

Universidade de São Paulo
Faculdade de Educação
Metodologia do Ensino da Física I

Radioatividade X Radiação

Giuliana Gonçalves n° USP: 5126375
Josué Farias n° USP: 3784651
Tatiana Gonçalves n° USP: 4897627

2008

Universidade de São Paulo
Faculdade de Educação
Metodologia do Ensino da Física I

Radioatividade X Radiação

Módulo Inovador de Ensino
entregue à Faculdade de Educação
da Universidade de São Paulo,
como exigência parcial para a
conclusão da disciplina
Metodologia do Ensino da Física I.
Professor Maurício Pietrocola

Giuliana Gonçalves nº USP: 5126375
Josué Farias nº USP: 3784651
Tatiana Gonçalves nº USP: 4897627

2008

RADIAÇÃO X RADIOATIVIDADE

Apresentação

Este módulo inovador foi pensado para apresentar aos alunos do ensino médio uma abordagem inicial sobre a Física Moderna. Para tanto, faremos uma abordagem histórica do assunto iniciando com uma breve apresentação da evolução dos modelos atômicos até os mais aceitos na atualidade.

A partir desse ponto daríamos início ao estudo da radiação e da radioatividade.

Introdução

Existem certos assuntos controvertidos, periodicamente divulgados pelos meios de comunicação, e que dizem respeito a toda população. Esta divulgação é, geralmente, motivada por algum acontecimento que trás o assunto à tona, exigindo da comunidade uma postura crítica para avaliação de suas conseqüências. A Radiação e a Radioatividade estão entre estes assuntos.

As opiniões a respeito são, geralmente, apresentadas sem o devido embasamento técnico-científico o que facilmente pode levar a erros na avaliação. Por outro lado, quando são expostos argumentos fundamentados, há certa resistência dos leitores devido à dificuldade na compreensão de certos conceitos considerados complicados e/ou pouco conhecidos.

Esta desinformação tem raízes na formação escolar do leitor. Na verdade, como regra geral, conceitos como radioatividade, não são apresentados no ensino fundamental e aparecem, às vezes, na disciplina de química do ensino médio. No terceiro grau, só são discutidos em cursos da área de ciências exatas sob seus aspectos físicos, químicos e energéticos, ficando sua interação com seres vivos para a área das ciências biomédicas.

Isto significa que um cidadão com formação superior, que não tenha escolhido qualquer uma das áreas acima mencionadas, terá, na melhor das hipóteses, visto o assunto radiação/radioatividade sob seu aspecto químico em algumas aulas no ensino médio. Assim como o cidadão que tenha somente o ensino fundamental, certamente nunca ouviu falar do assunto na escola!

E como fica a radioterapia, os danos provocados pela radiação, a proteção radiológica e tantos outros temas que dizem respeito ao dia-a-dia do indivíduo?

Somos de opinião que assuntos com esta repercussão e importância social devem ser abordados já no ensino fundamental, pois dizem respeito a cada indivíduo, que deve ser capaz de opinar, agir e decidir de acordo com uma postura ética adquirida por uma formação bem fundamentada.

Supondo que algum professor de ciências do ensino médio, queira romper este ciclo. Onde poderá ele suprir as deficiências na sua própria formação de

maneira a ter uma visão ampla do assunto para poder apresentá-la a seus alunos? A literatura a respeito é pouco acessível, geralmente especializada, e/ou em línguas estrangeiras.

Pensando neste professor, no aluno do ensino médio, no universitário das áreas das ciências humanas e sociais e nas pessoas interessadas no assunto, estruturamos um módulo de ensino inovador, bastante acessível e abrangente no sentido de referir-se a vários aspectos do tema.

Objetivo

Trazer a radiação e a radioatividade para o cotidiano dos alunos, buscado a diferenciação destas. Trabalhar com o aluno o conceito de que radiação e radioatividade não remetem somente a malefícios. E ao final colocar o aluno como um emissor de radiação, assim como todos os corpos

Público alvo

Alunos do segundo e terceiro anos do Ensino Médio.

Número de aulas

11 aulas de 50 minutos.

Conteúdo

Estrutura do átomo;

Radiação eletromagnética;

Radiação particulada;

Radioatividade;

Reações nucleares: fusão nuclear e fissão nuclear;

Tipos de radiações e suas aplicações;

Efeitos das radiações;

Todo corpo emite radiação.

Temática de interesse

As palavras **radiação** e **radioatividade** atualmente deixam todo mundo de cabelo em pé, causam temor, parecem entidades do mal. O que acontece, na verdade, é que existe uma grande ignorância das pessoas sobre o assunto e um sensacionalismo da mídia, agravado pelos filmes de ficção em que estes fenômenos são responsáveis pelos mais estranhos monstros mutantes. Mas tanto a radiação quanto a radioatividade são fenômenos naturais e convivemos com eles desde o surgimento do homem na Terra.

QUADRO SINTÉTICO

TEMA	MOMENTO	TEMPO
RADIAÇÃO	Atividade 1	1 aula
	Definição de radiação	
RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	Modelo Atômico Apresentação em PowerPoint	2 aulas
	Radiação Eletromagnética (início)	
	Radiação Eletromagnética (término)	
	Resolução e Discussão do Questionário 1	
RADIAÇÃO PARTICULADA E RADIOATIVIDADE	Contexto Histórico da Radioatividade	2 aulas
	Definição de radiação particulada	
	Reações nucleares e químicas	
	Radiações alfa, beta e gama e meia-vida Apresentação em PowerPoint	
	Applet 1	
REAÇÕES NUCLEARES	Fissão e Fusão Nuclear	1 aula
	Applets 2 e 3	
TIPOS DE RADIAÇÕES E APLICAÇÕES	Radiações não-ionizantes e ionizantes	3 aulas
	Vídeo 1	
	Radiações do espectro eletromagnético	
	Aplicações das radiações ionizantes	
	Vídeo 2	
EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES	Leitura compartilhada Texto 8	1 aula
TODO CORPO EMITE RADIAÇÃO	Atividade 2	1 aula
	Aula expositiva	
	TOTAL DE AULAS	11 aulas

DESCRIÇÃO AULA-A-AULA

AULA 1

Tema: Radiação, o que é isso?

Objetivo:

- Levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto;
- Definir radiação e radioatividade.

Recursos:

- Atividade 1: Aplicação de questionário para apreender o conhecimento prévio do aluno sobre o tema e discussão em grupo sobre as respostas obtidas.

Momento:	Duração:
Apresentação do curso	10 min.
Atividade 1: Aplicação do questionário e discussão	20 min.
Definição de Radiação e Radioatividade	20 min.

ATIVIDADE 1

Nome: _____ Nº: _____ Série: _____

Radiação / Radiotividade

Relacione as palavras abaixo com radiação e/ou radiotividade, de acordo com o seu conhecimento:

Urânio	
Infravermelho	
Raios-x	
Partículas alfa	
Luz	
Ultravioleta	
Líquido para contraste	
Ondas de rádio	
Microondas	
Raios gama	
Césio 137	

AULA 2

Tema: Introdução à radiação e modelos atômicos

Objetivo:

- Dividir radiação eletromagnética de particulada;
- Fazer uma breve apresentação histórica da evolução do modelo atômico;
- Definir a estrutura do átomo;
- Giz e lousa.

Recursos:

- Apresentação em PowerPoint 1 (gravado em cd).

Momento:	Duração:
Apresentação comentada do PowerPoint 1	50 min.

Comentário:

A apresentação em PowerPoint está preparada para que a aula seja dada acompanhando-a, de forma a colocar a importância da criação e validade dos modelos científicos. O término da aula se dá com o modelo de Rutherford-Bohr.

AULA 3

Tema: Modelo atômico e radiação eletromagnética

Objetivo:

- Definir radiação eletromagnética.

Recursos:

- Texto 1: Radiação;
- Apresentação em PowerPoint 1;
- Questionário 1;
- Giz e lousa.

Momento:	Duração:
Continuação do PowerPoint 1	30 min.
Aplicação e discussão do questionário do texto 1	20 min.

Comentário:

Continuando a apresentação em PowerPoint, explica-se a radiação eletromagnética a partir da oscilação dos elétrons nos níveis de energia, chegando ao espectro eletromagnético. O questionário visa a verificação dos conceitos apresentados.

TEXTO 1 - RADIAÇÃO

A radiação é uma forma de transmissão de energia à distância que acontece de duas maneiras diferentes: ou por meio de pequenas partículas que se deslocam com grande velocidade, ou por ondas de natureza eletromagnéticas similares a luz.

A radiação de natureza *particulada* é caracterizada por sua carga, massa e velocidade: pode ser carregada ou neutra, leve ou pesada, lenta ou rápida. Prótons, nêutrons e elétrons ejetados de átomos ou núcleos atômicos são exemplos de radiação particulada.

A radiação *eletromagnética* é constituída por campos elétricos e magnéticos variando no espaço e no tempo. É caracterizada pela amplitude (tamanho) e pela freqüência (ou, alternativamente, pelo comprimento de onda) da oscilação.

Para entendermos melhor o que é radiação teremos que olhar mais de perto a estrutura do átomo.

A estrutura do átomo

O filósofo grego Demócrito (460-370 a.C.) imaginou a matéria formada por pequenas partículas chamadas átomos. No entanto, durante séculos prevaleceram as idéias de Aristóteles (384-322 a.C.), para quem tudo no Universo era formado a partir de quatro elementos fundamentais: terra, água, ar e fogo. A partir do século XVIII houve a necessidade de vincular o trabalho experimental na química e a explicação teórica da natureza da matéria.

Uma das primeiras hipóteses para responder a essa pergunta foi elaborada por Dalton, em 1808. O átomo como uma minúscula esfera maciça, indivisível, impenetrável e indestrutível. Para ele, todos os átomos de um mesmo elemento químico são iguais, até mesmo as suas massas. Seu modelo atômico também é conhecido como "modelo da bola de bilhar".

Pesquisando os raios catódicos, o físico inglês J. J. Thomson demonstrou que os mesmos podiam ser interpretados como sendo um feixe de partículas carregadas de energia elétrica negativa, as quais foram chamadas de elétrons. Utilizando campos magnéticos e elétricos, Thomson conseguiu determinar a relação entre a carga e a massa do elétron. Ele conclui que os elétrons (raios catódicos) deveriam ser constituintes de todos os tipos de matéria, pois observou que a relação carga/massa do elétron era a mesma para qualquer gás que fosse colocado na Ampola de Crookes (tubo de vidro rarefeito no qual se faz descargas elétricas em campos elétricos e magnéticos). Com base em suas conclusões, Thomson colocou por terra o modelo do átomo indivisível e apresentou seu modelo, conhecido também como o "modelo de pudim com passas". O pudim é toda a esfera positiva e as passas são os elétrons, de carga negativa.

