

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA**

ADRIANA CAVALCANTI	Nº USP: 7278611
FABIO GREGORIO GALINDO	Nº USP: 6799580
JOSÉ ALDENI ROCHA FILHO	Nº USP: 6507580
THIAGO DE OLIVEIRA	Nº USP: 7159768
ZHOUREN ZHU	Nº USP: 7159813

EDM0425 – METODOLOGIA DO ENSINO DE FÍSICA I

Prof. Mauricio Pietrocola

MÓDULO DE ENSINO INOVADOR

A RADIAÇÃO NA MEDICINA

Critérios	Escala 1 a 4
Organizacao geral e fluxo	4
Clareza e detalhamento das orientações	2
Qualidade das atividades	3
Diversidade das atividades	3
Apoio ao professor	3
Qualidade do texto	3
Estimativa temporal	3
total - 21 pt	-7,5

São Paulo, 29 de junho de 2016

SUMÁRIO

Apresentação.....	3
Resumo/Justificativa.....	3
Objetivos.....	4
Público alvo.....	4
Número de aulas.....	4
Conteúdo físico trabalhado.....	5
Motivação para a escolha do tema.....	5
Quadro resumindo das aulas.....	6
Sequência descritiva das aulas.....	7
Primeira aula.....	7
Segunda aula.....	8
Terceira aula.....	9
Quarta aula.....	10
Quinta aula.....	11
Sexta aula.....	12
Sétima aula.....	13
Oitava aula.....	14
Anexos.....	15
Referências.....	27

APRESENTAÇÃO

Este Módulo de Ensino Inovador foi concebido de modo a trazer um assunto ao mesmo tempo de alta relevância histórica e contemporânea, e não presente no currículo do Ensino Médio. Cotidianamente estamos em contato com diferentes tipos de radiação e, em nosso Módulo, optamos por explorar alguns deles, em particular, os que tem aplicação direta na medicina. Módulo, portanto, pretende trabalhar com o tema da radiação, na medicina, desde os aspectos históricos de sua descoberta (e sua aplicação quase imediata nos hospitais, sem ponderar suas consequências) até a Física envolvida nos processos, priorizando os aspectos qualitativos.

RESUMO/JUSTIFICATIVA

Os principais aspectos pertinentes do Módulo, que o torna inovador, é se tratar de um conteúdo não abordado no Ensino Médio e ser interdisciplinar, reunindo elementos de Física, Química, Biologia e História, todos altamente relacionados. A metodologia adotada envolve o uso extensivo de textos curtos e questionários para discussões, além das apresentações com bastantes ilustrações e vídeos (também curtos), com a ideia de trazer o aluno do 3º ano, mesmo com pouca bagagem de conteúdo, efetivamente para as discussões e levando a um bom entendimento do tema.

Alguns assuntos trazem bastantes controvérsias, e o tema radiação com certeza faz parte dessa lista, tendo os meios de comunicação um papel fundamental na divulgação do tema, mas, em geral, sem um embasamento científico para que a população estabeleça opiniões sólidas a respeito. Quando esse embasamento aparece, alguns conceitos são de difícil entendimento. O espectro eletromagnético, por exemplo, ainda que conste no currículo, dificilmente é discutido. Com base nisso, propomos um Módulo que tenta caracterizar o aspecto de dualidade da radiação, ou seja, que pode ser benéfica ou não aos seres humanos, de uma forma não neutra (pois acreditamos em um fator risco benefício positivo no uso das radiações) mas que tenta abordar ambos os aspectos e que permita ao aluno refletir sobre e construir sua própria opinião, além de adquirir uma bagagem de conhecimentos físicos novos. Temos também por finalidade concatenar o conteúdo ao que é ministrado no ensino médio, de forma a explorar e aprofundar em

alguns conceitos como os modelos atômicos e núcleos atômicos, decaimento, partículas, emissão e radiação eletromagnética, espectro de energia e dualidade onda partícula e assim promover um avanço qualitativo a cerca de informação a cerca desses conceitos, aprofundando-os tecendo assim um fio de continuidade para aquilo que foi visto no ensino médio e que nós do grupo julgamos ser muito superficial e pouco valorizado nos livros didáticos para o ensino médio.

OBJETIVOS

Com a proposta de introdução à Física Médica, o Módulo tem o objetivo mostrar-lhes o mundo que os cercam no que diz respeito às radiações, e seus benefícios e malefícios associados ao tema. A radioatividade será trabalhada a partir do modelo atômico planetário ou orbital supostamente conhecido ao longo do ensino médio (porém, aqui revisado), avançando com as definições, características e fenômenos relacionados aos usos da radioatividade na medicina, bem como os efeitos biológicos e as proteções radiológicas. Ao final do Módulo, espera-se que os alunos conheçam alguns tipos de radiações (eletromagnética e proveniente da emissão de partículas) e seus efeitos, de modo que ele saia com uma visão desmistificada do assunto. Espera-se também que os alunos tenham noções básicas das aplicações diretas das radiações na medicina e o funcionamento básico de alguns equipamentos, além da noção elementar de proteção, que visa minimizar ao máximo os potenciais efeitos nocivos.

