da radioatividade não pode contaminar os alimentos? Perguntou Daniel – e será que quando é usada no tratamento de doenças não piora ainda mais a situação dos pacientes?*

Agora é a sua vez!

1) Você também acha que a irradiação de alimentos pode contaminá-los? Justifique sua resposta.

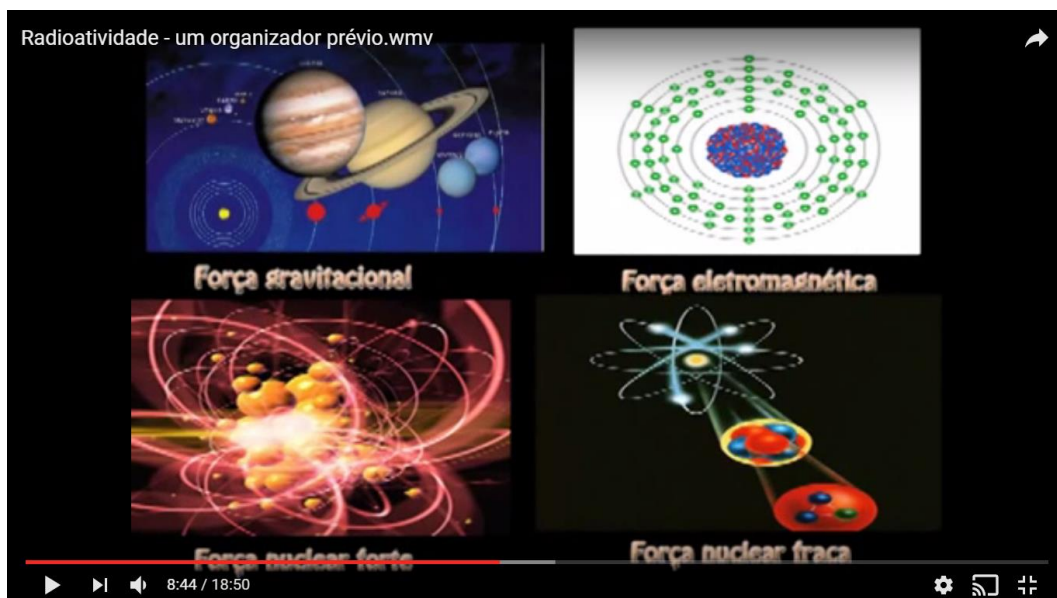
2) E no tratamento das doenças? Será que o uso da radioatividade pode trazer algum dano para os pacientes? Por quê?

3) Qual a sua opinião sobre os benefícios ou malefícios da aplicação da radioatividade em vários segmentos da sociedade?

3.2 Situações-problema

- a) Vários elementos são considerados radioativos, entre eles: cézio, urânio e outros. Em sua opinião, o que faz um elemento químico ser radioativo?
- b) Você acha que a radioatividade é prejudicial ao ser humano? Se acha que sim, como você explica o uso dela no tratamento de doenças?
- c) Você já ouviu falar sobre o uso de radiações para conservação de alimentos? Se os alimentos que são irradiados ficam contaminados, por que será que esse procedimento não foi abolido pelos órgãos competentes?
- d) Você considera que a construção de uma usina nuclear pode trazer benefícios para a sociedade? E problemas? Se uma usina nuclear pode trazer problemas para o local onde ela está instalada, por que ela é considerada uma forma de energia com pouco impacto ambiental?

Figura ??? – *Print screen* da tela do vídeo Radioatividade – um organizador prévio



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ZMEMNuTUUa0>. Acesso em: 14 nov. 2016.

3.3 Texto inicial¹⁸



Fábio Merçon e Samantha Viz Quadrat

Com o final da Segunda Guerra Mundial, alguns historiadores se debruçaram sobre a tentativa de explicar o que havia ocorrido com a humanidade nos anos do conflito. Com isto, surgiu o que chamamos de História do Tempo Presente, uma nova corrente historiográfica que se ocupa em analisar os fatos recentes. Nesse sentido, este texto – que traz o ponto de vista dos autores – se insere nessa corrente ao abordar uma questão polêmica: a utilização da energia das reações nucleares a partir da segunda metade do século XX, quando temas como o uso de armas atômicas ou a construção de usinas nucleares foram amplamente debatidos pela opinião pública. Foi uma época na qual os avanços tecnológicos passaram a se refletir em outros campos, como o político, o social, o ecológico e o econômico.

► radioatividade, energia nuclear, século XX ◀

Recebido em 06/03/03; aceito em 13/04/04

Em 1896, o cientista francês Henri Becquerel, ao estudar a relação entre substâncias fosforescentes e os raios X, observou que sais de urânio emitiam um tipo de radiação que impressionava chapas fotográficas. Posteriormente, o casal Pierre e Marie Curie descobriu que outros elementos também emitiam esse tipo de radiação, que foi batizada de radioatividade por Marie Curie (Chasot, 1995). Nas décadas seguintes, pesquisadores como Ernest Rutherford e Frederick Soddy elucidaram diversas propriedades da radioatividade e dos elementos radioativos.

Dentre as pesquisas desenvolvidas, a que proporcionou as mais marcantes aplicações foi a sobre a fissão do urânio. Em 1939, esta foi observada pelos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann e interpretada pela física austríaca Lise Meitner (Figura 1), já radicada na Suécia devido à perseguição dos nazistas. Nesse mesmo ano, o exército

alemão invadiu a Polônia, iniciando a Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Em plena guerra, Niels Bohr foi um dos primeiros cientistas aliados a tomar conhecimento de que os alemães tinham obtido a fissão do urânio. Diante da enorme quantidade de energia liberada nesse processo, Bohr temeu por seu uso em uma arma. Um fato que reforçou suas suspeitas foi uma visita recebida, em

A fissão do urânio foi observada por Otto Hahn e Fritz Strassmann, em 1939, e interpretada por Lise Meitner, homenageada pela IUPAC por meio do elemento 109, o meitnério

plena Dinamarca ocupada pelos nazistas, de seu colega alemão Werner Heisenberg, que entregou a Bohr um diagrama contendo dados sobre o programa atômico alemão (ver a sugestão de leitura no *Para saber mais*).

Em função da perseguição pelos nazistas, Bohr fugiu para os Estados Unidos, onde encontrou Albert Einstein e advertiu-o que os países do Eixo (Alemanha, Itália e Japão) tinham o conhecimento teórico para a fabricação de uma bomba. Einstein, por

sua vez, alertou o presidente norte-americano Franklin D. Roosevelt.

Posteriormente, países Aliados (Estados Unidos, França e Inglaterra) verificaram que o diagrama era de um reator inadequado. Porém, restou a dúvida se esta seria uma farsa para mascarar os progressos alemães. Segundo o historiador Eric Hobsbawm (1995, p. 509),

Em essência, hoje está claro que a Alemanha nazista não conseguiu fazer uma bomba nuclear não porque os cientistas alemães não soubessem fazê-la, ou não tentassem fazê-la, com diferentes graus de relutância, mas porque a máquina de guerra alemã não quis ou não pôde dedicar-lhe os recursos necessários. Eles abandonaram a tentativa e passaram para o que parecia uma concentração mais efetiva em termos de custos, os foguetes, que prometiam um retorno mais rápido.

Após a rendição da Alemanha, nove dos principais físicos alemães,

¹⁸ MERÇON, F.; QUADRAT S. V. A radioatividade e a história do tempo presente. *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30, 2004.



Figura 1: Lise Meitner (1878-1968), física austríaca que explicou a fissão do urânio, em foto de aproximadamente 1937, em Berlim.

dentre eles W. Heisenberg e O. Hahn, foram mantidos sob custódia na Inglaterra. Gravações secretas das conversas mantidas por esses cientistas indicaram que o programa nuclear nazista não fôra capaz de gerar um reator nuclear auto-sustentável e que esses cientistas estavam confusos sobre as diferenças entre um reator e uma bomba atômica (Klotz, 1997).

O Projeto Manhattan

Em 1941, os Estados Unidos entraram na Segunda Guerra Mundial e direcionaram sua economia para uma "guerra industrial", na qual o modo de produção em série, implantado por Henry Ford, foi direcionado para os produtos bélicos (Rémond, 1974). Diante da possibilidade dos alemães desenvolverem a bomba atômica, foi criado o Projeto Manhattan. Com custo estimado em dois bilhões de dólares, esse projeto representou a maior concentração de cientistas já reunida para trabalhar em um só tema (Strathern, 1998). Assim, cientistas de diversas nacionalidades, inclusive refugiados dos regimes nazi-fascistas, passaram a se empenhar na construção da bomba norte-americana.

Logo o investimento trouxe resultados. Em 2 de dezembro de 1942, teve início a "Era Atômica", com a operação do primeiro reator nuclear

na quadra de squash da Universidade de Chicago, construído sob a supervisão do físico italiano Enrico Fermi. A conversão da reação controlada no reator em um armamento foi realizada nos laboratórios secretos de Los Alamos (Novo México - EUA), sob o comando de J. Robert Oppenheimer. Em 16 de julho de 1945 foi realizado o primeiro teste com uma bomba atômica no deserto de Alamogordo.

Em função da enorme demonstração de potencial destrutivo, Leo Szilard enviou ao presidente dos EUA uma petição assinada por inúmeros cientistas exigindo o controle internacional das armas atômicas. Segundo Szilard (Strathern, 1998, p. 72):

O maior perigo imediato é a probabilidade de que nossa demonstração de bombas atômicas precipite uma corrida na produção desses artefatos entre os Estados Unidos e a Rússia.

Em 1945, as explosões de duas bombas atômicas levaram à rendição do Japão e ao final da Segunda Guerra Mundial. Em 6 de agosto, cerca de 80 mil pessoas morreram na explosão de uma bomba de urânio em Hiroxima. Três dias depois, outras 40 mil foram vítimas fatais de uma bomba de plutônio em Nagasaki. Esses números indicam as vítimas diretas das

explosões, não contabilizando as que vieram a falecer dos males decorrentes da radiação.

A necessidade do uso da bomba é questionada até os dias de hoje. Antes do primeiro teste nuclear, a Alemanha já havia se rendido e a derrota do Japão, apenas com o uso de armamentos convencionais, já era prevista. Entretanto, para os EUA, a bomba representou muito mais do que a vitória na guerra: foi uma demonstração de poder. Segundo o historiador Paulo G.F. Vizentini (2000, p. 199),

As bombas atômicas lançadas sobre um Japão à beira da rendição eram militarmente desnecessárias. Foram, na verdade, uma demonstração de força diante dos soviéticos e dos movimentos de libertação nacional que amadureciam na China, Coréia e países do Sudoeste Asiático.

A Guerra Fria

Como consequência da ordem mundial estabelecida no pós-guerra, teve início a Guerra Fria (1947-1989), na qual os EUA e a URSS passaram a disputar a supremacia mundial. Nessa competição, o desenvolvimento tecnológico foi usado como demonstração de prestígio e poder, e tiveram início duas corridas: armamentista e espacial.

Diante da repercussão da bomba atômica, em 1949 os soviéticos exploraram seu primeiro armamento nuclear. O seu programa nuclear, que havia sido interrompido durante os ataques nazistas, foi retomado quando

Josef Stalin tomou ciência dos possíveis avanços tecnológicos da Alemanha e dos Estados Unidos.

A capacidade dos soviéticos terem desenvolvido a bomba a partir de seus próprios recursos foi posta em cheque com a prisão de Klaus Fuchs, cientista

alemão que participou do Projeto Manhattan e que confessou ter passado informações do programa atômico norte-americano aos russos. Nos EUA, em plena época do macartismo (a "caça às bruxas comunistas"), o casal Julius e Ethel Rosenberg, intermediários na transmissão das informações fornecidas por Fuchs, foi condenado à morte.

Como os soviéticos já possuíam a bomba atômica, os EUA investiram na criação da bomba de hidrogênio (1952), sendo novamente alcançados pela URSS no ano seguinte. Por sua

Diante da possibilidade dos alemães desenvolverem a bomba atômica, os americanos criaram o Projeto Manhattan. Com custo estimado em dois bilhões de dólares, esse projeto representou a maior concentração de cientistas já reunida para trabalhar em um só tema

vez, na corrida espacial os soviéticos largaram na frente e surpreenderam seus adversários com o lançamento do Sputnik (primeiro satélite artificial – 1957) e a célebre frase “a Terra é azul”, de Yuri Gagarin (primeiro homem em órbita terrestre – 1961). Os Estados Unidos só conseguiram superar a União Soviética em 1969, com a chegada à Lua dos astronautas da Apollo XI.

Com o tempo, outros países dominaram a tecnologia e realizaram seus testes nucleares: Inglaterra (1952), França (1960) e China (1964). À medida que se ampliavam os arsenais nucleares, aumentava o risco de extinção da humanidade em uma guerra nuclear. Esse temor desencadeou a oposição da opinião pública. Campanhas pelo desarmamento e pelo fim dos testes nucleares foram lançadas em todas as partes do mundo.

Em meio a incontáveis conferências, diversos tratados antinucleares foram assinados e, muitas vezes, desrespeitados. Somente com o final da Guerra Fria e a desestruturação da União Soviética (1989), o receio do holocausto nuclear foi temporariamente amenizado.

As usinas e os acidentes nucleares

Na década de 50, o aproveitamento racional da energia nuclear possibilitou a criação das usinas nucleares. Segundo Goldemberg (1998, p. 100),

o uso da potência nuclear para a produção de eletricidade foi um subproduto do desenvolvimento dos reatores nucleares com fins militares durante e após a Segunda Guerra Mundial.

As usinas nucleares surgiram como uma fonte poderosa para atender à demanda de energia; não requeriam características geográficas específicas ou áreas extensas (como as hidrelétricas) e não utilizavam combustíveis fósseis ou poluíam a atmosfera (como as termelétricas). Mas havia os altos custos de construção e manutenção, os riscos de acidentes e os perigosos rejeitos radioativos. Na década de 80, o medo de um holocausto nuclear foi desviado das bom-

bas para acidentes nas centenas de usinas espalhadas pelo mundo.

Dois acidentes foram decisivos para o questionamento da segurança nessas usinas. O primeiro ocorreu em Three-Mile Island (EUA), em 1979, onde uma falha no sistema de refrigeração acarretou a liberação de uma quantidade de radioatividade. A rápida evacuação da população ao redor da usina evitou a ocorrência de vítimas fatais.

Em 1986, em Chernobyl (Ucrânia – URSS), o descontrole da reação provocou um incêndio no núcleo do reator e conseqüente liberação de grande quantidade de material radioativo na atmosfera. Faltando um edifício protetor, a nuvem radioativa espalhou-se pela Europa e contaminou plantações, animais e seres humanos. Os países ocidentais só tomaram ciência do acidente quando a radiação liberada acionou os alarmes de uma usina nuclear sueca, situada a 2 mil km de distância. Com o intuito de poupar seu prestígio tecnológico, o governo soviético só admitiu o acidente 48 horas após o ocorrido, fato que acabou por retardar a ajuda internacional. Devido ao lançamento de isótopos radioativos de iodo na atmosfera, na década de 1990 verificou-se um aumento substancial na incidência de câncer de tireóide em crianças nas regiões próximas ao local do acidente, na Ucrânia e em Belarus (Stone, 2001).