O modelo atômico de Rutherford é baseado nos resultados da experiência que Rutherford e seus colaboradores realizaram: bombardeamento de uma lâmina muito fina (delgada) de ouro (Au) com partículas alfa (que eram positivas).

Rutherford e seus colaboradores verificaram que, para aproximadamente cada 10.000 partículas alfa que incidiam na lâmina de ouro, apenas uma era desviada ou refletida. Com isso, concluíram que o raio do átomo era 10.000 vezes maior que o raio do núcleo. Comparando, se o núcleo de um átomo tivesse o tamanho de uma azeitona, o átomo teria o tamanho do estádio do Morumbi. Surgiu então em 1.911, o modelo do átomo nucleado, conhecido como o modelo planetário do átomo: o átomo é constituído por um núcleo central positivo, muito pequeno em relação ao tamanho total do átomo, porém, com grande massa e ao seu redor, localizam-se os elétrons com carga negativa (compondo a "enorme" eletrosfera) e com pequena massa, que neutraliza o átomo. Mas esse modelo também apresentava um problema.

Já ouvimos a seguinte frase: "Os opostos se atraem".

Partículas negativas e partículas positivas se atraem e partículas negativas com negativas se repelem. Por que isso acontece?

Toda carga elétrica tem associada a ela um campo elétrico. Podemos imaginar esse campo como a "aura" que envolve a carga. Esse campo é uma propriedade da carga. Um campo não pode ser separado de sua carga. Dessa maneira duas cargas que estão no espaço interagem. Assim como um ímã sente a presença de outro ímã que está distante dele. Pois o ímã tem um campo magnético associado a ele, de forma que a interação entre ímãs se dá através de seus campos. Existe uma profunda relação entre magnetismo e eletricidade.

Na segunda metade do século XIX, o grande físico escocês James Maxwell mostrou teoricamente que, quando uma carga elétrica está em movimento dá origem a campos elétricos e magnéticos que se propagam no espaço, irradiando-se em todas as direções e podendo alcançar grandes distâncias.

Maxwell mostrou que esses campos, ao se propagarem, sofrem reflexões, refrações e difrações, isto é, se comportam como uma onda. Não se trata, contudo, de uma onda mecânica, pois as grandezas que oscilam são campos elétricos e magnéticos, que podem se propagar mesmo no vácuo. Por essa razão, esses campos se propagando receberam a denominação de onda eletromagnética.

Um dos resultados de maior importância obtidos por Maxwell, a partir de sua teoria sobre as ondas eletromagnéticas, foi a determinação do valor da velocidade de propagação dessas ondas. Ele conseguiu deduzir que no vácuo, ou no ar, uma onda eletromagnética deveria se propagar com a velocidade de 300.000 km por segundo.

Como naquela época, a velocidade da luz no ar já havia sido determinada experimentalmente com boa precisão, Maxwell percebeu, com grande surpresa, que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética coincidia com a velocidade da luz.

Mas não há nada estranho? E a atração das Cargas?

Se o átomo é formado por partículas positivas chamadas prótons e por partículas negativas chamadas elétrons, como os prótons não atraem os elétrons?

De acordo com o modelo atômico proposto por Rutherford, os elétrons ao girarem ao redor do núcleo, com o tempo perderiam energia, e se chocariam com o mesmo.

E onde estão as ondas eletromagnéticas?

O cientista dinamarquês Niels Bohr aprimorou, em 1913, o modelo atômico de Rutherford, utilizando a teoria de Max Planck. Em 1900, Planck já havia admitido a hipótese de que a energia não seria emitida de modo contínuo, mas em "pacotes". A cada "pacote de energia" foi dado o nome de quantum. Surgiram assim, os chamados postulados de Bohr:

- Os elétrons se movem ao redor do núcleo em um número limitado de órbitas bem definidas, que são denominadas em órbitas estacionárias.
- Movendo-se de uma órbita estacionária, o elétron não emite nem absorve energia;
- Ao saltar de uma órbita para outra, o elétron emite ou absorve uma quantidade bem definida de energia, chamada quantum de energia.

Explicando melhor essa emissão de energia:

Recebendo energia (térmica, elétrica ou luminosa) do exterior, o elétron salta de uma órbita mais interna para uma mais externa, a quantidade de energia recebida é, porém, bem definida.

Porém, ao "voltar" de uma órbita mais externa para outra mais interna, o elétron emite um quantum de energia, na forma de luz ou outra radiação eletromagnética, como ultravioleta ou raios X. A esse quantum de energia emitido é dado o nome de fóton.

Estes saltos se repetem milhões de vezes por segundo, produzindo assim uma onda eletromagnética, que nada mais é do que uma sucessão de fótons de energia.

Mas, será que o movimento dos elétrons é sempre igual?

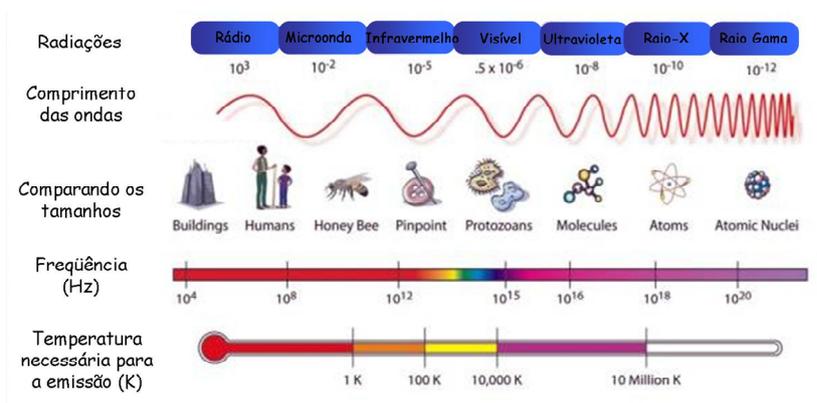
Imagine um átomo com apenas um elétron. E esse elétron começasse a se mover de um nível de energia para o outro, indo e voltando..., chamamos esse movimento de oscilação. A quantidade de vezes que ele oscila em um segundo é o que chamamos de frequência. Assim, se esse elétron oscilasse 100 mil vezes por segundo emitiria uma onda eletromagnética com uma determinada frequência. E se esse mesmo elétron aumentasse sua oscilação para 10¹³ vezes por segundo? Ele emitiria uma onda eletromagnética em outra frequência. Assim, a frequência de vibração do elétron determina a frequência da onda eletromagnética.

A unidade de medida utilizada para frequência é o Hertz (Hz), em homenagem ao físico que gerou e detectou pela primeira vez as ondas de rádio.

Essa onda eletromagnética é o salto do elétron de uma órbita para outra, sucessivamente, gerando uma onda eletromagnética.

Mas, na natureza, há vários tipos de materiais formados por diversos tipos de átomo. Muitos desses átomos possuem diferentes quantidades de elétrons. Ou seja, nesse processo de vibração podem ser geradas ondas eletromagnéticas com diferentes características.

O conjunto de ondas eletromagnéticas de diversas frequências é chamado espectro eletromagnético. Esse espectro eletromagnético vai das ondas de rádio até os raios gama, passando pelo visível. Todas as ondas que compõem o espectro eletromagnético têm a mesma velocidade de propagação no vácuo. O que as difere uma da outra são suas frequências e comprimentos de onda.



Questionário

- 1) Explique sucintamente porque foram necessárias as complementações feitas por Bohr no modelo atômico de Rutherford, explicando-as.
- 2) Como se origina uma onda eletromagnética?
- 3) O que diferencia uma onda eletromagnética de outra?
- 4) Qual das radiações do espectro eletromagnético você acha que está mais presente em seu dia-a-dia? Justifique.

AULA 4

Tema: Radiação por partícula e radioatividade

Objetivo:

- Apresentar o contexto histórico da radioatividade;
- Definir radioatividade;
- Diferenciar reações químicas e nucleares.

Recursos:

- Texto 2: Radiação por partículas e radioatividade I
- Giz e Lousa.

Momento:	Duração:
Leitura compartilhada do texto 2	50 min.

TEXTO 2 - RADIAÇÃO POR PARTÍCULAS E RADIOATIVIDADE I

De onde vem a radiação por partículas?

Para entendermos melhor o que é de onde vem a radiação por partículas teremos que voltar um pouco no tempo!

A descoberta da radioatividade

A descoberta dos raios X por Roentgen (novembro de 1895) provocou muito entusiasmo entre os cientistas daquela época. Durante uma das sessões da Academia de Ciências de Paris (Académie des Sciences, Paris), Henri Poincaré, físico francês, apresentou, com a intenção de discuti-lo, uma cópia do trabalho de Roentgen sobre a natureza dos raios X. Naquela reunião Becquerel expressou suas idéias sobre a constituição dos raios X. Seu interesse pela natureza dos mesmos assinalaria o início de uma série de experiências que levariam o físico francês a descoberta da emissão espontânea de radiações ou "radioatividade natural" pelo urânio.

Em um curto período de tempo, Becquerel apresentou uma série de trabalhos memoráveis na Academia de ciências de Paris, principalmente o último destes [Emission de radiations nouvelles para l'uranium métallique], em que comunicava ao mundo sua descoberta sobre minerais de urânio de forma detalhada.

Estes "emitiam radiações capazes de impressionar placas fotográficas e atravessar certos materiais". Em seu trabalho demonstrou que tais radiações eram capazes de "descarregar corpos carregados e penetrar substâncias opacas a luz, tais como cartão, alumínio, cobre e platina". Sem dúvida, a descoberta da emissão espontânea de radiações pelo urânio não foi tema de grande interesse para os cientistas daquela época. Os raios X prenderam a atenção de todos. Era difícil aceitar essa emissão sem causa, que não havia forma alguma para iniciá-la ou detê-la. O próprio Becquerel foi gradativamente abandonando suas investigações sobre a radioatividade natural.

O estudo da radioatividade recebeu um impulso extraordinário com os trabalhos do casal Curie (Pierre e Marie Curie) que mediante concentração de minerais de urânio, mediram a atividade dos elementos que estes continham. Anteriormente, Madame Curie havia realizado um estudo sistemático de varias substancias radioativas, assim como de certos minerais de urânio.

