

GUIA PRÁTICO DE RADIOTERAPIA
PARA TÉCNICOS E TECNÓLOGOS EM RADIOLOGIA

RT

radio terapia

TIAGO TODESCATTO

SÃO PAULO - 2018

RADIOTERAPIA

Princípios físicos e suas aplicações

Tiago Todescatto

São Paulo

2018

RADIOTERAPIA

Para Estudantes/Técnicos e Tecnólogos em Radiologia

Este livro tem o objetivo de levar conhecimento de maneira fácil e prático a todos os alunos, técnicos e tecnólogos em radiologia.

Radioterapia - Todescatto

Editor	Guia Prático Radioterapia
Tiago Todescatto	
https://www.facebook.com/groups/radiologiamoderna/	Site
Produção, revisão e capa	Tiago Todescatto
radiologiamoderna@hotmail.com	
Autor	Todescatto, Tiago
Obra	Radioterapia
	Tiago Dos Santos Todescatto
	São Paulo - SP
	390p; A5 148/210
	Preto e branco e/ou Colorido
	2ª Edição
	São Paulo, 2018
Editora	AgBook

É proibida a reprodução total ou parcial de qualquer parte deste livro, por qualquer meio, incluindo a internet, sem a autorização por escrito do autor. Lei 9.610/98.

© Tiago Todescatto

O autor

TIAGO TODESCATTO

- ✓ Técnico e Tecnólogo em Radiologia pela Faculdade Método de São Paulo – FAMESP.
- ✓ Autor de 7 livros da área da radiologia
- ✓ Professor das Técnicas Radiológicas, Radioterapia, Ressonância Magnética, Física Radiológica, Tomografia Computadorizada e Medicina Nuclear no Centro Educacional ETIP – Santo André.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Tiago T.' with a stylized flourish.

Radioterapia - Todeskatto

Esta obra é dedicada a todos os técnicos tecnólogos e alunos da radiologia, pois, estão todos os dias lutando e aumentando os seus conhecimentos para ajudar o próximo.

Sumário

Capítulo 113

Introdução

História dos átomos

História da Radioterapia

Capítulo 230

Princípios físicos

- As radiações ionizantes artificiais
- As radiações ionizantes naturais
- Decaimento radioativo
- Decaimento radioativo gama - (Emissão de radiação gama)
- Decaimento radioativo alfa (Emissão de partículas alfa)
- Decaimento radioativo beta (Emissão de partículas beta negativo β^-)
- Radioterapia – Conceito geral
- Teleterapia
- Braquiterapia
- Quimioterapia
- Imunoterapia
- Terapias Específicas de Câncer
- Prognósticos
- Padrões de Propagação
- Fatores Prognósticos
- Testes clínicos
- Equipe oncológica

Tipos de equipamentos

- Ortovoltagem
- Telecobalto
- Acelerador linear
- Equipamentos de braquiterapia

Capítulo 3.....85

Células

DNA

RNA

Capítulo 4.....91

Neoplasias

- Estágios para o câncer
- Principais causas para formação do câncer
- Radiobiologia do tumor
- Evitar as lacunas durante o tratamento
- Agendamento de tratamento
- Plano de tratamento, horários e "problemas duplos"
- Direções futuras
- Estágios do ciclo celular
- Crescimento do tumor
- Classificação do tumor
- Etiologia e epidemiologia
- Detecção e diagnóstico
- Exames de triagem
- Componentes de processamento

Radioterapia - Todescatto

- Estadiamento da doença
- Classificação TNM
- Grau
- Opções de tratamento
- Estadiamento cirúrgico/patológico
- Cirurgia
- Interações das radiações com a matéria

Órgãos de riscos e tolerâncias dos tecidos normais

Capítulo 5.....172

Princípios do planejamento e definição dos volumes de tratamento

- Recomendações da ICRU – 50, 62
- Planejamento
- A confecção desses blocos de proteção

Capítulo 6.....196

Tecnologia avançada e métodos de aquisição de imagens para planejamento

- Simulação virtual de CT
- Simulador convencional
- Simulador-CT

Radioterapia de intensidade modulada (IMRT)

Arcoterapia Volumétrica Modulada (VMAT)

Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT)

Capítulo 7.....211

Radioterapia – Acessórios

- Máscaras Termoplástica
- Bite Block (Bloco de mordida)
- Abaixador de ombro
- Suporte para os braços (Borboleta de 2 poste de mão)
- Suporte para os braços (Suporte T)
- Suporte pélvico
- Suporte do tipo berço “colchão”
- Suporte "Belly Board"
- Material - Bolus

Capítulo 8.....223

Técnicas de simulação

- Dimensional - 2D
- Tridimensional - 3D
- Tomografia computadorizada 4D
- Volume de contornos
- Sistemas de Controle da Respiração

Técnicas de tratamento

- Fantomas
- SAD
- SSD
- Tamanho de campo
- Dmax / Output / Fator Output
- Soluções dose

Radioterapia - Todescatto

- Tratamento convencional
- Correções de Inomogeneidade
- Junções de vigas
- Terapia de elétrons
- Tratamento conformal
- Tratamento complexo IMRT
- IGRT
- Radioterapia estereotáxica
- Fracionamento de dose
- Garantia da Qualidade
- Considerações práticas
- Verificações da máquina
- Protocolos de Dosimetria
- Verificações de planejamento
- Documentação do paciente
- Profissionais capacitados

Capítulo 9.....265

Radioterapia em emergência – protocolos

Referências Bibliográficas.....382

1 – APRESENTAÇÃO

A área da Radioterapia requer conhecimento específico de física das radiações, técnicas de posicionamento do paciente, proteção radiológica e anatomia. O uso dessas técnicas deve ser feito com critério para que a segurança do profissional e do paciente seja preservada. Materiais radioativos devem ser manuseados com cuidado, não com medo. Desta forma garantimos o atendimento humanizado dos usuários e a qualidade do tratamento. Com base nessas considerações e na experiência adquirida durante vários anos de vivência na área da radiologia e ensino que foi escrito este livro de Radioterapia.

