



VALÉRIO ULIANO

PRODUTO EDUCACIONAL

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES
COM ÊNFASE EM RADIOLOGIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dr.^a Roseli Constantino Schwerz

CAMPO MOURÃO
2018

Introdução

Visando contribuir para sanar as dificuldades de se trabalhar o conteúdo de Física das radiações e suas aplicações no ensino médio, neste trabalho foi desenvolvida uma sequência didática de tal conteúdo. Há uma grande divergência entre os livros didáticos de quais conteúdos serem abordados dentro desse tema. Alguns deles, nem ao menos apresentam este assunto.

Almejamos desenvolver esta Sequência Didática (SD) de tal forma que possa contribuir com o professor para introduzir o tema de Física das radiações ao final do terceiro ano do Ensino Médio. Apresentamos, além de indicações de atividades, um conteúdo organizado que seja suficiente para abordar ao menos uma introdução do tema em sala de aula. No entanto, também nos preocupamos que não fosse muito extenso e que deste modo não comprometa o tempo destinado a outros assuntos pertencentes ao currículo.

A SD é composta por cinco módulos: 1 – Introdução à radiação, 2- Radioatividade, 3 – Radiações: história e aplicações, 4 – Visita técnica e 5 – Avaliação final.

O módulo 1 traz como assuntos principais os tipos de radiações em função de forma, a radiação eletromagnética e a corpuscular, e de sua interação com a matéria, a radiação ionizante e a não-ionizante. É iniciado com um questionário inicial que tem como objetivo identificar o conhecimento do aluno sobre o tema e também induzir uma discussão inicial sobre o mesmo. Um vídeo sobre as radiações eletromagnéticas e como as radiações estão presentes em nosso cotidiano também foi utilizado previamente à apresentação do conteúdo teórico.

O módulo 2 aborda as razões de um dado elemento ser considerado radioativo e dá destaque a tipos de radiações emitidas por núcleos radioativos: alfa, beta e gama. São utilizados três vídeos neste módulo. O primeiro e o segundo foram utilizados a fim de introduzir o tema, despertando o interesse do aluno e também trazendo informações desconhecidas por eles, como materiais radioativos em nosso cotidiano, e sobre como a radioatividade pode ser prejudicial e perigosa, abordando o caso do Césio-137, em Goiânia. O terceiro vídeo foi utilizado como uma forma de atividade investigativa para que fosse possível uma atividade prática na qual os alunos poderiam identificar o poder de penetração (e energia) de alguns tipos de radiações.

O módulo 3 apresenta, em destaque, duas aplicações das radiações: raios-x, em diagnóstico, e a radioterapia. A história da ciência é trabalhada com o auxílio de dois vídeos, sobre a vida de Marie Curie, e sua importância no estudo da radioatividade, e como aconteceu a descoberta dos raios-x pelo Físico Wilhelm Conrad Roentgen. Um terceiro vídeo é utilizado para auxiliar na explicação de como funcionavam as máquinas de raios-x. A abordagem CTS continua neste módulo com outras aplicações das radiações em nosso cotidiano e finaliza com uma discussão sobre a radioproteção e finaliza com um questionário final.

Todos estes três módulos trazem ao final a indicação de alguns exercícios a serem aplicados com os alunos.

Os últimos dois módulos são questionários propostos para avaliar uma visita técnica ao centro de raios-x de um hospital próximo ao colégio e o conhecimento dos alunos a cerca do assunto radiação, de acordo com o que foi trabalhado na sala de aula.

A sequência didática, além de propor um texto científico sobre o assunto e que pode ser utilizado em sala de aula pelos alunos, também apresenta algumas orientações ao professor das possibilidades de trabalhar o conteúdo com os alunos. Estas indicações são destacadas em quadros cinza ao longo do material.

MÓDULOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

MÓDULO 1. INTRODUÇÃO À RADIAÇÃO

Objetivo: Este módulo tem por objetivo principal apresentar os tipos de radiações quanto à forma (eletromagnética e corpuscular) e quanto à interação com a matéria (ionizante e não-ionizante) e também trazer algumas relações das radiações com nosso cotidiano.

1.1 Introdução ao Conteúdo

Vamos iniciar o nosso estudo da radiação com as atividades 1 e 2. Elas se tratam de um questionário inicial, para conhecer e discutir os conhecimentos prévios sobre o assunto, e de um vídeo sobre o espectro eletromagnético, para demonstrar/relembrar alguns de seus conceitos e relações com nosso dia-a-dia.

Atividade 1. Vamos falar de radiação?

Responda às seguintes questões:

1. O que vem à sua mente quando houve esta palavra: RADIAÇÃO
2. O que é radiação?
3. Como a radiação se propaga?
4. A radiação pode fazer mal ao nosso organismo? O que pode causar?
6. A radiação pode utilizada para nosso benefício? Em que situações?

O professor, antes de entregar o questionário, pode expor aos alunos o tema que será estudado posteriormente e que o questionário será proposto a fim analisar o conhecimento que eles têm, tanto científico quanto de senso comum, sobre o tema. Pode propor os questionários em dupla, para que assim seja possível a discussão entre eles. Posteriormente ao questionário escrito, o professor pode retornar às questões de modo a discuti-las em com toda a sala. Estas discussões, além de permitir identificar o conhecimento prévio dos alunos, proporciona um ambiente propício para despertar o interesse do aluno pelo tema, fazendo-o participar ativamente da aula.

Atividade 2. Vídeo de Introdução ao espectro eletromagnético

Assista ao vídeo nº 1, intitulado “Quer que eu desene: Espectro Eletromagnético”⁹, com duração de 4:51 min. Ele apresenta o que seria uma onda eletromagnética e as várias formas como a “encontramos” em nosso cotidiano. A Figura 1 indica algumas imagens apresentadas no vídeo.

Figura 1. Imagens do vídeo abordando as características das ondas eletromagnéticas e sua presença/importância no dia-a-dia.



Fonte: Adaptado do vídeo pelo autor¹⁰.

A exibição deste vídeo tem como objetivo, além de iniciar a apresentação do tema, despertar o interesse do aluno para o assunto, já que este recurso explora a presença e importância deste tipo de radiação no cotidiano do qual eles fazem parte. Segundo Moreira (2011), um dos pré-requisitos para o indivíduo aprender é ele estar disposto a isto. Assim, apresentar o tema e sua importância antes da abordagem científica pode favorecer a uma pré-disposição do aluno em estudar o conteúdo.

⁹<https://www.youtube.com/watch?v=3po0Ek5aPKE>. Acesso em 2 de julho de 2017.

¹⁰<https://www.youtube.com/watch?v=3po0Ek5aPKE>. Acesso em 2 de julho de 2017.

Após a exibição, gerar uma discussão com os alunos sobre o que viram no vídeo, quais são os tipos de ondas eletromagnéticas que foram expostos ou que eles têm conhecimento e quais são as fontes. A partir deste diálogo, o professor inicia a explicação teórica sobre ondas eletromagnéticas.

Posteriormente, o professor pode iniciar a abordagem teórica sobre o conteúdo de ondulatória (definições, classificação das ondas quanto a forma, etc) provavelmente já deve ter sido abordado no ano anterior, em mecânica, pelo professor de Física. No entanto, muitas vezes é necessário relembrar conceitos e definições básicas a fim de que se possa ser possível explorar as características das ondas eletromagnéticas.

1.2 Radiação: Formas de Propagação e Interação com a Matéria

Um dos modos da radiação se propagar é por meio de ondas eletromagnéticas. Para compreendermos melhor, vamos iniciar nosso estudo relembrando alguns conceitos de ondulatória e posteriormente estudarmos os conceitos relacionados à radiação.

1.2.1 Ondulatória

Ondulatória: É o movimento através de ondas, em que há transporte de energia e não há transporte da matéria. Simplesmente energia.

Onda: é a propagação de energia em uma região do espaço, através de uma perturbação.

Classificação das ondas:

As ondas podem ser classificadas em três modos:

- Quanto à natureza;
- Quanto à direção de propagação;
- Quanto à direção de vibração.

Quanto à natureza

- *Ondas mecânicas:* são aquelas que necessitam de um meio material para se propagar (não se propagam no vácuo). Exemplo: ondas em cordas e ondas sonoras (som).

- *Ondas eletromagnéticas*: são aquelas geradas por cargas elétricas oscilantes e não necessitam de um meio material para se propagar, podendo ser geradas no vácuo. Exemplos: ondas de rádio, de TV, de luz e raios X.

Quando à direção de propagação

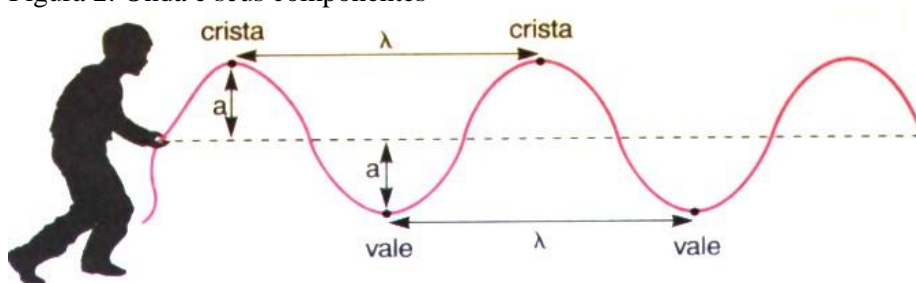
- *Unidimensionais*: propagam-se em uma só direção. Exemplo: ondas em cordas.
- *Bidimensionais*: propagam-se em um plano. Exemplo: ondas na superfície de um lago, ou em superfícies de água.
- *Tridimensionais*: propagam-se em todas as direções. Exemplo: ondas sonoras no ar atmosférico ou em metais.

Quanto à direção de vibração

- *Transversais*: são aquelas em que as vibrações são perpendiculares à direção de propagação. Exemplos: ondas em corda.
- *Longitudinais*: são aquelas em que as vibrações coincidem com a direção de propagação. Exemplos: ondas sonoras e ondas em molas.

Ondas periódicas

Figura 2: Onda e seus componentes



Fonte: Bonjorno et al. (1999)

Os elementos principais de uma onda completa – um ciclo – são: o período de duração, que é o tempo decorrido entre o início e o fim de seu ciclo;

Período de tempo (T): o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto

Frequência (f): é o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto, em cada unidade de tempo.

Comprimento de onda (λ): é a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos.

As ondas eletromagnéticas transportam energia de um local para outro. A energia de uma onda eletromagnética está distribuída entre os campos elétrico e

magnético. Ao se propagar, a energia da onda oscila entre a energia do campo elétrico e a energia do campo magnético. Um exemplo desta energia é como a energia do Sol chega até a Terra.

Depois desta revisão sobre ondas, o professor pode iniciar a definição de radiação, classificando de acordo com sua forma de transferência de energia ou seu tipo de interação com a matéria.

2.1.2 Radiação

A radiação é propagação de energia de um ponto a outro no espaço. A forma como a energia é transportada e como a radiação interage com a matéria são duas formas de classificar a radiação.

A – Formas de propagação

A energia das radiações pode se propagar de suas formas, por ondas eletromagnéticas ou por partículas carregadas.