Em 16 de novembro de 1898 aparecia pela primeira vez a palavra radioatividade (radioactivity em inglês) na revista Nature, traduzida do francês radio-activite e usada pelo casal Curie.

Em 1898, o casal Curie descobriu os elementos radioativos polônio e rádio.

Estas substâncias, intensamente radioativas:

- 1) eram capazes de ionizar um gás,
- 2) impressionavam placas fotográficas e
- 3) produziam cintilações ou pequenos focos de luz em certas substancias, tais como o sulfeto de zinco.

Madame e Pierre Curie junto com Becquerel receberam o premio Nobel de Física por seus trabalhos sobre a radioatividade.

Mas o que é a tal da radioatividade?

Radioatividade

A Radioatividade está ligada diretamente ao núcleo do átomo, na qual ao final do processo de reação o núcleo sofre alteração. Ao contrário da reação química em que o núcleo permanece inalterado, sofrendo mudanças apenas na eletrosfera do átomo.

Por isso é importante que você perceba a diferença entre uma reação química e uma reação nuclear.

As reações químicas estão relacionadas à eletrosfera. Antes e depois delas, os átomos estão unidos de maneira diferente. Por exemplo, quando uma molécula de H_2 e uma de Cl_2 reagem para formar duas moléculas de HCl , os átomos de H , que estavam unidos entre si (na molécula H_2) e os átomos de Cl , que também estavam unidos entre si (na molécula Cl_2) passam a se unir de modo diferente: cada H estará ligado a um Cl (nas moléculas HCl).

Já uma reação nuclear, por sua vez, provocará alterações no núcleo do átomo, fazendo-o com que se transforme em outros elementos e emita raios alfa, beta e gama.

Nos fenômenos químicos, há quebra de ligações, formação de ligações, então, as chamadas alterações eletrônicas. Nos processos químicos os núcleos atômicos permanecem inalterados, os elementos químicos presentes são conservados.

Por outro lado, já no início do século XX, Rutherford e Soddy propuseram que a emissão de partículas α e β era devido à desintegração espontânea de átomos radioativos que se transformavam em um novo elemento. Essa hipótese foi bastante combatida na época, já que contrariava a idéia da indestrutibilidade do átomo.

Realmente, a radioatividade implica alterações no núcleo do átomo. Fala-se, por isso, em reações nucleares. A quantidade de energia envolvida em uma reação nuclear é muitíssimo maior do que a liberada em uma "explosiva" reação química.

Tem-se, então:

Reações químicas	Reações nucleares
Conservam os elementos químicos presentes (núcleos)	Geralmente transformam um elemento químico em outro
A reatividade química de um elemento varia com o tipo de ligação da qual ele participa, com seu número de oxidação, etc.	A reatividade nuclear de um elemento independente das ligações químicas das quais ele participa
Diferentes isótopos de um elemento têm propriedades químicas iguais	Propriedades nucleares de formas isotópicas diferentes podem ser muito diferentes
Implicam variações de energia desprezíveis em relação às dos processos nucleares	Implicam enormes variações de energia

Radiação nuclear é um tipo de radiação originada no núcleo de determinados átomos de elementos químicos que não estão estáveis.

As radiações nucleares podem ser de vários tipos, mas, principalmente: partículas alfa (α), partículas beta (β) e radiação gama (γ).

AULA 5

Tema: Radiação Alfa, Beta e Gama e Medidas da radioatividade

Objetivo:

- Definir as radiações (alfa, beta e gama);
- Definir atividade, meia-vida e as famílias radioativas.

Recursos:

- Texto 3: Radiação por partículas e radioatividade II;
- Apresentação em PowerPoint 2;
- Applet 1:
http://ciencias.huascar.edu.pe/modulos_brasil/quimica/radioatividade/Modulo/activities/TempoMeiaVida/Activity3.html ;
- Giz e lousa.

Momento:	Duração:
Apresentação comentada do PowerPoint 2	40 min.
Apresentação do Applet 1	10 min.

Comentários:

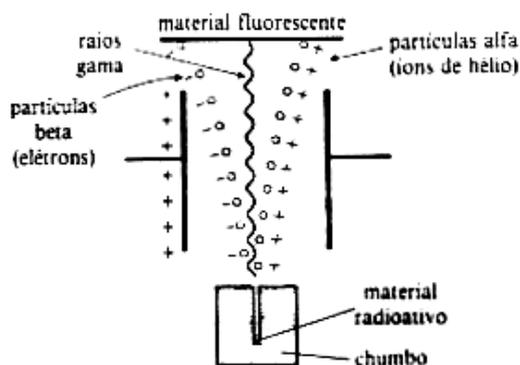
A apresentação contém imagens para a aula. O applet 1, facilita a compreensão do conteúdo aplicado. Caso haja a possibilidade da aula ocorrer em uma sala de informática, o ideal seria que cada aluno pudesse manipular o applet. Caso o professor queira desenvolver uma atividade com coleta de dados sobre o decaimento a utilização do applet poderá ser ampliada. O texto é complementar à aula e pode ser utilizado para que os alunos o leiam em casa, a pedido do professor.

Considerando a divisão inicial de radiação eletromagnética de radiação particulada, cabe ao professor explicar que a radiação gama é eletromagnética, porém tem origem no núcleo do átomo, diferentemente das demais radiações originadas na eletrosfera.

TEXTO 3 - RADIAÇÃO POR PARTÍCULAS E RADIOATIVIDADE II

Radiações (Alfa. Beta e Gama)

Os trabalhos de Rutherford ocupam novamente nossa atenção. A radioatividade, ou melhor, as radiações emitidas pelas substâncias. Em 1903, Ernest Rutherford idealizou um experimento para separar e determinar a natureza das radiações emitidas. Observe:



O material radioativo colocado no cilindro de chumbo emite radiações. As partículas α (alfa) e β (beta) são desviadas em um campo elétrico (ou em um campo magnético).

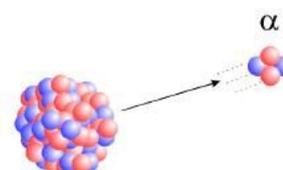
Colocando uma chapa fotográfica ou material fluorescente perpendicularmente ao feixe de radiações, encontramos três marcas devidas a três tipos de radiações:

- Radiações α , que se desviam no sentido da placa negativa;
- Radiações β , que se desviam no sentido da placa positiva; esse desvio é mais acentuado que o das partículas α ;
- Radiações γ , que não sofrem desvio; são ondas eletromagnéticas.

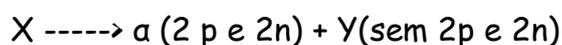
As radiações α e β são constituídas, respectivamente, de partículas α e β .

Radiação Alfa (α)

As partículas alfa são constituídas por 2 prótons e 2 nêutrons, isto é, o núcleo de átomo de hélio (He). Quando o núcleo as emite, perde 2 prótons e 2 nêutrons. Sobre as emissões alfa, foi enunciada por Soddy, em 1911, a chamada primeira lei da Radioatividade:



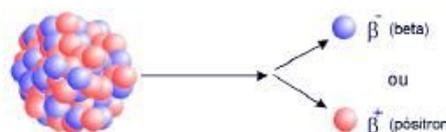
Quando um núcleo radioativo emite uma partícula alfa, seu número de massa diminui 4 unidades e seu número atômico diminui 2 unidades.



Ao perder 2 prótons o núcleo radioativo X se transforma no núcleo radioativo Y com número atômico igual a $(Y = X - 2)$.

Radiação Beta (β)

As partículas beta são elétrons emitidos pelo núcleo de um átomo instável. Você deve estar se perguntando: Como pode o núcleo emitir um elétron?



Outra forma de um núcleo atômico se estabilizar é quando existe um número bem maior de nêutrons do que de prótons. Nesse caso poderá ocorrer a transformação de um nêutron em um próton. Para esta transformação ocorrer, e a quantidade de prótons aumentar em relação à de nêutrons, é necessário que ocorra a liberação de um elétron pelo núcleo atômico. Ou seja, o núcleo atômico irá emitir, ou seja, liberar, um "elétron", ou melhor, uma sub-partícula carregada negativamente, também conhecida como partícula beta, ou beta menos, β^- .

É importante que a atenção seja voltada para o fato do "elétron" (partícula β) ser emitido pelo **núcleo** atômico, ou seja, não tem nada a ver com os elétrons da eletrosfera.

Por outro lado, quando o número de nêutrons for insuficiente para estabilizar a quantidade de prótons presentes no núcleo atômico, poderá ocorrer a transformação de um próton em um nêutron. Para esta transformação ocorrer, será necessária a liberação de uma sub-partícula positiva do núcleo atômico. Será emitida uma partícula beta positiva, β^+ , também, conhecida, como pósitron.

Assim ao emitir uma partícula beta, o núcleo tem a diminuição de um nêutron e o aumento de um próton. Desse modo, o número de massa permanece constante.

A segunda lei da radioatividade, enunciada por Soddy, Fajjans e Russel, em 1913, diz que:

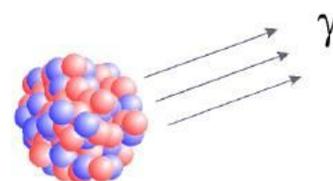
Quando um núcleo radioativo emite uma partícula beta, seu número de massa permanece constante e seu número atômico aumenta 1 unidade:



Ao ganhar 1 próton o núcleo radioativo X se transforma no núcleo radioativo Y com número atômico igual a ($Y = X + 1$)

Radiação gama (γ)

Ao contrário das radiações alfa e beta, que são constituídas por partículas, a radiação gama é formada por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos instáveis logo em seguida à emissão de uma partícula alfa ou beta.



Tomemos como exemplo o céσιο-137, o beta emissor envolvido no acidente de Goiânia. Ao emitir uma partícula beta, seus núcleos se transformam em bário-137. No entanto, pode acontecer de, mesmo com a emissão, o núcleo resultante não eliminar toda a energia de que precisaria para se estabilizar. A emissão de uma onda eletromagnética (radiação gama) ajuda um núcleo instável a se estabilizar. É importante dizer que, das várias ondas eletromagnéticas (radiação gama, raio X,

microondas, luz visível, etc.), apenas os raios gama são emitidos pelos núcleos atômicos.