Em função de mobilizações populares, muitos países começaram a desativar seus programas nucleares. Nos EUA, depois de Three-Mile Island, 21 dos 125 reatores foram desligados. Na Europa, após Chernobyl, apenas três reatores foram inaugurados.

Mesmo com todos esses esforços, chegou-se ao final do século XX com 130 mil toneladas de lixo nuclear. Devido à contínua emissão de radiação, esse material deve ser isolado até que a radiação atinja níveis tole-

ráveis, o que pode levar alguns milênios. Desta forma, os atuais locais de armazenamento (minas, montanhas e subterrâneos) demonstram-se inseguros devido às incertezas quanto às condições geológicas no longo prazo (Helene, 1996).

No Brasil, a energia nuclear tam-

bém foi alvo de investimentos, que culminaram com a implantação de um complexo nuclear em Angra dos Reis (RJ), durante o regime militar. Após 23 anos de obras e um custo cinco vezes maior que o previsto, as duas primeiras unidades (Angra I e II, pois Angra III ainda está em construção) geram

2% da energia elétrica nacional.

Em 1987, o Brasil entrou para a lista dos acidentes radioativos. Em Goiânia, dois catadores de lixo encontraram uma cápsula contendo césio-137 abandonada em um hospital desativado e venderam-na para um ferrolho. O rompimento da blindagem protetora acarretou a liberação do material radioativo. Por desconhecimento da população, a livre manipulação contaminou várias dezenas de pessoas, das quais quatro faleceram nos dias seguintes. Nos anos subseqüentes, várias outras vítimas faleceram como resultado da exposição à radiação do césio.

Considerações finais

As aplicações das reações nucleares afetaram profundamente a sociedade nas décadas finais do século XX. Ao analisar as contribuições das ciências para a sociedade, Hobsbawm (1995, p. 504) afirmou que

nenhum período da história foi mais penetrado pelas ciências naturais nem mais dependente delas do que o século XX. Contudo, nenhum período, desde a retratação de Galileu, se sentiu menos à vontade com elas.

No início do século XXI, a energia

As usinas nucleares surgiram, na década de 50, como uma fonte poderosa para atender à demanda de energia; não requeriam características geográficas específicas ou áreas extensas (como as hidrelétricas) e não utilizavam combustíveis fósseis ou poluíam a atmosfera (como as termelétricas)

nuclear ainda se faz presente. As usinas respondem por 16% da energia elétrica mundial e as bombas, agora englobadas nas armas de destruição em massa, estão nas concepções bélicas de países como Israel, Índia, Paquistão e Coreia do Norte. Entretanto, é importante destacar as aplicações pacíficas da radiação, tais como: diagnóstico de doenças, esterilização de equipamentos, preservação de alimentos, datação de fósseis e artefatos históricos e uso de traçadores radioativos.

Todavia, com a diminuição dos riscos nucleares, esse tema passou a

ocupar um espaço cada vez menor na mídia e, conseqüentemente, nas discussões cotidianas. O foco ético das discussões científicas foi transferido para a genética e temas como clonagem, DNA e alimentos transgênicos foram incorporados ao nosso dia-a-dia. Um exemplo está no personagem Homem-Aranha (criado por Stan Lee e Steve Ditko) que ao ser concebido, em plena Guerra Fria (1962), obteve seus poderes ao ser picado por uma aranha radioativa. Em 2000, foi proposto um novo começo, mais adequado aos jovens do século XXI: os poderes do herói vieram de

uma aranha geneticamente modificada.

Fabio Merçon (mercon@uerj.br), licenciado em Química e engenheiro químico pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), doutor em Ciências (Engenharia Química) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), é docente do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira da UERJ e do Departamento de Tecnologia dos Processos Bioquímicos do Instituto de Química da UERJ (IQ-UERJ). **Samantha Viz Quadrat** (squadrat@zipmail.com.br), historiadora pela Universidade Federal Fluminense (UFF), mestre em História pela UFRJ e doutoranda (bolsista do CNPq) no Programa de Pós-Graduação em História da UFF, é coordenadora do Núcleo de Estudos Contemporâneos da UFF.

Referências bibliográficas

CHASSOT, A.I. Raios X e radioatividade. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 19-22, 1995.

GOLDEMBERG, J. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. Trad. A. Koch. São Paulo: Editora da USP, 1998.

HELENE, M.E.M. *A radioatividade e o lixo nuclear*. São Paulo: Scipione, 1996.

HOBSBAWM, E.J. *Era dos extremos O breve século XX: 1914 - 1991*. 2ª ed. Trad. M. Santarrita. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

KLOTZ, I.M. Captives of their fantasies: the german atomic bomb scientists. *J. Chem. Educ.*, v. 74, p. 204-209, 1997.

RÉMOND, R. *O século XX. De 1914 aos nossos dias*. Trad. O.M. Cajado. São Paulo: Cultrix, 1974.

STONE, R. Living in the shadow of Chernobyl. *Science*, v. 292, p. 420-426, 2001.

STRATHERN, P. *Oppenheimer e a bomba atômica*. Trad. M.H. Geordane. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

VIZENTINI, P.G.F. A Guerra Fria. Em: REIS FILHO, D.A. (Org.). *O Século XX*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2000.

Para saber mais

HERSEY, J. *Hiroshima*. Trad. H. Feist. São Paulo: Companhia das Letras, 2002. Esta obra relata a trajetória de seis sobreviventes ao ataque nuclear norte-americano, desde o dia do bombardeio até 40 anos mais tarde.

Peça teatral

Copenhagen, peça teatral de Michael

Frayn, no Brasil apresentada pelo grupo Amaná-Key, Desenvolvimento & Educação. Na peça, que pode ser considerada como quase uma aula de História e Filosofia das Ciências, três personagens (Niels Bohr, sua mulher Margarethe Bohr e Werner Heisenberg) se encontram em Copenhagen, às vésperas do lançamento das bombas atômicas pelos Estados Unidos, e discutem as possibilidades da Alemanha também produzir esse armamento.

Na Internet

Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN), <http://www.aben.com.br>.

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), <http://www.cnem.gov.br>.

Abstract: *Radioactivity and the Present-Time History* - With the end of World War Two, some historians dedicated themselves to the effort of explaining what had occurred with mankind in the years of the conflict. Hence, what is known as Present-Time History arose, a new historiographic current devoted to the analysis of recent facts. In this sense, this text - that brings forward the point of view of the authors - is inserted in this current, treating a polemic question: the usage of the energy from nuclear reactions starting from the second half of the 20th century, when themes such as the use of atomic arms or the construction of nuclear power plants were widely debated by the public. This was a time in which the technological advancements started to be reflected in other fields, such as the political, the social, the ecological and the economical.

Keywords: radioactivity, nuclear energy, 20th century

Assessores QNESC - 2003

Gostaríamos de agradecer aos assessores que colaboraram, ao longo de 2003, emitindo pareceres sobre os artigos submetidos para publicação em *Química Nova na Escola*:

Adhemar C. Rívolo Filho – DQ/UFSCar
Aécio P. Chagas – IQ/Unicamp
Agustina Echeverria – IQ/UFMG
Alice R.C. Lopes – FE/UERJ e UFRJ
Attico I. Chassot – Unisinos
Bernardo J. de Oliveira – UFMG
Carlos A.L. Filgueiras – IQ/UFRJ
Carlos A. Montanari – UFMG
Carol H. Collins – IQ/Unicamp
Cecília Lalue – IQ/UNESP
Eduardo B. Azevedo – UERJ
Eduardo F. Mortimer – FE/UFMG

Eduardo Peixoto – IQ/USP
Elizabeth Macedo – FE/UERJ
Fátima K.D. de Lacerda – IQ/UERJ
Francisco C. Biaggio – Faenquíl
Hélio A. Duarte – UFMG
Henrique E. Toma – IQ/USP
Irene de Mello – UFMT
Joana Mara T. Santos – IQ/UERJ
João B. Fernandes – DQ/UFSCar
José Cláudio Del Pino – IQ/UFRGS
Julio C. F. Lisboa – Gepeq/USP
Lenir B. Zanoni – Unijuí
Ligia M. M. Valente – IQ/UFRJ
Luiz Henrique Ferreira – DQ/UFSCar
Marcelo Giordan – FE/USP
Marcia S. Ferreira – FE/UFRJ
Marco-Aurelio De Paoli – IQ/Unicamp
Marco Antonio Moreira – IF/UFRGS

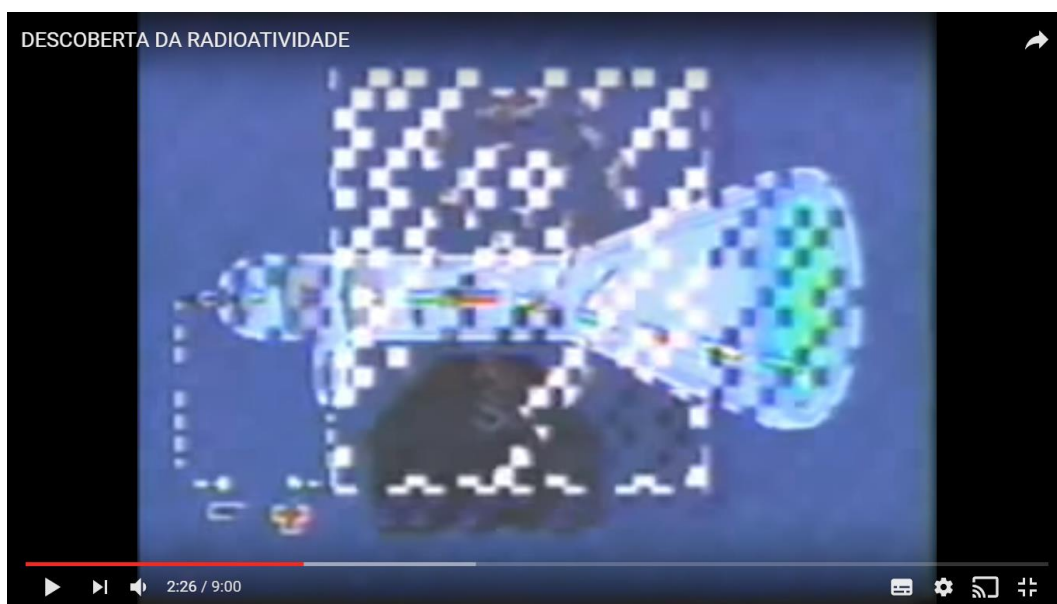
Maria Emília C. Lima – UFMG
Maria Inês P. Rosa – FE/Unicamp
Murilo C. Leal – FUNREI
Orlando Aguiar Jr. – FE/UFMG
Otávio A. Maldaner – Unijuí
Pedro C. Pinto Neto – Unicamp
Per Christian Braathen – DQ/UFV
Quézia B. Cass – DQ/UFSCar
Reinaldo C. Silva – Cefet-SC
Renato José de Oliveira – FE/UFRJ
Ricardo Ferreira – UFPE
Roberta Ziolli – PUC/RJ
Roberto R. da Silva – IQ/UnB
Rochel M. Lago – UFMG
Romeu C. Rocha Filho – DQ/UFSCar
Roseli P. Schnetzler – FE/Unimep
Wildson L. P. dos Santos – IQ/UnB

Nota

3.4 Introdução aos conceitos fundamentais

3.4.1 DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE¹⁹

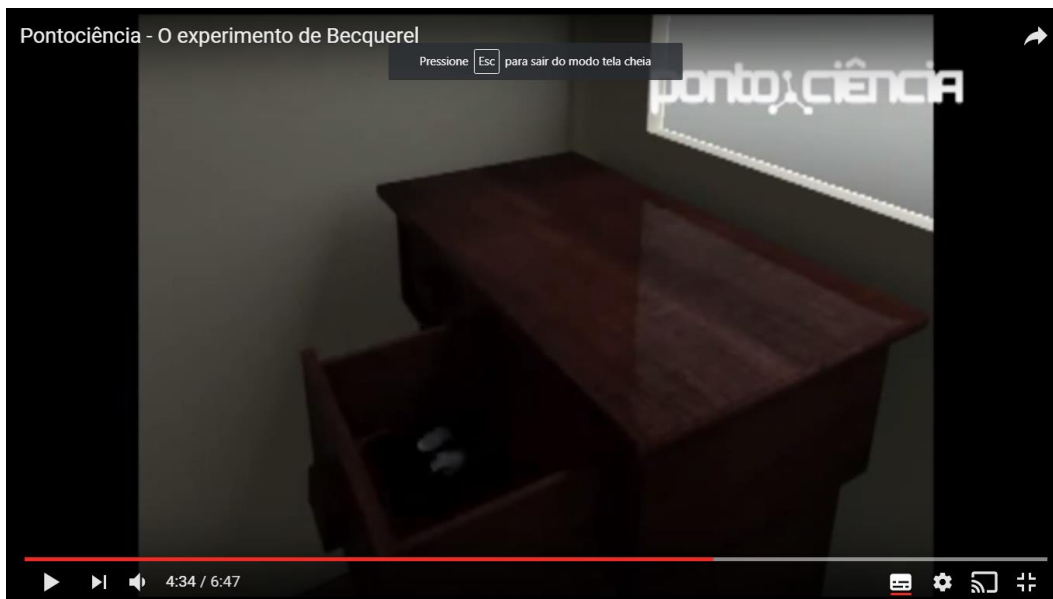
Figura ??? – *Print screen* da tela do vídeo Descoberta da radioatividade



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura ??? – *Print screen* da tela do vídeo Pontociência – o experimento de Becquerel

¹⁹ FELTRE, Ricardo. *Química*. 6 ed. Vol. 1 - Química Geral. São Paulo: Moderna, 2004



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Do-p-GdWUc0>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura ??? – *Print screen* da tela do vídeo Pontociência – alfa e beta: dois tipos de radiação



Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMmI>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Em 1896, o cientista francês Henri Becquerel descobriu que o elemento químico urânio emitia radiações semelhantes, em certos aspectos aos raios X. Esse fenômeno passou a ser conhecido como radioatividade. Posteriormente, o casal Curie descobriu radioatividade ainda mais forte nos elementos químicos polônio e rádio. Em 1898, Ernest Rutherford verificou que algumas emissões radioativas se subdividiam, quando submetidas a um campo elétrico. Desconfiou-se então de que as radiações α seriam

formadas por partículas positivas (pois são atraídas pelo pólo negativo) e mais pesadas (pois desviam menos); as partículas β seriam partículas negativas e mais lentas, e as radiações γ não teriam massa (o que só foi explicado mais tarde).