1. **Eletrornagnética:** a energia é transportada por ondas eletromagnéticas, constituídas de campos elétricos e magnéticos que oscilam no espaço.
2. **Corpuscular:** a energia é transportada pelas partículas.

A.1 Radiação eletromagnética

As ondas eletromagnéticas são ondas transversais que não precisam de meio pra se propagar, se propagam no vácuo, no qual os campos elétricos e magnéticos se alternam.

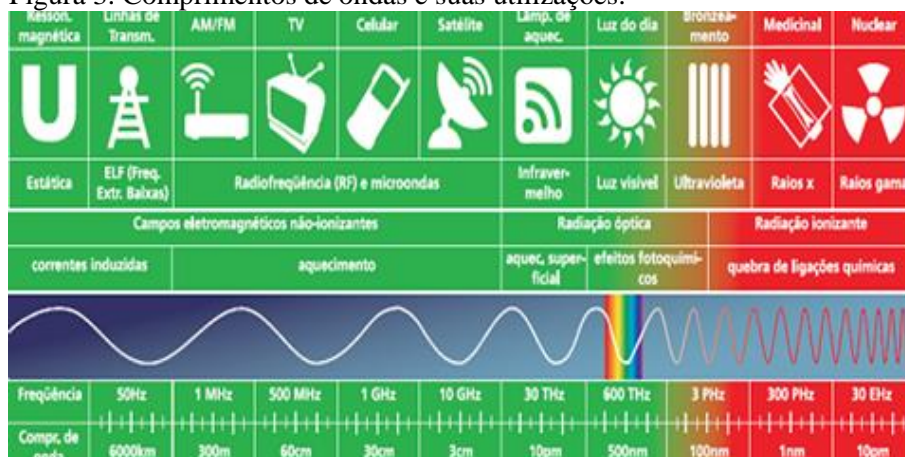
O espectro eletromagnético inclui as ondas eletromagnéticas com suas frequências e comprimentos de ondas correspondentes. Cada tipo de onda eletromagnética é produzido por um dispositivo diferente. Por exemplo: ondas de rádio por meio de circuitos elétricos oscilantes, e os raios-x que são frequências muito altas, são obtidos por oscilações que ocorrem em nível atômico, ou pela desaceleração brusca de elétrons.

De acordo com sua natureza, as radiações eletromagnéticas apresentam comprimentos de onda próprios. As mais conhecidas, considerando as que têm

comprimento de onda maior para as menores, como possível de se observar nas figuras 3 e 4, são:

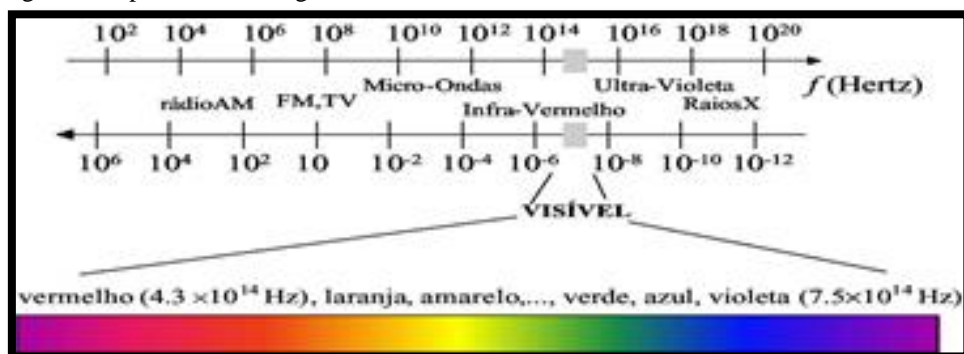
- Ondas de rádio, desde as mais longas, com três mil metros, até as ondas ultracurtas do radar, com um centímetro.
- Micro-ondas, de 10^8 Hz a 10^{11} Hz.
- Raios infravermelhos, de 10^{11} Hz até 10^{14} Hz.
- Raios luminosos, de 8×10^{14} Hz até 4×10^{14} Hz.
- Raios ultravioletas, de 10^{15} Hz até 10^{17} Hz.
- Raios X, de 10^{17} Hz até 10^{19} Hz.
- Raios gama, de 5×10^{19} Hz até aproximadamente 10^{22} Hz.

Figura 3. Comprimentos de ondas e suas utilizações.



Fonte: Bonjorno et al (2013)

Figura 4. Espectro eletromagnético



Fonte: Bonjorno et al (2013)

Ondas de Rádio

Ondas de rádio AM (amplitude modulada), cujo intervalo de frequência é 10^4 Hz até 10^7 Hz, são utilizadas nas transmissões a longa distância, pois se reflete na ionosfera (camada de íons localizada a uns 80 km de altitude), retornando ao solo.

Ondas de rádio FM (frequência modulada), cujo intervalo de frequência é 10^6 até 10^7 Hz, não são refletidas na ionosfera. Essas ondas necessitam de estações retransmissoras para ser captada a longa distância.

Micro-ondas

Correspondem a um tipo de onda de rádio de menor comprimento. São produzidas por equipamentos eletrônicos e tem aplicações em sistema de radar para localização de navios, aeronaves e veículos.

Infravermelho

Conhecida como uma radiação térmica, mediante a oscilação das moléculas que constituem a matéria. Os corpos mediante a variação de temperatura emitem radiação infravermelha. Podendo ser utilizada na secagem de pinturas, fisioterapia, fotografias e também é usada nos dispositivos de controle remoto de aparelhos de TV, som, DVD e portões automáticos.

Raios luminosos

É compreendido como a luz visível, isto é, menor frequência que causa a sensação do vermelho e a maior a do violeta. A maior sensibilidade do olho humano é a amarela, cuja frequência é aproximadamente $5,5 \times 10^{14}$ Hz.

Raios ultravioletas

O sol é a principal fonte dessas radiações, por transportar uma grande quantidade de energia. Porém, podem causar se exposto por um longo período, efeitos danosos aos seres humanos como catarata, perda de elasticidade da pele e até mesmo câncer de pele.

Raios-x

São ondas magnéticas de alta frequência. (Será explorado o tema no módulo 3 da sequência didática)

Raios gama

São raios emitidos pelos núcleos dos átomos nas transformações radioativas. (Será explorado o tema no módulo 2, da sequência didática).

A.2 Radiação Corpuscular

Além da radiação eletromagnética, há a radiação corpuscular, que são pacotes de energia em movimento. É constituída de um feixe de partículas elementares, ou núcleos atômicos, tais como: elétrons, prótons, nêutrons, deuterons, partículas alfa, etc.

A energia se propaga através de partículas subatômicas. Quanto à origem destas partículas algumas têm origem em processos de desintegração nuclear (elétrons, pósitrons, partículas alfa, neutrinos) e outras são obtidas através de processos de fissão nuclear (nêutrons, mésons).

B. Interação com a matéria

A radiação pode interagir de modos distintos com a matéria no qual irradia. Esta interação depende da **energia** da radiação e podemos classificar como:

1. **Radiação Ionizante:** Energia suficiente para ionizar a matéria (arrancar elétrons).
2. **Radiação não-ionizante:** Energia mais baixa, não suficiente para ionizar a matéria.

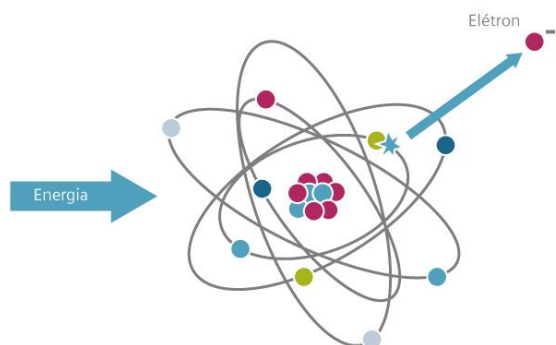
B.1 Radiação Ionizante

Radiação ionizante possui energia suficiente para remover elétrons do átomo de um material. No caso das células, este tipo de radiação pode interagir com elas, provocando morte celular ou transmutação, que é a mutação das células.

As emissões dos núcleos radioativos normalmente tem uma energia muito superior às das radiações comuns, como as ondas de rádio, luz ou infravermelho, por isso tem alto poder de ionização¹¹. Essas radiações possuem energia suficiente para arrancar elétrons de um átomo, tornando-o eletricamente carregado, como mostra a Figura 5.

¹¹ Processo por meio do qual um átomo ou uma molécula perde ou ganha elétrons para formar íons

Figura 5: A alta energia da radiação incidente é capaz de arrancar um elétrons do átomo.



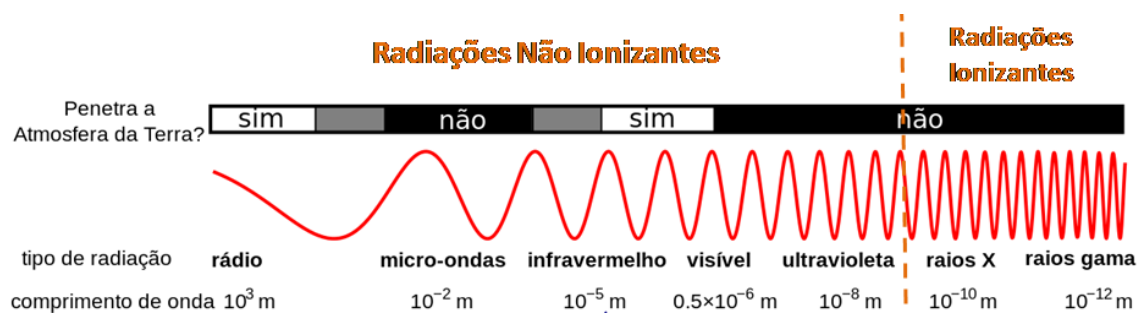
Fonte: Site “Entendendo a radiação médica”¹²

São exemplos de radiação ionizante:

- Radiação eletromagnética (alta energia): gama, raios-x**
- Radiação corpuscular: alfa e beta

A Figura 6 mostra ilustra qual parte do espectro eletromagnético estão classificadas as radiações ionizantes.

Figura 6: As ondas eletromagnéticas de menor comprimento de onda (maior frequência) possuem alta energia, capaz de ionizar os átomos.



Fonte: Site “Saber SST”¹³.

É possível visualizar que as radiações ionizantes são aquelas do lado do espectro com menor comprimento de onda, ou seja, maior frequência, como dada pela Equação 1, na qual c é a velocidade da luz.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Equação 1

¹²<http://www.radiacao-medica.com.br/dados-sobre-radiacao/o-que-e-radiacao/radiacao-ionizante/>. Acesso em 02 de julho de 2018.

¹³http://www.saudeesegurancaotrabalho.org/radiacoes_ao_ionizantes/

Como a energia de uma onda é diretamente proporcional à sua frequência, a radiação ionizante possui as mais altas energias no espectro eletromagnético.

O professor, pode retornar ao espectro eletromagnético e mostrar que estas duas radiações eletromagnéticas possuem pequeno comprimento de onda, ou seja, alta frequência. Isso permite a este tipo de radiação interagir com as células do nosso corpo, diferente das demais, que possuem baixa energia, com grande comprimento de onda e baixa frequência.