PÚBLICO ALVO

Estudantes do 3º ano do Ensino Médio

NÚMERO DE AULAS

8 aulas de 45 minutos

CONTEÚDO FÍSICO TRABALHADO

- Raios X e Raios Gama
- Ondas Eletromagnéticas e grandezas associadas
- Modelos atômicos e partículas estruturantes do átomo
- Emissão de partículas alfa e beta
- Atenuação de raios X
- Transferência de energia
- Ionização através das Radiações
- Grandezas físicas associadas à proteção radiológica
- Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes

MOTIVAÇÃO PARA A ESCOLHA DO TEMA

Os fatores que nos motivaram a adotar o tema tiveram início pelo significado dado à radiação pela sociedade, em geral como algo nocivo, perigoso, a ser temido. Nós, como estudantes de Física, temos um embasamento um pouco maior que nos permite concluir de maneira diferente a respeito disso. Por outro lado, essa mesma população que tem medo das radiações convive tranquilamente com os exames de raios X, para citar o mais comum. Julgamos importante, trazer essa discussão, sobre a quão nociva pode ser a exposição à radiação e, por outro lado, o impacto positivo que as tecnologias associadas pode trazer. Esse se mostrou um ótimo pretexto para falar de uma Física, além de pouco abordada no contexto do Ensino Médio, bastante interessante e que possui poucos pré-requisitos considerando nossa abordagem predominantemente qualitativa.

QUADRO RESUMIDO DAS AULAS

AULA	TEMA	MOMENTO
1 ^a	Introdução ao Módulo Inovador	Apresentação do Módulo Inovador
		Problematização inicial
		O impacto dos raios X na medicina
		Leitura do texto 01 – A descoberta do raio X
2 ^a	Conceitos de radiação eletromagnética	Discussão sobre o texto 01
		Radiação Eletromagnética
3 ^a	Conceitos de radioatividade 01	Questionário 01 – Radiação eletromagnética
		Leitura do texto 02 – A descoberta da radioatividade
		Discussão sobre o texto 02
4 ^a	Conceitos de radioatividade 02	Radioatividade – Estrutura atômica e emissão de partículas
		Questionário 02 – radioatividade
5 ^a	Exames de diagnóstico por imagem	Problematização e Questionário 03 – Diagnósticos por imagem
		Atenuação de raios X
		Discussão sobre o questionário 03
		Aparelhos de diagnóstico por imagem
6 ^a	Efeitos biológicos das radiações	Leitura do Texto 03 – Efeitos biológicos das radiações
		Mutação e morte celular. Reações teciduais e limiares de dose
		Efeitos estocásticos e determinísticos
		Síndromes da radiação
7 ^a	Tratamentos médicos que envolvem a radiação	A radioterapia no combate ao câncer
8 ^a	Proteção radiológica	Cinco fatores da redução de exposição à radiação
		Fechamento do Módulo Inovador

SEQUÊNCIA DESCRITIVA DAS AULAS

PRIMEIRA AULA

Tema: Introdução ao Módulo Inovador

Objetivos:

- Apresentar o Módulo Inovador
- Levantar uma problematização inicial
- Ressaltar o impacto positivo na medicina ocidental quanto à descoberta dos raios X

Conteúdo físico abordado:

- Raios X (ênfase histórico)

Recursos utilizados:

- Apresentação de slides
- Vídeo 01: Portable X-Ray On Duty At Front 1943
- Vídeo 02: Röntgen Film, X-Ray
- Texto 01: A descoberta dos Raios-X
- Giz e lousa

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Apresentação do Módulo Inovador, seu tema e finalidade.	5 minutos
Introdução de uma questão problematizadora através da exposição de uma foto normal e um raio X, onde o questionamento deve ser acerca de suas semelhanças e diferenças. Breve discussão sobre a opinião dos alunos acerca da questão de suas opiniões.	10 minutos
Exposição do impacto gerado com o advento do raio- X enquanto utilização para exames de imagem, relatando como se dava alguns tratamentos e cirurgias antes da utilização do Raio X e após sua descoberta com emprego na medicina. Exibição do Vídeo 01, sobre uma unidade móvel de raio X utilizada em um contexto de guerra. Demonstração de slides com alguns exames de raio X em partes do corpo com fraturas, tumores, estilhaços de projeteis, etc. Exibição do Vídeo 02, sobre o funcionamento do sistema digestivo, visto sob a ótica do raio X.	20 minutos
Leitura do Texto 01, sobre a descoberta dos raios X, em conjunto com os alunos, com algumas pausas para comentários e destaques do texto.	10 minutos

SEGUNDA AULA

Tema: Conceitos de radiação eletromagnética

Objetivos:

- Apresentar o conceito de onda eletromagnética
- Definir o espectro eletromagnético de modo a colocar os raios X e outras ondas conhecidas, como a luz, dentro da mesma categoria
- Proporcionar o entendimento sobre a diferenciação de tipos de ondas eletromagnética pela energia que ela possui

Conteúdo físico abordado:

- Raios X e gama (como ondas eletromagnéticas)
- Ondas: energia, frequência e comprimento de onda

Recursos utilizados:

- Texto 01: A descoberta dos Raios-X
- Apresentação de slides
- Giz e lousa

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Discussão do Texto 01, de modo a proporcionar a compreensão dos alunos a respeito do impacto da descoberta dos raios X, com destaque para a rápida proliferação do uso da descoberta para fins de tratamentos de fraturas, sem um estudo rigoroso a respeito de eventuais consequências. Esclarecimentos quanto a prováveis dúvidas.	15 minutos
Definição de espectro magnético e faixas de frequência e energia. Fótons (radiações X e gama). Nível energético das radiações eletromagnéticas, discussão a respeito do poder de penetração e conceito de deposição de energia.	30 minutos

TERCEIRA AULA

Tema: Conceitos de radioatividade 01

Objetivos:

- Discutir, qualitativamente, através de questionário, os aspectos vistos na aula anterior sobre radiações eletromagnéticas
- Fazer uma abordagem histórica a respeito da descoberta da radioatividade
- Introduzir

Conteúdo físico abordado:

- Raios X e gama (como ondas eletromagnéticas)
- Radiação como emissão de partículas (ênfase histórico)

Recursos utilizados:

- Questionário 01
- Texto 02: A descoberta da radioatividade
- Apresentação de slides
- Giz e lousa

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Entrega do Questionário 01, para ser discutido e respondido preferencialmente em pequenos grupos, com a finalidade de consolidar alguns aspectos mais relevantes, no âmbito qualitativo, das radiações eletromagnéticas. O professor pode auxiliar os grupos, mas idealmente deve ser feita uma discussão com toda a sala, como fechamento desta etapa.	20 minutos
Leitura do Texto 02, sobre a descoberta da radioatividade, em conjunto com os alunos, com algumas pausas para comentários e destaques do texto.	10 minutos
Discussão do Texto 02, com ênfase na discussão do aspecto tanto benéfico quanto prejudicial mencionado por Curie em seu discurso Nobel, de modo a estimular o raciocínio de que o caráter da ciência pode ser definido pelo uso que fazemos dela. Esclarecimentos quanto a prováveis dúvidas.	15 minutos

QUARTA AULA

Tema: Conceitos de radioatividade 02

Objetivos:

- Revisar os modelos atômicos
- Definir radioatividade, decaimento e emissão de partículas alfa e beta, e discutir seus poderes de penetração

Conteúdo físico abordado:

- Modelos atômicos
- Emissão de partículas alfa e beta

Recursos utilizados:

- Apresentação de slides
- Giz e lousa
- Questionário 02

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Revisitar os modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford e as partículas que os formam. Decaimento e emissão de partículas (alfa e beta). Poder de penetração dessas partículas e deposição de energia.	30 minutos
Entrega do Questionário 02, para ser discutido e respondido preferencialmente em pequenos grupos, com a finalidade de consolidar alguns aspectos mais relevantes, no âmbito qualitativo, da emissão de partículas e proporcionar a reflexão a respeito das diferenças entre as emissões alfa, beta e da radiação gama. O professor pode auxiliar os grupos, mas idealmente deve ser feita uma discussão com toda a sala, como fechamento desta etapa.	15 minutos

QUINTA AULA

Tema: Exames de diagnóstico por imagem

Objetivos:

- Problematizar a formação de imagens nos exames de raio X
- Discutir a respeito de formação de imagens na radiologia
- Permitir ao estudante conhecer outras formas de exames

Conteúdo físico abordado:

- Atenuação de Raios X por materiais

Recursos utilizados:

- Questionário 03
- Apresentação de slides
- Giz e lousa
- Vídeo 03: Diagnóstico por imagem: como funciona? (Raios X, Tomografia, Ressonância Magnética, Ultrassom).

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Entrega do Questionário 03, que tem a função de problematizar a questão da formação de imagens no exame de raio X e, idealmente, terá sido respondido no decorrer da aula.	10 minutos
Discussão com os alunos a respeito da atenuação dos raios X por materiais, que em geral é relacionada à natureza destes e da energia dos raios incidentes. Essa discussão deve levar ao entendimento sobre a formação das imagens dos ossos e à noção do porquê da utilização de contrastes, no caso da necessidade de identificação de outros tecidos ou órgãos menos absorvedores.	15 minutos
Discussão acerca do Questionário 03, onde é prevista a utilização do conteúdo discutido no momento anterior para estabelecer um consenso quanto às soluções, em comparação com as respostas previstas dos alunos, ao início da aula.	10 minutos
Breve exposição dos aparelhos utilizados em diagnósticos por imagens na medicina: raios X, tomografia computadorizada e ressonância magnética, com breve descrição sobre o funcionamento, através da exibição do Vídeo 03.	20 minutos