Refletindo sobre esse fenômeno, podemos concluir o seguinte: se a matéria é eletricamente neutra, seus átomos são, obrigatoriamente, neutros; conseqüentemente, a saída de partículas elétricas só será possível se esses átomos estiverem sofrendo alguma divisão.

Atualmente a radioatividade é muito usada em vários ramos da atividade humana. Em medicina, por exemplo, materiais radioativos são usados na detecção de doenças do coração, da tireóide, do cérebro etc, e também em certos tratamentos, especialmente do câncer.

3.4.2 NÚCLEO ATÔMICO²⁰

No modelo de Rutherford, o átomo não poderia ser uma estrutura estável. Os elétrons ao emitirem radiação por estarem acelerados em torno do núcleo perderiam energia e colapsariam. Nesse modelo, havia outro problema de estabilidade ligado ao núcleo do átomo. Como os prótons poderiam estar coesos em uma dimensão tão pequena se a força elétrica de repulsão entre eles era bem intensa?

O modelo de Bohr por sua vez garantiu a estabilidade dos elétrons girando em órbitas estacionárias ao redor do núcleo positivo. Mas e a estabilidade do núcleo? Nele só há cargas positivas! Um próton deve repelir bruscamente outro próton. Imagine um átomo como o oxigênio, que tem 8 prótons e 8 nêutrons em seu núcleo. Os prótons todos muito juntos devem se repelir fortemente.

Os físicos lançaram mão de outra força de interação fundamental na matéria: a força (nuclear) forte ou interação forte. Essa força age entre as partículas constituintes do núcleo, os prótons e os nêutrons, chamadas também genericamente de núcleons, por estarem presentes nos núcleos. Diferentemente de outras interações, a gravitacional, a elétrica e a magnética, a interação forte é muito intensa, mas de curtíssimo alcance. Sendo sempre atrativa, consegue manter os núcleons fortemente atraídos.

Qual o tamanho de um núcleo? A força nuclear forte é a grande responsável por determinar a dimensão do núcleo. Se imaginamos que os núcleons se atraem mútua e

²⁰ PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

fortemente por causa da força forte, podemos admitir a sua força esférica. Os experimentos revelam que o raio r do núcleo depende do número de massa A , soma do número de prótons e nêutrons, e pode ser determinado aproximadamente pela seguinte expressão:

$$r = 1,2 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{A}$$

Para que um núcleo seja estável, é preciso que a repulsão elétrica entre os prótons seja compensada pela atração nuclear entre eles e os nêutrons. Para núcleos pequenos, em geral, a estabilidade é garantida com um número de nêutrons igual ao número de prótons (o hidrogênio foge à regra, por ter apenas um próton em seu núcleo). Para núcleos maiores, o aumento do número Z de prótons deve ser acompanhado de um aumento maior do número N de nêutrons para que a estabilidade seja mantida. Há cerca de 260 núcleos de átomos estáveis e centenas de outros núcleos instáveis. Em Física, usamos uma representação gráfica útil que relaciona o número de nêutrons N em função do número de prótons Z :

$$A = Z + N$$

*Construção de um modelo de núcleo atômico*²¹

Materiais:

- 14 bolinhas de isopor com diâmetro de aproximadamente 5 cm;
- Molas espirais utilizadas para encadernação, com 6 cm de comprimento;
- Caneta hidrocor;
- Fita adesiva;

Montagem:

Com a caneta hidrocor, identifique 7 bolinhas com uma letra **P** (próton) e as outras 7 com a letra **N** (nêutron).

Assim como o núcleo atômico, nossas bolinhas devem ser organizadas de modo que fiquem grudadas umas nas outras de modo estável e coeso. Para isso, vamos representar as interações entre os núcleons da seguinte forma:

²¹ GURGEL, Ivã. NUPIC/ Faculdade de Educação – USP. In: PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

I) Força forte: viabiliza a existência do núcleo. Será representada pelas fitas adesivas entre as partículas que precisam ser unidas: prótons e prótons, prótons e nêutrons, nêutrons e nêutrons. Deve ser utilizado apenas um pequeno pedaço de fita adesiva em cada bolinha para grudar uma à outra.

II) Força elétrica: a força de repulsão entre as cargas elétricas, no caso, os prótons, será representada por uma mola colocada entre eles. A mola deverá ser comprimida para que possamos grudá-la entre as duas bolinhas que representam os prótons. Ela não será utilizada para a ligação representativa entre dois nêutrons ou entre um nêutron e um próton, pois não há repulsão entre esses pares de partículas.

Durante a montagem de nosso núcleo, conte quantas bolinhas você consegue associar de maneira coesa e estável. Na montagem do núcleo atômico, investigue as seguintes situações:

- É possível montar um núcleo apenas com prótons?
- E com a mesma quantidade de prótons e nêutrons?
- E com mais nêutrons que prótons?

Nesse procedimento e com base na reflexão das perguntas feitas, você deve ter notado que a montagem com apenas prótons não é possível, pois é instável e não é coesa. A montagem do núcleo fica mais fácil, estável e coesa com a mesma quantidade de prótons e nêutrons.

Como a montagem é mais estável com a maior quantidade de nêutrons, podemos notar a importância dessa partícula na estabilidade do núcleo atômico. Os nêutrons não têm carga elétrica e não repele o próton, mas interage por meio da força forte e contribui para a atração entre os núcleons. Nas montagens feitas, os nêutrons se ligaram sem uma mola repulsiva entre eles, o que contribuiu para a estabilidade do modelo.

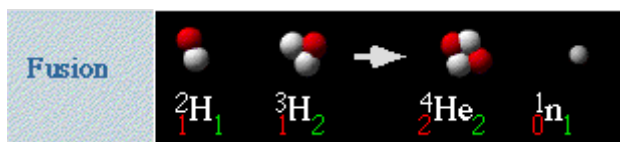
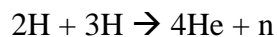
3.4.3 FUSÃO NUCLEAR²²

A fusão nuclear é um processo em que dois núcleos se combinam para formar um único núcleo, mais pesado. Um exemplo importante de reações de fusão é o processo de produção de energia no sol, e das bombas termonucleares (bomba de

²² <http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusao>

hidrogênio). Em futuros reatores de fusão nuclear a reação entre dois diferentes isótopos de hidrogênio produzindo hélio deverá ser utilizada para produção abundante de energia.

Figura ???: Fusão nuclear



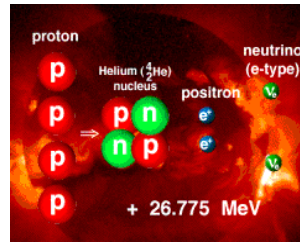
<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>. Acesso 13 abr 2017.

Esta reação libera uma quantidade de energia mais de um milhão de vezes maior que a que temos em uma típica reação química, como a queima de gás de cozinha. Esta enorme quantidade de energia é liberada nas reações de fusão porque quando dois núcleos leves se fundem, a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais. Mais uma vez, a equação de Einstein $E=mc^2$, explica que a massa perdida é convertida em energia, carregada pelo produto da fusão. Embora a fusão seja um processo energeticamente favorável (exotérmico) para núcleos leves, ele não ocorre naturalmente aqui na Terra, devido as dificuldades naturais para se aproximar os reagentes (devido a repulsão eletrostática entre os dois núcleos) para que as forças nucleares possam atuar.

Reações de fusão estão acontecendo por bilhões de anos no universo. De fato, as reações de fusão são responsáveis pela produção de energia na maioria das estrelas, incluindo o nosso sol. Cientistas na Terra foram capazes de produzir reações de fusão nuclear somente nos últimos 60 anos.

Fusão entre núcleos mais pesados são produzidas, em pequenas quantidades, corriqueiramente em aceleradores de partículas. Podemos dizer que a fusão nuclear é a base de nossas vidas, uma vez que a energia solar, produzida por esse processo é indispensável para a manutenção da vida na Terra.

Figura ???: Fusão nuclear



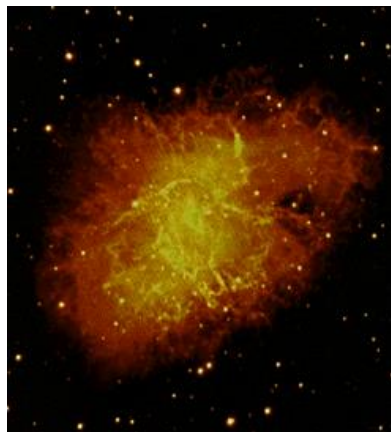
<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>. Acesso 13 abr 2017.

Quando uma estrela é formada, ela consiste inicialmente de hidrogênio e hélio criados no Big-Bang, o processo que deu origem ao universo. Devido o enorme campo gravitacional, átomos de hidrogênio na estrela colidem e fundem formando núcleos de hélio. Posteriormente o hélio, colidindo com o hidrogênio e outros núcleos de hélio, vai dando origem aos elementos mais pesados. Essas reações continuam, até que o núcleo de ferro é formado (número de massa cerca de 60).

A partir do Fe (ferro), não ocorre mais fusão na estrela pois o processo passa a ser energeticamente desfavorável. Quando uma estrela converteu uma apreciável fração de seu hidrogênio e hélio em elementos mais pesados, ela passa para a etapa final de sua vida. Algumas estrelas passam a se contrair, numa bola constituída em grande parte de ferro. Entretanto, se a massa da estrela for suficientemente grande, uma tremenda, violenta e brilhante explosão pode ocorrer.

A estrela subitamente se expande e produz, num pequeno intervalo de tempo, mais energia que o sol irá produzir em toda sua vida. Quando isso ocorre, dizemos que a estrela se tornou uma supernova. Quando a estrela está na fase supernova, muitas reações nucleares importantes acontecem.

Figura ?? - Supernova

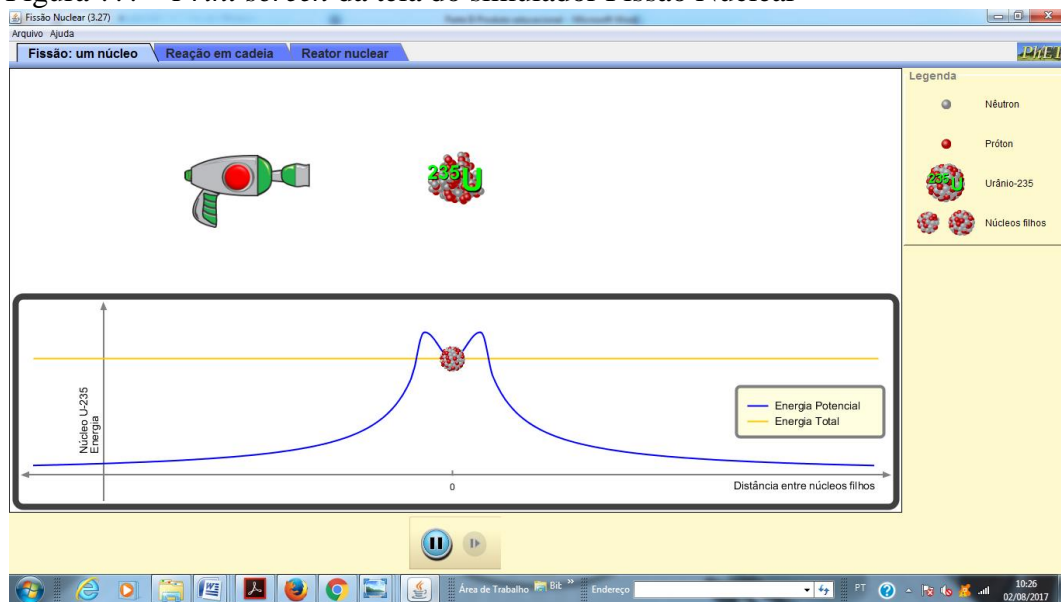


<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>. Acesso 13 abr 2017.

Na explosão, os núcleos são acelerados a velocidades muito maiores que as que eles normalmente tinham na estrela. Na nova condição, os núcleos em alta velocidade colidem e podem agora fundir, produzindo os elementos com massa maior que a do ferro. A energia extra vinda da explosão é necessária para superar a enorme força repulsiva entre os núcleos devido a carga elétrica nuclear. Elementos como chumbo, ouro e prata encontrados na Terra foram antes restos da explosão de uma supernova. O ferro que encontramos em grande parte da superfície da Terra, bem como em seu núcleo deriva-se tanto de restos de supernovas quanto de estrelas mortas.

3.4.4 FISSÃO NUCLEAR²³

Figura ??? – Print screen da tela do simulador Fissão Nuclear



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission. Acesso em: 14 nov. 2016.

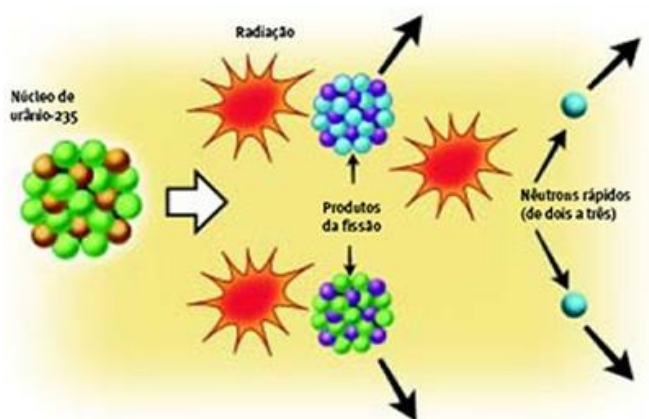
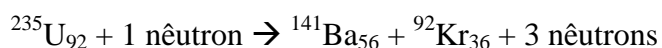
No caso das estrelas, e em particular do Sol, vimos que os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves como hélio, carbono e oxigênio, combinam-se em um processo chamado *fusão nuclear* e irradiam luz e calor. Nas reações de *fissão nuclear* , como ocorre nas usinas, temos o oposto: em vez de fundir, existe a quebra de átomos mais pesados, formados por muitos núcleons. Tanto na fusão como na fissão existe uma diminuição de massa do núcleo que é transformada em energia.

²³ PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

A fissão nuclear foi descoberta pelos físicos alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980) e nomeada pelo biólogo americano William A. Arnold pela associação com os processos biológicos de divisão celular.

A comunicação da fissão foi apresentada no dia 22 de dezembro de 1938. Um ano mais tarde, Niels Bohr e o físico estadunidense John A. Wheeler (1911-2008) desenvolveram a teoria da fissão. Uma das possíveis reações de fissão do urânio é a seguinte:

Figura ?? – Fissão nuclear



Fonte: GONÇALVES; ALMEIDA (2005)

A presença do bário, fragmento da fissão, foi identificada como produto do bombardeamento do urânio por nêutron. Esse processo é denominado fissão induzida por nêutrons.

Nesse caso, o átomo de urânio foi quebrado em duas partes: um átomo de bário e um átomo de criptônio. Nessa reação há a produção de 3×10^{-11} J, o que equivale à perda de 0,215 u.m.a ou o equivalente a $35,7 \times 10^{-26}$ g. Também há produção de muita energia a partir do uso de uma pequena quantidade de combustível nuclear.

