

Versão Online ISBN 978-85-8015-079-7
Cadernos PDE

VOLUME II

OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE
NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE
Produções Didático-Pedagógicas

2014

Ficha para identificação da Produção Didático-pedagógica – Turma 2014

Título: Da descoberta do nêutron aos incríveis mistérios da estrutura nuclear: à luz dos grandes avanços tecnológicos.	
Autor: Alexandre José Alves	
Disciplina/Área:	Física
Escola de Implementação do Projeto e sua localização:	Colégio Estadual Campos Sales
Município da escola:	Campina Grande do Sul
Núcleo Regional de Educação:	Área Metropolitana Norte
Professor Orientador:	Dr. Ricardo Fernandez da Silva
Instituição de Ensino Superior:	Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
Relação Interdisciplinar:	Pode-se fazer relação com Química
Resumo:	<p>O papel da Física no Ensino Médio esta voltado em proporcionar ao aluno uma interpretação de fenômenos naturais ou desenvolvidos pela ação humana. No sentido de favorecer a contextualização da Física com o cotidiano, há a necessidade de propor um ensino capaz de aguçar o interesse dos alunos a questões de caráter científico, tecnológico e social. Para tanto, o objetivo deste projeto é desencadear uma proposta metodológica que venha a explorar as exigências criadas pela sociedade contemporânea. Destina-se a apresentar uma metodologia com possibilidades de estudos e discussão, acerca de temas voltados a conceitos básicos associados à Física Atômica e Nuclear, amplamente difundidos no século XXI, fundamentais para o desenvolvimento científico e tecnológico, que estão estreitamente ligados a vida das sociedades modernas.</p>
Palavras-chave:	Ensino Médio. Cotidiano. Física Moderna. Sociedade contemporânea.

Formato do Material Didático:	Caderno Pedagógico
Público:	Alunos 3º ano do Ensino Médio

Apresentação

A Física desenvolvida a partir do século XX vem proporcionando entender melhor os componentes e natureza da matéria, o que está desencadeando profundas e revolucionárias aplicações no desenvolvimento científico e tecnológico. O estudo de tópicos associados a esses conhecimentos, estruturados no contexto da Física Atômica e Nuclear, tem como objetivo aproximar os estudantes no contexto da Ciência como construção humana, com aspectos políticos, econômicos e sociais, além da sensibilização pela importância e interesse pelas ciências.

Sabe-se que na prática em sala de aula, há dificuldade em articular conceitos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Física esta bastante difundida a partir do século XX, responsável por grandes avanços científicos e tecnológicos, destacando-se por constantes inovações presentes nas mais diversas áreas da atividade humana que estão estreitamente ligados a vida das sociedades modernas. No entanto, estes contextos ainda parecem estar distantes da maior parte das realidades escolares, sendo termos obsoletos para a maioria dos alunos e até mesmo pelos professores.

No entendimento de Menezes e Housome (in: SBF, 1997, p. 285),

É preciso ver a física escolar também, e talvez especialmente, como parte de uma cultura da cidadania, a ser apreendida em uma dinâmica nova, dialógica, especulativa, carregada de um novo imaginário e indutora de processos de pensamento, em lugar da envelhecida propedêutica, do pseudo-treinamento técnico-científico, duradouramente repetido e invariavelmente frustrado.

Assim, de acordo com as Diretrizes Curriculares da Educação Básica, no processo ensino-aprendizagem da Física, sugere uma abordagem dos fenômenos físicos lembrando que suas ferramentas conceituais são as de uma ciência em construção, porém com uma respeitável consistência teórica. É importante compreender, também, a evolução dos sistemas físicos, suas

aplicações e suas influências na sociedade, destacando-se a não-neutralidade da produção científica (PARANÁ, 2008, p. 57).

Neste sentido, o objetivo desta produção é oferecer uma abordagem didática metodológica, que aplicada aos alunos, possam auxiliar e servir de base ou ponto de partida para abrir espaço nas aulas de Física à discussão de conteúdos relacionados à Física Atômica e Nuclear, seus impactos e desenvolvimento tecnológico, por exemplo.

Para melhores desdobramentos e encaminhamentos das atividades, esta produção foi dividida em três unidades distribuídas em treze aulas. Em que a unidade I, aborda conceitos gerais da Mecânica Quântica, a unidade II trata-se de alguns contextos da Física Atômica e Nuclear, e a unidade III, contempla algumas definições a cerca do Modelo Padrão.