SEXTA AULA

Tema: Efeitos biológicos das radiações

Objetivos:

- Estabelecer algumas das consequências da incidência da radiação no corpo, em nível macroscópico e celular (Ionização dos átomos e suas decorrências)
- Discutir os efeitos biológicos estocásticos e determinísticos das radiações
- Discutir as síndromes da radiação e os limiares de dose

Conteúdo físico abordado:

- Transferência de energia da radiação incidente para o corpo humano

Recursos utilizados:

- Texto 03: Efeitos Biológicos das Radiações nos Seres Vivos
- Apresentação de slides
- Giz e lousa

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Leitura do Texto 03, sobre a ocorrência de efeitos biológicos em cientistas, que trabalhavam por períodos prolongados com radiação. Leitura em conjunto, com pausas para discussão de destaque de pontos importantes.	10 minutos
Exposição dos efeitos das radiações nas células e morte celular. Reações teciduais imediatas e respostas biológicas aos limiares de dose.	15 minutos
Discussão acerca da diferença entre efeitos estocásticos e determinísticos.	10 minutos
Síndromes da Radiação (hematopoiética, gastrointestinal e do sistema nervoso central).	10 minutos

SÉTIMA AULA

Tema: Tratamentos médicos que envolvem a radiação

Objetivos:

- Problematicar a ideia dos efeitos da radiação que causa efeitos negativos, mas também é utilizada no tratamento de doenças.
- Discutir a forma com que a radioterapia ataca as células cancerosas.

Conteúdo físico abordado:

- Transferência de energia da radiação incidente para o corpo humano, relacionada aos radicais livres de oxigênio

Recursos utilizados:

- Apresentação de slides
- Giz e lousa

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Problematicação: Questionar ao aluno sobre como ele poderia explicar os efeitos benéficos da radioterapia, uma vez que ele já viu os danos que a radiação causa no corpo humano.	10 minutos
Breve explicação sobre a radiólise da água e radicais livres de oxigênio. A relação entre a riqueza em oxigênio e a susceptibilidade da célula aos efeitos da radiação. As características de um tumor: zonas anóxicas e hipóxicas.	15 minutos
Retomada da problematicação: como expor o paciente à radiação de modo a atacar apenas o tumor, minimizando ou eliminando os efeitos indesejáveis?	10 minutos
Breve descrição de equipamentos radioterápicos	10 minutos

OITAVA AULA

Tema: Proteção radiológica

Objetivos:

- Propor que os alunos levantem formas de se proteger da radiação, no ponto de vista de um paciente, de um profissional e da pessoa comum.
- Estabelecer as bases da proteção radiológica.

Conteúdo físico abordado:

- Fatores que interferem no poder de penetração e energia das radiações.

Recursos utilizados:

- Apresentação de slides
- Giz e lousa

Momentos da aula:

MOMENTO	TEMPO
Problematização: Questionar ao aluno sobre como poderíamos nos proteger da radiação, uma vez estabelecidos seus benefícios, mas já cientes que a exposição é inevitável.	10 minutos
Descrição de cinco fatores fundamentais na proteção radiológica: tempo, blindagem, distância, sinalização e monitoração.	20 minutos
Segurança no ambiente hospitalar.	10 minutos
Fechamento do módulo: feedback dos alunos.	05 minutos

TEXTO 01 – A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

(Adaptado de “OKUNO, E., Yoshimura, E. M. – Física das Radiações”)

No início de 1890, muitos cientistas estavam pesquisando a natureza dos raios catódicos emitidos de um tubo de vidro à vácuo, chamado tubo de Crookes, com dois eletrodos metálicos aos quais se aplicava uma diferença de potencial. O próprio William Crookes havia percebido que o que passou a ser chamado de raios catódicos eram emanações que partiam do eletrodo negativo e se propagavam em linha reta, e que o local do tubo onde esses raios incidiam luminescia. Ele conseguiu também defletir os raios, aplicando um campo magnético que o fez conjecturar se seriam cargas negativas.

Phillip Lenard modificou o tubo de Crookes, colocando uma janela de alumínio para ver se os raios catódicos saíam através dessa janela para o exterior. Para verificar isso, colocou um anteparo fluorescente e verificou que até uma distância de 8cm, ele detectava luminescência devida aos raios catódicos.