B.2 Radiação Não Ionizante

Uma radiação é denominada não ionizante quando não possui energia suficiente para ionizar a matéria, ou seja, arrancar elétrons dos átomos da matéria com a qual interage. Possui frequência igual ou menor que a da luz e inclui a própria luz, calor, ondas de rádio e microondas

- Não possuem energia suficiente para quebrar moléculas e ligações químicas.
- Ondas eletromagnéticas: ultravioleta, infravermelho, radiofrequência, laser, microondas e luz visível.

Exercícios

Estas questões a seguir podem ser proposta aos alunos. A primeira trabalha a definição de radiação e suas classificações e segunda aborda uma interpretação do espectro eletromagnético de acordo com a energia de cada faixa do espectro.
Respostas: 1. (d); 2. (d)

01 – Sobre radiação:

- I – radiação é propagação de energia de um ponto a outro do espaço;
- II – radiação são as ondas eletromagnéticas que fazem mal ao nosso organismo;
- III – radiação pode ser classificada como ondas eletromagnéticas ou partículas;
- IV – a radiação não ionizante possui energia maior que a radiação ionizante.

Quais alternativas estão corretas:

- a) Apenas a I e II a III

- b) Todas
- c) Apenas a III e a IV
- d) Apenas a I e a III
- e) Apenas a I, a III e a IV

Justifique cada uma das alternativas, porque estão corretas ou incorretas.

02 – Considere o espectro eletromagnético de acordo com a frequência (em hertz): Ondas de rádio 10^8 , ultravioleta 10^{16} , micro-ondas 10^{10} , raios X 10^{19} e infravermelho 10^{13} .

Dentre as fontes citadas a seguir, qual produz radiação eletromagnética com menor comprimento de onda, ou seja, maior energia? Justifique sua resposta.

- a) Laser de ultravioleta
- b) Forno de micro- ondas
- c) Luz vermelha
- d) Aparelhos de raios X
- e) Laser de infravermelho

MÓDULO 2: RADIOATIVIDADE

Objetivo: Neste módulo, vamos é estudar o que é radioatividade, onde está presente e suas principais características.

2.1 Radioatividade e Cotidiano

Atividade 1. O que sabe sobre radioatividade?

Antes de iniciarmos o estudo deste assunto, responda às seguintes questões:

1. Já ouviu falar sobre radioatividade? Se sim, em quais situações?
2. A radioatividade pode ser ruim para nós? Se sim, em quais situações?
3. A radioatividade pode ser boa para nós? Se sim, em quais situações?

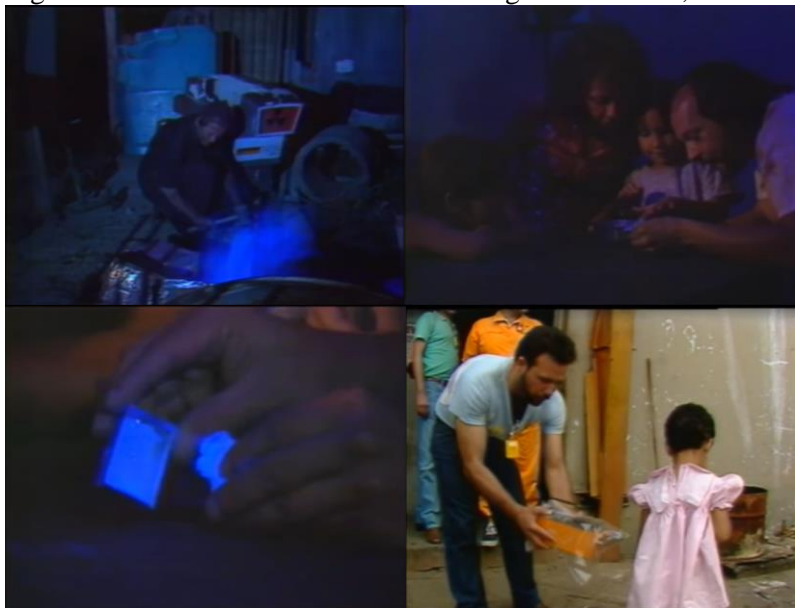
O professor pode iniciar a aula fazendo oralmente estes questionamentos e buscando sanar qualquer dúvida relacionada à aula passada.

Atividade 2. Vídeo “Maior acidente radiológico do mundo”.

Para iniciar nosso estudo, vamos assistir ao vídeo 2 “Maior acidente radiológico do mundo, césio-137 completa 29 anos”¹⁴. Ele possui duração de 4:38 min e se trata de um documentário sobre o acidente que ocorreu em Goiânia em 1987 com um material radioativo encontrado em um ferro velho.

¹⁴<https://www.youtube.com/watch?v=23Rz6ygxkAk>. Acesso em 2 de julho de 2017.

Figura 7: Vídeo 1 - Maior acidente radiológico do mundo, césio-137 completa 29 anos.



Fonte: Adaptado do vídeo pelo autor.

Sobre este assunto, responda:

1. Vocês têm contato com estas “coisas”?
2. Vocês já sabiam disso, que estas coisas são radioativas?

É importante a discussão destas respostas, para gerar uma interação entre a turma e promover a curiosidade e uma melhor compreensão dos alunos pelo assunto.

O professor pode discutir com os alunos como este fato ocorreu e a importância de se ter cuidados com materiais radioativos, já que eles devem ser sempre isolados e controlados pelo CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

Após o 3º vídeo, realizar uma explicação teórica sobre a Radioatividade, pois este assunto é abordado em vários livros do ensino médio que estão presentes no PCN (Plano Curricular Nacional).

Atividade 3 – Vídeo “Atenção! Descubra 13 coisas do seu dia-a-dia que são radioativas”

A radioatividade é algo que está distante do nosso cotidiano? Objetos que possuem elementos radioativos podem estar a nossa volta sem que saibamos disto? O vídeo 3, intitulado “Atenção! Descubra 13 coisas do seu dia-a-dia que são radioativas”¹⁵, com duração de 10:21 min, apresenta como os elementos radioativos estão presentes em nosso dia-a-dia sem que a grande maioria das pessoas tenham ciência desta informação. A Figura 8 mostra alguns dos objetos/substâncias abordados no vídeo.

Figura 8 - Imagens de objetos/substâncias que são radioativas, de acordo com o vídeo: banana, castanha do Pará, cerveja e vidro verde.



.Fonte: Bancos de imagens gratuitas¹⁶

Diante das informações apresentadas pelo vídeo, responda:

- Vocês têm contato com estas “coisas”?
- Vocês já sabiam disso, que estas coisas são radioativas?
- Por que não temos problemas com a saúde devido a isto?

¹⁵<https://www.youtube.com/watch?v=c9pstmgjky4&t=486s>. Acesso em 2 de julho de 2017.

¹⁶<https://pixabay.com/> e <https://pt.freeimages.com/>

Posteriormente o professor deve discutir as informações apresentadas no vídeo utilizando as perguntas propostas.

Este vídeo tem como intenção introduzir aos alunos o conteúdo de radioatividade e mostrar que ela está presente em nosso cotidiano e que sua presença nem sempre nos é prejudicial, pois sua nocividade está sempre diretamente relacionada à quantidade de radiação emitida.

2.2 Radioatividade: Conceitos Básicos

O professor pode iniciar esta parte do conteúdo com: Para se emitir uma radiação é necessário conhecer o átomo. Por quê? (a resposta será dada no final deste conteúdo).

2.2.1 Átomo

O átomo é a unidade fundamental da matéria, composto por um núcleo e uma eletrosfera. No núcleo estão os prótons, com carga elétrica positiva, e os nêutrons, que não possuem carga elétrica. Na eletrosfera orbitam os elétrons, com carga elétrica negativa.

As substâncias são diferentes porque os seus átomos diferem quanto à forma ou pela maneira como estão agregados. As diversas substâncias são diferentes entre si quanto à dureza, porque os átomos podem estar bastante próximos ou afastados. Quando estão muito próximos, o corpo é sólido; e, quando mais afastados, o material é mais maleável.

Os átomos explicam também todas as nossas sensações: paladar, olfato, tato, visão e audição.

Identificando o átomo

Para identificar o átomo é necessário saber seu número de elétrons, nêutrons e prótons.

Esta quantidade de prótons recebe o nome de número atômico, e é representado pela letra “Z”. $Z = P$ significa o número atômico dos elementos químicos.

Os elétrons são sistemas eletricamente neutros, o número de prótons é igual ao número de elétrons.

Então, (a resposta da pergunta inicial) para se emitir uma radiação é necessário conhecer o átomo. Porque o átomo é constituído pelos elementos químicos e que seu número atômico e seu número de massa determina a sua capacidade de emitir radiações espontaneamente ou artificial (desenvolvidos em laboratório). Toda matéria é constituída de partículas, denominadas átomos.

2.2.3 Radioatividade

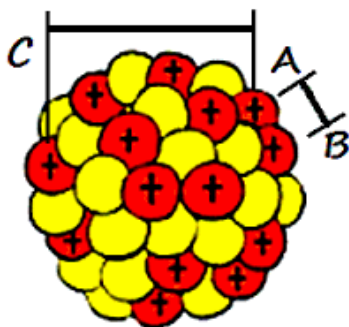
O núcleo dos átomos é composto por prótons e nêutrons, ou seja, partículas de carga positiva (prótons) e partículas sem cargas (nêutrons). Mas se você se lembrar do que foi estudado em eletrostática sabe que cargas de mesmo sinal se repelem. Isso se deve à força elétrica de repulsão.

O professor, antes da explicação, pode levantar esta questão para os alunos discutirem: Como os prótons se mantêm juntos no núcleo e não saem “correndo” um dos outros devido à força de repulsão eletrostática? Este questionamento pode favorecer o aluno à percepção de que “algo a mais”, algum outro tipo de força possa estar presente.

Para manter as partículas do núcleo juntas, há que existir uma segunda força: a **força nuclear**. Esta força que ocorre entre prótons e nêutrons (próton-próton, próton-nêutron e nêutron-nêutron) e é muito intensa, independe da carga, mas é de curtíssimo alcance. Esta força é de atração entre estas partículas, mas só existe se as partículas estiverem bem próximas uma das outras.

Quando os núcleos vão ficando maiores, os prótons vão ficando cada vez mais distantes uns dos outros. Assim, a força nuclear vai ficando menos intensa, como se pode observar na Figura 9.

Figura 9. Força nuclear



Fonte: Pietrocola et al. (2016).