Nessa reação, o urânio teve de ser bombardeado com nêutrons para poder se dividir. Não imagine a quebra do urânio como um impacto do nêutron, como acontece com uma vidraça sendo espatifada por uma pedra. O processo ocorre por causa da instabilidade gerada no núcleo do urânio ao receber um nêutron adicional.

Existem átomos que possuem núcleos instáveis por natureza. A fissão espontânea é muito rara; por exemplo, a fissão espontânea do urânio-238 (^{238}U) tem meia-vida igual a 10^{16} anos.

A compreensão do mecanismo da fissão nuclear e de como controlá-la foi rapidamente aplicada à construção de usinas nucleares. Nesse tipo de usina nuclear, a reação de fissão urânio-235 não contém apenas um átomo, ocorre o que chamamos *reação em cadeia*. A partir do momento em que um átomo se fissiona e libera mais nêutrons, estes reagem com outros átomos de urânio da amostra que também se fissionam. Quase instantaneamente uma grande quantidade de energia é gerada pela fissão nuclear.

Enquanto esse procedimento é incontrolável em uma bomba atômica, nas usinas há maneiras de controlar o número de fissões por segundo pela inserção de hastes de comando feitas de cádmio e boro, materiais que absorvem nêutrons. A estrutura de detenção, em geral construída de espessas paredes de concreto e barras de chumbo, é construída para impedir que os nêutrons e a radiação produzida escapem.

O processo de fissão nuclear começa no reator, e a energia liberada é utilizada para aquecer a água, que é então conduzida ao gerador de vapor. Ao esquentar e ebulir a água, o vapor produzido a alta pressão é direcionado para a turbina, que entra em movimento. Acoplado a ela, há um gerador que, ao ser acionado, produz energia elétrica. Podemos considerar as usinas nucleares semelhantes às usinas termelétricas, com exceção da fonte de energia primária, que nas usinas nucleares são reações nucleares e nas usinas termelétricas são reações químicas.

3.4.5 DECAIMENTO RADIOATIVO

Existem núcleos estáveis e instáveis e estes se desintegram espontaneamente. Porém, eles se desintegram e sobram o quê? A famosa frase de Lavoisier: “Na natureza tudo se transforma” pode ser aplicada nessa situação. Os núcleos instáveis se desintegram, mas isso não significam que somem. Eles emitem partes de seu interior transformando-se em outros núcleos. Esse processo é chamado de decaimento radioativo.

A ideia de que os átomos se transformam em outros átomos teve origem nos trabalhos de alguns cientistas dessa época.

Em 1895, o físico alemão Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923) começou a investigar as propriedades dos raios catódicos emitidos pelo tubo de Crookes. Ele

observou que, quando um feixe incidia em um alvo sólido, havia uma segunda emissão. Sem saber a natureza dessa emissão, denominou-se a de raio X. Ao estudar as propriedades desse novo tipo de radiação, elaborou experimentos que mostravam que o raio X tem grande poder de penetração, podendo passar por substâncias opacas à luz e excitar substâncias fosforescentes e fluorescentes, além de ionizar o ar.

Quando apresentou o resultado de seu trabalho, em 1896, Röntgen demonstrou como o raio X podia atravessar o corpo de uma pessoa, mas não os ossos. Aparecia então a primeira chapa de radiografia da história, com uma mão humana. No fim desse ano, mais de mil trabalhos foram publicados sobre o tema.

Röntgen recebeu em 1901 o primeiro prêmio Nobel de Física. O impacto de seu trabalho foi tremendo na Medicina, mas ele recusou todo e qualquer ganho financeiro por sua descoberta, declarando que as descobertas científicas deveriam ser distribuídas livremente para todos.

Ao tomar conhecimento da descoberta dos raios X, o físico francês Henri Becquerel (1820-1908), fascinado, no mesmo ano de 1896, estabeleceu que sais de urânio emitiam radiações análogas ao raio X e que também impressionam chapas fotográficas.

O próprio Becquerel escreveu sobre sua expectativa ao verificar os raios X emitidos por uma amostra de urânio. Essa não foi a primeira vez que se impressionaram chapas fotográficas com as radiações de sais de urânio. Trinta anos antes, Abel Niepce de Saint Victor (1805-1870) já havia feito essa mesma descoberta, mas na época ainda não existiam conhecimentos que permitissem obter conclusões sobre isso.

No decaimento radioativo, o núcleo emite partículas ou radiação (ondas eletromagnéticas). Na emissão de partículas, altera-se o número de prótons e/ou de nêutrons do núcleo atômico, transmutando o átomo original em outro átomo. Como é o número de prótons que define o nome do átomo, se esse número não se altera após a emissão, continuamos a chamá-lo pelo mesmo nome, identificando-o como isótopo por ter quantidades diferentes de nêutrons. Muitas vezes, porém, o decaimento implica a alteração do número de prótons do núcleo, que é transmutado em outro.

A transmutação é um processo natural em que um átomo radioativo se transforma espontaneamente em outro elemento por meio de três processos: decaimento α (alfa), decaimento β (beta) e fissão espontânea. Nesses processos os núcleos podem emitir quatro tipos diferentes de radiação: alfa, beta, gama e um nêutron.

Tipos de decaimento

Vamos estudar três tipos de radiação, que têm diferentes origens e podem ser diferenciados pelos desvios causados pelo campo elétrico e por seu poder de penetração.

O decaimento α

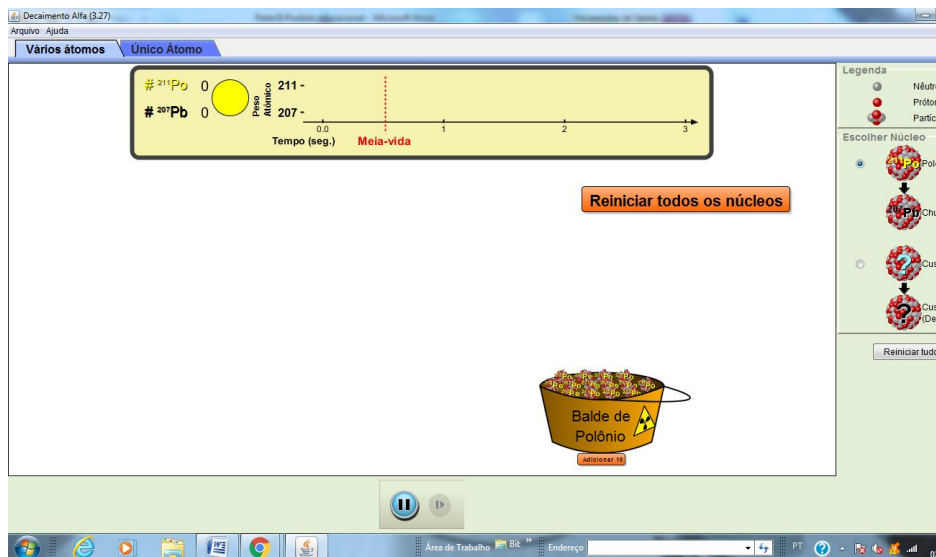
No experimento de Rutherford, as partículas α são núcleos dos átomos de hélio, ou seja, uma partícula constituída de dois prótons e dois nêutrons. No decaimento de alguns átomos radioativos, essas partículas são ejetadas do núcleo que se transforma em outro. No caso do urânio-238, o núcleo original perde dois prótons transformando-se no tório-234, com 90 prótons e 144 nêutrons.



A seta indica que o urânio, ao ejetar uma partícula α , se transformou em um átomo de tório. Avaliando o balanço energético desse decaimento, a energia final do sistema é constituída de três formas: radiação γ (onda eletromagnética de grande intensidade, alta frequência), energia cinética da partícula α e energia cinética do núcleo de tório.

O alcance das partículas α é muito pequeno, ou seja, as partículas α possuem um pequeno poder de penetração. Elas podem ser detidas por uma camada de 7 cm de ar, uma folha de papel ou uma chapa de alumínio, com 0,06 mm de espessura. Ao incidir sobre o corpo humano, são detidas pela camada de células mortas da pele, podendo, no máximo, causar queimaduras.

Figura ??? – *Print screen* da tela do simulador Decaimento Alfa



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/alpha-decay.

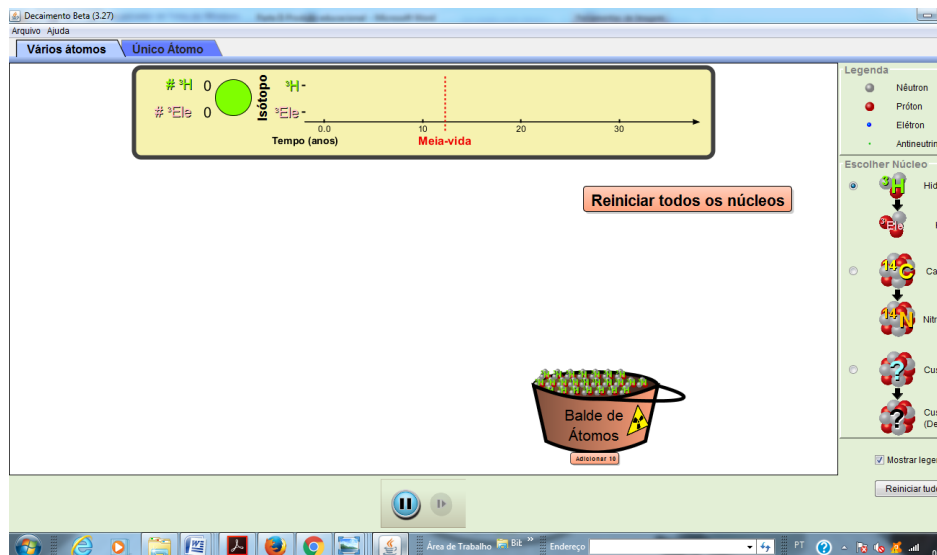
Acesso em: 14 nov. 2016.

O decaimento β

O decaimento β ocorre quando um núcleo atômico tem um número insuficiente ou excessivo de nêutrons próton, um elétron e um antineutrino. O próton permanece no núcleo, e o elétron e o antineutrino são emitidos para o interior do núcleo. O elétron emitido a elevada velocidade recebe o nome de partícula β . Note que, nesse decaimento, o núcleo “ganha” um próton e por isso é transmutado em um elemento de número atômico maior por uma unidade.

Vale notar que as partículas β podem ser tanto elétrons como pósitrons, sua antipartícula. O pósitron é uma partícula idêntica ao elétron, exceto pelo sinal de sua carga que é positiva.

Figura ??? – *Print screen* da tela do simulador Decaimento Beta



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/beta-decay. Acesso em: 14 nov. 2016.

O neutrino do elétron

O neutrino (ν) é uma partícula sem carga, proposta em 1930 por Wolfgang Pauli para explicar a aparente violação do princípio da conservação da energia em um decaimento β . Observações experimentais mostraram que a energia cinética dos elétrons emitidos no decaimento β não era compatível com a energia prevista pela teoria.

Trata-se de uma partícula leve, neutra, menor que um nêutron e que interage muito pouco com a matéria. Como não tem carga elétrica, o neutrino, nome sugerido pelo físico italiano Enrico Fermi, não era detectado pelos instrumentos de medida. Para se ter idéia do poder de penetração do neutrino, ele pode atravessar uma parede de chumbo com cerca de 50 anos-luz de espessura.

A existência dessa partícula neutra apresentou a necessidade de uma nova interação nuclear, que em 1933 Fermi denominou força fraca. Esse nome foi dado por essa força ser menos intensa que a força forte e a força eletromagnética. Além disso, ela interage de modo diferente, é conhecida durante o processo de decaimento β e atua em pequenas distâncias, da ordem de 10^{-18} m. Em 1960, uma nova teoria foi apresentada pelos físicos Sheldon L. Glashow, Steven Weinberg e Abdus Salam, em que as interações fraca e eletromagnética foram apresentadas como manifestações diferentes de uma única força, a força eletrofraca.

Por interagir fracamente com a matéria e ser uma partícula neutra, ou seja, não sensível à força eletromagnética, o neutrino foi muito difícil de ser detectado.

O decaimento γ

No decaimento γ , um núcleo em um estado excitado decai para um estado de menor energia, emitindo um fóton muito energético (alta frequência). Ao contrário do que ocorre nos decaimentos α e β , o núcleo atômico continua a ser o mesmo, não havendo transmutação.

No decaimento do cézio-137 em bário-137, por exemplo, temos duas etapas:



Na primeira etapa, o cézio é transmutado em bário pela emissão de uma partícula β^- . Sendo instável, o bário decai em radiação γ , radiação (fótons) de elevada frequência e energia.

Os raios γ são mais penetrantes que os raios X, pois possuem comprimentos de onda bem menores. Atravessam milhares de metros de ar, até 25 cm de madeira ou 15 cm de aço. São detidos por placas de chumbo com mais de 5 cm de espessura ou por grossas paredes de concreto. Um fóton de radiação γ pode perder toda, ou quase toda energia em uma única interação, e a distância que ele percorre até interagir não pode ser prevista. Esse tipo de radiação pode atravessar completamente o corpo humano, causando danos irreparáveis.

Lei do decaimento radioativo

Um ponto fundamental a respeito dos átomos radioativos é sua instabilidade. Isso indica que, por exemplo, no decaimento α de um átomo de urânio-238, este é transmutado em um átomo de tório após a ejeção da partícula α e de energia. Mas quanto tempo um átomo de urânio permanece como tal? E o tório resultante do decaimento, como é sua “vida” em relação ao urânio?

Existe uma lei geral que descreve esse tipo de decaimento e recebe o nome de *lei de desintegração radioativa* ou *lei do decaimento radioativo*. Ela foi proposta por Rutherford e trata do decaimento coletivamente e em termos estáticos. Sua formulação é:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Em que t é o tempo; N_0 é o número de partículas no instante $t = 0$; λ a constante de desintegração, igual a $\lambda = 1/\zeta$; e ζ é a *meia-vida* do elemento dada pela condição na qual $\frac{1}{2}$ dos átomos da amostra tenha decaído.

Alguns elementos são naturalmente radioativos, outros são produzidos pelo ser humano em laboratórios e também podem se desintegrar. O urânio é o exemplo mais clássico, o elemento radioativo mais pesado encontrado na natureza. A radioatividade natural acontece em três séries de átomos que geram os seguintes elementos instáveis: polônio, ástato, radônio, frâncio, rádio, actínio, tório e protactínio.

- I) O isótopo de urânio-238 ($^{238}\text{U}_{92}$) decai em outros átomos até se transformar em um isótopo estável de chumbo ($^{206}\text{Pb}_{82}$). O urânio -238 tem meia-vida de 4,5 bilhões de anos.
- II) O isótopo de urânio-235 ($^{235}\text{U}_{92}$) decai até se transformar em outro isótopo de chumbo ($^{208}\text{Pb}_{82}$). O urânio -235 tem meia-vida de 0,7 bilhão de anos.
- III) O isótopo de tório-232 ($^{232}\text{Th}_{90}$) decai até se transformar em um isótopo de chumbo ($^{208}\text{Pb}_{82}$). O de tório-232 tem meia-vida de 14 bilhões de anos.