Era uma sexta-feira, 8 de novembro de 1895, e a noite chegando, quando Wilhelm Conrad Röntgen, professor de física da universidade de Würzburg, na Alemanha, decidiu repetir o experimento feito por Lenard. Embrulhou o tubo com papel preto, para que a luminescência muito forte no vidro não atrapalhasse a visão de uma tela pintada com platino cianeto de bário, que fluorescia fracamente quando colocada a cerca de 8 cm do tubo. Apagou a luz do laboratório, acomodou os olhos à escuridão e foi afastando a tela até 2m do tubo, e verificou que a luminescência persistia. Ligou e desligou o tubo e percebeu que toda vez que desligava, a luminescência desaparecia. Ficou tão intrigado com o fenômeno que passou as sete semanas seguintes trabalhando sozinho no laboratório, pois o que ele estava observando não eram os efeitos dos raios catódicos: os novos raios emanados do tubo eram mais penetrantes que os raios catódicos e não sofriam desvio com campo magnético.

Röntgen observou que os raios emanados do tubo tinham uma capacidade notável de atravessar diferentes materiais, desde livros, madeiras e placas metálicas com

diversas espessuras até alguns líquidos. Durante a colocação de uma das peças entre o tubo e a tela, ele observou, atônito, que o contorno dos ossos de seus dedos estava sendo mostrado na tela fluorescente. Concluiu que aqueles raios eram parcialmente parados pelos ossos, da mesma forma que por uma placa de vidro contendo átomos de chumbo. No dia 22 de dezembro, Röntgen chamou sua esposa, Anna Bertha, que estava intrigadíssima, pois ele pouco comia e dormia, para confidenciar sua descoberta, e a convenceu a radiografar a mão dela, que deveria ficar estática durante os 15 minutos de exposição. Logo após o natal, Röntgen terminou de escrever o artigo “On a new kind of rays” e o enviou para ser publicado no “Proceedings of the Physical-Medical Society de Würzburg. No artigo, ele descreve que batizou com o nome de raios X o agente responsável pela luminescência, por questão de brevidade, e que esses raios se originavam no vidro justamente onde os raios catódicos incidiam. O artigo com a radiografia da mão da Sra. Bertha foi publicado em 28/12/1895. No primeiro dia do ano de 1896, o próprio Röntgen foi ao correio para enviar cópias do artigo - contendo, entre várias radiografias, a de uma caixa de pesos de balança de precisão e a da mão de sua esposa- para cientistas renomados, como William Thomson (Lorde Kelvin), Henri Poincaré e Franz Exner, ex colega que era, então, diretor do Instituto de Física em Viena. Este havia organizado um jantar informal para seus colegas físicos, como era seu costume, entre os quais estava Ernst Lecher, cujo pai era editor do jornal Neue Freie Presse, de Viena. Durante o jantar, os convidados ficaram estupefatos ao tomarem conhecimento do artigo e das radiografias. Dessa forma, o furo jornalístico saiu publicado na primeira página do jornal de domingo, 5 de janeiro de 1896, com a notícia da descoberta feita pelo pesquisador alemão W.C. Röntgen sobre uma forma fantástica de ver o interior de um corpo sem cortá-lo, e que a nova técnica seria a ferramenta futura para o diagnóstico médico. O correspondente inglês do London Chronicle, que leu a matéria, telegrafou imediatamente para a Inglaterra e a notícia foi publicada lá no dia seguinte assim, a notícia espalhou-se pelo mundo, atravessou o Atlântico, e a revista Nature publicou o artigo, traduzido para o Inglês, em 23/1/1896, no volume 53, página 274-276. Nesse mesmo volume foram publicados mais três artigos de outros autores sobre os raios do professor Röntgen.

Um ano após a descoberta dos raios X, mais de 1.000 artigos tinham sido escritos por cientistas do mundo todo, e Röntgen foi agraciado com o primeiro Prêmio Nobel de Física, em 1901. Ele próprio publicou, nos anos seguintes, somente mais dois

artigos relacionados com raios X. Röntgen havia ficado muito amargurado com Lenard, que insistia que o crédito pela descoberta dos raios X deveria ser dele. Em 1905, Lenard também ganhou o Prêmio Nobel de física, pelo seu trabalho com raios catódicos.

Röntgen empenhou-se em descobrir a natureza dos raios X, porém não teve sucesso. Somente em 1912 é que a natureza dos raios x foi firmemente estabelecida como sendo onda eletromagnética de comprimento de onda muito menor que o da luz, por Max von Laue (1879-1960), físico alemão que concebeu a ideia de usar um cristal como rede de difração em experimentos de difração de raios X. Ele publicou artigo a respeito em 1912 e recebeu prêmio Nobel de Física em 1914. Entretanto, naqueles anos havia um debate quanto à natureza da luz, se era onda ou partícula. Somente em 1920, com a teoria da dualidade onda-partícula, é que ficou estabelecido que a luz e os raios x apresentam caráter dual, e foi dado o nome de fóton a partícula associada à onda eletromagnética.

Foi também nessa mesma época que se descobriu que os raios gama emitidos espontaneamente pelos núcleos dos átomos radioativos são de igual natureza física dos raios X, ou seja, ambos são ondas eletromagnéticas de frequência extremamente alta, maior que a da radiação ultravioleta. A diferença entre ambos está na origem, pois os raios x tem sua origem fora do núcleo dos átomos, enquanto que os raios gama provêm do núcleo e da aniquilação de partículas.