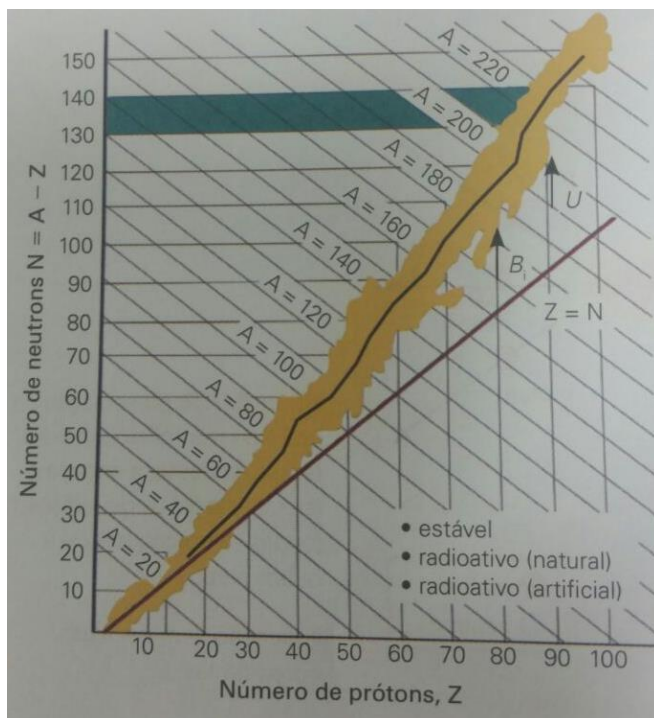
O próton A atrai o próton B com uma força nuclear (de atração), maior que a força elétrica (de repulsão). Já em relação ao próton C, mais distante de A, a força elétrica pode ser tornar maior que a força nuclear. Assim, quanto maiores os núcleos, mais difícil será manter a estabilidade do átomo, pois a força nuclear tende a ser menor quando as partículas estão distantes. Já núcleos pequenos, possuem maior estabilidade.

Diante do que foi exposto, temos que um núcleo é estável quando a força de repulsão entre os prótons é menor que a força nuclear entre eles e os nêutrons.

Geralmente, quando o núcleo é pequeno, temos a mesma quantidade de prótons e nêutrons (com exceção do hidrogênio, com um próton). Quando os núcleos são maiores, o número de nêutrons deve ser ainda maior que o número de prótons pra que a força nuclear consiga se opuser à força de repulsão elétrica das cargas positivas.

Como exemplo podemos citar o bismuto, ele é o último a ter estabilidade, com 83 prótons e 124 nêutrons. A partir deste número atômico os núcleos são instáveis e se desintegram espontaneamente até se tornarem estáveis novamente. Radioatividade é o nome desta desintegração espontânea dos núcleos dos átomos.

Figura 10. Relação entre o número de nêutrons e prótons de alguns núcleos

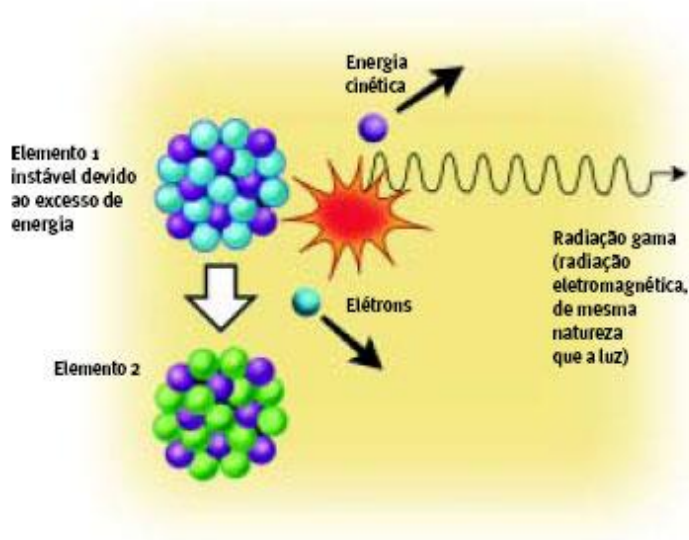


Fonte: Pietrocola et al. (2016).

A maioria dos elementos químicos é considerada estável. São os átomos pequenos, com número atômico até 84. Átomos com núcleos maiores precisam liberar energia. Pra isso, eles emitem radiação espontaneamente e, na maioria dos casos, transformam-se em outros elementos ou reduzem sua massa atômica, se tornando estáveis. Essa propriedade é a Radioatividade, e esses elementos são chamados de **radioativos**.

Na Figura 11 abaixo temos uma representação de uma emissão de radiação gama. Neste caso, como a força eletrostática de repulsão é maior que a força nuclear de atração. O núcleo libera energia em forma de radiação gama e se torna outro elemento, mais estável.

Figura 11. Decaimento radioativo gama



Fonte: Site “Energia Nuclear”¹⁷

Assim, quando os átomos são instáveis, há um excesso de energia que deve ser liberada para então ele se tornar estável.

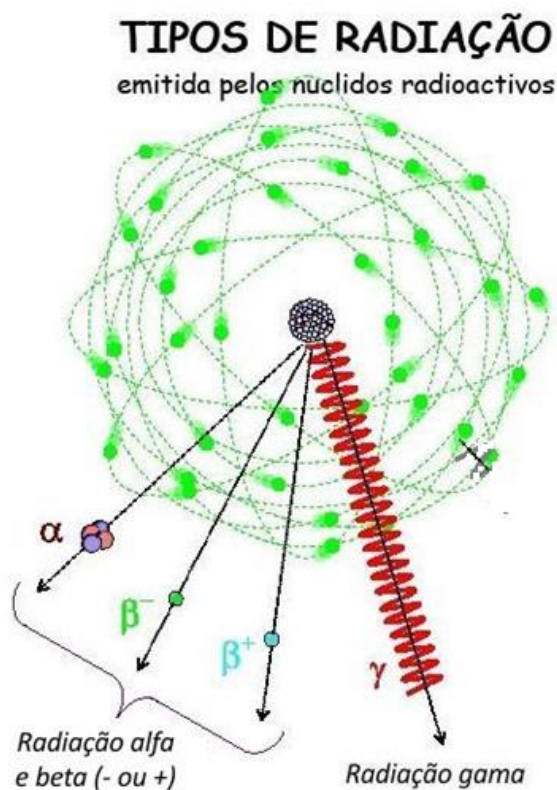
TIPOS E CARACTERÍSTICAS DAS RADIAÇÕES

As radiações podem ter origem nuclear, como as radiações alfa, beta e gama, ou origem atômica (eletrosfera), como os raios x.

A Figura 12 exibe as radiações de origem nuclear. Como ela mesma demonstra, as partículas alfa e beta (- ou +) são de natureza corpuscular. Ou seja, são partículas carregadas. Já a radiação gama, na ilustração, é descrita como uma onda, pois neste caso a energia é transportada não por partículas, mas por uma onda eletromagnética.

¹⁷ <https://sites.google.com/site/energianuclear125/decaimento-nuclear>

Figura 12: Exemplos de radiação emitida pelos núcleos radioativos: (1) corpuscular (alfa e beta) e (2) eletromagnética.



Fonte: Site “Radiologia e Concursos”¹⁸

Estas três radiações podem ser descritas tanto pela forma quanto a energia é transportada quanto pela sua quantidade de energia. Quanto maior a energia de um tipo de radiação, maior seu poder de penetração na matéria.

Para auxiliar na compreensão das diferentes energias das radiações e, portanto, do poder de penetração, a atividade 4 é proposta. Nela é possível comparar as propriedades da radiação alfa com a radiação beta.

Atividade 4: Vídeo “Alfa e beta: dois tipos de radiações”.

Para compreender melhor as diferenças entre as partículas alfa e beta¹⁹, o vídeo 4, demonstra como os dois tipos de radiação corpuscular interagem com as barreiras posicionadas entre a fonte e o medidos. O vídeo tem 3:00 min de duração.

¹⁸ <http://radiologiaeconcursos.blogspot.com.br/2013/06/resumo-tipos-de-radiacao-alfa-beta-x-e.html>

¹⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMmI>. Acesso 31 de maio de 2017.

Figura 13. Vídeo 2 - Alfa e beta: dois tipos de radiação



Fonte: Youtube. Acesso 31 de maio de 2017.

Neste vídeo, um medidor de radiação é utilizado para indicar a presença de radiação alfa e beta. Este tipo de medidor indica radiação, além do ponteiro, também pela frequência dos apitos. Assim, se ele apita, há radiação chegando até ele. A intensidade dos apitos também é proporcional à radiação medida.

Obstáculos de papel e alumínio são colocados entre a fonte de partículas alfa e beta e o medidor, de tal modo que pode se verificar se essas partículas atravessam ou não esses obstáculos. Deste modo, pode-se avaliar o poder de penetração das partículas.

O professor inicialmente irá apresentar o vídeo para os alunos e irá propor, de forma escrita, as questões a seguir. Por meio delas, espera-se que seja possível identificar se o aluno consegue comparar o poder de penetração destes dois tipos de radiações.

Após assistir ao vídeo, responda: .

1- Com a fonte de partículas alfa, quando é colocada uma folha de papel entre a fonte e o medidor, o valor de radiação medida mudou (mudou a frequência dos apitos)? O que observou? Porque será que isso ocorreu?

2. Com a fonte de partículas beta, quando é colocada uma folha de papel entre a fonte e o medidor, o valor de radiação medida mudou (mudou a frequência dos apitos)? O que observou? Porque será que isso ocorreu?

3. Com a fonte de partículas beta, quando é colocada uma placa de alumínio fina entre a fonte e o medidor, o valor de radiação medida mudou (mudou a frequência dos apitos)? O que observou? Porque será que isso ocorreu?

4. Com a fonte de partículas beta, quando é colocada uma placa de alumínio espessa entre a fonte e o medidor, o valor de radiação medida mudou (mudou a frequência dos apitos)? O que observou? Porque será que isso ocorreu?

Assim que fizer as perguntas o professor deve deixar que os próprios alunos respondessem as dúvidas dos colegas, o objetivo deste tipo de atividade é deixar a aula mais dinâmica. Entretanto, o professor deve trabalhar como um líder ou um facilitador nesta atividade, coordenando e direcionando para as respostas corretas não deixando que os alunos fujam do propósito da aula. Mas sempre que não houver a resposta exata, cabe ao professor sanar as dúvidas dos alunos.

Após a discussão o professor pode mostrar o vídeo novamente, para que aqueles que não conseguiram entender pela primeira vez sem explicação, na segunda vez e com todas as explicações já fornecidas, possam entender.

Radiações Alfa, Beta e Gama.

Vamos analisar três tipos de radiações emitidas por elementos radioativos: Alfa, beta e gama.

Radiação alfa

Também denominada raios alfa ou partículas alfa, são partículas positivas iguais ao núcleo do átomo do elemento hélio, ou seja, cada uma é constituída por dois prótons e dois nêutrons. Portanto, a partícula alfa apresenta carga +2 e massa 4.

A demonstração definitiva de que as partículas alfas são iguais ao núcleo de hélio foi dado por Rutherford em 1909. Esse cientista observou que um recipiente contendo

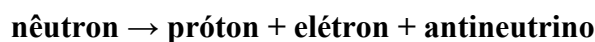
material emissor de partículas alfa, após certo tempo ficava impregnado do elemento hélio.

- As partículas alfa, como explicou Rutherford capturavam elétrons do ambiente e se transformavam em átomos de hélio.
- Partículas com dois prótons e dois nêutrons – partícula pesada;
- Possui duas cargas positivas;
- Perde energia para o meio muito rapidamente – alcance pequeno (alguns centímetros no ar);
- Alto poder de ionização

Radiação Beta

A radiação beta, também chamada de raios beta ou partículas beta, são partículas negativas iguais aos elétrons, ou seja, cada partícula beta é um elétron, portanto apresenta carga -1 e massa 0 .