De acordo com Ruzzi (2008), o desenvolvimento desta temática, tem como propósito apresentar a física moderna, mostrar o que há para aprender e o quanto há para aprender, além de revelar um panorama com subsídios de encontrar caminhos por onde seja capaz de seguir no seu aprendizado.

Como suporte para diagnóstico e os desdobramentos das ações, será desenvolvido um questionário com questões básicas de múltipla escolha (pré-teste) referente ao que os alunos sabem sobre física atômica nuclear. Posterior à implementação da produção didática, o questionário de diagnóstico inicial será reaplicado para um comparativo e verificação dos resultados esperados com o desenvolvimento desta produção.

PROBLEMATIZAÇÃO



Fonte: <http://www.quantum-rd.com/2010/05/los-8-descubrimientos-de-la-fisica.html>

Investigações a cerca da origem e evolução do mundo que nos rodeia, é marcada por um caminho de constantes descobertas. Nesse processo, a construção do conhecimento vem proporcionando identificar limitações de modelos, sua superação ou a criação de um novo que busque entender a constituição da matéria. Este processo tem permitido explicar a estrutura da matéria, compreendendo que esta é constituída por partículas como os prótons e nêutrons, os quais são formados por partículas elementares, em que se enquadram os Quarks, elétrons, entre outras, que parecem ser os menores componentes do Universo.

Considerando as informações acima, pergunta-se:

Como é possível detectar a existência de átomos, prótons, nêutrons, elétrons, fótons ou outras partículas?

Entender o mundo extraordinário que se desvenda do interior da matéria poderá criar subsídios complexos para a compreensão da origem e formação do Universo?

Aplicação do questionário pré-teste

1) A partir do conceito da teoria atômica pela ideia científica do átomo, surgiram teorias fundamentadas por experimentos para explicar a forma e constituição de um átomo. Dentre elas, pode-se citar a (o):

- a) Teoria do Caos.
- b) Modelo Atômico Rutherford-Bohr.
- c) Relógio atômico.

2) O termo radioatividade está relacionado com:

- a) radiação.
- b) tóxicos.
- c) Amadurecimento de Ostwald.

3) Referente a estrutura atômica, fazem parte da constituição do núcleo do átomo:

- a) elétrons e nêutrons.
- b) elétrons e neutrinos.
- c) prótons e nêutrons.

4) O que existem dentro dos átomos?

- a) espaço vazio, vácuo.
- b) partículas fundamentais e partículas de energia.
- c) matéria escura e plasma.

5) A seguir, é apresentado um trecho da carta de Einstein enviada para o presidente dos E.U.A. Franklin D. Roosevelt em 2 de agosto de 1939: “nos últimos quatro meses tornou-se provável – através do trabalho de Joliot, na França, bem como de Fermi e Szilard, nos EUA – que seja possível desencadear, numa grande massa de urânio, uma reação nuclear em cadeia, que geraria vastas quantidades de energia e grandes porções de novos elementos com propriedades semelhantes às do elemento rádio”. Este trecho desta carta tratava de uma valiosa descoberta para o desdobramento de um grande projeto, conhecido como?

- a) Manhattan, cujo objetivo final era produzir a bomba atômica.
- b) Esfera de Dyson, que iria abranger o sistema solar e tirar o máximo da energia.
- c) Corrente alternada de Tesla, que permite a transmissão de energia a longas distâncias.

6) Partícula subatômica, ainda não identificada, que poderia revelar a origem da massa atômica, conhecida como *partícula de Deus*:

- a) Léptons.
- c) Méson-pi.
- d) bóson de Higgs.

7) O LHC, Grande Colisor de Hádrons, construído entre a França e Suíça, é um acelerador de partículas que visa reproduzir situações como a do Big Bang. Referente a acelerador de partículas, você diria que:

- a) O único construído pelo homem é o LHC.
- b) Existem vários outros, como o Sirius, brasileiro.
- c) O LHC é o maior, existindo apenas outros de pequenas proporções nos EUA.

8) O volume do núcleo atômico é muito pequeno, formado por um conjunto compacto com forças muito grande. Quando se consegue romper esse conjunto, libera uma grande quantidade de:

- a) energia atômica.
- b) fluídos gasosos.
- c) cristais ionizantes.

9) Dentro núcleo atômico existem partículas que se mantêm ligadas por ação da mais poderosa força da natureza, denominada:

- a) força gravitacional.
- b) força elétrica.
- c) força nuclear.