É importante que seja observado que a radiação gama é neutra, mas não tem relação alguma com os nêutrons, que também são neutros, ou seja, radiação gama não é nêutron. Mesmo porque, quando um núcleo atômico emite nêutrons, esta radiação (de partículas) é denominada de feixe de nêutrons.

Medidas da radioatividade

Os nossos órgãos dos sentidos não são capazes de detectar a radiação, e por isso a importância de se conhecer bem todos os tipos de radiação, como medí-las, como se comportam, para assim podermos utilizá-las da melhor maneira possível, aproveitando todos os seus benefícios, de forma controlada e adequada.

Atividade

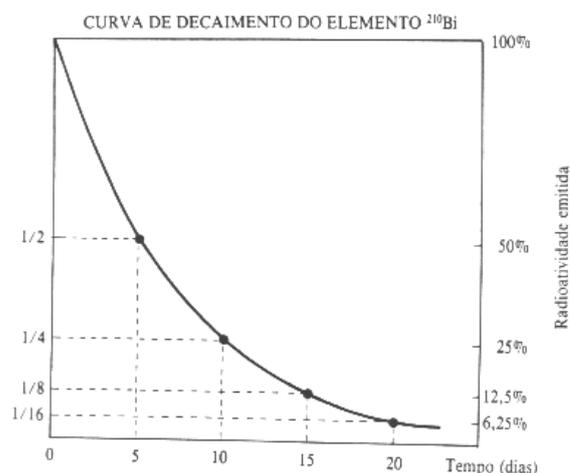
Chama-se atividade de um material radioativo o número de desintegrações por unidade de tempo (em geral segundo), ou seja, a velocidade de desintegração do isótopo radioativo num certo momento.

A unidade que mede a atividade chama-se Curie, em homenagem a Marie Curie. A unidade internacional mais recente para a atividade é o Becquerel (Bq), que é igual a uma desintegração por segundo. A relação entre Ci e Bq é:

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Bq}$$

Meia-vida

O conceito de meia-vida física é útil e de fácil compreensão. Sabe-se que um isótopo emite continuamente radiação tentando alcançar a estabilidade. A sua atividade vai caindo, isto se chama decaimento, e isto ocorre exponencialmente. A cada período de tempo T , a atividade cai pela metade.



Assim, meia-vida é o tempo (t) necessário para que a atividade do radioisótopo fique reduzida à metade.

A seguir vão alguns exemplos de meia-vida de alguns isótopos radioativos muito usados em medicina:

RÁDIO 226.....	1602 anos
CÉSIO 137.....	30 anos
ESTRÔNCIO 90.....	28 anos
COBALTO 60.....	5,3 anos
IRÍDIO 192.....	74 dias
IODO 131.....	8 dias
OURO 198.....	2,7 dias

Como visto nos exemplos acima, a meia-vida pode ser rápida ou muito longa, e é por isso que a questão do lixo atômico é um grande problema, pois pode demorar muitos anos para perder o efeito.

"Meia-vida, portanto, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial."

Famílias Radioativas

Na natureza existem elementos radioativos que realizam transmutações ou "desintegrações" sucessivas, até que o núcleo atinja uma configuração estável. Isso significa que, após um decaimento radioativo, o núcleo não possui, ainda, uma organização interna estável e, assim, ele executa outra transmutação para melhorá-la e, ainda não conseguindo, prossegue, até atingir a configuração de equilíbrio.

Em cada decaimento, os núcleos emitem radiações dos tipos alfa, beta e/ou gama e cada um deles é mais "organizado" que o núcleo anterior. Essas seqüências de núcleos são denominadas

"Séries Radioativas ou Famílias Radioativas Naturais"

No estudo da radioatividade, constatou-se que existem apenas 3 séries ou famílias radioativas naturais, conhecidas como *Série do Urânio*, *Série do Actínio* e *Série do Tório*.

A Série do Actínio, na realidade, inicia-se com o urânio-235 e tem esse nome, porque se pensava que ela começava pelo actínio-227. As três séries naturais terminam em isótopos estáveis do chumbo, respectivamente, *chumbo-206*, *chumbo-207* e *chumbo-208*.

Alguns elementos radioativos têm meia-vida muito longa, como, por exemplo, os elementos iniciais de cada série radioativa natural (urânio-235, urânio-238 e tório-232).

Dessa forma, é possível explicar, porque há uma porcentagem tão baixa de urânio-235 em relação à de urânio-238. Como a meia-vida do urânio-235 é de 713 milhões de anos e a do urânio-238 é de 4,5 bilhões de anos, o urânio-235 decai muito mais rapidamente e, portanto, é muito mais "consumido" que o urânio-238.

Com o desenvolvimento de reatores nucleares e máquinas aceleradoras de partículas, muitos radioisótopos puderam ser "fabricados" (produzidos), utilizando-se isótopos estáveis como matéria prima. Com isso, surgiram as Séries Radioativas Artificiais, algumas de curta duração.

AULA 6

Tema: Reações nucleares: fissão e fusão

Objetivo:

- Definir fissão e fusão nuclear.

Recursos:

- Applet 2:
http://ciencias.huascaran.edu.pe/modulos_brasil/quimica/radioatividade/Modulo/activities/Fusao/Activity5.html;
- Applet 3: http://www.mocho.pt/Ciencias/Fisica/simulacoes/fisica_nuclear/ , acessando o segundo tópico "Física Nuclear", inicia-se o download;
- Texto 4: Reações nucleares;
- Giz e lousa.

Atividade:	Duração:
Definir fissão e fusão nuclear	30 min.
Apresentação dos applets 2 e 3	20 min.

Comentário:

O texto de apoio contém imagens para o acompanhamento da aula. Não entramos no estudo da energia nuclear e suas aplicações, por ser um tema muito amplo e não condizente com o objetivo do módulo, ficando a critério do professor acrescentá-lo ou solicitar uma pesquisa aos alunos.

TEXTO 4 - REAÇÕES NUCLEARES

Fissão Nuclear

Em 1934, Enrico Fermi, bombardeando átomos de urânio com nêutrons, obteve um material radioativo; a princípio, ele desconfiou da formação de elementos transurânicos.

Em 1938, os químicos alemães Otto Hahn (1879 - 1968) e Fritz Strassmann (1902 - 1980), repetindo a mesma experiência de Fermi constataram a existência do bário entre os produtos obtidos. Estranho, pois o bário, tendo o mesmo número atômico 56, é um átomo muito menor que o urânio, que possui número atômico 92!

Neste mesmo ano, a física austríaca Lise Meitner (1878 - 1968) e seu sobrinho, o físico britânico Otto Frisch (1904 - 1979), explicaram o fenômeno admitindo a quebra do átomo de urânio-235, de acordo com a equação:



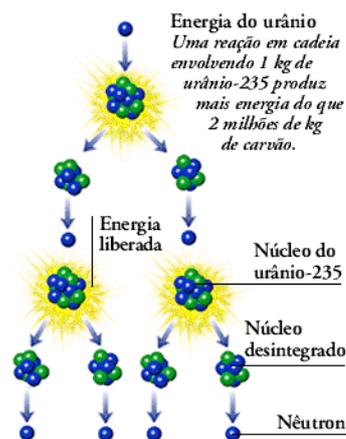
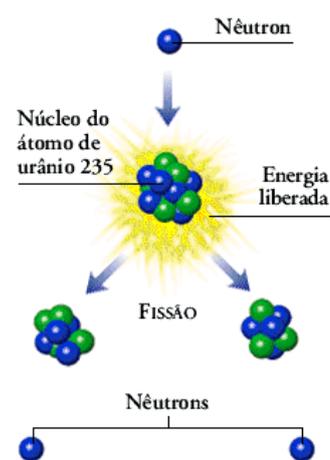
A divisão do núcleo de um átomo pesado, por exemplo, do urânio-235, em dois menores, quando atingido por um nêutron, é denominada fissão nuclear. Seria como jogar uma bolinha de vidro (um nêutron) contra várias outras agrupadas (o núcleo).

Na realidade, em cada reação de fissão nuclear resultam, além dos núcleos menores, dois a três nêutrons, como consequência da absorção do nêutron que causou a fissão.

Torna-se, então, possível que esses nêutrons atinjam outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, liberando muito calor. Tal processo é denominado reação de fissão nuclear em cadeia ou, simplesmente, reação em cadeia.

A Fissão nuclear é a divisão do núcleo de um átomo em dois núcleos menores, com liberação de grande quantidade de energia.

O desenvolvimento da fissão nuclear foi muito rápido, devido às pressões político-militares existentes na Europa, na década de 1930. De fato, em setembro de 1939, os nazistas invadiram a Polônia, iniciando a segunda guerra Mundial. O receio de que os alemães viessem a construir a bomba atômica levou vários cientistas norte-americanos a escrever uma carta ao então presidente dos Estados Unidos, Franklin Delano Roosevelt, aconselhando-o a desenvolver um projeto

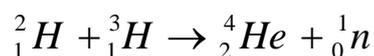
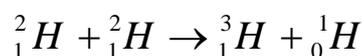
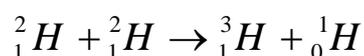


atômico. Assim nasceu o projeto Manhattan, plano secreto de se construir a bomba atômica, do qual Fermi foi um dos coordenadores.

Fusão nuclear

De certa maneira, a fusão nuclear, é o processo inverso da fissão nuclear.

- A fissão quebra átomos grandes (urânio, plutônio, etc.);
- A fusão aglomera átomos "pequenos" (hidrogênio, deutério, trítio, etc.), produzindo átomos maiores. São exemplos de fusão nuclear.



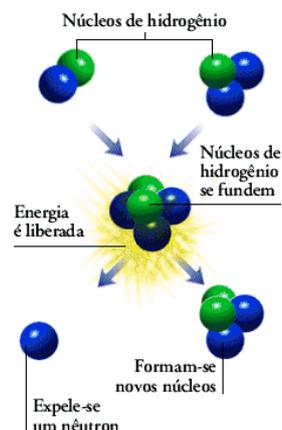
Onde:

- ${}^1_1\text{H} = {}^1_1\text{p}$, que é o H ou o próton;
- ${}^2_1\text{H} = {}^2_1\text{D}$, que é o deutério;
- ${}^3_1\text{H} = {}^3_1\text{T}$, que é o trítio.

Essas reações liberam, por unidade de massa, muito mais energia do que as reações de fissão.