Como se não se admite que o núcleo contenha elétrons, a partícula beta deve se formar pela densidade de um nêutron: No decaimento β , um nêutron é convertido num próton, com emissão de um elétron e de um antineutrino, a antipartícula do neutrino:



O neutrino que se forma na desintegração do nêutron é uma partícula sem carga e de massa muito pequena. A sua formação visa conservar a quantidade de movimento e foi descoberta por Pauli em 1927.

Sobre a partícula beta:

- Denominação dada ao elétron emitido pelo núcleo do átomo – partícula leve;
- Possui carga negativa;
- Perde energia para o meio rapidamente – alcance médio (até alguns metros no ar);
- Pequeno poder de ionização – produção de pequena densidade de ionizações.

Radiação Gama

A radiação gama, também chamada de raios gama, são ondas eletromagnéticas cujo comprimento de onda varia de $0,5 \text{ \AA}$ a $0,005 \text{ \AA}$. Esse tipo de radiação acompanha

normalmente as radiações alfa e beta. Por serem ondas eletromagnéticas, apresentam carga e massa nulas (portanto, não diga partícula gama).

- Ondas eletromagnéticas emitidas do núcleo de átomos em estado excitado de energia;
- Não possui carga;
- Perde energia para o meio de forma muito lenta – grande alcance (centímetros de concreto);
- Pequeno poder de ionização.

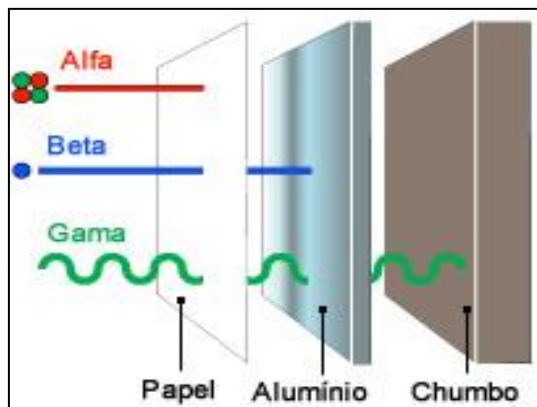
Relação entre energia e alcance:

Todo tipo de radiação ionizante, seja partícula ou onda eletromagnética, perde energia nas interações com a matéria.

Quanto maior a energia da radiação, mais interações é capaz de produzir, portanto maior o percurso até ser totalmente freada, ou seja, maior o alcance.

As radiações alfa, beta e gama apresentam na figura 14, o seguinte comportamento diante da matéria.

Figura 14. Comportamento das radiações



Fonte: Adaptado Sardella (2005)

- As radiações alfa apresentam uma velocidade em torno de 20 000 km/s e percorrem cerca de 2,5 cm no ar. Conseguem atravessar delgadas lamina de alumínio ou ouro de espessura igual a 0,0001 mm, mas são barradas por uma simples folha de papel.

- As radiações beta apresentam uma velocidade próxima a da luz e percorrem alguns metros no ar. Conseguem atravessar uma lamina de chumbo de até 2 mm ou de alumínio de até 5 mm, mas são barradas por uma placa de madeira de 2,5 cm de espessura.
- As radiações gama apresentam a velocidade das ondas eletromagnéticas (velocidade da luz: 300 000 km/s) e percorrem milhares de metros no ar. Conseguem atravessar chapas de aço de 15 cm de espessura, mas não são barradas completamente por placas de chumbo ou paredes de concreto.

Exercícios

Estas questões a seguir podem ser proposta aos alunos. As questões 01 e 02 aborda sobre o átomo, enquanto as questões 03 e 04 sobre radiações alfa, beta e gama.
Respostas: 1. (d); 2. (e); 3. (d); 4. (e);

01- Um átomo é composto de:

- (a) prótons no núcleo, neutrons e elétrons em órbita
- (b) nêutrons no núcleo, prótons e elétrons em órbita
- (c) elétrons e nêutrons no núcleo e prótons em órbita
- (d) prótons e nêutrons no núcleo e elétrons em órbita
- (e) prótons, nêutrons e elétrons em órbita

02- A carga elétrica do átomo é:

- (a) negativa ou neutra
- (b) positiva ou neutra
- (c) neutra
- (d) positiva
- (e) negativa

03. Relacione as radiações naturais alfa, beta e gama com suas respectivas características:

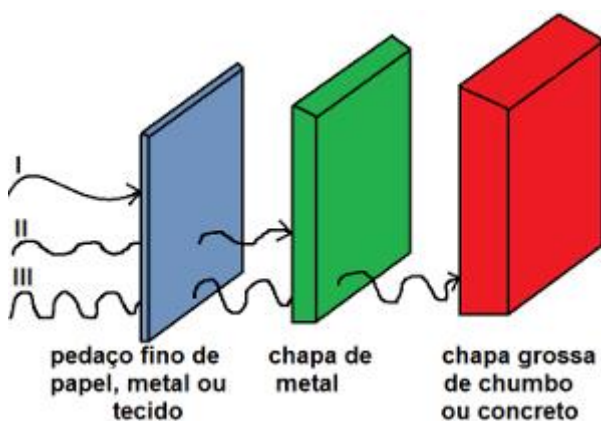
- 1. alfa (α);
- 2. beta (β);
- 3. gama (γ).

- Possuem alto poder de penetração, podendo causar danos irreparáveis ao ser humano;
- São partículas leves, com carga elétrica negativa e massa desprezível;
- São radiações eletromagnéticas semelhantes aos raios X, não possuem carga elétrica nem massa;
- São partículas pesadas de carga elétrica positiva que, ao incidirem sobre o corpo humano, causam apenas queimaduras leves.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

- 1, 2, 3, 2.
- 2, 1, 2, 3.
- 1, 3, 1, 2.
- 3, 2, 3, 1.
- 3, 1, 2, 1.

04-Ao acessar um site na internet à procura de informações sobre radiações, um aluno encontrou a seguinte figura²⁰:



Qual das radiações é a mais energética e como ela é chamada?

- É a representada em III. Radiação alfa.
- É a representada em I. Radiação gama.
- É a representada em II. Radiação beta.
- É a representada em III. Radiação beta.
- É a representada em III. Radiação gama.

²⁰<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-quimica/exercicios-sobre-radiacoes-alfa-beta-gama.htm>. Aceso em 21 de outubro de 2018,

MÓDULO 3: RADIAÇÕES: HISTÓRIA E APLICAÇÕES

Objetivo deste Módulo é explicar o conceito e características de um aparelho de raios-X, radioterapia e outros usos da radiação.

Nesta aula o professor continuará o raciocínio da aula passada e iniciará a aula explicando sobre decaimento radioativo e contando a história de Marie Curie. Em seguida, será feita apresentação teórica utilizando PowerPoint sobre a estrutura da matéria, radiações, radioatividade e radioproteção.

3.1 DECAIMENTO RADIOATIVO?

Como visto anteriormente, átomos instáveis emitem energia em forma de algum tipo de radiação para se tornarem estáveis. Eles emitem radiação espontaneamente e, na maioria dos casos, transformam-se em outros elementos ou reduzem sua massa atômica, se tornando estáveis. Essa propriedade é a Radioatividade, e esses elementos são chamados de **radioativos**.

Decaimento alfa

Um núcleo emite uma partícula alfa, em que o número atômico é diminuído de duas unidades e o número de massa é diminuído de quatro unidades atômicas, resultante em outro elemento químico.

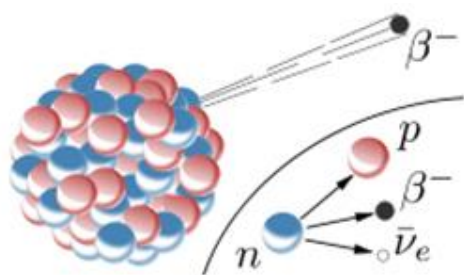
Decaimento beta

É quando o número de massa permanece o mesmo e o número atômico aumenta em uma unidade com a emissão de um elétron.

Decaimento gama

Um núcleo em estado excitado decai para um estado de menor energia, emitindo um fóton muito energético (alta frequência). Ao contrário do que ocorre no decaimento alfa e beta, o núcleo atômico continua a ser o mesmo, não havendo transmutação.

Figura 15. Representação do decaimento de um nêutron livre

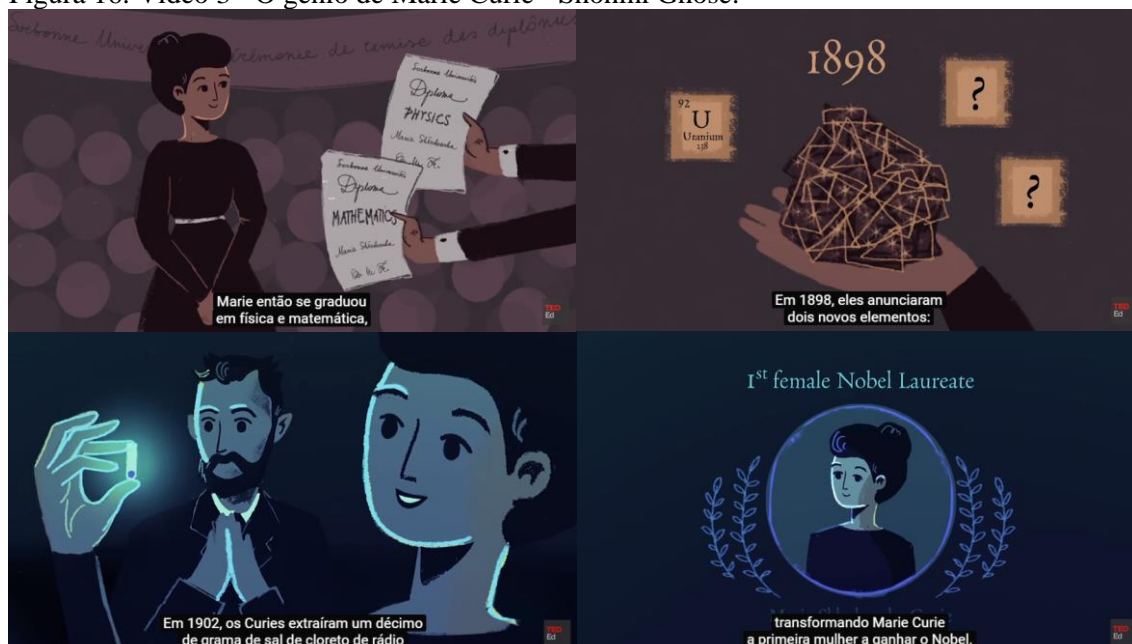


Fonte: Pietrocola et al. (2016).

3.2 MARIE CURIE E A RADIOATIVIDADE

Marie Curie foi, sem dúvidas, uma das maiores cientistas mulheres da história da ciência. Entre suas pesquisas, ela se deparou com o fenômeno da radioatividade e identificou pela primeira vez uns elementos radioativos. Assista ao vídeo nº 5: “O gênio de Marie Curie - Shohini Ghose”²¹, de duração de 05:03 min, para conhecer melhor esta cientista e algumas de suas contribuições para a ciência.

Figura 16. Vídeo 3 - O gênio de Marie Curie - Shohini Ghose.