TEXTO 02 – A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE

(Adaptado de “OKUNO, E., Yoshimura, E. M. – Física das Radiações”)

Como tantas descobertas importantes feitas acidentalmente, a da radioatividade também não fugiu à regra. Embora se trate de um processo descrito como “serendipity”, “acidentalmente” não seria bem a expressão correta, pois muitos outros pesquisadores talvez já tivessem se deparado com o fenômeno, mas na verdade não foram capazes de interpretá-lo corretamente. Pode-se dizer que essa também é a história do ovo de Colombo. (A palavra serendipity foi introduzida por Horace Walpole no século XVIII para referir-se ao dom dos heróis da lenda persa The three princes of Serendip. O autor aludia às descobertas feitas pelos três príncipes, acidentalmente ou por esperteza. Serendip é também o nome antigo da ilha de Sri Lanka).

Se o tempo não tivesse ficado nublado, talvez Antoine-Henri Becquerel não teria descoberto a radioatividade no início de 1896. Essa descoberta marcou o início da Física Nuclear. Becquerel havia tomado conhecimento da descoberta dos raios-X por Roentgen, numa sessão da Academia de Ciências de Paris, em 20/1/1896, por meio de Henry Poincaré, que havia recebido uma cópia do artigo de Roentgen. Este dizia que esses raios eram emitidos pela parede fosforescente do tubo de Crookes e que, ao incidir num anteparo pintado com platino cianeto de bário, produzia luminescência. Becquerel interessou-se imediatamente pelo assunto, pois tanto ele quanto seu pai e avô haviam trabalhado com o fenômeno da luminescência.

O processo da luminescência refere-se à emissão de radiação óptica por certos materiais quando expostos à radiação eletromagnética. De uma maneira clássica, podemos distinguir dois processos de luminescência, a fosforescência e a fluorescência, pelo intervalo de tempo entre a irradiação (excitação) e a emissão de luz. No caso da fosforescência, esse tempo é maior do que 10^{-8} s, e no caso da fluorescência, menor do que 10^{-8} s (quase instantânea). A fluorescência para quando termina a excitação, mas a fosforescência continua mesmo após cessar a excitação. O comprimento de onda da luz emitida é, na maior parte das vezes, maior do que a da radiação incidente e característico da substância que luminesce.

Becquerel decidiu então verificar se todos os materiais fosforescentes apresentavam a mesma propriedade. O experimento baseava-se em colocar material fosforescente sobre uma chapa fotográfica embrulhada com papelão preto e expor o conjunto ao sol. Ele supunha que a energia Solar faria o material fosforescer, isto é, emitir luz, a qual, por sua vez, sensibilizaria o filme. As primeiras experiências realizadas com substâncias fosforescentes não deram certo. As esperanças de Becquerel recaíram então sobre os sais de urânio, que pareciam ter propriedade interessantes do ponto de vista da fosforescência e da absorção de luz.

Para continuar os experimentos, Becquerel teve que esperar que os cristais de sulfato duplo de urânio e potássio – $K_2(UO_2)(SO_4)_2$ – que ele havia fabricado há 15 anos e emprestado a Gabriel Lippmann, lhe fossem devolvidos. Na nova experiência, após poucas horas de exposição do conjunto à luz solar, ele observou uma imagem fraca do contorno do cristal ao revelar a chapa fotográfica, resultado este apresentado no dia 24 de fevereiro de 1896 na Academia de Ciências de Paris.

Becquerel tentou repetir experimento nos dias 26 e 27 de fevereiro de 1896, com dois cristais de sulfato duplo de urânio e potássio, que eram fosforescentes, e com uma fina cruz de cobre interposta entre um dos cristais e o filme. Como o céu ficou nublado, ele guardou o conjunto dentro de uma gaveta e ficou esperando por dias ensolarados para continuar a iluminação. Como o tempo não melhorou, ele decidiu revelar o filme mesmo assim, no dia 1º de março, esperando ver manchas muito claras, em razão da iluminação difusa. Qual não foi surpresa quando viu manchas muito mais escuras do que aquelas obtidas anteriormente, ao iluminar o conjunto com os raios solares fortes, mas por pouco tempo. Becquerel percebeu que estava diante de raios emitidos mesmo na ausência do sol. No dia 2 de março, ele relatou seu achado à revista *Comptes Rendus*, da Academia de Ciência de Paris. No dia 9 do mesmo mês, descobriu que os raios emitidos pelo sal de urânio produziam a descarga de corpos eletrificados da mesma forma que os raios-X. Concluiu dizendo que essas emissões (radiações) apresentavam uma grande analogia com aquelas observadas por Roentgen. Foi no dia 22 de março que ele finalmente relatou à Academia de Ciências que os sais de urânio (uranosos), que não são fosforescentes, também emitem radiação invisível com a mesma intensidade que os sais de urânio (urânicos) fosforescentes. Portanto, essa emissão nada tinha a ver com fosforescência, mas sim com urânio.