3.5 Aprofundando os conhecimentos

3.5.1 APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE²⁴

Figura ??? – *Print screen* da tela do vídeo Método de datação por carbono 14



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M>. Acesso em: 14

²⁴ <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>

nov. 2016.

Introdução

Todos os materiais são formados por um número limitado de átomos, que, por sua vez, são caracterizados pela carga elétrica de seu núcleo e simbolizados pela letra Z. Em física, a descrição adequada do átomo para a compreensão de um determinado fenômeno depende do contexto considerado. Quanto às aplicações da energia nuclear, podemos considerar o núcleo como composto de prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga. Ambos são denominados genericamente núcleons. A letra Z que caracteriza cada um dos átomos, naturais ou artificiais, representa o número de prótons no núcleo.

A maior parte da massa do átomo está concentrada em seu núcleo, que é muito pequeno (10^{-12} cm a 10^{-13} cm). Prótons e nêutrons têm massa aproximadamente igual, da ordem de $1,67 \times 10^{-24}$ gramas, e são caracterizados por parâmetros específicos (números quânticos) definidos pela mecânica quântica, teoria que lida com os fenômenos na escala atômica e molecular.

Os prótons, por terem a mesma carga, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com que essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo. Mas, como os núcleos existem, podemos concluir que deve existir uma força de natureza diferente da força eletromagnética ou da força gravitacional – e muito mais intensa que estas – que mantém os núcleos coesos.

Quanto maior a energia de ligação média (soma de todos os valores das energias de ligação dividida pelo número de partículas), maior a força de coesão do núcleo. Este artigo irá tratar da energia nuclear, que está relacionada a essa força, bem como de seus usos na sociedade.

Tipos de radiação

Na natureza, existem 92 elementos. Cada elemento pode ter quantidades diferentes de nêutrons. Os núcleos com mesmo número de prótons, mas que diferem no número de nêutrons, são denominados isótopos de um mesmo elemento. Para determinadas combinações de nêutrons e prótons, o núcleo é estável – nesse caso, são denominados isótopos estáveis. Para outras combinações, o núcleo é instável (isótopos radioativos ou radioisótopos) e emitirá energia na forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas, até atingir a estabilidade.

Dá-se o nome genérico de radiação nuclear à energia emitida pelo núcleo. As principais formas de radiação são: i) emissão de nêutrons; ii) radiações gama, ou seja, radiação eletromagnética, da mesma natureza que a luz visível, as microondas ou os raios X, porém mais energética; iii) radiação alfa (núcleos de hélio, formados por dois prótons e dois nêutrons); iv) radiação beta (elétrons ou suas antipartículas, os pósitrons, cuja carga elétrica é positiva).

Nas ciências nucleares, a unidade de energia geralmente utilizada é o elétron-volt (eV). As energias emitidas pelo núcleo são acima de 10 mil eV, valor que é cerca de bilhões de vezes menor que o das energias com que lidamos no dia-a-dia. Esse valor se torna significativo quando lembramos que em cerca de 100 gramas de urânio existem em torno de 10^{23} átomos. Uma bomba como a de Hiroshima contém apenas 20 kg de matéria-prima, aproximadamente.

A liberação de energia do núcleo se dá através de dois processos principais: decaimento radioativo (também chamado desintegração) e fissão.

Os benefícios da energia nuclear e das radiações

Infelizmente são pouco divulgados os grandes benefícios da energia nuclear. A cada dia, novas técnicas nucleares são desenvolvidas nos diversos campos da atividade humana, possibilitando a execução de tarefas impossíveis de serem realizadas pelos meios convencionais. A medicina, a indústria, particularmente a farmacêutica, e a agricultura são as áreas mais beneficiadas. Os isótopos radioativos ou radioisótopos, devido à propriedade de emitirem radiações, têm vários usos. As radiações podem até atravessar a matéria ou serem absorvidas por ela, o que possibilita múltiplas aplicações. Mesmo em quantidades cuja massa não pode ser determinada pelos métodos químicos, a radiação por eles emitida pode ser detectada. Pela absorção da energia das radiações (em forma de calor) células ou pequenos organismos podem ser destruídos. Essa propriedade, que normalmente é altamente inconveniente para os seres vivos, pode ser usada em seu benefício, quando empregada para destruir células ou microorganismos nocivos.

A propriedade de penetração das radiações possibilita identificar a presença de um radioisótopo em determinado local.

Na pesquisa e no ambiente

A utilização de radioisótopos na pesquisa permite obter dados que seriam inviáveis por outros processos. Um grande número de processos físicos e biológicos investigativos emprega material radioativo. Na alimentação animal, por exemplo, é possível verificar e acompanhar o metabolismo de rações e outros alimentos utilizando radioisótopos que emitem radiação ao longo do processo metabólico.

Na pesquisa de plantas, os radioisótopos permitem verificar a absorção de nutrientes e o efeito de microrganismos, enquanto, no estudo de solos, possibilita observar os processos de infiltração de água no solo (lixiviação), bem como o processo de filtragem (percolação), possibilitando a verificação da qualidade do terreno estudado e das formas de melhorar sua produtividade. Vale comentar, ainda que brevemente, mais três aplicações de técnicas nucleares no meio ambiente:

i) a análise por irradiação com nêutrons, que permite medir quantidades extremamente pequenas de poluentes;

ii) o uso de traçadores radioativos para mapear a origem de vazões da água e de contaminantes, o que possibilita obter, entre outras características, o tempo de recarga de aquíferos, facilitando seu manejo e uso racional;

iii) a esterilização de lixo e dejetos orgânicos, de forma a garantir que não contenham microrganismos nocivos, é particularmente útil no tratamento de esgotos ou de lixo hospitalar.

Datação por carbono-14

Fósseis de madeira, papiros e animais contêm C-14, cuja meia-vida é de 5.600 anos. Isso significa que, a cada 5.600 anos, a atividade do C-14 é reduzida à metade. Medindo-se a proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais é possível saber a “idade” deles. Foi assim, por exemplo, que se determinou a idade dos Pergaminhos do Mar Morto.

O C-14 resulta da absorção contínua dos nêutrons dos raios cósmicos pelos átomos de nitrogênio nas altas camadas da atmosfera.

Esse isótopo radioativo do carbono se combina com o oxigênio, formando o CO₂, que é absorvido pelas plantas.

Fósseis de madeira, papiros e animais contêm C-14, cuja meia-vida é de 5.600 anos. Isso significa que, a cada 5.600 anos, a atividade do C-14 é reduzida à metade. Medindo-se a proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais é possível saber a

“idade” deles. Foi assim, por exemplo, que se determinou a idade dos Pergaminhos do Mar Morto.

Os raios-x

Os raios-X são radiações da mesma natureza da radiação gama (ondas eletromagnéticas), com características idênticas. Só diferem da radiação gama pela origem, ou seja, os raios-X não saem do núcleo do átomo. Raios-X não são energia nuclear

Os raios-X são emitidos quando elétrons, acelerados por alta voltagem, são lançados contra átomos e sofrem frenagem, perdendo energia. Não têm, pois, origem no núcleo do átomo Raios-X são energia atômica

Toda energia nuclear é atômica, porque o núcleo pertence ao átomo, mas nem toda energia atômica é nuclear.

Outro exemplo de energia atômica e não nuclear é a energia das reações químicas (liberadas ou absorvidas).

A descoberta dos raios-x

O físico alemão Roentgen (pronúncia portuguesa: rênguen) observou que saíam raios misteriosos de uma ampola de Crookes (físico inglês), capazes de atravessar folhas de papelão. Por isso, ele os chamou de raios “X” .

A ampola de Edison, que ficou conhecida como lâmpada incandescente, depois de aperfeiçoada, deu origem à ampola de Crookes, usada por Roentgen. Atualmente, a ampola mais famosa é o tubo de televisão.

A descoberta de Roentgen permitiu “fotografar” o interior de muitos objetos e o corpo humano, opacos à luz mas transparentes aos raios-X. Quando se eleva a voltagem de alimentação da ampola ou “tubo” de raios-X, eles se tornam mais penetrantes.

As primeiras aplicações dos aparelhos de raios-X ocorreram na Medicina, para diagnóstico de fraturas ósseas e, logo após, na Odontologia, para diagnóstico de canais dentários. Foram desenvolvidos aparelhos mais potentes para uso em radiografia industrial (semelhante à gamagrafia). As principais desvantagens de tais aparelhos, para a indústria, são as seguintes:

- as peças têm que ser levadas até eles, uma vez que é impraticável deslocar os aparelhos (de grande porte) e acessórios;

- depende de fonte de alimentação (energia elétrica);
- têm limitações, impostas pela forma das peças a serem radiografadas.

Os aparelhos de Raios-X não são radioativos, só emitem radiação quando estão ligados, isto é, em operação.

Em relação ao ser humano, os raios-X requerem os mesmos cuidados que a radiação gama e, por isso, não podem ser usados indiscriminadamente.

Na saúde

Uma ferramenta importante no tratamento e diagnóstico de doenças são os radiofármacos, que são obtidos a partir de radioisótopos produzidos em reatores nucleares ou em aceleradores de partículas.

Esses radioisótopos são, em geral, associados a substâncias químicas (fármacos) que se associam a órgãos ou tecidos específicos do corpo humano.

Na medicina nuclear, os radiofármacos são injetados no paciente, concentrando-se no local a ser examinado e emitindo radiação, que, por sua vez, é detectada no exterior do corpo por um detector apropriado, que pode transformar essa informação em imagens, permitindo ao médico observar o funcionamento daqueles órgãos.

Os radiofármacos são utilizados no diagnóstico de diversas patologias. Têm meia vida curta – da ordem de dias ou horas – e, em um curto período de tempo, diminuem sua atividade para níveis desprezíveis, minimizando a possibilidade de dano ao paciente. O principal material empregado em medicina nuclear é o tecnécio-99m, que tem meia-vida de seis horas, ou seja, a cada seis horas a radiação emitida cai pela metade. Outros radiofármacos são o tálio-201 (meia-vida de três dias), gálio-67 (meia-vida de três dias), iodo-131 (meia-vida de oito dias) e flúor-18 (meia-vida de duas horas). Uma técnica nova e importante na medicina nuclear é a PET (sigla, em inglês, para tomografia por emissão de pósitrons e elétrons), que utiliza radioisótopos de meia-vida muito curta e que têm como característica o decaimento com a liberação de pósitrons, sendo considerada por muitos especialistas a melhor e mais precisa forma de radiodiagnóstico por imagem disponível hoje. Esses radioisótopos são produzidos em aceleradores de partículas específicos (ciclotrons), sendo o principal produto o flúor-18, injetado no sangue do paciente na forma de fluorodeoxiglicose (FDG).

O Brasil produz esses radioisótopos no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), em São Paulo, e no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro, ambos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Devido à meia-vida

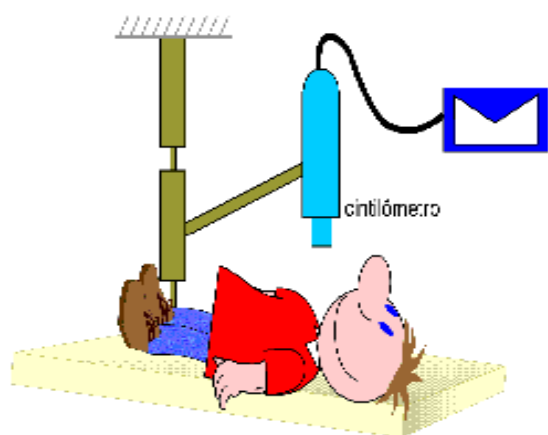
muito curta, os radiofármacos para PET devem ser produzidos próximos ao local de uso.

As radiações nucleares são utilizadas também em diversas terapias, principalmente no tratamento de câncer. Nesse caso, a irradiação das células cancerosas tem o objetivo de matá-las e impedir sua multiplicação. Uma das formas de aplicação da radiação consiste em se colocar uma fonte externa ao paciente, a uma certa distância do tumor a ser tratado (teleterapia). Tradicionalmente, utiliza-se uma fonte de cobalto-60 nesse tratamento, mas esse processo vem sendo substituído por aceleradores lineares, que produzem feixes de elétrons que, ao incidir em um alvo, geram fótons, que irão interagir com o tecido.

Outra forma de aplicação consiste em se colocar pequenas fontes em contato direto com a área do tecido a ser irradiada (braquiterapia). Essas fontes podem ser aplicadas por um determinado período de tempo e depois retiradas – como é feito, por exemplo, em tratamentos de câncer de útero – ou ser implantadas no corpo do paciente, como no tratamento de câncer de próstata. Outro uso da radiação em medicina é a irradiação de sangue com raios gama. Esse método é usado no sangue a ser ministrado em pacientes que têm deficiência imunológica. Entre outras coisas, o tratamento com a radiação diminui a quantidade de linfócitos T (células de defesa) no sangue doado, o que reduz em muito no paciente o risco de rejeição do órgão ou do tecido transplantados.

Traçadores radioativos

Figura ?? - Cintilografia



Fonte: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso 15 mar 2017.

As radiações emitidas por radioisótopos podem atravessar a matéria e, dependendo da energia que possuam, são detectadas (“percebidas”) onde estiverem, através de aparelhos apropriados, denominados detectores de radiação. Dessa forma, o deslocamento de um radioisótopo pode ser acompanhado e seu percurso ou “caminho” ser “traçado” num mapa do local. Por esse motivo, recebe o nome de traçador radioativo. Traçadores Radioativos são radioisótopos que, usados em “pequeníssimas” quantidades, podem ser “acompanhados” por detectores de radiação.

Medicina nuclear

A Medicina Nuclear é a área da medicina onde são utilizados os radioisótopos, tanto em diagnósticos como em terapias. Radioisótopos administrados a pacientes passam a emitir suas radiações do lugar (no caso, órgão) onde têm preferência em ficar. Um exemplo prático bem conhecido é o uso do iodo-131 (I-131), que emite partícula beta, radiação gama e tem meia-vida de oito dias. O elemento iodo, radioativo ou não, é absorvido pelo organismo humano preferencialmente pela glândula tireóide, onde se concentra. O funcionamento da tireóide influi muito no comportamento das pessoas e depende de como o iodo é por ela absorvido. O fato de ser radioativo não tem qualquer influência no comportamento de um elemento químico em relação aos demais elementos.

Para diagnóstico de tireoide, o paciente ingere uma solução de iodo-131, que vai ser absorvido pela glândula. “Passando” um detector pela frente do pescoço do paciente, pode-se observar se o iodo foi muito ou pouco absorvido em relação ao normal (padrão) e como se distribui na glândula. O detector é associado a um mecanismo que permite obter um “desenho” ou mapeamento, em preto e branco ou colorido, da tireóide. Um diagnóstico, no caso um radiodiagnóstico, é feito por comparação com um mapa padrão de uma tireóide normal. A mesma técnica é usada para mapeamento de fígado e de pulmão.