Na Fusão Nuclear, dois ou mais núcleos atômicos se juntam e formam um outro núcleo de maior número atômico. A fusão nuclear requer muita energia para acontecer, e geralmente liberta muito mais energia que consome. Quando ocorre com elementos mais leves que o ferro e o níquel (que possuem as maiores forças de coesão nuclear de todos os átomos, sendo portanto mais estáveis) ela geralmente liberta energia, e com elementos mais pesados ela consome.

Até hoje início do século XXI, o homem ainda não conseguiu encontrar uma forma de controlar a fusão nuclear como acontece com a fissão. O principal tipo de fusão que ocorre no interior das estrelas é o de Hidrogênio em Hélio, onde dois prótons se fundem em uma partícula alfa (um núcleo de hélio), liberando dois pósitrons, dois neutrinos e energia. Mas dentro desse processo ocorrem várias reações individuais, que variam de acordo com a massa da estrela. Para estrelas do tamanho do nosso Sol ou menores, a cadeia próton-próton é a reação dominante. Em estrelas mais pesadas, predomina o ciclo CNO.



Vale ressaltar que há conservação da energia, e, portanto, pode-se calcular a massa dos quatro prótons e o núcleo de hélio, e subtrair a soma das massas das partículas iniciais daquela do produto desta reação nuclear para calcular a massa/energia emitida.

Utilizando a equação $E=mc^2$, pode-se calcular a energia liberada, oriunda da diferença de massa. Uma vez que o valor do "c" é muito grande (aprox. 3.108 m/s), mesmo uma massa muito pequena corresponde a uma enorme quantidade de energia. É este fato que levou muitos engenheiros e cientistas a iniciar projetos para o desenvolvimento de reatores de fusão para gerar eletricidade (por exemplo, a fusão de poucos cm^3 de deutério, um isótopo de hidrogênio, produziria uma energia equivalente àquela produzida pela queima de 20 toneladas de carvão).

AULA 7

Tema: Tipos de Radiações e Aplicações.

Objetivo:

- Definir radiações não-ionizantes e ionizantes;
- Iniciar a exploração das radiações do espectro eletromagnético.

Recursos:

- Texto 5 - Radiações não-ionizantes e ionizantes;
- Texto 6 - Aplicações das Radiações;
- Vídeo 1 (gravado em cd)
- Giz e lousa.

Momento:	Duração:
Diferenciação das radiações não-ionizantes e ionizantes	20 min.
Apresentação do Vídeo 1	10 min.
Iniciação da apresentação das radiações eletromagnéticas	20 min.

Comentário:

Sugerimos que o vídeo seja apresentado antes da radiação infravermelha, pois contém uma vasta apresentação desta. Embora o vídeo seja em inglês e não possua legenda, é de fácil compreensão do conteúdo, podendo substituir outra apresentação.

TEXTO 5 - RADIAÇÕES INONIZANTES E NÃO IONIZANTES

Como vimos até agora, a radiação pode ser de natureza particulada (de partículas) ou ondulatória (de ondas).

A radiação de natureza particulada é caracterizada por sua carga, massa e velocidade: pode ser carregada ou neutra, leve ou pesada, lenta ou rápida. Prótons, nêutrons e elétrons ejetados de átomos ou núcleos atômicos são exemplos de radiação particulada.

A radiação eletromagnética é constituída por campos elétricos e magnéticos variando no espaço e no tempo. É caracterizada pela amplitude (tamanho) e pela frequência (ou, alternativamente, pelo comprimento de onda) da oscilação. As mais conhecidas são: luz, microondas, ondas de rádio, radar, laser, raios "X" e radiação gama.

As radiações sob a forma de partículas, com massa, carga elétrica e carga magnética mais comuns são os feixes de elétrons, os feixes de prótons, radiação beta, radiação alfa.

Dependendo da quantidade de energia, uma radiação pode ser descrita como não-ionizante ou ionizante.

Radiações não-ionizantes

Radiações não ionizantes possuem energia relativamente baixa. De fato, radiações não ionizantes estão sempre a nossa volta. Ondas eletromagnéticas como a luz, calor e ondas de rádio são formas comuns de radiações não-ionizantes. Sem radiações não-ionizantes, nós não poderíamos apreciar um programa de TV em nossos lares ou cozinhar em nosso forno de microondas.

O espectro eletromagnético das radiações não ionizantes é dividido em duas regiões principais: região das radiações ópticas e região dos campos eletromagnéticos. Estas são ainda subdivididas: radiações ópticas em radiação ultravioleta (UV), radiação visível e radiação infravermelha (IV), e campos eletromagnéticos em microondas (MO), radiofrequência (RF) e frequência extremamente baixa (ELF - extremely low frequency). Embora as radiações mencionadas possam ser descritas em termos de suas frequências ou de seus comprimentos de onda, os campos eletromagnéticos (ELF, MO e RF) são descritos, principalmente, em termos de suas frequências, enquanto que os comprimentos de onda, mais dependentes dos meios de propagação, são mais usados para descrever as radiações ópticas (UV, visível e IV).

É conveniente referir-se às radiações ópticas e às MO como pacotes de energia (fótons) viajando através do espaço. RF e ELF, por sua vez, são mais

convenientemente considerados como campos elétrico e magnético propagando no espaço e variando com tempo, num padrão ondulatório.

Por convenção, radiações não ionizantes são aquelas que têm comprimento de onda maior que 100 nm. Tais radiações são incapazes de produzir ionizações e seus efeitos potencialmente prejudiciais, como o fazem os raios X e gama. Contudo, são capazes de produzir efeitos biológicos crônicos e agudos nos indivíduos por outros meios. Diferentemente das radiações ionizantes, muitas das radiações não-ionizantes podem ser percebidas pela pessoa exposta e eventualmente evitadas antes que danos ocorram. Muitos dos equipamentos que são usados diariamente e que são importantes, alguns até vitais, à qualidade de vida são fontes de radiação não-ionizante. Assim, é necessário que tais equipamentos sejam projetados para serem intrinsecamente seguros, como é o caso de fornos de microondas domésticos, ou que possam ser usados sob procedimentos que assegurem a segurança das pessoas.

Radiações Ionizantes

Energia e partículas emitidas de núcleos instáveis são capazes de causar ionização. Quando um núcleo instável emite partículas, as partículas são, tipicamente, na forma de partículas alfa, partículas beta ou nêutrons. No caso da emissão de energia, a emissão se faz por uma forma de onda eletromagnética muito semelhante aos raios-x: os raios gama.

Radiações ionizantes possuem altos níveis de energia, são originadas do núcleo de átomos, podem alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, tornando-os eletricamente carregados. Este processo chama-se "ionização".

Um átomo pode se tornar ionizado quando a radiação colide com um de seus elétrons. Se essa colisão ocorrer com muita violência, o elétron pode ser arrancado do átomo. Após a perda do elétron, o átomo deixa de ser neutro, pois com um elétron a menos, o número de prótons é maior. O átomo torna-se um "íon positivo".

TEXTO 6- TIPOS DE RADIAÇÕES E SUAS APLICAÇÕES

- Radiação de Fundo

É a soma das intensidades das radiações provenientes das diversas fontes naturais e artificiais. É a radiação cósmica a qual toda vida em nosso planeta, está exposta, é proveniente de elementos naturais radioativos existentes na crosta terrestre como potássio, cézio etc. Bem como, se deve aos raios cósmicos.

- Radiação de Nêutrons

São partículas muito penetrantes, se originam do espaço externo, por colisões de átomos na atmosfera, e por quebra ou fissão de certos átomos dentro de reatores nucleares

- Ondas de Rádio

A região das ondas de rádio estende-se desde comprimento de onda de muitos quilômetros até mais ou menos 30 cm.

Estas ondas são habitualmente produzidas em circuitos eletrônicos e são utilizadas para emissões de rádio e televisão, radares e pela polícia para medir a velocidade dos automóveis.

- Microondas

As microondas possuem comprimento de onda de 1 mm até 30 cm.

Além dos circuitos eletrônicos podemos ter emissões deste tipo em transições de nível energético atômicas, desde que estes níveis de energia estejam próximos.

São utilizadas para aquecimento em fornos, onde a microonda tem sua frequência ajustada para que a energia possa ser transmitida às moléculas de água. São capazes de penetrar na atmosfera terrestre praticamente sem absorção, logo são usadas na comunicação de veículos espaciais, rádio astronomia, estudo da origem do universo e da superfície do planeta. Além disso, podem servir para transmissão de conversas telefônicas e orientação de navios.

- Infra-Vermelho

Radiação eletromagnética invisível, emitida por corpos aquecidos. A radiação infravermelha é geralmente medida por dispositivos que reagem à variação de temperatura provocada pela absorção de infravermelho por uma superfície escurecida

O Sol emite radiação infravermelha, que constitui cerca de metade da sua energia irradiante. A maior parte desta radiação situa-se entre 0,25 mm e 2,5 mm, enquanto a maior parte da que é emitida pelos objetos terrestres se encontra entre 4 mm e 24 mm. Os corpos quentes, tais como aquecedores elétricos e carvão em brasa emitem abundantemente radiações infravermelhas. Como todos os animais de sangue quente, o ser humano radia no infravermelho. Esta emissão é explorada por dispositivos de visão noturna, bem como por alguns animais, como os mosquitos e pernilongos, que conseguem detectar as radiações infravermelhas emitidas por

outros e persegui-los à noite, bem como por algumas serpentes que habitualmente estão ativas durante a noite.

Resumindo, as moléculas de um corpo a uma temperatura superior à zero absoluto (-273.15 Celsius) radiam infravermelho ainda que com intensidade reduzida.

As radiações infravermelhas são utilizadas nos controles remotos dos aparelhos de televisão, de portas de automóveis, etc. Existem certas películas que são sensíveis a estas radiações, sendo utilizadas para fotografar objetos no escuro. Alguns satélites, em órbita da Terra, tiram fotografias de infravermelhos do nosso planeta. Essas fotografias podem detectar movimentos de corpos e objetos, por exemplo, o lançamento de mísseis, bem como o movimento de nuvens que são uma ajuda preciosa aos meteorologistas. Existem mísseis que se orientam em função da posição de fontes de calor e que são guiados por infravermelho (IV), lasers de IV e telescópios de IV que procuram melhor conhecimento do cosmos. Os raios infravermelhos são também utilizados no tratamento de doenças, devido ao seu elevado poder térmico.

- **Radiação Visível**

É a faixa de radiação que nos permite enxergar o mundo que nos cerca. A decomposição da radiação visível nos mostra que ela é constituída por sete cores: violeta, anil, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho.