Fonte: Adaptado do vídeo pelo Autor.

²¹https://www.youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s. Acesso em 2 de julho de 2017.

O professor pode interagir com os alunos discutindo sobre o que foi dito no vídeo, enfatizando como o casal Curie foi importante na descoberta da radioatividade e a grande importância da Marie Curie como cientista mulher e como única pessoa a ganhar dois prêmios Nobel em duas áreas diferentes: Física e Química.

A descoberta do Raios-X, em 1895, chamou a atenção de muitos cientistas, entre eles Marie Slodowska Curie. Ela foi uma das grandes mulheres pesquisadoras do século passado. Foi a primeira mulher a ganhar o prêmio Nobel, em 1903. Oito anos depois ela ganharia seu segundo prêmio Nobel. Assim, ela foi a primeira pessoa a ganhar dois prêmios Nobel na área da ciência.

Suas pesquisas ao longo de sua vida giraram em torno da radioatividade, principalmente dos elementos químicos Rádio e Polônio que foram de grande contribuição para a física nuclear e da terapia a base de radiações. Não foi tão simples para Marie alcançar tudo o que ela conquistou.

Apesar de muitos altos e baixos em sua vida familiar, em 1894 ela concluiu duas graduações, tornando-se bacharel em matemática e física. Neste mesmo ano ela conheceu o cientista francês Pierre Curie. Ele estava terminando sua tese de doutorado que tratava do efeito calor sobre propriedades magnéticas. Marie também tinha conhecimento e estudos nesse campo, podendo ser coincidência ou não, Marie e Pierre se casaram.

Em 1897 Marie começou a estudar aquilo que Becquerel não conseguia solucionar, aquela radiação emitida pelo sal duplo de Urânio. E a pesquisa de Marie Curie era tão impressionante que atingiu o marido Pierre. Que se uniu a ela, largando sua pesquisa ao perceber a importância do trabalho de Marie.

Ambos detectaram que um minério de nome Pechblenda era altamente radioativo, entretanto o Urânio extraído desse minério emitia uma radiação bem menor do que a própria Pechblenda. O casal conduziu a hipótese de que havia um novo elemento altamente radioativo na Pechblenda.

Depois do processo de separação do minério eles obtiveram uma quantidade mínima de um material que se comportava como o Bismuto do ponto de vista químico,

contudo era fortemente radioativo. A esse elemento chamaram de Polônio, em homenagem à terra natal de Marie.

Foi descoberto pelo casal que o Polônio era 400 vezes mais radioativo que o Urânio. Mas nem mesmo um nível de radiação tão alto justificava o índice encontrado na Pechblenda, o que os levava a acreditar que só poderia haver outro elemento ainda mais radioativo que o Polônio presente nela. Após um contínuo processo cansativo de separação, eles conseguiram separar uma segunda substância que era 900 vezes mais radioativa que o Urânio. A essa substância chamaram de **Rádio**.

Em 1903, eles ganharam o prêmio Nobel de Física por determinar as propriedades químicas do Rádio. Mas em 1911, Maria ganhou mais uma vez o prêmio Nobel em química.

Tendo o conhecimento do risco de contaminação por Radio, Marie jamais aceitou fazer um exame, mas exigia exames frequentes a seus ajudantes e alunos. Em julho de 1934, Marie foi vítima de sua própria descoberta, falecendo devido a uma leucemia causada pela longa exposição aos elementos radioativos.

Após esta abordagem sobre Marie Curie especialmente sobre a radioatividade dos elementos químicos. Neste momento da abordagem da aula, seria de interesse do professor, para buscar a curiosidade e interesse entre os alunos, fazer o seguinte questionamento com os alunos:

1. O que você sabe sobre raios-x? O que vem á sua cabeça quando falamos sobre isso?
2. E Para que serve?
3. Que tipo de radiação o aparelho de raios-x emite?

3.3 RAIOS-X: HISTÓRIA E APLICAÇÕES

Agora, vamos falar de outro tipo de radiação, os raios-x. O que você sabe sobre raios-x? O que vem á sua cabeça quando falamos sobre isso? E para que serve?

Discutindo este tema, o vídeo 6, intitulado “Ondas eletromagnéticas – Parte 3”²² aborda o que seria os raios-x e sua relação com a tecnologia, tanto aplicada à saúde como às pesquisas científicas.

Figura 17. Vídeo 4 - Ondas Eletromagnéticas – parte 3



Fonte: Adaptado do vídeo pelo Autor

É importante o professor discutir com os alunos sobre o que seriam os raios-x, lembrando o espectro eletromagnético já estudado e suas diversas aplicações. Normalmente, este tipo de radiação só é relacionado às imagens radiográficas. Deste modo, este vídeo pode trazer à tona novas formas de utilização desta radiação, principalmente relacionadas às tecnologias aplicadas no desenvolvimento científico, como estudo de estruturas atômicas e cosmologia.

3.3.1 Geração de raios-x e formação da Imagem Radiográfica

Uma *radiografia*, processo de produção de imagens, também é comumente denominada de *exame de raios-x*. Deste modo, a palavra *raios-x* geralmente é associada este tipo de exame. Mas como esta radiação (raios-x) pode ser utilizada, por exemplo,

²²https://www.youtube.com/watch?v=9qNzGxR_Z4U. Acesso em 2 de julho de 2017.

para analisar a estrutura óssea, detectar tumores e localizar objetos estranhos internos ao corpo.

A formação da imagem radiográfica ocorre primeiramente posicionamento o paciente sobre a mesa e colocando o écran (porta filme) na gaveta da mesa embaixo do paciente, o técnico manuseia o tubo de produção de raios-X sob o paciente no local que deseja ser feita a imagem diagnóstica.

Após preparar os comandos das máquinas, emite um fóton que atravessa o paciente e aloja-se no filme radiográfico que esta dentro de écran, este fóton queima os brometos de prata (AgBr) deixando a imagem fixada no filme que será revelada em uma processadora. A onda eletromagnética não penetra nos ossos, por causa disso que se tem a imagem radiográfica.

Figura 18. Radiografia tirada por Wilhelm Röntgen, o descobridor dos raios-x.



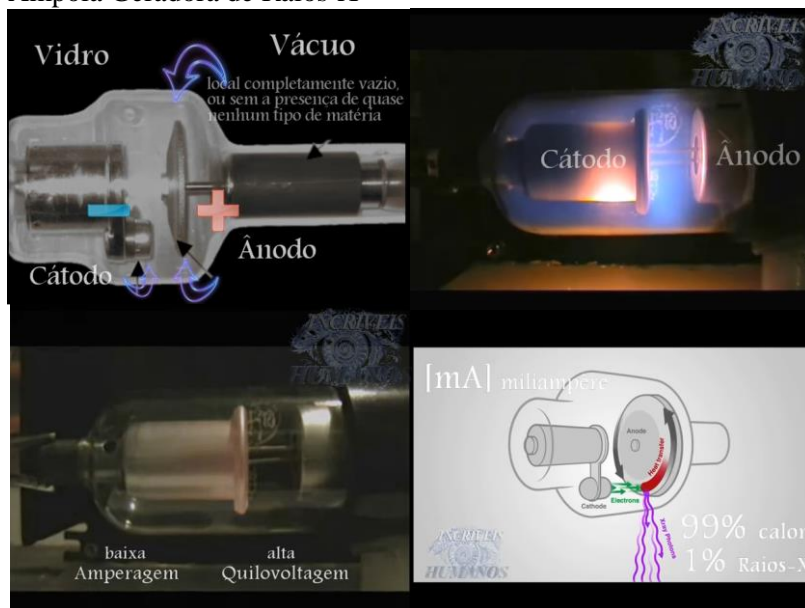
Fonte: Site “Raios Xis”²³

Mas como a radiação x pode ser produzida nas máquinas que fazem este tipo de exame? Isto é o que aborda o vídeo nº7 “Produção dos raios-x [Parte1] Componentes e Funcionamento da Ampola Geradora de Raios-X”²⁴ que ilustra como, eletronicamente, essa radiação pode gerada.

²³ <https://raiosxis.com/primeira-radiografia>

²⁴ https://www.youtube.com/watch?v=D_M4BXy_Bzw. Acesso em 2 de julho de 2017.

Figura 19. Vídeo 5 - PRODUÇÃO DOS RAIOS-X [Parte1] Componentes e Funcionamento da Ampola Geradora de Raios-X



Fonte: Adaptado do vídeo pelo autor.

O vídeo descreve como é gerada a nuvem de elétrons que resulta na radiação x. Isso ocorre quando elétrons em alta velocidade se chocam com um alvo metálico. O vídeo também descreve o funcionamento da ampola, que é o envoltório de vidro de alta resistência que contém no seu interior vácuo, e dois polos denominados ânodo (positivo) e cátodo (negativo).

3.3.2 A história dos raios-x

Os raios X foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, quando utilizou a mão esquerda da sua esposa, Anna Bertha Roentgen, e realizou a primeira radiografia, que lhe rendeu em 1901 o prêmio Nobel de Física, já apresentado na Figura 18.

Esta descoberta causou grande avanço no meio médico, pois possibilitou a melhoria no diagnóstico de patologias. Com o tempo foram surgindo diversas modificações nos equipamentos, como tubos de raios x, grades antidifusoras e diafragmas com a finalidade de diminuir a quantidade de raios x e, conseqüentemente, reduzir a exposição do paciente.

Logo após descobertos por Whilhelm C. Roentgen, os raios-x começaram a ser utilizados em diagnóstico e terapêutica, tendo Emil A. Grubbe como um de seus percursores. Em 1896, Pierre e Marie Curie descobriram o Radium 226, introduzindo-o ao tratamento terapêutico.

Inicialmente as doses eram avaliadas pelas reações induzidas na pele e a unidade correspondente foi denominada “dose eritema”. A dose administrada era avaliada segundo a intensidade do eritema.

Os progressos da física médica na década de 30 permitiram quantificar as doses de radiação e estabelecer uma relação entre quantidade e efeito biológico.

O desenvolvimento da física e da engenharia nuclear proporcionaram um grande avanço na produção de materiais radioativos obtidos artificialmente, propiciando novas fontes (entre elas o cobalto 60) com diferentes características para uso em terapias.

Esses avanços na área de física associados a uma melhor compreensão dos mecanismos bioquímicos da interação da radiação com a matéria trouxeram as bases teóricas para tratamentos que concentram grandes doses de radiação em um determinado volume alvo, protegendo os tecidos normais e lesando ao máximo os tecidos tumorais.

3.4 RADIOTERAPIA

Antes de mencionar aos alunos o título do próximo conteúdo, o professor pode questioná-los:

- Quais os tratamentos utilizados contra o câncer?
- Vocês conhecem algum?

Possivelmente, os alunos irão mencionar a radioterapia e a quimioterapia. Isto propiciará uma discussão sobre o que eles sabem destes tratamentos e a partir desta introdução, o professor pode iniciar a abordagem do tema.

A radioterapia se baseia no emprego da radiação para tratamento, utilizando vários tipos de energia que podem atingir o local dos tumores ou áreas do corpo onde se alojam as enfermidades, com a finalidade de destruir suas células. A radioterapia pode ser usada para dar alívio ao paciente e melhorar a qualidade de vida, diminuir o tamanho

dos tumores, diminuir ou estancar hemorragias, ou atuar sobre outros sintomas, como dor.