Os radiofármacos usados em medicina no Brasil são, em grande parte, produzidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, da CNEN, em São Paulo. O tecnécio-99 (Tc-99m) é utilizado, para obtenção de mapeamentos (cintilografia) de diversos órgãos: • cintilografia renal, cerebral, hepato-biliar (fígado), pulmonar e óssea; • diagnóstico do infarto agudo do miocárdio e em estudos circulatórios; • cintilografia de placenta.

Outro radioisótopo, o Samário-153 (Sm-153), é aplicado (injetado) em pacientes com metástase óssea, como paliativo para a dor. Esses produtos são distribuídos semanalmente pelo IPEN para os usuários.

Os radioisótopos na medicina

A radioterapia teve origem na aplicação do elemento rádio pelo casal Curie, para destruir células cancerosas, e foi inicialmente conhecida como “Curieterapia”. Posteriormente, outros radioisótopos passaram a ser usados, apresentando um maior rendimento. O iodo-131 também pode ser usado em terapia para eliminar lesões, identificadas nos radiodiagnósticos da tireóide, aplicando-se, no caso, uma dose maior do que a usada nos diagnósticos.

O iodo radioativo apresenta as características ideais para aplicação em Medicina, tanto em diagnóstico como em terapia:

- tem meia-vida curta;
- é absorvido preferencialmente por um órgão (a tireóide);
- é eliminado rapidamente do organismo;
- a energia da radiação gama é baixa.

Fontes radiativas (= fontes de radiação) de cézio-137 e cobalto-60 são usadas para destruir células de tumores, uma vez que estas são mais sensíveis à radiação do que os tecidos normais (sãos).

Um dos aparelhos de radioterapia mais conhecidos é a Bomba de Cobalto, usada no tratamento contra o câncer, e que nada tem de “bomba” (não explode). Trata-se de uma fonte radiativa de cobalto-60 (Co-60), encapsulada ou “selada” (hermeticamente fechada) e blindada, para impedir a passagem de radiação. Até bem pouco tempo, para este fim, eram utilizadas fontes de cézio-137, que foram substituídas pelas de cobalto-60, que, entre outras razões técnicas, apresentam maior rendimento terapêutico.

No momento da utilização, a fonte é deslocada de sua posição “segura”, dentro do cabeçote de proteção (feito de chumbo e aço inoxidável), para a frente de um orifício, que permite a passagem de um feixe de radiação, concentrado sobre a região a ser “tratada” ou irradiada. Após o uso, a fonte é recolhida para a posição de origem (“segura”).

Deve ficar bem claro que um objeto ou o próprio corpo, quando irradiado (exposto à radiação) por uma fonte radiativa, NÃO FICA RADIOATIVO.

É muito comum confundir-se irradiação com contaminação. A contaminação se caracteriza pela presença de um material indesejável em determinado local. A irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação.

Portanto, pode haver irradiação sem existir contaminação, ou seja, sem contato entre a fonte radiativa e o objeto ou corpo irradiado. No entanto, havendo contaminação radioativa (= presença de material radioativo), é claro que haverá irradiação do meio contaminado.

Não se deve confundir o efeito (construtivo ou destrutivo) da radiação com o fato de tornar radioativo um material, só possível por outros processos (em Reatores Nucleares ou aceleradores de partículas).

Usos na indústria

A indústria é uma das maiores usuárias das técnicas nucleares no Brasil, respondendo por cerca de 30% das licenças para utilização de fontes radioativas. Elas são empregadas principalmente para a melhoria da qualidade dos processos nos mais diversos setores industriais. As principais aplicações são na medição de espessuras e de vazões de líquidos, bem como no controle da qualidade de junções de peças metálicas. As fontes mais utilizadas são o cobalto-60, o irídio-192, o céscio-137 e o amerício-241. A facilidade de penetração da radiação em diversos materiais, bem como a variação de sua atenuação com a densidade do meio que atravessa, tornam seu uso conveniente em medidores de nível, espessura e umidade. Na indústria de papel, esses medidores são utilizados para garantir que todas as folhas tenham a mesma espessura (padrão de gramatura), para atender às exigências de qualidade do mercado mundial, enquanto, na indústria de bebidas, a radiação é usada para controle de enchimento de vasilhames.

Outro uso importante das radiações nucleares está na aplicação de traçadores radioativos. Nesse método, uma substância com material radioativo é injetada em um meio, e é feito um acompanhamento de seu comportamento nos processos que se deseja observar. Traçadores radioativos também têm sido cada vez mais utilizados para detectar problemas de vazamentos e mau funcionamento em grandes plantas da indústria química, permitindo economia de tempo e de dinheiro.

Na exploração de petróleo, fontes de nêutrons são utilizadas em processos para determinar o perfil do solo, enquanto outras podem auxiliar a distinguir, nesse processo, a quantidade de água, gás e óleo existentes no material extraído, facilitando e barateando o processo de exploração.

Cada vez mais utilizados, os irradiadores industriais são instalações com compartimentos onde o material a ser tratado é exposto à radiação que irá matar bactérias e microrganismos, podendo ser usado como um processo de esterilização. Existem no mundo hoje cerca de 160 irradiadores industriais funcionando, sendo seis no Brasil. Essas instalações são utilizadas para irradiar e esterilizar materiais cirúrgicos, remédios, alimentos, materiais de valor histórico etc.

O cobalto-60 é o material mais utilizado como fonte de radiação. A exposição à radiação gama não contamina os materiais irradiados nem os transforma em materiais radioativos. Portanto, ao cessar o processo, não existe mais radiação nos materiais.

Leva grande vantagem sobre substâncias químicas que são, às vezes, usadas para o mesmo fim e que deixam resíduos tóxicos. Também leva vantagem sobre a esterilização com calor – na qual os materiais são submetidos a altas temperaturas –, uma vez que a técnica permite a irradiação de materiais plásticos, como seringas e fios cirúrgicos, sem afetar sua integridade.

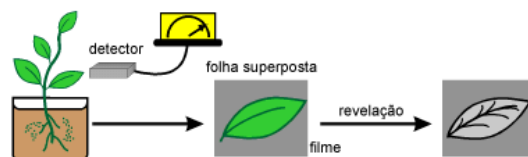
Nos alimentos para consumo humano, a radiação gama elimina microrganismos patogênicos, como a *Salmonella typhimurium*. A irradiação de frutas, além de suprimir infestações indesejadas, eleva a vida útil do produto e aumenta o tempo para seu consumo, ao contrário da desinfecção com calor, que acelera o processo de amadurecimento.

Outra aplicação na agroindústria é o uso da técnica de ‘macho estéril’ para o combate a pragas na lavoura. Nessa técnica, são produzidos machos esterilizados da praga a ser combatida e que depois são soltos na região infestada, diminuindo a população ao afetar sua capacidade de reprodução. Esse processo é usado por países como Estados Unidos, México, Guatemala e Argentina no combate à mosca-da-fruta (*Ceratitis capitata*).

No Brasil, está em implantação um projeto semelhante no Nordeste, na região de produção de mangas e uvas, com patrocínio de prefeituras, governos estadual e federal, contando com auxílio da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Aplicações na agricultura

Figura 23: Traçadores radioativos na agricultura.

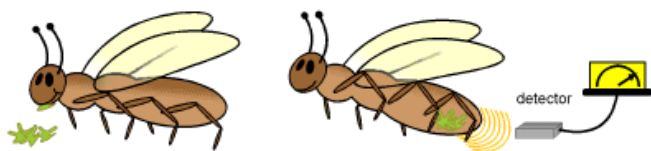


<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

É possível acompanhar, com o uso de traçadores radioativos, o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico fica retido.

Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode, também, ser “radiografada”, permitindo localizar o radioisótopo. Para isso, basta colocar um filme, semelhante ao usado em radiografias e abreugrafias, sobre a região da planta durante alguns dias e revelá-lo. Obtém-se o que se chama de auto-radiografia da planta.

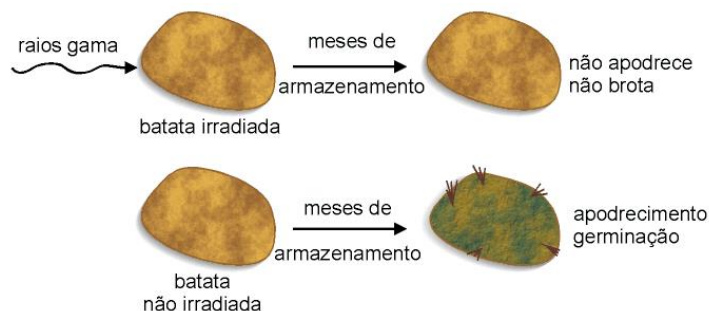
Figura ??: Traçadores radioativos nos insetos.



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

A técnica do uso de traçadores radioativos também possibilita o estudo do comportamento de insetos, como abelhas e formigas. Ao ingerirem radioisótopos, os insetos ficam marcados, porque passam a “emitir radiação”, e seu “raio de ação” pode ser acompanhado. No caso de formigas, descobre-se onde fica o formigueiro e, no caso de abelhas, até as flores de sua preferência. A “marcação” de insetos com radioisótopos também é muito útil para

Figura 25: Irradiação para conservação de alimentos.



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

eliminação de pragas, identificando qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável. Neste caso o predador é usado em vez de inseticidas nocivos à saúde.

Outra forma de eliminar pragas é esterilizar os respectivos “machos” por radiação gama e depois soltá-los no ambiente para competirem com os normais, reduzindo sua reprodução sucessivamente, até a eliminação da praga, sem qualquer poluição com produtos químicos.

Em defesa da alimentação e do meio ambiente, pode-se, também, determinar se um agrotóxico fica retido nos alimentos ou quanto vai para o solo, para a água e para a atmosfera. Ainda no campo dos alimentos, uma aplicação importante é a irradiação para a conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão. Batatas irradiadas podem ser armazenadas por mais de um ano sem murcharem ou brotarem.

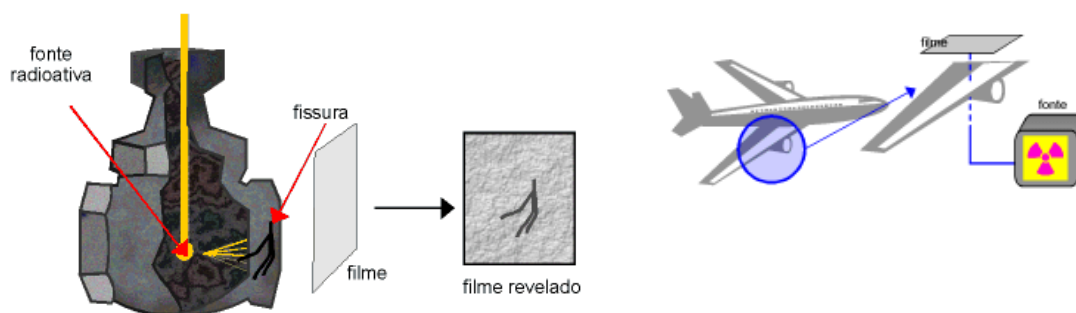
Aplicação na indústria

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial.

Gamagrafia é a impressão de radiação gama em filme fotográfico. Os fabricantes de válvulas usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças.

As empresas de aviação fazem inspeções freqüentes nos aviões, para verificar se há “fadiga” nas partes metálicas e soldas essenciais sujeitas a maior esforço (por exemplo, nas asas e nas turbinas) usando a gamagrafia. Para ter-se indicação de nível de um líquido em um tanque, coloca-se uma fonte radiativa em um dos lados e, no lado oposto, um detector ligado a um dispositivo (aparelho) de indicação ou de medição.

Figura 26: Gamagrafia industrial.



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

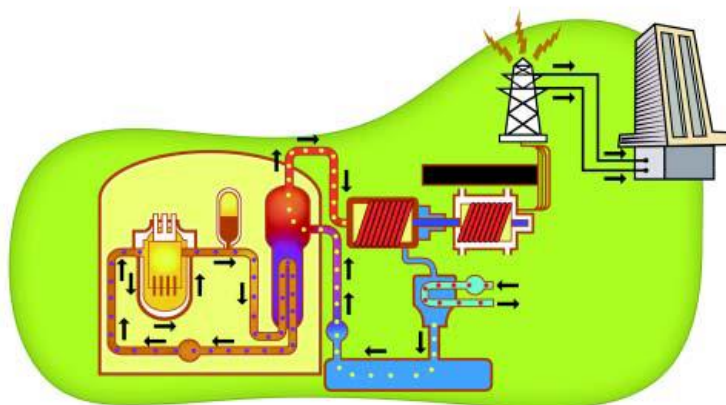
Quando o líquido alcança a altura da fonte, a maior parte da radiação emitida pela fonte é absorvida por ele e deixa de chegar ao detector, significando que o líquido atingiu aquele nível. O mesmo artifício serve para indicar um nível mínimo de líquido desejado em um tanque. Nesse caso, a fonte e o detector devem ser colocados na

posição adequada e, quando o líquido atingir esse ponto, deixará de absorver a radiação, que chegará ao detector com maior intensidade. A Indústria Farmacêutica utiliza fontes radioativas de grande porte para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável, em geral. Seria praticamente impossível esterilizar, pelos métodos convencionais que necessitam de altas temperaturas, tais materiais, que se deformariam ou se danificariam de tal forma que não poderiam ser mais utilizados.

Geração de energia

Uma das principais utilizações da energia nuclear é a geração de energia elétrica. Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para movimentar vapor de água, que, por sua vez, movimenta as turbinas em que se produzem a eletricidade. Em um reator de potência do tipo PWR (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido cerca de 3,5%.

Figura ?? – Funcionamento de uma usina nuclear



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

Isso significa que o urânio encontrado na natureza, que contém apenas 0,7% do isótopo ^{235}U , deve ser processado ('enriquecido') para que essa proporção chegue a 3,5% (figura 5). Em reatores de pesquisa ou de propulsão – estes últimos usados como fonte de energia de motores em submarinos e navios –, o enriquecimento pode variar bastante.