10) Principais reações nucleares responsáveis pela liberação de energia do núcleo atômico:

- a) fissão e fusão.
- b) fusão e condensação.
- c) oxidação e núcleo-fusão.

Unidade I: Conceitos gerais da Mecânica Quântica

A Mecânica Quântica estuda os componentes da matéria, em escala atômica e subatômica. Nesta unidade abordaremos alguns conceitos da Mecânica Quântica relacionados à quantização de energia, modelos atômicos, efeito fotoelétrico e a dualidade onda-partícula, princípio da incerteza e o modelo contemporâneo do átomo.

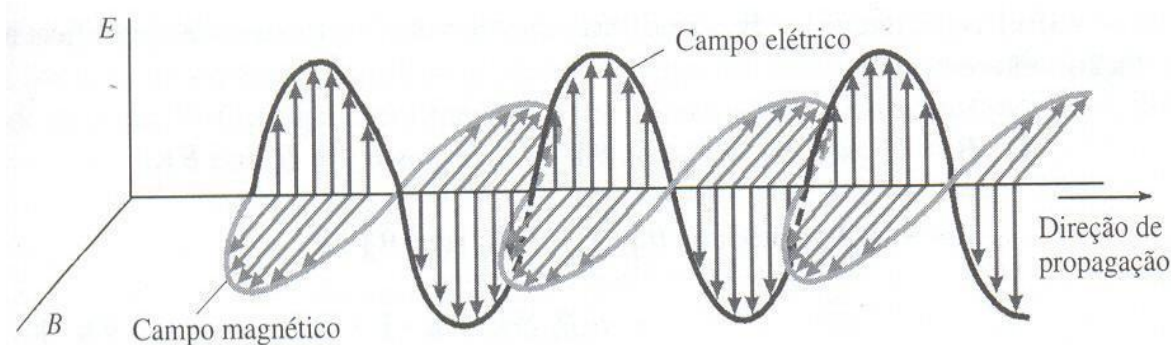
AULA II (2 hora aula 50 min.)

1. Quantização de energia

A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo a temperatura acima do zero absoluto (0 Kelvin), sendo assim considerado como uma fonte de energia eletromagnética. Nossas principais fontes naturais de energia eletromagnética são o Sol e a Terra.

A energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (300.000 km/s). Na perspectiva ondulatória, a radiação eletromagnética se propaga na forma de ondas formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético, conforme indica a figura 1.

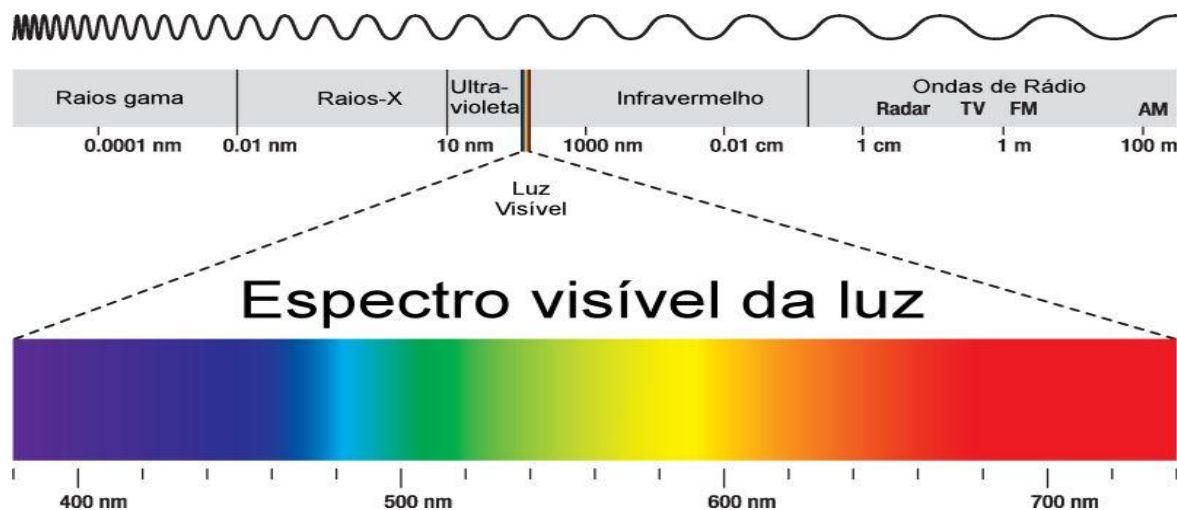
Fig. 1: Representação esquemática de uma onda eletromagnética.