A radiação danifica o material genético da célula do tumor evitando que ela cresça e se reproduza. As células cancerígenas crescem e se multiplicam muito mais rapidamente do que as células normais que as rodeiam. O tratamento se baseia justamente na fase de multiplicação celular.

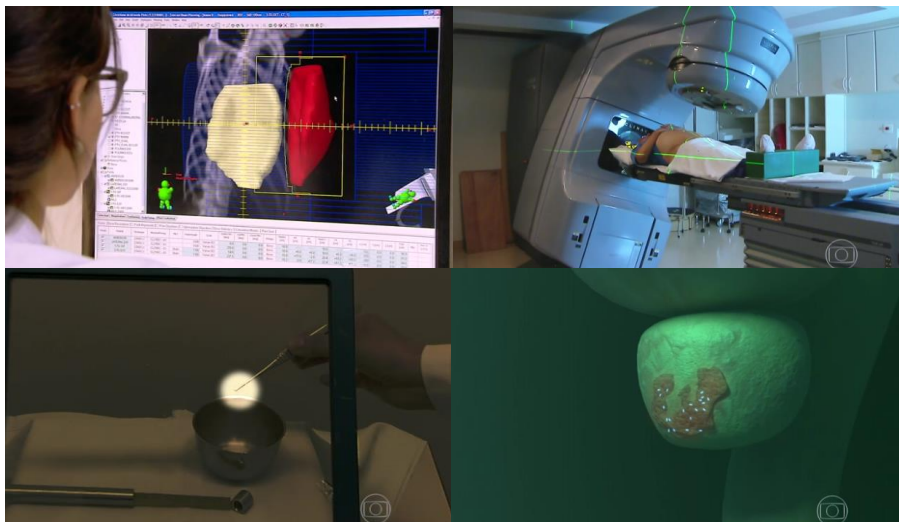
3.4.1 Como é feito o tratamento

Existem duas formas de tratamento com radiação: a teleterapia e a braquiterapia, que podem ser utilizadas isoladamente ou de forma combinada. A teleterapia, ou radioterapia externa, é a forma de radioterapia mais frequentemente empregada. Os raios, produzidos por um acelerador linear, são direcionados para o corpo do paciente, atingindo o tumor e as regiões mais próximas. Na braquiterapia a radiação provém de materiais radioativos que são colocados no interior do paciente, próximos às estruturas a serem tratadas, de forma temporária ou permanente.

Para concluir o tema de radioterapia pode-se apresentar o vídeo 8 “Radioterapia é um dos tratamentos eficazes para destruir as células cancerígenas no corpo”²⁵ de duração de 02:29 min.

Figura 20. Vídeo 8 - Radioterapia é um dos tratamentos eficazes para destruir as células cancerígenas no corpo

²⁵ <http://g1.globo.com/bemestar/videos/t/edicoes/v/radioterapia-e-um-dos-tratamentos-eficazes-para-destruir-as-celulas-cancerigenas-no-corpo/3126272/>. Acesso em 31 de maio de 2017.



Fonte: Adaptado do vídeo pelo autor.

3.4.2 Efeitos das Radiações

Efeito Biológico das radiações ionizantes:

A exposição à radiação ionizante pode ocasionar efeitos biológicos em órgãos e tecidos. Isto acontece por causa da produção de íons e deposição da energia, que podem danificar moléculas importantes como o DNA.

Devido a esta situação, pode ocorrer a produção de radicais livres, que são as moléculas quimicamente reativas com elétrons desemparelhados, os quais são produzidos pela interação da radiação ionizante com os tecidos, induzindo as quebras cromossômicas e aberrações de diversos tipos. A quantidade do dano biológico produzido depende da energia total depositada, ou seja, da dose de radiação.

Ao se considerar, que as informações genéticas são encontradas no núcleo das células e as funções metabólicas ocorrem no citoplasma, as radiações podem induzir a quebra da molécula do DNA, ou mesmo causar um dano genético ou somático.

A molécula de DNA carrega o código genético necessário para o metabolismo celular, este que quando a célula se divide é igualmente duplicado. Geralmente o dano causado pela radiação é reparado, entretanto, quando isso não acontece, pode-se levar a três alternativas: morte celular, incapacidade de reprodução ou modificação celular permanente.

Os seres humanos são constituídos de células germinativas, que estão envolvidas na reprodução humana, e de células somáticas. A divisão das células reprodutivas é referida como meiose, e a mitose representa a divisão das células somáticas. Os estágios

dessa divisão incluem a prófase e a metáfase, que são as fases mais sensíveis às radiações.

Quando células são submetidas a elevadas taxas de radiação, pode ocorrer a morte celular, definida como a perda da capacidade reprodutiva. As células com hipóxia são mais sensíveis à radiação e, portanto, a medula óssea, o esperma e os tecidos linfáticos são mais sensíveis do que o tecido nervoso.

O mecanismo de interação da radiação com a célula pode ser de dois tipos: do tipo direto de DNA ou, mais comumente, o tipo indireto, quando há formação de radicais livres que ionizam o citoplasma e afetam o DNA.

Classificam-se os efeitos biológicos conforme sua variação quanto:

- Ao tempo de manifestação;
- Ao tipo de célula atingida;
- À quantidade de energia depositada.

Ao tempo de manifestação:

Efeitos Tardios

- característicos de exposições a pequenas doses
- Manifestam-se em anos ou dezenas de anos (seres humanos)

Exemplo: câncer

Efeitos Agudos

- Característicos de exposições a doses elevadas
- Manifestam-se em, no máximo, dois meses (seres humanos).

Exemplos: eritema, síndrome aguda.

Ao tipo de célula atingida:

Efeitos Somáticos:

- Alterações provocadas pela interação da radiação ionizante com qualquer célula do organismo, exceto as reprodutivas.
- Manifestam-se no próprio indivíduo irradiado

- Exemplos: câncer, catarata.

Efeitos Genéticos (hereditários):

- Alterações provocadas pela interação da radiação ionizante com as células reprodutivas do organismo.
- Manifestam-se nos descendentes do indivíduo irradiado
- Exemplos: mutações genéticas.

À quantidade de energia depositada.

Efeitos Estocásticos:

Para baixas taxas de exposição, os efeitos deletérios das radiações são estocásticos, em que não existe um limiar de dose, ou seja, o dano pode ser causado por uma dose mínima de radiação. O aumento da dose somente aumenta a probabilidade e não a severidade do dano. A severidade é determinada pelo tipo e localização do tumor ou pela anomalia resultante.

Os efeitos estocásticos causam uma alteração aleatória no DNA de uma única célula que, porém, continua a reproduzir-se e que levam à mutação celular.

No entanto, o organismo apresenta mecanismos de defesa muito eficientes. A maioria das transformações neoplásicas não evolui para câncer. Quando este mecanismo falha, após um longo período de latência, o câncer então aparece. O tempo de latência para indução do câncer é maior para tumores sólidos do que para leucemia, e pode surgir em poucos anos. A indução do câncer da tireoide pela radiação é mais frequente para mulheres e crianças do que para homens.

Os efeitos são cumulativos: quanto maior a dose, maior a probabilidade de ocorrência. Quando o dano ocorre em célula germinativa, efeitos hereditários podem ocorrer.

Efeitos Determinísticos (não-estocásticos):

Para doses maiores que 0,5 Gy (50 rad) o efeito da radiação é chamado determinístico ou, mais comumente, não estocástico.

Existe uma relação previsível entre a dose e a dimensão do dano esperado, sendo que estes só aparecem a partir de uma determinada dose. A probabilidade de ocorrência e a severidade do dano estão diretamente relacionadas com o aumento da dose. Os efeitos determinísticos geralmente levam à morte celular.

Quando a destruição celular não pode ser compensada, se a dose estiver acima do limiar, efeitos clínicos podem aparecer. Entretanto, indivíduos diferentes apresentam sensibilidade diferente e, portanto, limiares diferentes. Exemplos de efeitos determinísticos são: leucopenia, náuseas, anemia, catarata, esterilidade, hemorragia, entre outros.

Quadro 1 - Ilustrativa das doses x danos x tempo de sobrevida

Dose absorvida de corpo inteiro (Gy)	Principal dano que contribui para a morte	Tempo de vida após a exposição (dias)
3-5	Danos na medula óssea	30-60
5-15	Danos gastrointestinais e pulmonares	10-20
>15	Danos no SNC	1-5

Fonte: Adaptado Dimenstein e Hornos (2001)

➤ O professor passa a explicar agora as outras aplicações da radiação, um breve resumo de como a radiação é aplicado na medicina, agricultura, indústria e arqueologia.

3.5 OUTRAS APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO EM NOSSO COTIDIANO

Discutimos neste módulo principalmente dois tipos de aplicações das radiações na medicina: diagnóstico e radioterapia. No entanto, outras áreas também utilizam as radiações para objetivos distintos. Podem ser aplicadas também, por exemplo, na agricultura, indústria e arqueologia.

3.5.1 RADIAÇÃO NA AGRICULTURA

A utilização da radiação na agricultura inclui a irradiação de alimentos (Figura 21), controle de pragas, estudos relacionados à nutrição animal, as aplicações de

radioisótopos em estudos ambientais e agropecuários. Também podemos incluir a utilização na física do solo com técnicas nucleares, estuda os efeitos da poluição sobre as águas e sobre o sistema do solo/planta/atmosfera, possibilitando ao homem a preservação e conservação da água e do solo em sistemas agrícolas.

Figura 21 - Fruta irradiada versus fruta sem irradiação

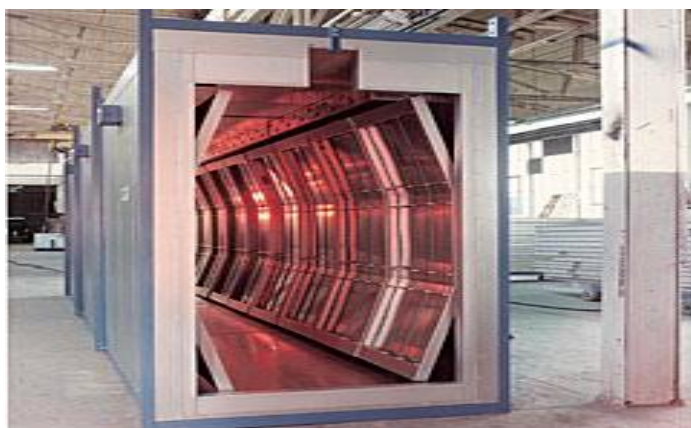


Fonte: Guimarães, Piqueira e Carron (2017).

3.5.2 RADIAÇÃO NA INDÚSTRIA

A utilização na indústria, por exemplo, pode ocorrer através avaliação de desgastes de motores. Na indústria farmacêutica e nos hospitais, as radiações podem ser usadas na esterilização de luvas cirúrgicas, cateteres e seringas.