Para a confecção de bombas nucleares, é necessário um enriquecimento superior a 90%. O processo completo de obtenção do combustível nuclear é conhecido como

ciclo do combustível e compreende diversas etapas: i) extração do minério do solo; ii) beneficiamento para separar o urânio de outros minérios; iii) conversão em gás do produto do beneficiamento, o chamado yellow cake (ou ‘bolo amarelo’); iv) enriquecimento do gás, no qual a proporção de ^{235}U é aumentada até o nível desejado; v) reconversão do gás de urânio enriquecido para o estado de pó; vi) fabricação de pastilhas a partir da compactação do pó; vii) e finalmente a montagem dos elementos combustíveis, quando se colocam as pastilhas em cilindros metálicos que irão formar os elementos combustíveis do núcleo do reator. Atualmente, no mundo, estão em operação 440 reatores nucleares voltados para a geração de energia em 31 países. Outros 33 estão em construção. Cerca de 17% da geração elétrica mundial é de origem nuclear, a mesma proporção do uso de energia hidroelétrica e de energia produzida por gás. Alguns países desenvolvidos têm seu abastecimento de energia elétrica com um alto percentual de geração nuclear. Entre eles, a França tem 78%, a Bélgica 57%, o Japão 39%, a Coreia do Sul 39%, a Alemanha 30%, a Suécia 46%, a Suíça 40%. Somente nos Estados Unidos, os 104 reatores em funcionamento, que geram 20% da eletricidade daquele país, produzem mais eletricidade que todo o sistema brasileiro de geração elétrica. Além desses reatores, funcionam mais 284 reatores de pesquisa em 56 países, sem contar um número estimado de 220 reatores de propulsão em navios e submarinos.

Confiança e resíduos

A confiança na utilização de energia nuclear para geração de energia elétrica sofreu bastante em anos recentes devido a dois acidentes. O primeiro foi o de Three Mile Island (Estados Unidos), que, apesar de não ter tido conseqüências radiológicas significativas, levou os países ocidentais a fazer uma revisão das medidas de segurança nas usinas nucleares em funcionamento, aumentando o rigor do licenciamento nuclear. O segundo foi o de Chernobyl (Ucrânia), que lançou na atmosfera grande quantidade de material radioativo.

Enquanto Three Mile Island fez com que se aumentassem os custos das usinas nucleares em funcionamento – devido à exigência de investimentos adicionais nos sistemas de segurança, causando atraso no licenciamento dos projetos em andamento –, Chernobyl aumentou a desconfiança em relação às centrais nucleares. Não foi devidamente considerado e divulgado, entretanto, o fato de aquela usina ter projeto e dispositivos de segurança totalmente diferentes dos reatores ocidentais.

Em parte em função desses fatores, os países ocidentais passaram algum tempo para voltar a investir em centrais nucleares. A exceção foi a França, que reafirmou sua opção pela energia nuclear, tornando-se o grande exportador de energia elétrica da Europa. Mesmo sem novas usinas, entretanto, a geração nuclear elétrica aumentou, graças à maior eficiência das usinas.

Nos Estados Unidos, as empresas nucleares passaram a modernizar suas usinas e, através da troca de alguns equipamentos, estão prorrogando a vida útil dos reatores por até mais 20 anos. Já se submeteram a esse processo e conseguiram aprovação 32 usinas nucleares. Estão sendo analisadas mais 16, e cerca de 30 outras já manifestaram seu interesse pela prorrogação. A previsão é de que, nos próximos anos, cerca de 80% das usinas nucleares norte-americanas tenham sua vida útil prolongada.

Na Ásia, não houve paralisação na construção de usinas nucleares. No Ocidente, outros países estão revendo sua posição. O que se observa é uma grande mudança, com vários países voltando a considerar a energia nuclear como opção viável, principalmente após a verificação do efeito crítico dos poluentes emitidos por outras formas de geração de energia elétrica. A Finlândia está começando a construir o que seria a primeira usina na Europa ocidental fora da França em muitos anos. A Suécia e a Suíça se recusaram a rejeitar a opção nuclear, deixando em aberto essa possibilidade. A Alemanha e a Itália, apesar de terem feito no passado uma opção por deixar de utilizar a energia nuclear na geração elétrica, hoje utilizam energia de origem nuclear importada da França.

A Itália, em particular, já está reavaliando a questão. Vale ressaltar que, entre as formas de geração de energia, a nuclear é uma das que produzem menor volume de rejeitos e a que tem maior cuidado com o acondicionamento e guarda deles. A dificuldade com essas ações é que os rejeitos radioativos podem durar até milhares de anos e, por isso, devem ficar isolados e protegidos. O maior volume dos rejeitos corresponde àqueles de baixa e média atividade, que são os produzidos pelas áreas médica e industrial. Os rejeitos de alta atividade, provenientes dos combustíveis já utilizados das usinas nucleares, são armazenados nas próprias usinas, que contam com local adequado para armazenar todo o volume produzido em sua vida útil, até que surja solução definitiva para o problema.

Milhões de dólares vêm sendo gastos na busca de uma solução – de preferência, que torne o resíduo não radioativo e inócuo. Em todo o mundo, os depósitos de rejeitos radioativos têm que ser gerenciados e administrados pelo país, sendo controlados pelas

respectivas agências reguladoras de atividades nucleares, segundo normas nacionais e internacionais, de modo a garantir a segurança dos mesmos.

Energia nuclear no país

O Brasil tem um programa amplo de uso de energia nuclear para fins pacíficos. Cerca de 3 mil instalações estão em funcionamento, utilizando material ou fontes radioativas para inúmeras aplicações na indústria, saúde e pesquisa. No ano passado, o número de pacientes utilizando radiofármacos foi superior a 2,3 milhões, em mais de 300 hospitais e clínicas em todo o país, com um crescimento anual da ordem de 10% nos últimos 10 anos.

Novos ciclotrons, que permitem a produção de radioisótopos para o uso de técnicas nucleares avançadas, foram instalados em São Paulo e no Rio de Janeiro – a CNEN irá instalar, nos próximos anos, ciclotrons em Belo Horizonte e Recife, para tornar disponível essa tecnologia à população dessas regiões.

A produção de radioisótopos por reatores também tem aumentado, graças à modernização dos equipamentos e da melhoria dos métodos de produção. Novas técnicas de combate ao câncer, com maior eficácia e menos efeitos colaterais, têm surgido, fazendo aumentar a procura pelos radiofármacos, de forma que a demanda sempre supera a produção brasileira.

O uso de técnicas com materiais radioativos na indústria tem aumentado com a modernização dos equipamentos importados e com a sofisticação das técnicas de controle de processos e de qualidade. A demanda por controle de qualidade leva a indústria a utilizar cada vez mais os processos de análise não destrutiva com radiações.

Na área de geração de energia, o Brasil é um dos poucos países do mundo a dominar todo o processo de fabricação de combustível para usinas nucleares. O processo de enriquecimento isotópico do urânio por ultracentrifugação, peça estratégica dentro do chamado ciclo do combustível nuclear, é totalmente de domínio brasileiro. Hoje, o combustível utilizado nos reatores de pesquisa brasileiros pode ser totalmente produzido no país. Entretanto, comercialmente ainda fazemos a conversão e o enriquecimento no exterior. As reservas brasileiras de urânio já confirmadas são de 300 mil toneladas e estão entre as seis maiores do mundo. Em termos energéticos, mesmo com apenas uma terça parte do país prospectado, essas reservas são da mesma ordem de grandeza daquelas atualmente existentes em petróleo e seriam suficientes para manter

em funcionamento 10 reatores equivalentes aos existentes – Angra 1 e Angra 2 – por cerca de 100 anos.

O funcionamento dessas duas usinas foi importante no período de falta de energia no Brasil. O Ministério da Ciência e Tecnologia coordenou um grupo de trabalho encarregado de rever o programa nuclear e formular planos de médio prazo. O grupo apresentou um plano realista para ser executado em 18 anos e que objetiva o fortalecimento de todas as atividades, inclusive a aquisição de novos reatores para chegar em 2022 com, pelo menos, a mesma participação nuclear (4%) na matriz energética brasileira. A proposta encontra-se em análise na presidência da República.

A segurança

A geração de eletricidade por reatores nucleares é uma das áreas tecnológicas que mais se preocupam com a segurança. Prova dessa segurança é que, entre todos os reatores em funcionamento, o único acidente com vítimas foi o de Chernobyl, onde as condições de segurança eram notadamente insipientes.

A segurança nuclear é constantemente aperfeiçoada, sendo fruto de um esforço internacional, com projetos e sistemas cada vez mais seguros e confiáveis, procurando reduzir as possibilidades de falhas e acidentes com conseqüências. Os novos aperfeiçoamentos são introduzidos nos reatores mais antigos, atualizando sempre a condição de segurança. A garantia de que as experiências e novas exigências sejam estendidas a todos os países é dada pelos acordos internacionais, geridos pela AIEA. Outros acordos, destacando-se o Tratado de Não-proliferação (TNP), garantem um amplo controle que inibe a proliferação das armas nucleares e que busca a redução dos arsenais existentes.

No Brasil, esse controle é responsabilidade da CNEN, que licencia e inspeciona as instalações que utilizam material nuclear em todas as áreas, inclusive instalações médicas e industriais, para garantir que esse uso seja feito dentro das mais modernas normas de segurança. Além disso, a CNEN credencia os profissionais responsáveis pela segurança, que, por lei, devem ter um vínculo formal ou fazer parte do corpo de funcionários da instalação. Como já mencionado, toda tecnologia carrega algum risco, e acidentes podem acontecer, mas cabe à humanidade criar condições para que as vantagens superem de forma ampla e compensadora os riscos existentes. Isso é o que tem sido feito com a energia nuclear, cada vez mais segura e cada vez mais presente e indispensável em nosso cotidiano.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

D'AGOSTIN, A. Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do Ensino Médio. *Universidade estadual do Paraná*. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2008.

FELTRE, Ricardo. *Química*. 6 ed. Vol. 1 - Química Geral. São Paulo: Moderna, 2004.

GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. A energia nuclear. *Revista Ciência Hoje*.v. 37. N. 220, 2005.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*. Volume 1. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

LONGHINI, M. D. O Universo representado em uma caixa: introdução ao estudo da Astronomia na formação inicial de professores de Física. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, v. 7, p. 31-42, 2009.

LOPES, V. C. Q. Peça teatral: O sistema solar. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/?p=conteudo&pag=conteudo&idconteúdo=47&idcat=12&subcat=>> acesso em: 12 ago. 2015.

MERÇON, F; QUADRAT S. V. A radioatividade e a história do tempo presente. *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30, 2004.

MOREIRA. M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. *Aprendizagem Significativa em Revista*. Vol.1, n.2, pp 43-63, 2011.

_____. Mapas Conceituais e aprendizagem significativa. *Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Disponível em:<<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>> . Acesso em: 23 fev. 2017.

PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.1. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

_____. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

SANTOS, D. J. A.; OLIVEIRA, D. B.; OLIVEIRA, J. B.; GUIMARÃES, C. B. A Radioatividade: Uma perspectiva de contextualização na aula de Química. *XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ)* – Brasília, DF, Brasil, 2010

Sites

<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>

<http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>

<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>

<http://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua/>

<http://www.iag.usp.br/siae98/fenomastro/mares.htm>

<http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>

Apêndice A – UEPS Cosmologia

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR TÓPICOS DE COSMOLOGIA

Objetivos: Comparar as ideias do Universo geoestático de Aristóteles-Ptolomeu e heliostático de Copérnico-Galileu-Kepler. Conhecer as relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (duração do dia/noite, estações do ano, fases da lua, eclipses, marés, etc.). Reconhecer ordens de grandeza de medidas astronômicas. Compreender a relatividade do movimento. Compreender os conceitos de velocidade e aceleração associados ao movimento dos planetas. Apresentar os modelos cosmológicos modernos, em especial, a teoria do big bang como um modelo sofisticado para a evolução do Universo.

Sequência:

(Cada aula tem a duração de 50 minutos)

1. Atividades iniciais (4 aulas)

Os alunos receberão um texto com o Estudo de Caso: Origem do Universo do qual farão a leitura e apresentarão soluções para os problemas propostos. Ao término, devolverão as respostas ao professor. Em seguida, serão incentivados a representar o Universo que conhecem; bem como, a localização do planeta Terra. Essa atividade é uma adaptação de (LONGHINI, 2009) na qual os alunos divididos em cinco grupos receberão uma espécie de caixa vazada, com furos nas laterais das arestas, fio de nylon, tesoura e algumas folhas de papel em branco. Com esses materiais, eles representarão um modelo tridimensional do universo envolvendo a distribuição espacial dos astros. Ficarão livres para utilizar as folhas de papel para confeccionar os astros, os quais deverão ser inseridos nos seus “universos-caixa”. Para tal, eles poderão escolher livremente a forma de utilizar o papel, como, por exemplo, recortar, dobrar, amassar etc. Em seguida, os astros serão distribuídos pelo “universo”, empregando o fio de nylon para fixá-los nas posições que desejarem. Os fios serão presos na caixa a partir dos orifícios presentes nela, e os alunos deverão explicar onde está localizada a Terra nos modelos por eles confeccionados. Nessa atividade, entrarão em cena os conhecimentos prévios dos alunos sobre a representação da Terra e do Sol em relação ao restante do Universo. Ao final da

atividade cada grupo deverá apresentar brevemente o modelo de universo construído. Estas atividades serão realizadas em 2 aulas.

Os alunos receberão um *kit* contendo Terra, Sol, Lua e lanterna, confeccionados com materiais de baixo custo para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua e os fenômenos astronômicos como dia/noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses. Após esta atividade, eles receberão um questionário que apresentam questões referentes aos tópicos de Cosmologia presentes nesta unidade de ensino. A aplicação deste questionário também tem por objetivo sondar os conhecimentos prévios dos alunos que após o seu preenchimento, os alunos entregarão ao professor.

A partir das respostas dos alunos nas atividades propostas, o professor vai elaborar situações-problema para o próximo encontro, porém algumas questões já estão previstas, decorrentes de pesquisas sobre conhecimentos prévios sobre estes temas.

2. Situações-problema (2 aulas)

Serão entregues aos alunos, por escrito, as questões para a discussão em sala.

- a) Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?*
- b) Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?*
- c) Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?*
- d) As galáxias estão realmente se afastando umas das outras, ou é o espaço que está sendo esticado pela expansão cósmica?*

3. Introdução aos conceitos fundamentais (6 aulas)

3.1. Aula expositiva abordando desde os mitos de criação, passando pelos modelos geocêntrico e heliocêntrico até o Big Bang. Também serão apresentados os vídeos *Astronomia* (Disponível em: <https://www.youtube.com/Watch?v=0JfksHOJX5U>. Acesso em 10 out. 2016) e *Heliocentrismo* (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZzSEIdjwOE4>. Acesso em 14 nov. 2016)

Em seguida, o texto da peça teatral: *O SISTEMA SOLAR* de Vanessa Crituchi Quartin Lopes, será distribuído para que os alunos leiam e fora da classe, em grupos, elaborem um texto teatral sobre um dos tópicos da Cosmologia para ser apresentado futuramente para os colegas.

3.2. Aula expositiva sobre os fenômenos astronômicos como rotação e translação da Terra, dia e noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses e marés. Será utilizado o vídeo disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=N2wTtaJEtNY>. Acesso

em: 14 nov. 2016, sobre fases da Lua. Nessa aula, serão retomados os materiais que os alunos utilizaram para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua para que seja verificada a evolução da aprendizagem dos alunos sobre tais movimentos.