O detector humano olho-cérebro percepção o branco como uma vasta mistura de freqüências normalmente com energias semelhantes em cada intervalo de freqüências. É este o significado da expressão "luz branca" - muitas cores do espectro sem que nenhuma predomine especialmente. Muitas distribuições diferentes podem parecer brancas uma vez que o olho humano não é capaz de analisar a luz em freqüência do mesmo modo que o ouvido consegue analisar o som.

A cor não é uma propriedade da luz, mas sim uma manifestação eletroquímica do sistema sensorial - olhos, nervos, cérebro. Com rigor dever-se-ia dizer, por exemplo, "a luz que é vista como amarela" e não "luz amarela".

A radiação visível vai aproximadamente de 384×10^{12} Hz (para o vermelho) até cerca de 769×10^{12} Hz (para o violeta).

Cor	Comprimento de onda (nm)
vermelho	780 - 622
laranja	622 - 597
amarelo	597 - 577

verde	577 - 492
azul	492 - 455
violeta	455 - 390

Comprimentos de onda para várias cores, no vácuo.

Num material incandescente (como um filamento metálico ou o globo solar, por exemplo) os elétrons são acelerados aleatoriamente e sofrem colisões freqüentes. A emissão resultante é conhecida como radiação térmica (é uma das principais fontes de luz). Quando se enche um tubo de gás e por ele se faz passar uma descarga elétrica, os seus átomos ficam excitados e emitem luz característica dos seus níveis energéticos e constituída por uma série de bandas, ou linhas, de freqüência bem definida.

- Ultravioleta

Parte importante da luz que o Sol envia para a Terra é luz ultravioleta. Os raios ultravioleta do Sol têm energia suficiente para ionizar os átomos do topo da atmosfera, criando assim a ionosfera. A radiação ultravioleta não-ionizante é muito pouca radiação ultravioleta de menor energia e que chegam à superfície da Terra. Devido ao seu intenso efeito químico, esta radiação produz alterações químicas na pele humana, levando ao seu escurecimento. Uma exposição excessiva à luz ultravioleta pode provocar o câncer da pele. Felizmente o ozônio existente na atmosfera absorve o que poderia constituir feixes letais de ultravioleta.

O olho humano não consegue ver facilmente no ultravioleta porque a córnea absorve-o particularmente para pequenos comprimentos de onda, enquanto que o cristalino absorve mais fortemente para comprimentos de onda maiores. Alguns animais, como por exemplo as abelhas e os pombos, reagem aos ultravioletas.

A emissão de um fóton ultravioleta por um átomo ocorre quando um elétron executa uma transição a partir de um estado fortemente excitado.

A grande atividade química das radiações ultravioletas confere-lhes poder bactericida, sendo aproveitado na esterilização de alguns produtos.

Algumas substâncias quando sujeitas às radiações ultravioletas emitem luz visível. Os átomos destas substâncias, chamadas fluorescentes, absorvem a radiação ultravioleta (invisível), e irradiam radiação visível para o ser humano. Os ponteiros de alguns relógios contêm vestígios dessas substâncias para serem visíveis à noite.

Outras substâncias, designadas fosforescentes, mantêm a emissão de luz visível durante algum tempo depois de terem sido sujeitas a radiação ultravioleta.

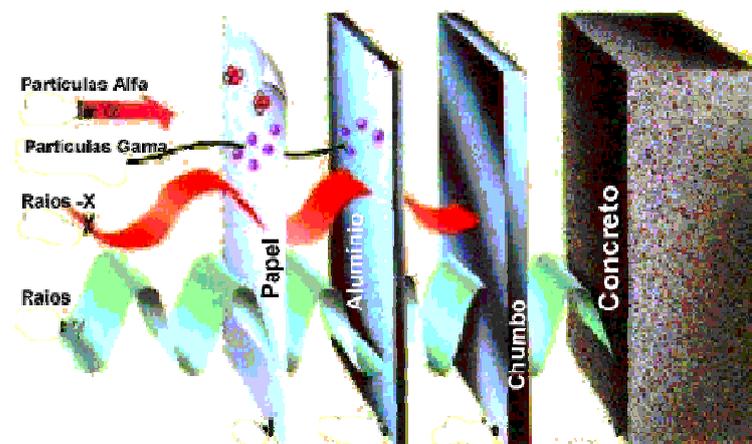
Devido a estas propriedades de fluorescência e fosforescência, as radiações ultravioletas são utilizadas para detectar fraudes (notas ou bilhetes falsificados, por exemplo).

- Raios-X

Os raios-X não vêm do centro dos átomos, como os raios Gama. Para obterem-se raios-X, uma máquina acelera elétrons e os faz colidir contra uma placa de chumbo, ou outro material. Na colisão, os elétrons perdem a energia cinética, ocorrendo uma transformação em calor (quase a totalidade) e um pouco de raios-X.

Estes raios interessantes atravessam corpos que, para a luz habitual, são opacos. O expoente de absorção deles é proporcional à densidade da substância. Por isso, com o auxílio dos raios X é possível obter uma fotografia dos órgãos internos do homem. Nestas fotografias, distinguem-se bem os ossos do esqueleto e detectam-se diferentes deformações dos tecidos brandos.

A grande capacidade de penetração dos raios X e as suas outras particularidades estão ligadas ao fato de eles terem um comprimento de onda muito pequeno.



Penetrabilidade das Radiações

- Radiação Gama

Um único fóton de raios gama tem energia suficiente para poder ser detectado; o seu comprimento de onda é tão pequeno que se torna extremamente difícil observar o seu comportamento ondulatório. Possuem elevado poder penetrante, podendo mesmo atravessar a Terra de um lado ao outro.

A região dos raios gama estende-se de comprimentos de onda desde os 6×10^{-12} m até aproximadamente 3×10^{-14} m.

A radiação gama provém de certos núcleos atômicos (são emitidas por partículas que sofrem transições no interior do núcleo atômico).

AULA 8

Tema: Tipos de Radiações e Aplicações.

Objetivo:

- Continuar a exploração das radiações do espectro eletromagnético.

Recursos:

- Texto 6 - Aplicações das Radiações;
- Apresentação em PowerPoint 3;
- Giz e lousa.

Momento:	Duração:
Continuação da apresentação das radiações eletromagnéticas	35 min.
Apresentação do PowerPoint 3	15 min.

Comentários:

A apresentação em PowerPoint é para a síntese das aplicações das radiações.

Sugerimos que ao final desta aula, o professor solicite aos alunos uma pesquisa simples sobre as aplicações das radiações ionizantes alfa, beta e gama. Pesquisa a ser entregue na aula seguinte.

AULA 9

Tema: Aplicações das radiações ionizantes alfa (α), beta (β), gama (γ) e raios-x

Objetivo:

- Explorar as aplicações das radiações ionizantes.

Recursos:

- Texto 7 - Aplicações das Radiações Ionizantes...;
- Vídeo 2 - <http://br.youtube.com/watch?v=kRV4BKGzQIc>;
- Giz e lousa.

Momento:	Duração:
Apresentação do vídeo 2	5 min.

Comentários:

Caso a pesquisa tenha sido solicitada, o vídeo serve de complemento. Cabe na discussão verificar o que os alunos encontraram de informação e o que consideraram mais importante.

TEXTO 7 - APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

ALFA (A), BETA (B), GAMA (Γ) E RAIOS-X

A radiação ionizante tornou-se há muitos anos parte integrante da vida do homem. Sua aplicação se dá na área da medicina até as armas bélicas, sua utilidade é indiscutível. Atualmente, por exemplo, a sua utilização em alguns exames de diagnóstico médico, através da aplicação controlada da radiação ionizante (a radiografia é mais comum), é uma metodologia de extremo auxílio. Porém os efeitos da radiação não podem ser considerados inócuos, a sua interação com os seres vivos pode levar a teratogênias e até a morte. Os riscos e os benefícios devem ser ponderados. A radiação é um risco e deve ser usada de acordo com os seus benefícios.

A) Saúde

Radioterapia

Consiste na utilização da radiação gama, raios X ou feixes de elétrons para o tratamento de tumores, eliminando células cancerígenas e impedindo o seu crescimento. O tratamento consiste na aplicação programada de doses elevadas de radiação, com a finalidade de atingir as células cancerígenas, causando o menor dano possível aos tecidos sãos intermediários ou adjacentes.

Braquiterapia

Trata-se de radioterapia localizada para tipos específicos de tumores e em locais específicos do corpo humano. Para isso são utilizadas fontes radioativas emissoras de radiação gama de baixa e média energia, encapsuladas em aço inox ou em platina, com atividade da ordem das dezenas de Curies. A principal vantagem é devido à proximidade da fonte radioativa afeta mais precisamente as células cancerígenas e danifica menos os tecidos e órgãos próximos.

Aplicadores

São fontes radioativas de emissão beta, distribuídas numa superfície cuja geometria depende do objetivo do aplicador. Muito usado em aplicadores dermatológicos e oftalmológicos. O princípio de operação é a aceleração do processo de cicatrização de tecidos submetidos a cirurgias, evitando sangramentos e quelóides, de modo semelhante a uma cauterização superficial. A atividade das fontes radioativas é baixa e não oferece risco de acidente significativo sob o ponto de vista radiológico. O importante é o controle do tempo de aplicação no tratamento, a manutenção da sua integridade física e armazenamento adequado dos aplicadores.

Radioisótopos

Existem terapias medicamentosas que contêm radioisótopos que são administrados ao paciente por meio de ingestão ou injeção, com a garantia da sua deposição preferencial em determinado órgão ou tecido do corpo humano. Por exemplo, isótopos de iodo para o tratamento do cancro na tiróide.

B) Diagnóstico

Radiografia

A radiografia é uma imagem obtida, por um feixe de raios X ou raios gama que atravessa a região de estudo e interage com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente. Existe uma grande variedade de tipos, tamanhos e técnicas radiográficas. As doses absorvidas de radiação dependem do tipo de radiografia. Como existe a acumulação da radiação ionizante não se devem tirar radiografias sem necessidade e, principalmente, com equipamentos fora dos padrões de operação. O risco de dano é maior para o operador, que executa rotineiramente muitas radiografias por dia. Para evitar exposição desnecessária, deve-se ficar o mais distante possível, no momento do disparo do feixe ou protegido por um biombo com blindagem de chumbo.