Em dezembro de 1891, a polonesa Maria Salomea Sklodowska havia chegado a Paris para estudar na Sorbonne. Após sua licenciatura em Matemática, casou -se com Pierre Curie, passando a chamar-se Mme. Curie. No início de 1897, ela procurou Becquerel para orientá-la em uma tese de doutorado, o qual sugeriu-lhe o tema “Sobre a Natureza dos Raios de Becquerel”. Posteriormente, porém, ela mudou de tema e passou a buscar outros elementos com propriedade similar, isto é, a de emitir radiação. Foi ela quem cunhou a palavra radioatividade e publicou um artigo, juntamente com P. Curie, em julho de 1898, reportando-se à descoberta de um novo elemento químico, que ambos batizaram com o nome de polônio e símbolo Po. Em dezembro desse mesmo ano, anunciaram a descoberta de outro elemento radioativo: o rádio. Assim, foram mais dois elementos que vieram a fazer parte da Tabela Periódica de Mendeléeu.

Em 1903, o casal Curie e Becquerel receberam o prêmio Nobel de Física. Em seu discurso na Academia Sueca, P. Curie disse:

“Finalmente, em Ciências Biológicas os raios do rádio e sua emanção produzem efeitos interessantes que estão sendo estudados no momento. Os raios do rádio foram usados no tratamento de algumas doenças (lúpus, câncer, doenças nervosas). Em certos casos, sua ação pode tornar-se perigosa. Se alguém levar em seu bolso, por algumas horas, uma caixa de madeira ou papelão contendo uma pequena ampola de vidro com vários centigramas de um sal de rádio, não sentirá absolutamente nada. Mas, depois de 15 dias, aparecerá na epiderme uma vermelhidão e, em seguida, uma ferida de difícil cicatrização. Uma ação mais prolongada poderia levar à paralisia e à morte. O rádio deve ser transportado numa caixa espessa de chumbo.

Pode-se até pensar que rádio em mãos criminosas poderia tornar-se muito perigoso, e aqui pode ser levantada a questão se a humanidade se beneficia em conhecer os segredos da Natureza, se ela está pronta para lucrar com isso ou se esse conhecimento não lhe trará prejuízos”.

Pierre Curie fez um paralelo com a invenção de dinamite por Nobel, dizendo ainda que a humanidade deveria fazer uso das novas descobertas mais para o bem do que para o mal.

Quem veio a pesquisar a natureza dos raios de Becquerel foi Ernest Rutherford (Prêmio Nobel de Química em 1908), na McGill University, no Canadá, onde havia sido contratado em 1898. Rutherford mediu a razão carga/massa das partículas alfa e identificou-as provisoriamente como íons positivos de hidrogênio ou de hélio. Só mais tarde, em 1911, foram estabelecidas como núcleo de átomo de hélio.

Em 1899, Ernest Rutherford escreveu:

“Esses experimentos mostram que a radiação do urânio é complexa e que estão presentes ali pelo menos dois tipos de radiação – uma facilmente absorvida, que será chamada, por conveniência, de radiação alfa, e a outra com caráter mais penetrante, que será chamada de radiação beta”.

Em 1900, Paul Villard identificou a existência de um terceiro tipo de radiação. Somente três anos depois, Rutherford batizou-a de radiação gama (γ), que, ao contrário dos dois primeiros tipos, não sofria deflexão em campo magnético. Foi Rutherford quem estabeleceu que a radiação gama é uma onda eletromagnética da mesma natureza que os raios-X.

Mme. Curie ganhou o segundo prêmio Nobel, desta vez em Química, após quatro anos de pesquisa para determinar a massa atômica do novo elemento, o rádio. Em seu discurso de Prêmio Nobel, Radium and the New Concepts in Chemistry, em 11/12/1911, ela disse:

“Cerca de 15 anos atrás, a radiação do urânio foi descoberta por Henri Becquerel, e dois anos mais tarde, o estudo desse fenômeno foi estendido a outras substâncias, primeiro por mim, e depois por Pierre Curie e por mim. Esse estudo aparentemente nos conduziu à descoberta de novos elementos, a

radiação dos quais, embora sendo análoga àquela do urânio, era muito mais intensa. Todos os elementos que emitem tal radiação eu designei radioativos, e a nova propriedade da matéria revelada nessa emissão recebeu então o nome de radioatividade”.