O conteúdo desse livro é objetivo e de fácil interpretação. Espero que este livro seja de grande valia a todos que direta ou indiretamente estejam envolvidos com a área da saúde.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A radioterapia é um método de tratamento médico que utiliza radiação ionizante para destruir células tumorais.

Radiação é toda energia provinda de uma fonte natural ou artificial e que se propaga no vácuo, no ar ou em meios materiais. Essas radiações podem ter energias capazes de ionizar e alterar a estrutura da matéria ou de apenas excita-las sem ioniza-las. Quando a matéria é ionizada, denominamos essa radiação de ionizante, e quando a energia não é suficiente para ionizar a matéria chamamos de radiação não ionizante.

Sabe-se que matéria é todo corpo que contém massa e ocupa espaço (Ex.: a água; o ar; o corpo humano; tudo isso tem massa e ocupa espaço), ou seja, somos matéria. Toda matéria é constituída de partículas elementares muito pequena, denominadas de átomo. O átomo é constituído de um núcleo que fica no “centro” onde encontramos outros dois tipos de partículas, o próton de carga elétrica positiva e o nêutron de carga elétrica neutra, e uma órbita (eletrosfera) subdividida em 7 camadas eletrônicas onde estão distribuídos os elétrons de carga elétrica negativa. Os átomos se ligam uns com

Radioterapia - Todescatto

os outros para formarem as moléculas (ex.: H^2O), dando origem as células (ex.: neurônio). O conjunto de células formam os tecidos (ex.: tecido conjuntivo), vários tecidos formam os diferentes tipos de órgãos (ex.: fígado, rins, pulmões), o conjunto de órgãos formam os sistemas (Ex.: Sistema muscular, urinário, circulatório), e por fim, todos os sistemas dá origem ao complexo corpo humano como um todo.

Radiação ionizante é toda energia capaz de ejetar (arrancar) elétrons da eletrosfera dos átomos, transformando átomos em íons, por isso denominado ionizante. Todo átomo ionizado (íon) buscará sua estabilidade, ou seja, tentará recuperar aquele elétron arrancado em virtude dos efeitos da radiação, e isso causará uma reação química, onde esse íon se ligará a uma molécula, dando origem ao radical livre, processo chamado de efeito indireto da radiação, que poderá gerar danos a outras células e ao DNA. A radiação também poderá atingir diretamente o DNA, a quebra das fitas de DNA no efeito direto da radiação, poderá causar necrose ou apoptose, ou seja, morte celular.

A radiólise é um exemplo de quebra da molécula de água por radiação ionizante em radioterapia. Essa molécula de água (H^2O) quando se quebra pode se transformar em 2 ou 3 átomos separados, ($H+O+H$ ou $H+OH$) que pode se ligar a outros átomos do corpo exposto a radiação, se transformando quimicamente em uma nova molécula (ex.: molécula de peróxido de hidrogênio), mais conhecido como água oxigenada.

Radioterapia - Todescatto

Imagine a água oxigenada (H^2O^2) dentro do nosso organismo! É isso causaria um grande "estrago".

As primeiras aplicações da radioterapia não foram muito eficazes, isso se deve à falta de conhecimento específico dos efeitos maléficos da radiação ionizante na época, onde usava-se a radioatividade de forma descontrolada, e por essa razão os tratamentos de tumores tiveram que ser suspensos por alguns anos.

Ao passar dos anos, quando já havia conhecimento suficiente sobre fracionamento de doses, onde as radiações eram aplicadas controladamente durante o tratamento, atacando ao máximo o tumor e minimizando as doses da radiação em células saudáveis, é que os tratamentos radioterápicos voltaram a ser realizados novamente.

O Brasil ainda deixa a desejar em relação a equipamentos de radioterapia. Segundo o Instituto Nacional do Câncer (INCA 2016), atualmente existe cerca de 357 equipamentos instalados. Desses, 269 estão nos hospitais que atendem a população de acesso exclusivo pelo sistema único de saúde (SUS). A organização mundial da saúde (OMS) prevê a necessidade de uma máquina para cada 300mil habitantes. Isso gera um déficit muito alto de pacientes com câncer que morrem por falta de tratamento radioterápico, pois precisaríamos ter 680 máquinas para dar conta da população brasileira. A tecnologia avançada dos aparelhos de radioterapia, como por exemplo (IMRT), encontramos no Brasil, porém, está

localizado na grande maioria nas instituições privadas. Conclui-se que a demanda de equipamentos ainda é muito baixa nos estados brasileiros, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, acarretando milhares de morte por câncer. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que mais de 20 milhões de novos casos de câncer aparecerão em todo o mundo, e 17 milhões de morte pela doença. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA) e o Ministério da Saúde (MS) “estimam a ocorrência de cerca de 600 mil casos novos de câncer no Brasil em 2018, os cânceres de próstata (68 mil) em homens e mama (60 mil) em mulheres serão os mais frequentes” (INCA, 2018).