Tomografia

O princípio da tomografia consiste em ligar um tubo de raios X a um filme radiográfico por um braço rígido que gira ao redor de um determinado ponto, situado num plano paralelo à película. Assim, durante a rotação do braço, produz-se a translação simultânea do foco (alvo) e do filme. Obtêm-se imagens de planos de cortes sucessivos, como se observássemos fatias seccionadas, por exemplo, do cérebro. Não apresenta riscos de acidente pois é operada por eletricidade, e o nível

de exposição à radiação é similar. Não se devem realizar exames tomográficos sem necessidade, devido à acumulação de dose de radiação.

Mamografia

Atualmente a mamografia é um instrumento que auxilia na prevenção e na redução de mortes por câncer de mama. Como o tecido da mama é difícil de ser examinado com o uso de radiação penetrante, devido às pequenas diferenças de densidade e textura de seus componentes como o tecido adiposo e fibroglandular, a mamografia possibilita somente suspeitar e não diagnosticar um tumor maligno. O diagnóstico é complementado pelo uso da biópsia e ultrasonografia. Com estas técnicas, permite-se a detecção precoce em pacientes assintomáticas e imagens de melhor definição em pacientes sintomáticas. A imagem é obtida com o uso de um feixe de raios X de baixa energia, produzidos em tubos especiais, após a mama ser comprimida entre duas placas. O risco associado à exposição à radiação é mínimo, principalmente quando comparado com o benefício obtido.

Mapeamento com radiofármacos

O uso de marcadores é comum. O marcador radioativo tem o objetivo de, como o nome mesmo diz, marcar moléculas de substâncias que se incorporam ou são metabolizadas pelo organismo do homem, de uma planta ou animal. Por exemplo, o iodo-131 é usado para seguir o comportamento do iodo -127, estável, no percurso de uma reação química *in vitro* ou no organismo. Nestes exames, a irradiação da pessoa é inevitável, mas deve-se ter em atenção para que esta seja a menor possível.

Irradiação de Alimentos

No campo dos alimentos, uma aplicação importante é a irradiação para a conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão.

A irradiação de alimentos é uma técnica eficiente para eliminar ou reduzir microorganismos, parasitas e pragas, sem causar qualquer prejuízo ao alimento ou ao consumidor. Um processo que retarda o apodrecimento, reduz o grande volume de perdas de produção, as transmissões que afetam a saúde da população e atende às rígidas normas de exportação.

AULA 10

Tema: Efeitos biológicos das radiações

Objetivo:

- Explorar os efeitos das radiações.

Recursos:

- Texto 8 - Efeitos biológicos das radiações.

Momento:	Duração:
Leitura compartilhada do texto 8	50 min.

Comentários:

Durante a leitura compartilhada do texto, vale ressaltar que haja direcionamento a fim de que os alunos ponderem benefícios e malefícios da aplicação das radiações, bem como adquiram a concepção da responsabilidade do ser humano na utilização do conhecimento científico. Dependendo da discussão, podem ser necessárias duas aulas para este tema.

TEXTO 8 - EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

Os seres humanos se desenvolveram e se adaptaram a um ambiente de radiação óptica dominado pelo sol. O olho é normalmente protegido de lesões agudas que seriam imediatamente causadas ao se fixar o sol, por repostas involuntárias de aversão ao desconforto ao se visualizar fontes de luz de altas intensidades. Tais repostas incluem piscar ou cerrar os olhos e virar o globo ocular ou toda a cabeça, de modo a proteger a retina da luz e da IV- A (760 nm - 1,4 m). Luz azul é o principal risco para a retina e é responsável por lesões fotoquímicas. Como o sol vai se tornando avermelhado próximo à linha do horizonte, seus raios tornam-se gradualmente menos perigosos.

A luz solar pode ser perigosa mesmo após a adaptação e aclimatização e chega a causar mais danos ópticos do que qualquer fonte artificial de radiação óptica. Contudo, com os avanços científicos e a industrialização, fontes de radiação óptica foram desenvolvidas com potencial similar e até superior para causar lesões, algumas ocorrendo no curto intervalo de tempo de resposta da visão.

Com fontes com o laser, é importante que precauções apropriadas sejam adotadas. Estudos demonstram que degeneração na retina poderá ocorrer quando submetida repetida e prolongadamente a níveis anormais de intensa iluminação ambiental.

Radiação IV pode causar danos às regiões anteriores dos olhos e especificamente no cristalino. Radiação UV solar atua na opacificação gradual do cristalino e, provavelmente, na indução da catarata. Radiações IV e MO podem

produzir catarata por processo térmico, o que pode ser evitado como uso de óculos de proteção apropriados. O principal risco para a pele devido a fontes intensas de radiação visível e IV, como o laser, é a queimadura térmica.

Radiações não ionizantes com comprimentos de onda mais curtos que alguns centímetros têm uma capacidade limitada de penetração no corpo humano e os efeitos são geralmente limitados à superfície do corpo, à pele e aos olhos. A penetração é maior para comprimentos de onda maiores e continua a aumentar à medida que o comprimento de onda aumenta e a energia pode então ser depositada em tecidos e órgãos mais profundos.

Os efeitos deletérios das radiações não ionizantes conhecidos podem ser classificados em três tipos: fotoquímicos, térmicos e efeitos elétricos.

Efeitos fotoquímicos resultam de reações químicas no corpo iniciadas pela absorção dos fótons. Para cada tipo de reação há uma energia (ou frequência ou comprimento de onda) limiar do fóton abaixo da qual o efeito não irá se manifestar. Efeitos fotoquímicos são predominantes nas regiões de UV e visível azul/verde. Exemplos de efeitos fotoquímicos são queimaduras de sol induzidas por UV, síntese de vitamina D e, principalmente, a visão.

À medida que os comprimentos de onda aumentam, as energias dos fótons tornam-se insuficiente para iniciar reações fotoquímicas e o efeito dominante torna-se o térmico (aquecimento). Lesões térmicas resultam da quebra de ligações moleculares de proteínas e enzimas. A probabilidade de quebras de ligações depende da magnitude e da duração do aumento da temperatura. Efeitos térmicos são dominantes nas regiões de IV e MO mas também podem ocorrer como resultado de correntes elétricas induzidas no corpo por RF e ELF.

Os efeitos mais comumente associados com RF e ELF são choques e queimaduras, podendo não ser mais sério que micro-choque sem qualquer lesão, mas sob condições de campos elétricos ou magnéticos muito intensos, queimaduras por RF ou choques mais severos poderão ocorrer.

Corrente induzida por campos elétrico ou magnético externos pode interferir no funcionamento normal de músculos e outras células do organismo. Dois exemplos disso são, em baixos níveis de corrente induzida, cintilação na retina do olho, e em altos níveis, contração involuntária de músculos. Em níveis muito altos, pode ocorrer fibrilação cardíaca.

Uma das principais preocupações, sobre a exposição à radiação, é o potencial risco à vida da célula. Se uma radiação ionizantes entrar numa célula viva, ela pode ionizar os átomos que a compõem. Já que um átomo ionizado é quimicamente diferente de um átomo eletricamente neutro, isto pode causar problemas dentro da célula viva.

Normalmente, estes problemas não são significantes. Uma grande percentagem do nosso corpo é feita de água, e a chance da ionização ocorrer na água é muito grande.

Quando o dano é feito a uma parte vital de uma célula, muitas vezes a própria célula pode reparar o problema através de mecanismos internos. Cada dano aos cromossomos e ao DNA podem ser reparados. Cromossomos contêm o DNA, que são importantes para habilitar as funções do corpo. o DNA é uma longa molécula encontrada em cada uma das células. As moléculas de DNA fornecem as instruções de como cada célula deve agir. Se o DNA em uma célula for afetado, ela poderá não executar suas funções adequadamente. A célula poderá morrer. Nosso corpo pode corrigir problemas no DNA. De fato, diariamente são corrigidos cerca de 100.000 cromossomos danificados.

Muitos problemas podem surgir se as correções não forem feitas rapidamente. Se os danos forem sérios, a célula poderá morrer. Também é possível que os danos alterem as funções da célula e, em alguns casos, a célula se cria réplicas de si mesma. Isto pode gerar um câncer.

Basicamente, podem ocorrer quatro situações quando uma radiação entra em uma célula:

1. A radiação pode atravessar a célula sem causar dano algum;
2. A radiação pode danificar a célula, mas ela consegue reparar o problema;
3. A radiação pode causar danos que não podem ser reparados e, para piorar tudo, a célula cria réplicas defeituosas de si mesma;
4. A radiação causa tantos danos a célula que ela morre.

Quanto às doses de radiação, grandes doses recebidas durante um curto período são mais perigosas do que as mesmas doses em um grande período. Quando ficamos expostos, a certa dose radiação, num longo período de tempo, nosso corpo tem tempo para reparar os danos. Porém, se o período for curto, os mecanismos de defesa podem não conseguir corrigir o dano, e a célula morre.

Os danos, ao corpo, podem ser grandes se a célula se reproduzir. No caso das células da medula, teremos um quadro de leucemia.

No caso de mulheres, o problema pode ser mais grave, pois se a exposição ocorrer durante uma gravidez, existe o risco de mutações no feto.

Radiação é um fenômeno natural que pode ocorrer de muitas formas. Dependendo da quantidade de energia, uma radiação pode ser classificada em ionizante ou não-ionizante. Radiações não-ionizantes possuem relativamente baixa energia. De fato, radiações não-ionizantes estão sempre a nossa volta. Ondas eletromagnéticas como a luz, calor e ondas de rádio são formas comuns de radiação não-ionizantes. Já as radiações ionizantes podem alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, tornando-os eletricamente carregados. Este

processo chama-se ionização. Como exemplo, citamos as radiações alfa, beta, nêutrons, gama ou raio-x.

Como minimizar os efeitos da radiação ionizante

A minimização dos efeitos da radiação nos trabalhadores inicia pela avaliação de risco, o correto planejamento das atividades a serem desenvolvida, utilização de instalações e de práticas corretas, de tal forma a diminuir a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposições acidentais.

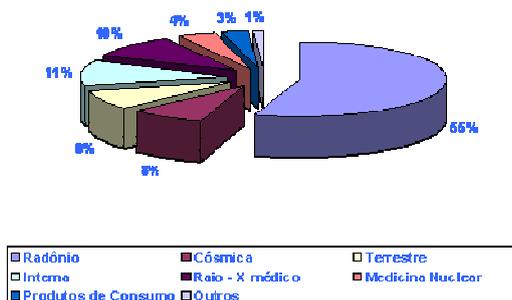
Os equipamentos de proteção (EPC e EPI) devem ser utilizados por todos os trabalhadores, além de ser observada a otimização desta proteção pela elaboração e execução correta de projeto de instalações laboratoriais, na escolha adequada dos equipamentos e na execução correta dos procedimentos de trabalho.