Figura 22 - Forno Infravermelho Industrial para verificação de peças soldáveis



Fonte: Guimarães, Piqueira e Carron (2017)

3.5.3 RADIAÇÃO NA ARQUEOLOGIA

Uma das grandes aplicações da radioatividade na arqueologia é a datação de rochas, fósseis e peças antigas. Que essa técnica, que consiste em comparar a quantidade de carbono-14 presente no organismo atual com a existente antes do organismo morrer.

3.6 REJEITOS RADIOATIVOS

A problemática que resulta em discussões sobre a produção de resíduos nucleares, que esta presente nos equipamentos de raios-x, radioterapia, tomografia, entre outros, gira em torno de dois pontos básicos.

O primeiro ponto diz a respeito aos produtos da fissão: resíduos radioativos inerentes ao processo de fusão que também são conhecidos como lixo atômico. Além de alguns serem altamente tóxicos, são responsáveis por uma atividade radioativa que podem chegar, em alguns casos, a milhares de anos.

O Quadro 2 apresenta alguns produtos de fissão e sua meia-vida em anos. Meia-vida é a quantidade de ano em que os elementos são radioativos.

Quadro 2. Produtos de fissão e meia-vida correspondente

Nuclídeo	Meia-vida (anos)
Estrôncio-90	29
Rutênio-106	1
Césio-134	2
Césio-137	30
Promécio-147	2,6
Urânio-238	4.468.000.000

Fonte: Guimarães, Piqueira e Caron (2017).

O segundo ponto refere-se aos riscos de vazamento de radiações das usinas nucleares, que podem colocar em perigo a vida das pessoas em geral, principalmente aquelas que moram próximas as usinas nucleares.

Três exemplos de acidentes com reatores nucleares foram: em 1979 na usina de Three Miles Island, nos Estados Unidos, 1986 na usina de Chernobyl na Ucrânia e em

2011 na usina de Fukushima no Japão. Estes acidentes chamaram a atenção do mundo todo, gerando mais discussões sobre esse tipo de reatores. Principalmente devido que estes acidentes além de afetarem o meio ambiente, afetam a população que mora ao redor e podem afetar também as futuras gerações.

Outros fatores que também devem ser levados em consideração é o nível de atividade radioativa e o volume ocupado. O rejeito radioativo dos reatores geralmente ocupa pouco espaço, porém tem elevado nível de radiação. Enquanto que o rejeito da mineração do urânio é de baixa atividade, mas ocupa grandes volumes.

O armazenamento dos rejeitos radioativos seja talvez o único custo realmente das usinas nucleares. Pois uma solução definitiva ainda não existe. Os métodos mais comuns de armazenamento são:

- Confinamentos em contêiner blindados e reforçados
- “Sepultamento” em bunkers de concreto, após cinco anos de resfriamento nas piscinas dos reatores.
- O confinamento em depósitos geológicos profundos, como em tuneis escavados em montanhas.
- Depositados no fundo do mar.

Exercícios

Estas questões a seguir podem ser proposta aos alunos. As questões abordam o topico de raios-x
Respostas: 1. (c); 2. (b); 3. (a); 4 e 5 abertas.

01 – (Puc – RS) Em 1985, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X, que são usados principalmente na área médica e industrial. Esses raios são:

- a) Radiações formadas por partículas alfa com grande poder de penetração.
- b) Radiações formadas por elétrons dotados de grandes velocidades.
- c) Ondas eletromagnéticas de frequências maiores que as das ondas ultravioletas.
- d) Ondas eletromagnéticas de frequências menores do que as das ondas luminosas.
- e) Ondas eletromagnéticas de frequências iguais as das ondas infravermelhas.

02-(UFGRS_RS) Os raios X são produzidos em tubos de vácuo, nos quais elétrons são submetidos a uma rápida desaceleração ao colidir contra um alvo metálico. Os raios X constituem um feixe de :

- a) Elétrons
- b) Fótons
- c) Prótons
- d) Póstrons
- e) Nêutrons

03-(ENEM) Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de eletricidade é a destinação dos rejeitos radiativos, o chamado “lixo atômico”. Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de ser, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de:

- a) emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.
- b) acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.
- c) ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.
- d) exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.
- e) emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

04- O que significa dizer que determinado elemento químico é radioativo?

05- Se os Raios X podem danificar os tecidos humanos, o que justifica a sua utilização em diagnóstico médico?

MÓDULO 4: VISITA TÉCNICA

Objetivo deste Módulo uma aula interativa e analisar, durante a visita técnica, como acontece o funcionamento dos aparelhos de Raios-X, Tomografia Computorizada e Ressonância Magnética, possibilitando um maior conhecimento e podendo deste modo visualizar na prática os conhecimentos teóricos adquiridos.

Atividade 1. Visita técnica

A aula de visita técnica é facultativa, ou seja, aos professores que tiverem a possibilidade de realizar esta atividade é um extra para o conhecimento de seus alunos. No entanto, aos que não conseguirem realizar este módulo também não há problema, sugiro que então apresente uma aula demonstrativa com os equipamentos que são utilizados em um laboratório ou hospital, para que os estudantes consigam da mesma forma associar os conhecimentos adquiridos da mesma forma dos alunos que participaram da aula prática/visita técnica.

Pedir para os alunos fazerem um relatório sobre a visita técnica. Pode ser usado o modelo abaixo.

RELATÓRIO VISITA TÉCNICA

Nome da Instituição:

Alunos:

Turma:

Data da Visita:

Nome do Professo:

1. Objetivo da Visita?
2. Quais pontos observados durante a visita técnica foram vistos em sala de aula?
3. A visita técnica colaborou para o seu conhecimento? Como?
4. Conclusão sobre a visita técnica.

MÓDULO 5: AVALIAÇÃO FINAL

Objetivo avaliar o conhecimento adquirido pelos alunos até o momento.

Atividade 1. Questionário final

Para a avaliação final dos conhecimentos dos alunos sobre radiação, pode ser aplicado o questionário a seguir.

Este questionário pode ser usado juntamente com o questionário inicial para analisar e mesurar o aprendizado durante os módulos anteriores.

Questionário Final

1. O que vem à sua mente quando ouve esta palavra: RADIAÇÃO
2. O que é radiação?
3. Como se propaga?
4. A radiação pode fazer mal ao nosso organismo? O que pode causar?
5. A radiação pode ser utilizada para nos auxiliar em alguma situação ou aplicada para melhorar nossa saúde? Em que situações?
6. Desenhe o esquema das emissões das radiações alfa, beta e gama.
7. Qual o procedimento de uma pessoa ao ser contaminada por radiação?

CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA

A Física das Radiações é trabalhada com os alunos geralmente ao final do terceiro ano do ensino médio, mas muitas vezes acaba ignorada. Esse resultado pode estar relacionado à falta de tempo hábil ou ainda a insegurança do professor em abordar tal conteúdo. Neste contexto, um material de apoio que aborde as aplicações deste tema no contexto diário dos alunos, é de suma importância.

Diante disto, esta SD foi elaborada com o intuito de trabalhar o conteúdo de física das radiações com o cotidiano dos alunos, ou seja, utilizar as relações de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), com enfoque na radiologia.

Os resultados obtidos com a aplicação da SD em sala de aula demonstraram uma evolução gradativa do conhecimento dos alunos referentes aos conceitos trabalhados na SD, por meio de questionários e participação durante as aulas.

Com a utilização da CTS, foi possível realizar uma abordagem dinâmica, com satisfatória participação e interação dos alunos, nos indicando que a intervenção realizada com esta SD alcançou os objetivos propostos inicialmente.

REFERÊNCIAS:

ALMEIDA, E. V., **A Radioatividade e suas aplicações**. Monografia. Universidade de São Paulo - São Paulo, 2004.

ALMEIDA, V. N.; **O Ensino de Química com Enfoque Ciências, Tecnologia e Sociedade na Educação de Jovens e Adultos**. Universidade Luterana do Brasil – Canoas, 2008.

ARTUSO, A. R., WRUBLEWSKI, M., **Física**. Vol. 3, 1ª ed., Curitiba, Editora Positivo, 2013.

BIRAL, A. R., **Radiações ionizantes para médicos físicos e leigos**. Editora Insular, Florianópolis 2002.

BISCUOLA, G. J., BOAS, N. V., DOCA, R. H., **Física**. Vol. 3, 2ª ed., São Paulo, Editora Saraiva, 2013.

BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, V.; RAMOS; C. M.; PRADO, E. P.; CASEMIRO, R. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. Editora FTD, 2º ed. São Paulo, 2013.

BONJORNO, J. R; BONJORNO, R. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. **Física novo fundamental**. Editora FTD, São Paulo, 1999.

BONJORNO, J. R., *et al.* **Física – Eletromagnetismo e Física Moderna**. São Paulo, FTD. - Vol. 1, 2ª Ed., 2013.

BRASIL, Ministério da Saúde Secretaria de Vigilância Sanitária, Portaria N° 453: **Estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios-X diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências**. 01 de junho de 1998. Disponível em: <<http://saude.es.gov.br/Media/sesa/NEVS/Servi%C3%A7os%20de%20sa%C3%BAde%20e%20de%20interesse/portaria453.pdf>> acesso em ago 2017.

CARRON, W.; PIQUEIRA, J. R.; GUIMARÃES, O.; **Física: ensino médio**. Editora Ática, vol. 3, parte 2, São Paulo, 2017.

DIMENSTEIN, R.; HORNOS, Y. M. M., **Manual de proteção radiológica aplicada ao radiodiagnóstico**, Editora SENAC, São Paulo 2001.

FERRARO, N. G., TORRES, C. M. A., PENTEADO, P. C. N., **Física**, São Paulo, Ed. Moderna, 2013.

FILHO, A. G., TOSCANO, C., **Física – Interação e Tecnologia**. Vol. 3, 1ª ed., São Paulo, Editora Leya, 2013.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W.; **Física: eletromagnetismo e física moderna**. 2 ed. Editora Ática, São Paulo 2017.

MAXIMO, A. R., ALVARENGA, B., **Física – Ensino médio**. Vol3, 1ª ed., São Paulo, Editora Scipione, 2013.

MORAES, A. F.; JARDIM, V.; **Manual de Física Radiológica**. Editora Yendis, São Paulo, 2011.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em contextos**, vol. 3, 1ª ed. São Paulo, Editora do Brasil, 2016

SANT'ANNA, B., *et. al*, **Conexões com a Física**. Vol. 3, 1ª ed., São Paulo, Editora Moderna, 2013.

SARDELLA, A. **Química**. Editora Ática, vol. único, São Paulo, 2005.

SCAFF, L. A. M.; **Radiologia: Bases físicas para técnicos**. Editora Projeto Saber, São Paulo, 2004.

SILVA, C. X. FILHO, B. B., **Física: aula por aula**. Vol. 3, 2ª ed., São Paulo, Editora FTD, 2013.

TORRES, C. M. A., *et al.*, **Física: Ciência e Tecnologia**. Vol. 3, 3ª ed., São Paulo, Editora Moderna, 2013.

TRIPLER, A. P.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. Editora LTC, vol. 1, ed. 5, São Paulo, 2006.

YAMAMOTO, K., FUKU, L. F., **Física: para o ensino médio**. Vol. 3, 4ª ed. São Paulo, Editora Saraiva, 2017.