Ainda segundo o instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA, 2018) “Os tipos de câncer mais incidentes no mundo foram pulmão (1,8 milhão), mama (1,7 milhão), intestino (1,4 milhão) e próstata (1,1 milhão) ”.

HISTÓRIA DOS ÁTOMOS

Desde a antiguidade, os filósofos gregos já se perguntavam de onde viemos, para onde vamos, do que é constituído a matéria, e como surgiram todas as “coisas” do universo. O ser humano sempre foi curioso, porém, tudo naquela época eram apenas suposições, os gregos acreditavam por exemplo: que a luz visível sai dos nossos olhos e por isso conseguimos enxergar os objetos, ou seja, essa afirmação era apenas uma opinião, não tinham provas científicas do que diziam. Foi então que em torno de 450 a.c que dois filósofos gregos, Leucipo e Demócrito disseram: “Tudo que existe no universo, inclusive nós, é constituído de uma partícula indivisível”. Eles diziam que se cortássemos qualquer matéria em pequenos pedaços, e continuássemos cortando, ao final chegaríamos a uma única partícula indivisível, ou seja, que não haveria mais como dividi-la ao meio. Tal partícula foi denominada átomo, pois (a) no grego significa (não), e (tomo) equivale a (divisível). Os séculos foram se passando e a vontade de entender a vida e tudo que nela há foi aumentando. No século XV d.c, Galileu Galilei revolucionou a ciência, quando resolveu não apenas “supor” como as coisas existiam e sim fazer experimentos que comprovasse cientificamente tudo que fosse dito.

Aquela história de que tudo que existia era composto de átomos era até então simples opiniões, pois não

havia experimentos que comprovasse que tal suposição, pensado por Leucipo e Demócrito fosse real. Galileu Galilei através de experimentos mostrou que qualquer objeto independente do peso e sem interferência do ar, caíam ao mesmo tempo no chão, ou seja, Galileu provou com experimentos o que disse. Desde Galileu até os dias atuais tudo que for dito, só é aceito pela física se for comprovado através de experimentos. No ano de 1803, um físico chamado por John Dalton (1803), resolveu explicar como era o átomo mencionado por Leucipo e Demócrito 450 a.c, e disse: “Toda a matéria é formada por átomos, que por sua vez são indivisíveis e indestrutíveis”, e não pode ser decomposto.



Figura 1.1 John Dalton - Físico e Químico Inglês.

Fonte: <http://www.fq.pt/biografias/dalton>.

O modelo Dalton dizia que o átomo era uma esfera maciça, indivisível, indestrutível e sem carga elétrica. Por não conter provas suficientes, esse modelo não foi muito longe.

Radioterapia - Todescatto

Um século depois, outro físico chamado Joseph John Thomson, resolveu mostrar seu modelo atômico. Nesse modelo, Thomson dizia: “O átomo é como uma esfera com carga positiva recheada de elétrons com carga negativa”. Para Thomson os elétrons contidos sobre a esfera poderiam ser “retirados”. Esse modelo ficou conhecido como pudim de passas.

A descoberta dos elétrons por Thomson deu uma nova “cara” ao átomo, isso acabou incentivando outros cientistas da época.

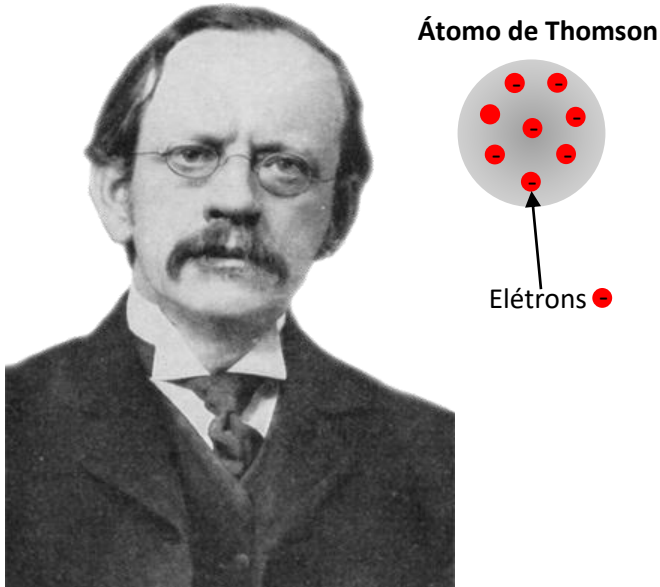


Figura 1.2 Joseph John Thomson - Físico Britânico que descobriu o elétron. Fonte: <https://estudiosdelafisica.wordpress.com/2015/04/01/joseph-john-thomson/>.

Radioterapia - Todescatto

No início do século XX, Ernest Rutherford (1911), fazia experimentos com a partículas positivas alfa, Rutherford bombardeou uma lâmina de ouro com partículas positivas, e logo descobriu que algumas partículas sofriam desvio e outras passavam direto pela lâmina de ouro.

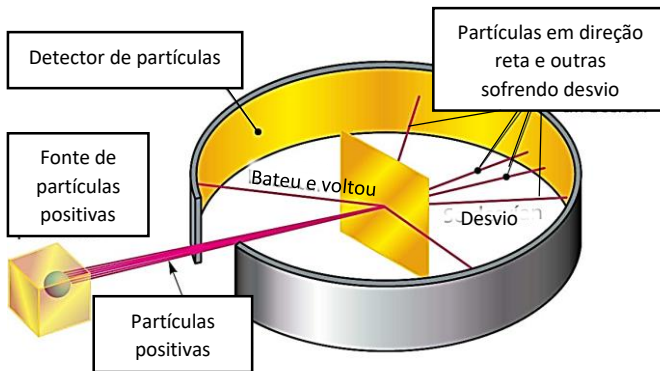


Figura 1.3 Esquema do experimento de Rutherford bombardeando a lâmina de ouro com partículas positivas. Fonte: <https://www.rolscience.net/2016/08/experimento-de-rutherford.html>.