Irradiação versus Contaminação

A irradiação é originada por algum tipo de procedimento com raios X (em radiodiagnóstico) ou com feixes de elétrons ou raios γ em radioterapia. Neste caso, o paciente não se torna "radioativo" e, portanto não há nenhum perigo de "contaminar" outras pessoas ou o meio ambiente. Irradiações severas podem acontecer no caso de explosões de usinas nucleares ou bombas atômicas. Nestas situações, o meio ambiente fica altamente radioativo, mas não as pessoas.

A contaminação é o fato de estar em contato com fontes não seladas. Este é, por exemplo, o caso dos pacientes que fazem uso de procedimentos de Medicina Nuclear. Neste caso, os radiofármacos são injetados no paciente ficando o mesmo "radioativo". Dependendo da dose a que foi submetido, poderá ter que ser isolado a fim de não contaminar outras pessoas ou o meio ambiente. Nesta situação, a fonte radioativa (radiofármaco) incorporou-se ao corpo do paciente que continua emitindo radiação. Os seres humanos podem ainda contaminar-se em acidentes como foi o caso de Goiânia em 1987. Neste acidente o Cs 137 foi ingerido e passado sobre a pele de pessoas que ficaram contaminadas.

Principais fontes de radiação que atual sobre o Homem



AULA 11

Tema: Todo corpo emite radiação

Objetivo:

- Trazer a radiação para o cotidiano do aluno.

Recursos:

- Atividade 2;
- Texto 9 - Todo corpo emite radiação;
- Giz e lousa.

Momento:	Duração:
Atividade 2	20 min.
Aula expositiva	30 min.

Comentários:

A atividade desta aula reproduz a atividade da primeira, a fim de verificar as possíveis alterações nas respostas e incluindo a verificação do conceito de radiações naturais e artificiais desenvolvido nos temas, não explícitas no módulo propositalmente. As palavras escolhidas para a atividade deixam margem para discussão de todos os temas trabalhados e verificação destes.

O mais importante deste tema de conclusão do bloco é que o aluno perceba que a radiação está presente no nosso dia-a-dia, colocando-o também como emissor de radiação, o que provavelmente irá alterar uma visão de mundo que não distingue radiação de radioatividade, tendo ambos como prejudiciais.

ATIVIDADE 2

Nome: _____ Nº: _____ Série: _____

Radiação / Radiotividade - Natural / Artificial

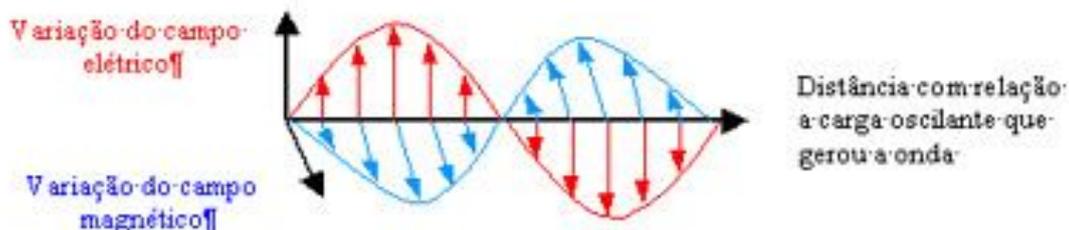
Relacione as palavras abaixo com radiação e/ou radiotividade e com natural e/ou artificial:

Decaimento do urânio		
Infravermelho do controle remoto		

Máquina de raio-x		
Partículas alfa		
Luz solar		
Lâmpadas		
Ultravioleta		
Líquido para contraste		
Ondas de rádio		
Aparelho de microondas		
Raios gama		
Césio 137		

TEXTO 9 - TODO CORPO EMITE RADIAÇÃO

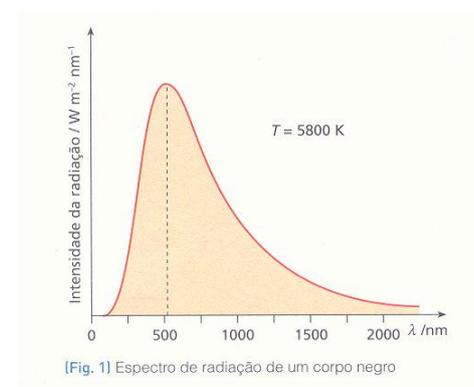
- Todo corpo emite radiação na forma de onda eletromagnética
- Esta radiação é emitida devido à movimentação dos átomos, produzindo-se campos elétricos e magnéticos em conjunto



De onde vem a radiação emitida pelos corpos?

Todos os corpos são constituídos por partículas (átomos, moléculas, etc.) que estão em permanente agitação, emitindo ondas eletromagnéticas, cujas frequências e amplitudes são variáveis, devido ao diferente comportamento das partículas. Por consequência, os espectros de radiação dos diferentes corpos são contínuos.

O gráfico da figura representa a intensidade da radiação emitida por unidade de comprimento de onda. A forma da curva é puramente térmica e corresponde a um emissor perfeito - corpo negro (emite a qualquer temperatura a quantidade máxima possível de radiação em todos os comprimentos de onda e absorve toda a radiação que nele incide). A radiação emitida pelo corpo negro só depende da temperatura e não da



sua constituição. Todos os corpos emitem radiação num contínuo de comprimentos de onda e o comprimento de onda para o qual se dá a emissão com intensidade máxima depende da temperatura.

A intensidade total (I) da radiação térmica emitida por um corpo é a energia emitida por unidade de tempo e de área desse corpo, ou seja, é a potência por unidade de área, que pode ser calculada pela área sob a curva do gráfico da figura, que é proporcional com a quarta potência da temperatura absoluta. Estas conclusões são traduzidas pela Lei de Stefan-Boltzmann para um emissor perfeito: $I = sT^4$ e $P = sAT^4$.

Mas, na realidade, corpos reais não são emissores perfeitos, ou corpos negros, fala-se por isso em emissividade. A emissividade (e) é um fator numérico compreendido entre zero e um, que depende da constituição do corpo emissor, caracterizando a tendência de um corpo para emitir em relação a um emissor perfeito, sendo zero para um refletor perfeito e um para um emissor perfeito ou corpo negro. Sendo assim, a Lei de Stefan-Boltzmann para corpos reais traduz-se por:

$$P = esAT^4$$

P - potência total emitida em todas as frequências (W)

A - área da superfície irradiadora (m²)

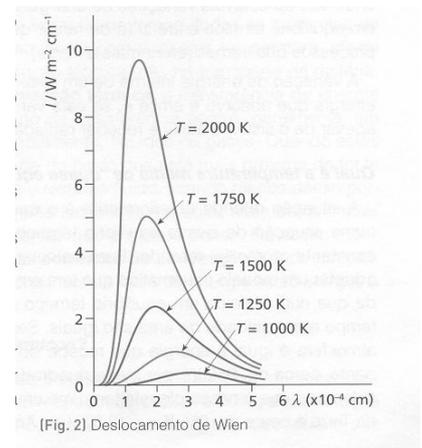
T - temperatura absoluta a que o corpo se encontra (K)

s - constante de Boltzmann - $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^2 \text{ K}^{-4}$

e - emissividade do material

Quando varia a temperatura, o que acontece ao espectro de emissão térmica?

Acima do zero absoluto, qualquer que seja a temperatura, os corpos negros emitem radiação em todas as frequências. Contudo, existe uma zona em que emitem com intensidade máxima para cada temperatura. Quanto maior for a temperatura de um corpo, mais agitadas estarão as partículas que o constituem, por consequência, as amplitudes e frequências das suas oscilações serão maiores e o espectro de emissão térmica modifica-se. Observando a figura conclui-se que:



- A uma maior temperatura corresponde uma maior quantidade de energia emitida pelo corpo, por unidade de área e de tempo (a área por baixo da curva é maior).

- A máxima intensidade em cada uma das curvas ocorre para comprimentos de onda tanto maiores quanto menores forem as temperaturas - **deslocamento de Wien**, traduzido pela expressão: $\lambda_{\text{máx.}} = \frac{b}{T}$ $b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$

O deslocamento de Wien permite explicar a cor das estrelas e por conseqüência a sua idade, já que estas características estão diretamente relacionadas com a temperatura à superfície das mesmas. Verifica-se, por exemplo, para o Sol que a sua intensidade máxima de emissão situa-se na zona verde do visível (a temperatura da camada exterior do Sol é cerca dos 5800 K).

Já para o nosso planeta, que emite radiação a temperaturas muito mais baixas, a sua máxima emissão situa-se na zona dos infravermelhos.

E os humanos também emitem radiação?

Sim, uma vez que a nossa temperatura é superior ao zero absoluto, ronda os 310 K, pela Lei de Wien verifica-se que a intensidade da nossa radiação é máxima para comprimentos de onda próximos de $9,3 \times 10^{-6} \text{ m}$, ou seja, na zona dos infravermelhos, só não detectamos esta radiação com os nossos olhos, já que corresponde a uma zona não visível do espectro eletromagnético.

O contrário também pode ser feito, ou seja, pode-se conhecer a temperatura de um corpo analisando a sua radiação. É assim que se tem conhecimento, por exemplo, da temperatura do Sol, 5800 K, já referida.

Quem emite e quem recebe radiação?

Todos os corpos emitem e recebem radiação, sendo **os bons emissores também bons absorsores**. Se um corpo emite mais radiação do que recebe, então arrefece, ou seja, a sua temperatura baixa e a de sua vizinhança sobe. Recebendo a radiação emitida, até se atingir o equilíbrio térmico, altura em que estas trocas de energia (taxas de absorção e emissão) são iguais, bem como a temperatura do corpo e da sua vizinhança - **Lei Zero da Termodinâmica, onde:** dois sistemas termodinâmicos (sistemas constituídos por um elevado número de partículas e onde são apreciáveis variações de energia interna) em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si (é de referir que o equilíbrio térmico também se atinge por outros processos que iremos referir mais à frente).

A variação de energia interna de um sistema, devido à radiação, depende do balanço entre a energia que absorve e emite e, se esta variação for igual a zero, fala-se em equilíbrio térmico, apesar de o sistema emitir e receber radiação continuamente.