3.3. Serão apresentados aos alunos também os conceitos de velocidade, período e aceleração centrípeta, a partir dos movimentos dos planetas e satélites. Para isso, será apresentada a lei da gravitação universal. Serão estudados também o tema Ordem de grandeza das medidas astronômicas e os instrumentos que são utilizados para realizar tais medidas. Os alunos resolverão alguns exercícios sobre os conceitos estudados.

4. Aprofundando conhecimentos (2 aulas): Teoria do Big Bang

Nessa aula, serão apresentados os modelos cosmológicos modernos numa apresentação de slides e será retomada a teoria do Big Bang como um modelo sofisticado para explicar a evolução do Universo e o tema espaço-tempo, abordando a teoria da Relatividade. Será realizada a leitura e discussão do texto “Uma breve história do Universo”. NOGUEIRA, Salvador. *Astronomia: ensino fundamental e médio*. Coleção Explorando o ensino, v. 11. Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009, p. 48-52.

Em seguida, os alunos receberão o texto de Moreira (2012, p. 14) com orientações de como construir um Mapa Conceitual. Como tarefa de casa eles deveriam construir um Mapa Conceitual com os conceitos abordados no texto.

E em seguida os alunos construirão um Mapa Conceitual com os conceitos abordados no texto.

5. Avaliação somativa (2 aulas)

Antes da avaliação será retomado o estudo de caso: Origem do Universo e os alunos responderão novamente as questões propostas no mesmo, bem como as situações-problema do tópico 2. Pedir aos alunos que respondam novamente as questões com base nos novos conceitos aprendidos.

Em seguida serão propostas questões abertas, nas quais os alunos possam expressar sua compreensão dos conceitos da unidade.

6. Aula final e avaliação da aprendizagem (2 aulas)

Os alunos apresentarão nessa aula, a peça teatral que eles escreveram e prepararam durante o período desta UEPS.

Comentários finais integradores sobre o assunto abordado. Os alunos farão uma avaliação sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. As manifestações dos alunos serão respondidas em forma de questionário.

7. Avaliação da UEPS: Análise qualitativa feita pelo professor, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 20

Apêndice B – UEPS Radioatividade

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR RADIOATIVIDADE

Objetivos: Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina; Compreender que a energia nuclear pode ser obtida por processos de fissão e fusão nuclear; Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; Identificar que a energia solar é de origem nuclear; Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência, tecnologia e sociedade.

(Cada aula tem a duração de 50 minutos)

Sequência:

1. Atividade inicial (2 aulas)

Inicialmente os alunos, em grupos, serão incentivados a elaborar um mapa mental (livre) sobre os tópicos que serão trabalhados. No mapa livre os alunos terão a liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos e suas representações a partir de palavras chaves distribuídas pelo professor. Cada grupo receberá fichas com as seguintes palavras: Radioatividade – núcleos atômicos – aplicações – usinas nucleares – indústrias – agricultura – medicina – fissão nuclear – fusão nuclear – energia elétrica – decaimento radioativo – conservação de alimentos – arqueologia – usinas nucleares – bombas atômicas.

Feito isso, os alunos receberão um texto com uma estória, tratada neste contexto como um caso, do qual farão a leitura e apresentarão soluções para os problemas propostos. O objetivo é sondar os conhecimentos prévios dos alunos sobre tais questões. Ao término, eles devolverão as respostas ao professor.

2. Situações-problema iniciais (2 aulas)

Baseadas em dificuldades já apontadas em pesquisas (SANTOS, et al, 2010), relativas aos conhecimentos prévios expostos pelos alunos. Tais questões poderão ser modificadas se constatados outros erros conceituais.

- a) *Vários elementos são considerados radioativos, entre eles: cézio, urânio e outros. Em sua opinião, o que faz um elemento químico ser radioativo?*
- b) *Você acha que a radioatividade é prejudicial ao ser humano? Se acha que sim, como você explica o uso dela no tratamento de doenças?*
- c) *Você já ouviu falar sobre o uso de radiações para conservação de alimentos? Se os alimentos que são irradiados ficam contaminados, por que será que esse procedimento não foi abolido pelos órgãos competentes?*
- d) *Você considera que a construção de uma usina nuclear pode trazer benefícios para a sociedade? E problemas? Se uma usina nuclear pode trazer problemas para o local onde ela está instalada, por que ela é considerada uma forma de energia com pouco impacto ambiental?*

Estas questões deverão ser discutidas em grande grupo, sob a mediação do professor, com a intenção de ouvir a opinião do grupo, estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final. Pois espera-se que as respostas sejam construídas progressivamente em aulas posteriores, no aprofundamento dos conhecimentos.

Na sequência, apresentar o vídeo Radioatividade - um organizador prévio (Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ZMEMNuTUUa0>. Acesso em 14 nov. 2016)

Em seguida, os alunos receberão um questionário (Apêndice C) com algumas perguntas sobre o vídeo, que serão discutidas entre os alunos e professor. O questionário respondido será entregue para avaliação.

3. Revisão (2 aulas)

Iniciar a aula com uma revisão sobre o que foi visto até agora sobre a radioatividade, abrindo espaço para perguntas dos alunos.

Em seguida, distribuir cópias individuais do texto *A radioatividade e a história do tempo presente* (Fábio Merçon e Samantha Viz Quadrat, 2004, *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30;), e dar tempo aos alunos para que o leiam e, logo após, se reúnam em pequenos grupos (dois ou três participantes) para a discussão e elaboração de um esquema com a linha do tempo destacando os pontos mais importantes da história da radioatividade. Feito isso, o grupo deverá entregá-lo ao professor.

4. Introdução aos conceitos fundamentais (2 aulas)

Aula expositiva destacando pontos importantes para discussão: descoberta da radioatividade por Henri Becquerel; substâncias fosforescentes ao ser expostas ao Sol; fenômeno da luminescência; descobertas de Madame Curie. Serão introduzidos também os conceitos de força nuclear, número atômico, massa, meia-vida e vida média, fusão e fissão nuclear.

Iniciar a aula com a exibição do vídeo *Descoberta da radioatividade* (Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>. Acesso em 14 nov. 2016) e em seguida, apresentar os conteúdos em forma de slides, sendo estimuladas discussões em grupo.

Apresentar os experimentos *Radioatividade: partículas alfa e beta* (Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMmI>) e o *Experimento de Becquerel* (Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=qQlvBkJ__TQ).

A seguir, os alunos em pequenos grupos vão construir um modelo de núcleo atômico com materiais de baixo custo.

5. Aprofundando conhecimentos (6 aulas)

5.1 Retomar os conteúdos de fusão e fissão nuclear, meia vida, decaimento radioativo e transformações nucleares que dão origem à radioatividade de forma mais específica. Neste momento, o professor mostrará simulações computacionais sobre decaimento radioativo e fissão nuclear (Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission e o vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=JuWZb7YcCs4>

Para concluir, os alunos resolverão alguns exercícios relacionados aos temas estudados.

5.2 Neste momento serão apresentadas as diversas aplicações da radioatividade por meio do vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M> e suas implicações para a sociedade. Em seguida, a turma será dividida em quatro grupos. Cada grupo receberá trechos do texto (anexo F) referente a uma das aplicações da energia nuclear (1 - Na pesquisa; 2 - Na saúde; 3 - Na indústria; 4 - Geração e segurança), após leitura e discussão nos grupos, farão a exposição de uma síntese a toda à turma como forma de socialização dos temas.

5.3 Em seguida, será apresentado aos alunos um vídeo sobre o funcionamento de um reator nuclear nas usinas e os acidentes nucleares. (Disponível em https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_705230221&feature=iv&src_vid=JuWZb7YcCs4&v=EU6wUIMY1So)

Na sequência os alunos, em pequenos grupos, vão construir um mapa conceitual sobre Radioatividade. Os mapas serão apresentados ao grande grupo e todos deverão ser entregues ao professor para avaliação qualitativa.

6. Avaliação individual (2 aulas)

Serão propostas questões abertas, nas quais os alunos possam expressar sua compreensão dos conceitos da unidade e algumas questões sobre decaimento radioativo, fissão nuclear, etc.

7. Aula final e avaliação da aprendizagem (2 aulas)

Será retomado o caso: Radioatividade e os alunos responderão novamente as questões propostas no mesmo, bem como as situações-problema do tópico 2. Pedir aos alunos que respondam novamente as questões com base nos novos conceitos aprendidos. Comentários finais integradores sobre o assunto abordado.

Os alunos farão uma avaliação sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. As manifestações dos alunos serão respondidas em forma de questionário (Apêndice E)

8. Avaliação da UEPS: Análise qualitativa feita pelo professor, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 16

Apêndice C – Questionário sobre o vídeo “Radioatividade, um organizador prévio”

Após assistir ao vídeo, responda às questões abaixo:

1) Que acidentes com radioatividade são mencionados no texto?

2) Quem foi o descobridor da radioatividade? Em que ano isso ocorreu?

3) Quais são as quatro forças presentes na natureza? Qual dessas forças é responsável pelo decaimento radioativo?

4) Quais os principais elementos químicos que são usados para a produção de energia nas usinas?

5) Qual foi a finalidade do projeto Manhattan?

6) Quais as aplicações da radioatividade são mencionadas no vídeo?

7) Quais as vantagens das usinas nucleares em relação às termelétricas?

8) Que desvantagens no uso da radioatividade são enumeradas no vídeo? Que malefícios ela pode provocar?

Apêndice D– Lista de exercícios



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

Lista de Exercícios de Física

1. O que acontece com o número atômico (Z) e o número de massa (A), de um núcleo radiativo quando ele emite uma partícula alfa?

2. Determine o número atômico e o número de massa do elemento resultante, de duas etapas do processo de desintegração de urânio ${}^{235}_{92}\text{U}$;

a) em uma partícula α ;

b) em uma partícula β ;

3. (MACK-SP) Em 13 de setembro de 1987, em Goiânia, ocorreu um dos maiores acidentes radiológicos do mundo, que expôs o ambiente a 19,26g de céσιο-137, cuja meia-vida é de 30 anos. O lixo contaminado está armazenado em depósito, em Abadia de Goiás, e deverá permanecer isolado por 180 anos. Ao final desse período, qual será a massa restante do céσιο-137?

4. Sabe-se que a meia-vida do rádio 228 é de 6,7 anos. Partindo de 80g, que massa desse material radioativo restará após 33,5 anos?

5. (CEESU – 2003) As estrelas, incluindo o Sol, funcionam à custa de reações nucleares, o que significa que no seu interior, ocorre transformação de um elemento químico em outro. Como é chamada a divisão do núcleo do átomo que ocorre nas reações nucleares?

6. A liberação de energia do Sol é proveniente da fusão nuclear que converte hidrogênio em hélio. Assim a liberação dessa energia se deve à transformação de massa de repouso em energia, conforme a equação de Einstein, $E=mc^2$. Calcule o valor da energia liberada em uma estrela, numa única reação de fusão de três partículas alfa (${}^4_2\text{He}$) para formar um núcleo de carbono, ${}^{12}_6\text{C}$.

Massa de repouso da cada partícula alfa = 3728,3 MeV/ c^2

Massa de repouso do núcleo de carbono = 11 177,7 MeV/ c^2

Apêndice E – Questionário de avaliação da UEPS pelos alunos



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Turma: _____

QUESTIONÁRIO AVALIATIVO (AULAS SOBRE
RADIOATIVIDADE)

1. Qual a sua opinião sobre o tema abordado neste bimestre?

() ótimo () bom () razoável () ruim

2. O que você achou das aulas?

() ótimas () boas () razoáveis () ruins

3. Avalie, numa escala de 1 a 5, os tópicos estudados que você considerou os mais interessantes. (*Sendo 5 para o mais interessante e 1 para o conteúdo menos interessante*)

() descoberta da radioatividade

() fissão e fusão nuclear

() decaimento radioativo

() meia vida

() raios cósmicos

() aplicações da radioatividade

() usinas nucleares

4. Como você avalia o seu aprendizado dos tópicos estudados, numa escala de 1 a 5? (*Sendo 5 para o que você mais aprendeu e 1 para o que você menos aprendeu*)

() descoberta da radioatividade

() fissão e fusão nuclear

() decaimento radioativo

() meia vida

() raios cósmicos

() aplicações da radioatividade

() usinas nucleares

5. Com qual(is) estratégia(s) de ensino você mais se identificou?

() mapa mental () estudo de caso () texto () vídeo () experimento () simulação computacional () mapa conceitual ()

6. Quanto à avaliação, você considera que está de acordo com o que foi estudado? Justifique.

() sim () não

7. Você ficou satisfeito com o resultado da sua avaliação? Justifique.

() sim () não

Anexo – Como construir um mapa conceitual²⁵

1. Identifique os conceitos-chave do conteúdo que vai mapear e ponha-os em uma lista. Limite entre 6 e 10 o número de conceitos.
2. Ordene os conceitos, colocando o(s) mais geral(is), mais inclusivo(s), no topo do mapa e, gradualmente, vá agregando os demais até completar o diagrama de acordo com o princípio da diferenciação progressiva. Algumas vezes é difícil identificar os conceitos mais gerais, mais inclusivos; nesse caso é útil analisar o contexto no qual os conceitos estão sendo considerados ou ter uma ideia da situação em que tais conceitos devem ser ordenados.
3. Se o mapa se refere, por exemplo, a um parágrafo de um texto, o número de conceitos fica limitado pelo próprio parágrafo. Se o mapa incorpora também o seu conhecimento sobre o assunto, além do contido no texto, conceitos mais específicos podem ser incluídos no mapa.
4. Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras-chave que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras-chave devem sugerir uma proposição que expresse o significado da relação.
5. Setas podem ser usadas quando se quer dar um sentido a uma relação. No entanto, o uso de muitas setas acaba por transformar o mapa conceitual em um diagrama de fluxo.
6. Evite palavras que apenas indiquem relações triviais entre os conceitos. Busque relações horizontais e cruzadas.
7. Exemplos podem ser agregados ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes. Em geral, os exemplos ficam na parte inferior do mapa.
8. Geralmente, o primeiro intento de mapa tem simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos acabam mal situados em relação a outros que estão mais relacionados. Nesse caso, é útil reconstruir o mapa.
9. Talvez neste ponto você já comece a imaginar outras maneiras de fazer o mapa, outros modos de hierarquizar os conceitos. Lembre-se que não há um único modo de traçar um mapa conceitual. À medida que muda sua compreensão sobre as relações entre os conceitos, ou à medida que você aprende, seu mapa também muda. Um mapa conceitual é um instrumento dinâmico, refletindo a compreensão de quem o faz no momento em que o faz.

²⁵ <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>

10. Não se preocupe com “começo, meio e fim”, o mapa conceitual é estrutural, não sequencial. O mapa deve refletir a estrutura conceitual hierárquica do que está mapeado.

11. Compartilhe seu mapa com colegas e examine os mapas deles. Pergunte o que significam as relações, questione a localização de certos conceitos, a inclusão de alguns que não lhe parecem importantes, a omissão de outros que você julga fundamentais. O mapa conceitual é um bom instrumento para compartilhar, trocar e “negociar” significados.