Rutherford então concluiu que, o átomo era formado por um núcleo, onde estavam as cargas positiva (Prótons), e uma eletrosfera onde estavam os elétrons de carga negativa. Anos mais tarde James Chadwick descobriu o nêutron, e atualmente o átomo é constituído de um núcleo onde estão os prótons e os nêutrons, e uma eletrosfera onde estão os elétrons girando em torno do núcleo.



Figura 1.4 James Chadwick - Físico inglês descobridor do nêutron. <https://www.soq.com.br/biografias/chadwick/>.

Radioterapia - Todeskatto

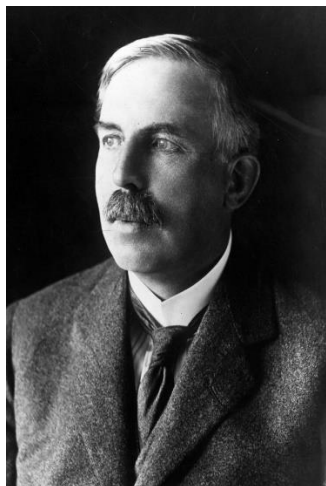
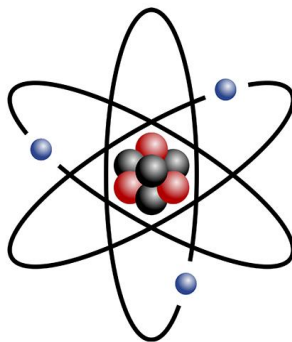


Figura 1.5 Átomo de Rutherford. Nêutron (bolinha preta); Próton (bolinha vermelha) e Elétron (bolinha azul).

Figura 1.6 Ernest Rutherford (1911). Fonte: <https://nzhistory.govt.nz/people/ernest-rutherford>.

Átomo de Rutherford

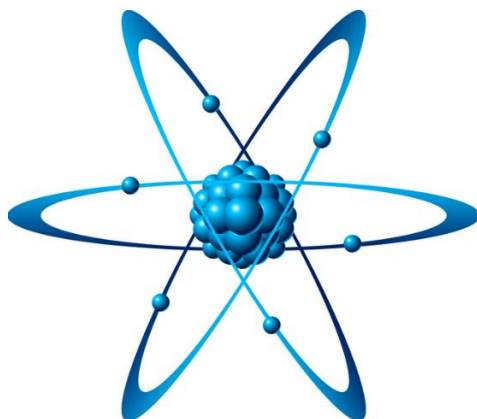


Figura 1.7 Modelo planetário do átomo de Rutherford. Fonte: <https://www.programaciencialivre.com.br/single-post/2015/08/18/Como-funciona-nossa-vida-Parte-3-Final>.

Radioterapia - Todescatto

No modelo atual, Bohr descreveu o átomo organizando os elétrons em sete camadas eletrônicas, onde cada camada tem uma quantidade máxima de elétrons e se distribui pelas camadas de acordo com o seu nível de energia. As camadas eletrônicas são identificadas por letras, são elas: K (camada mais próxima do núcleo), L, M, N, O, P, Q (camada mais distante do núcleo).

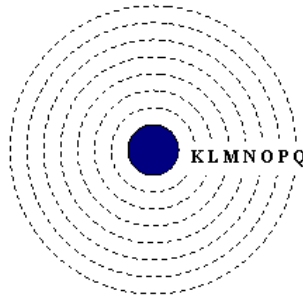
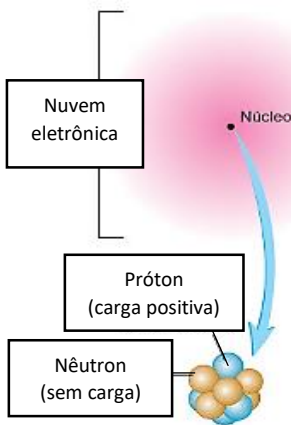


Figura 1.8 Niels Bohr. Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20012/Luis/index.htm>.



Modelo atômico atual

Todos os elétrons dispostos nas 7 camadas eletrônicas ao redor do núcleo dos átomos estão se movimentando muito rapidamente, com isso, forma-se uma nuvem eletrônica, como no exemplo da figura 1.9.

Figura 1.9 Átomo de Bohr.

HISTÓRIA DA RADIOTERAPIA

A radioterapia como o próprio nome sugere, é uma terapia com radiação, mas de onde veio essa radiação? Quem descobriu este fenômeno? Isso tudo aconteceu há mais de um século atrás.