TEXTO 03 - EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES NOS SERES VIVOS

(Adaptado de “OKUNO, E., Yoshimura, E. M. – Física das Radiações”)

Logo após a descoberta dos raios X e da radioatividade, teve início o uso desenfreado das radiações, que haviam se tornado a solução para todos os males. Surgiram cremes de beleza, chocolates, cigarros, águas, cremes dentais e até supositórios contendo material radiativo em suas fórmulas e composições. Os próprios médicos que queria ver a forma de seu crânio por curiosidade tiraram suas radiografias e, mais tarde, viram seus cabelos caírem, uma vez que não havia nenhum controle nem da intensidade, nem da energia do feixe de raio X. A pele da mão esquerda de Emil H. Grubbé, estudante de medicina e fabricante de tubos de raios catódicos, já apresentava dermatite aguda e dolorida quando procurou um médico no dia 27 de janeiro de 1896. Esse médico ficou impressionado com o dano causado pela radiação e propôs a Grubbé fazer um tratamento de câncer de mama avançado na paciente Rose Lee, utilizando seus tubos de raio X. Foi o primeiro tratamento radioterápico, conforme registros. O cientista Elihu Thomson foi um dos primeiros a fazer experimento em si próprio. Ele expôs deliberadamente seu dedo mínimo da mão esquerda aos raios X, de meia hora a uma hora por dia, durante vários dias, em 1896. Como consequência, o dedo mínimo apresentou queimadura severa com bolhas e muita dor. O próprio Becquerel detectou queimadura em sua pele, atrás do bolso da camisa onde ele levava um pequeno frasco contendo rádio, que havia recebido de Mme. Curie. Ele levava essa fonte para demonstração em suas conferências. Alguns médicos chegaram a eliminar mancha ou pinta de nascença expondo-as aos raios X.

Aos poucos, tornou-se evidente que a exposição à radiação provocava efeitos deletérios imediatos e tardios nos tecidos humanos.

Os **efeitos biológicos das radiações** podem ser classificados quanto ao seu mecanismo, se direto ou indireto, e quanto à sua natureza, se **reações teciduais** (nos tecidos) ou **efeitos estocásticos**.

QUESTIONÁRIO 01 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

- 1 - O que a frequência de uma onda tem a ver com sua energia?
- 2 - Qual a principal semelhança entre um feixe de raios-X e um feixe de luz? E qual é a principal diferença entre eles?
- 3 - Discuta quais as aplicações que você conhece para os raios-X. Você acha que a descoberta dos raios-X foi algo importante? Por quê?

QUESTIONÁRIO 02 – RADIOATIVIDADE

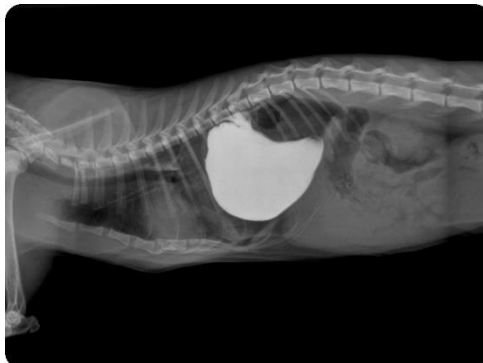
- 1 - O que o físico Becquerel descobriu acerca do urânio?
- 2 - Qual a composição do núcleo atômico?
- 3 - É possível um átomo de hidrogênio emitir radiação alfa?
- 4 - Imagine que lhe seja dado três biscoitos radioativos: um deles emite radiação alfa, o outro beta e o outro gama. Você tem três opções, um deles você deve comer, o outro colocar no bolso e o outro segurar na mão. Qual escolha você deve fazer para se proteger ao máximo? Ou seja, qual deles você segurará, qual você comerá e qual você guardará no bolso? Por quê?

QUESTIONÁRIO 03 – DIAGNÓSTICOS POR IMAGEM

1 – Agora que você conhece a natureza dos raios X, como você explicaria para um leigo sobre a formação da imagem dos ossos de uma pessoa?



2 – Como você explica a aparição nítida do estômago do paciente na imagem abaixo? Os raios X não registram apenas os ossos?



3 – Ainda sobre a imagem acima: como você explicaria a aparição apenas do estômago? Ou seja, como foi “selecionado” um órgão específico para aparecer na imagem?

REFERÊNCIAS

- HEWITT, P. J. – Física Conceitual, 9ª Edição, 2002;
- OKUNO, E., Yoshimura, E. M. – Física das Radiações, São Paulo: Oficina de Textos, 2010;
- Röntgen Film, X-Ray. Vídeo do Youtube, disponível para visualização em <https://www.youtube.com/watch?v=-MvRHqksjZA>. Último acesso em 22/06/2016.
- HD Historic Archival Stock Footage WWII - Portable X-Ray On Duty At Front 1943. Vídeo do Youtube, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Bz87soYuZLI>. Último acesso em 22/06/2016.
- Diagnóstico por imagem: como funciona? (Raios X, Tomografia, Ressonância Magnética, Ultrassom). Vídeo do portal Youtube, disponível para visualização em <https://www.youtube.com/watch?v=kycJTRoo48U>. Último acesso em 27/06/2016.
- História da Radiologia - Wilhelm Conrad Röntgen - FAMESP. Vídeo do Youtube, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=FWnSibyHVNo>. Último acesso em 27/06/2016.
- DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, M. (Org.) Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002. p. 125- 150.