Tudo começou em 1895, quando o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, estudando os raios catódicos, percebeu que uma placa revestida de platino-cianeto de bário que estava dentro de um armário próximo do local onde ele trabalhava emitia "luz" fluorescência sempre que o tubo que ele estudava era ligado. Este tubo é conhecido como "Tubo de Crookes" em virtude do inventor, o inglês William Crookes no século XVIII, década de 70. Este tubo tinha um invólucro de vidro a vácuo, no seu interior existia dois eletrodos denominados, cátodo e ânodo. Do lado do cátodo existe um filamento de tungstênio que suporta aproximadamente uma temperatura de 3.400°C. Ao ligar o tubo, o filamento é aquecido e produz elétrons, essas partículas são aceleradas e atraídas em direção ao ânodo, e ao colidirem com os átomos do alvo (ânodo), 99% da energia é dissipada em calor, e apenas cerca de 1% é transformado em Raios X. Os Raios X são ondas eletromagnéticas que se propagam na velocidade da luz, podemos definir essas ondas eletromagnéticas como "Fótons ou Pacotes de energia".

Wilhelm Conrad Roentgen



Figura 1.10 Wilhelm Conrad Roentgen – 1895: Descobridor dos raios X. Fonte: <https://www.wired.com/2010/11/1108roentgen-stumbles-x-ray/>.

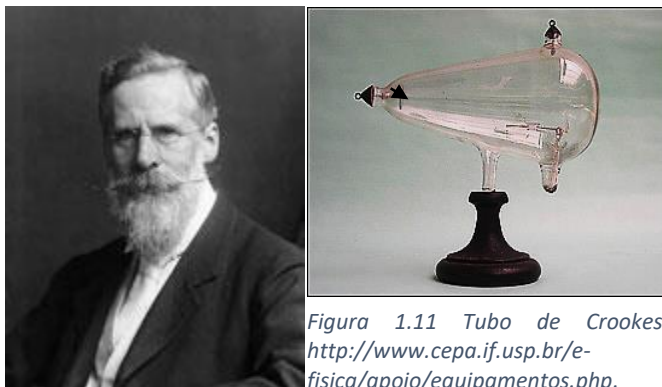


Figura 1.11 Tubo de Crookes. <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/equipamentos.php>.

Figura 1.12 Sir William Crookes - Físico e Químico inglês - Inventor do tubo de raios catódicos. Fonte: <https://www.theiet.org/resources/library/archives/biographies/crookes.cfm>.

Radioterapia - Todescatto

Roentgen, observando aquela luz que surgia sempre que ligava o tubo de Crookes, resolveu então pegar a placa de platino-cianeto de bário para fazer um experimento, então o físico alemão posicionou a mão entre o tubo e a placa que emitia fluorescência, e logo, uma sombra dos ossos da mão exposta surgiu no filme. Wilhelm Conrad Roentgen sabia que havia descoberto algo incrível, e sabia também que tudo acontecia por causa da energia produzida pelo tubo, porém não sabia que tipo de energia causava este fenômeno, foi então que Roentgen denominou esta energia de "Raios X".

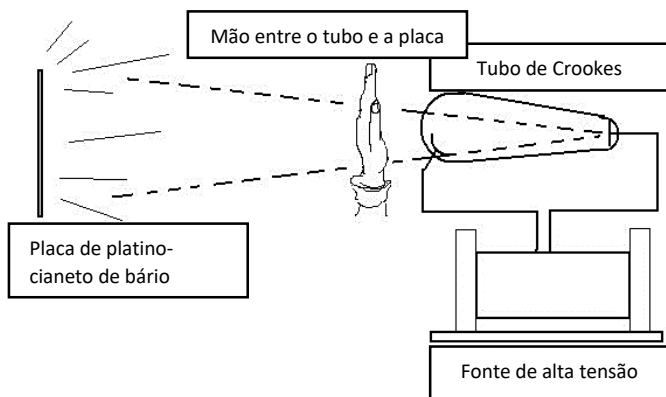


Figura 1.13 Esquema da descoberta dos raios X. Fonte: Boletim quinzenal de distribuição eletrônica - GEAE.

O mundo logo se entusiasmou com a descoberta dos Raios X. Emil Grubbé, Leopold Freund e Victor Despeignes foram os primeiros a utilizar essa radiação ionizante (rx), como método terapêutico. Essa radiação descoberta por Roentgen é denominada radiação artificial, pois é produzida artificialmente pelo homem. Os raios X naquele mesmo ano foi utilizado por Emil

Radioterapia - Todescatto

Grubbé no tratamento de um câncer de mama (carcinoma), mas devido a metástase o paciente acabou indo a óbito. No ano seguinte essas radiações foram utilizadas por Victor Despeignes com o objetivo de destruir células tumorais de um câncer de estômago e por Leopold Freund que forneceu a primeira prova científica de que a radiação ionizante era eficaz, tratando um tumor de uma criança de aproximadamente 5 anos de idade, em 1896.



Victor Despeignes

Emil Grubbé

Leopold Freund

Figura 1.14 Foto dos 3 principais Médicos que utilizaram os raios X como método de tratamento. Fonte: <https://www.facs.org/about-acs/archives/pasthighlights/blalockhighlight>

Neste mesmo ano de 1896, Antoine Henri Becquerel estudava os sais de urânio, quando detectou que este emitia fluorescência (Luz) capaz de sensibilizar um filme radiográfico. Becquerel denominou este fenômeno de hiper – fluorescência, mas logo abandona os estudos com o urânio.

Radioterapia - Todescatto

O físico francês Henri Becquerel (1852 a 1908) recebeu o Prêmio Nobel de 1903 em física, juntamente com Pierre e Marie Curie. Embora tenha sido o casal Curie a descoberta das características e denominação da radioatividade.

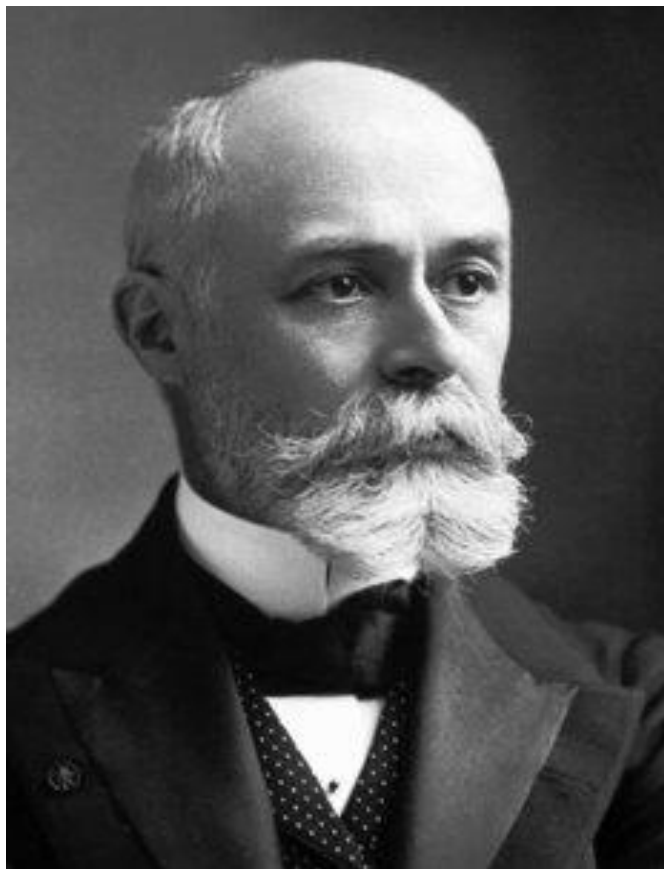


Figura 1.15 Antoine Henri Becquerel. Fonte: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/becquerel/biographical/>.

Radioterapia - Todescatto

No ano de 1898, Marie Curie, uma cientista polonesa, deu sequência aos estudos abandonados por Becquerel. Marie e Pierre Curie além de estudarem o urânio, também descobriram que existiam submateriais ao urânio que também eram radioativos e que podiam ser retirados da uraninita (Pechblenda).

Pechblenda: Óxido de urânio natural, o mais importante dos minerais de urânio (40 a 90%), do qual se extrai também o polônio e o rádio.



Figura 1.16 Minério de urânio Pechblenda, de onde se obtém o Polônio. Fonte: <https://internacional.estadao.com.br/blogs/radar-global/polonio-a-substancia-radioativa-altamente-toxica-que-matou-o-espiao-litvinenko/>.

Radioterapia - Todescatto

Ao examinar a pechblenda, o casal Curie, descobriu outro material muito mais radioativo que o urânio, e que também emite radiação natural, a esse novo elemento radioativo encontrado, o casal Currie denominou-o de Polônio em homenagem a sua terra natal (Polônia). Marie Curie e Pierre Currie, continuaram suas pesquisas com a pechblenda até descobrirem outro elemento com uma intensidade radioativa ainda maior, a esse novo elemento foi dado o nome de Rádio. Esse elemento radioativo emite atividade muito alta de radiação, e por esse motivo, Marie Currie, denominou esse fenômeno de RADIOATIVIDADE.

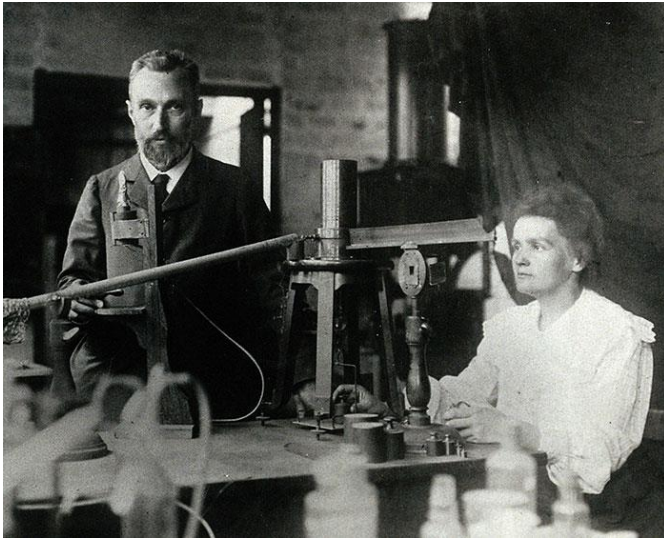


*Figura 1.17 Marie Curie e Pierre - Descobridores da Radioatividade.
Fonte: <https://seuhistory.com/hoje-na-historia/pierre-e-marie-curie-descobriram-o-radio>.*

Capítulo 2

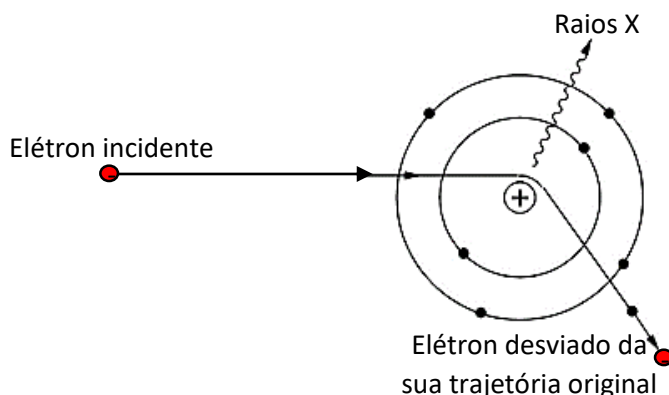
PRINCÍPIOS FÍSICOS DA RADIAÇÃO

Existe dois tipos de radiação:

- ✓ Radiação Artificial descoberta por Wilhelm Conrad Roentgen. Ex.: Raios X (ondas eletromagnéticas produzidas artificialmente na eletrosfera do átomo).
- ✓ Radiação Natural descoberta por Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie.

As radiações ionizantes artificiais (Raios X - freamento):

São produzidas na eletrosfera. Abaixo está um exemplo de um átomo, no centro está o núcleo contendo "Prótons e Nêutrons", e ao redor do núcleo está a eletrosfera "recheada" de elétrons.



O ânodo (alvo de tungstênio) dentro do tubo de raios X é composto de átomos, assim como toda matéria. Observe o elétron incidente (carga elétrica negativa,

Radioterapia - Todescatto

sendo acelerado em direção ao alvo (átomos do ânodo), quando passa próximo do núcleo do átomo (que é carregado por prótons com carga elétrica positiva) este elétron incidente é atraído e desviado da sua trajetória inicial causando uma freada brusca (**por isso denominada radiação de freamento/bremstrahlung**) do elétron. Este fenômeno produz radiação X.

De acordo com a lei de Du Fay, podemos afirmar que cargas elétricas de mesmo sinal (- com - ou + com +) se repelem e de sinais diferentes (+ com - ou - com +) se atraem.

Veja abaixo o exemplo:

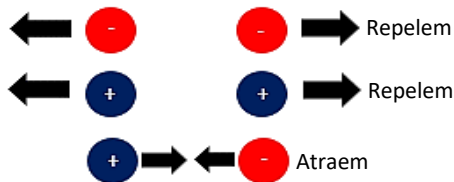


Figura 2.1 Esquema ilustrando cargas elétricas se repelindo e se atraindo de acordo com sua carga elétrica.

Por essa razão que os elétrons (negativo) ao se aproximarem do núcleo (positivo) sofre forte atração e é desviado da sua trajetória inicial, e o resultado é a liberação de energia em forma de raios X.

As radiações X também são produzidas quando fótons interagem diretamente com elétrons dos átomos alvo. Veja na próxima página todo o processo de geração da radiação x característica.

As radiações ionizantes artificiais – (Raios X – característico):

O átomo é constituído de um núcleo onde estão onde estão os prótons e nêutrons e uma órbita (eletrosfera) com 7 camadas eletrônicas, sendo a camada K a mais próxima do núcleo e a camada Q a mais distante. A sequência das camadas eletrônicas da mais próxima até a mais distante respectivamente, são: K, L, M, N, O, P, Q.

Na camada K tem “espaço” para no máximo 2 elétrons, na camada L tem “espaço” para 8 elétrons, na M: 18; N: 32, O: 18, P: 8 e na camada Q no máximo 8 elétrons.

Quando os elétrons incidentes (cátodo) colidem diretamente com os elétrons dos átomos alvo (ânodo), provoca a expulsão desse elétron do alvo. Ao ser ejetado da eletrosfera (ex.: elétron da camada K), o elétron deixa o espaço “vazio” na eletrosfera que será preenchido por um elétron da camada superior (ex.: elétron da camada L) do átomo, dando origem a radiação característica por causa da diferença de energias entre as duas camadas eletrônicas.

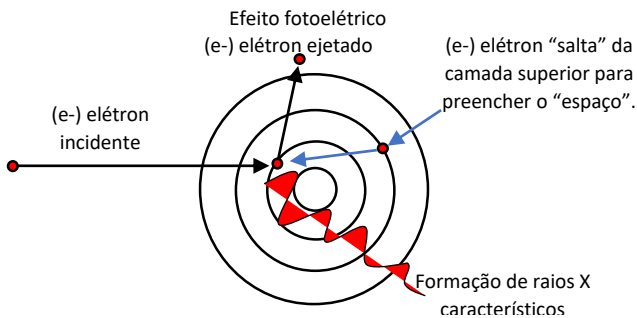


Figura 2.2 Geração de raios X característicos.

As radiações ionizantes do tipo alfa, beta e gama, emitidas de uma fonte artificial:

São emitidas dos núcleos dos radioisótopos produzidos artificialmente pelo homem em laboratório após sofrerem decaimento radioativo (Ex.: Cobalto – 60, Iodo – 125).

As radiações ionizantes naturais:

São originadas nos núcleos dos átomos instáveis, que se desintegram buscando a estabilidade. Todo elemento radioativo (**átomo instável**), irá, eventualmente, emitir radiação até atingir a estabilidade, as emissões dessas energias acontecem naturalmente, liberando radiação gama, partículas alfa ou beta, processo conhecido por decaimento.

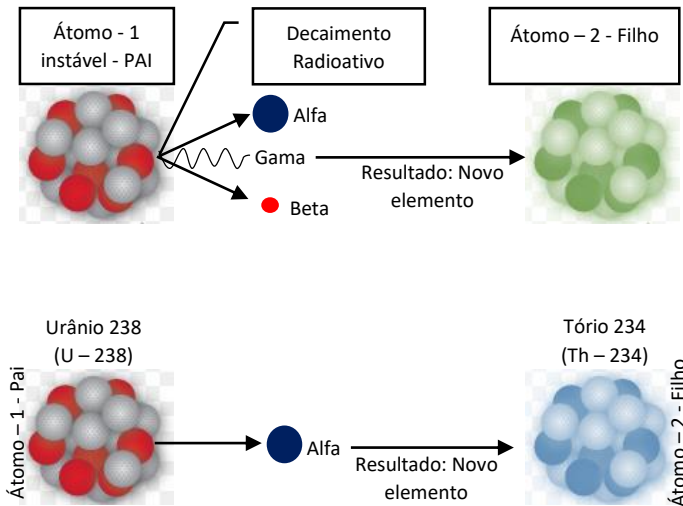


Figura 2.3 Esquema exemplificando o processo de decaimento radioativo.

Veja o exemplo abaixo:

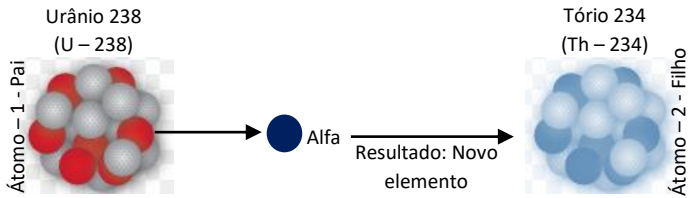


Figura 2.3 Esquema exemplificando o processo de decaimento radioativo.

Observe que o elemento 1 (átomo instável - Pai), desintegra - se por causa do excesso de energia e ao liberar essa radiação (ex.: radiação gama, beta, alfa), esse elemento transforma - se em um segundo elemento radioativo ou não (átomo filho). Se o resultado da desintegração for outro elemento radioativo, esse elemento continuará se desintegrando até que o se torne estável e o elemento para de emitir radiação. No caso do exemplo da desintegração do urânio – 238, o resultado do produto foi a “transformação” do elemento urânio em tório – 234 que ainda é radioativo e continuará emitindo radiação, esse processo de decaimento continuará até chegar ao chumbo – 206 que é um elemento estável e não emitirá mais radiação.

Radioterapia - Todescatto

Veja abaixo uma sequência de decaimento de um elemento instável até chegar ao seu estado estável.

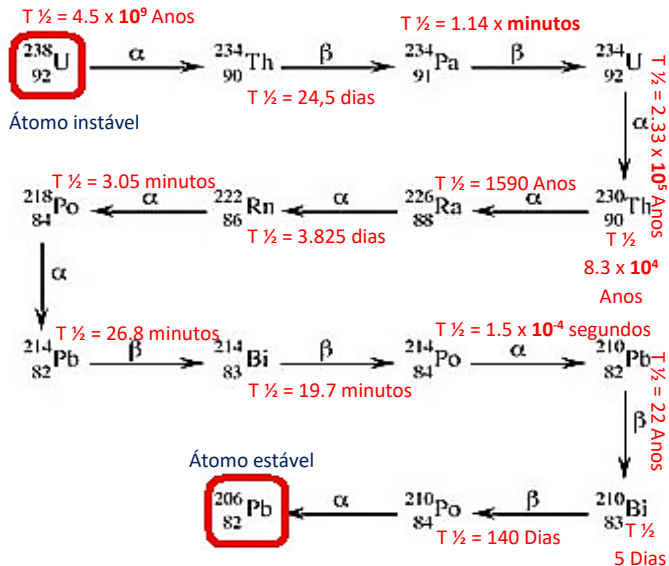


Figura 2.4 Esquema mostrando o decaimento radioativo natural.
 Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/decaimento-radioativo-natural.htm>.

A propriedade que alguns elementos químicos têm de emitir radiações é denominada radioatividade. O processo radioativo ocorre no núcleo dos átomos. As substâncias radioativas têm o núcleo instável que se desintegra em radiações ionizantes.

Decaimento radioativo:

É o tempo necessário para que uma amostra radioativa decaia a metade. Portanto, é processo pelo qual um elemento radioativo emite radiação e sofre uma transmutação (Qualquer reação nuclear que transforme um nuclídeo em outro. Ex.: Urânio em Tório), em um decaimento exponencial, ou seja, a amostra radioativa (100%) em um determinado período de tempo ($T_{1/2}$) decai sua intensidade pela metade (50%). No exemplo anterior, figura 2.3, após 4.5×10^9 anos restará apenas 50% de urânio e 50% de Tório.

Veja o exemplo do carbônio-14:

O carbono – 14 (C-14) tem um tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) de 5.730 anos, logo se tivermos uma amostra com 10 gramas de Carbono – 14 emitindo 100% da sua energia neste exato momento, após o $T_{1/2}$: 5.730 anos, apenas a metade desse C-14 (5 gramas) ainda emitirá 100% da energia, a outra metade decairá (será transmutado) em Nitrogênio – 14 (N-14).

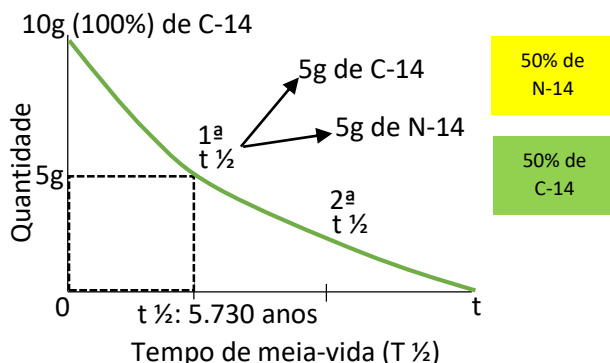


Figura 2.5 Esquema mostrando o decaimento radioativo do C-14 em um gráfico de decaimento exponencial.