Disponível: http://www.fisica.ufmg.br/fopdist/oem/oem_guia.htm

No modelo ondulatório, tem-se a radiação eletromagnética caracterizada em comprimentos de onda que representam a distância entre dois pontos de igual intensidade dos campos elétrico e magnético. O conjunto de comprimentos de onda que compõem a radiação eletromagnética é conhecido como Espectro Eletromagnético, representado na *figura 2*.

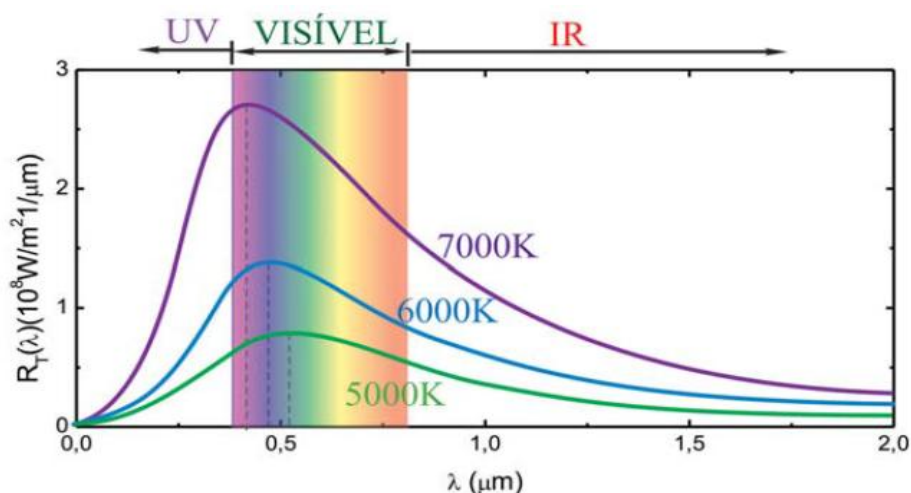
Fig. 2: Representação do espectro eletromagnético em função do comprimento de onda.



Disponível: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>

Tomando como exemplo, os Metais, um prego a qualquer temperatura, emite radiação eletromagnética de todos os comprimentos de onda, num espectro contínuo. Se o metal em consideração está à temperatura ambiente, as radiações eletromagnéticas emitidas na faixa do visível transportam tão pouca energia que não sensibilizam os olhos humanos. No entanto, se sua temperatura é elevada para em torno de 327 K (600 °C), apenas as radiações eletromagnéticas emitidas na faixa que corresponde à cor vermelha têm energias suficientes para sensibilizar os olhos humanos e o metal parece ter uma cor vermelha escura. À medida que a temperatura é aumentada, gradativamente, a quantidade de energia das radiações eletromagnéticas de todos os comprimentos de onda é aumentada passando a seguir para a amarela, a verde, a azul e, em altas temperaturas, a luz branca, chegando à região do ultravioleta do espectro eletromagnético, como o representado na *figura 3*. (Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria).

Fig. 3: Gráfico da radiação emitida por um corpo aquecido.



Disponível: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>

No final do século XIX, vários cientistas estudavam o fenômeno da emissão de radiação por um corpo aquecido, na tentativa de compreender a relação entre a temperatura, a intensidade e o comprimento de onda da radiação emitida por esse corpo. Planck, em 1900 por meio de estudos tentando explicar tais emissões, formulou uma hipótese, a qual admitia que a transmissão de energia entre os corpos ocorre através da troca de pacotes ou *quanta* de energia entre eles e que as radiações se constituíam de *quanta* de energia (perspectiva quântica). Essa hipótese levou a conclusão de que a energia é transferida de maneira descontínua, ou seja, quantizada. De acordo com Planck, a energia (E) de um quantum é dada pelo produto de uma constante h , conhecida como constante de Planck, cujo valor é $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s, pela frequência da radiação (ν). (OLIVEIRA e FERNANDEZ, 2006, p.6).

$$E = h \cdot \nu$$

Esta relação ficou conhecida como fórmula de Planck para a radiação do corpo negro. Considere um corpo negro como aquele que absorve toda a radiação incidente sobre ele, ou seja, ele não é capaz de refletir a radiação incidente.

- *Quantum*: latim, singular, é termo genérico que significa uma quantidade unitária, de algo de natureza qualquer, abstrata ou concreta – um único pacote de energia.
- *Quanta*: latim, plural de *quantum* – mais de um pacote de energia.
- Einstein chamou cada *quantum* de luz de fóton.

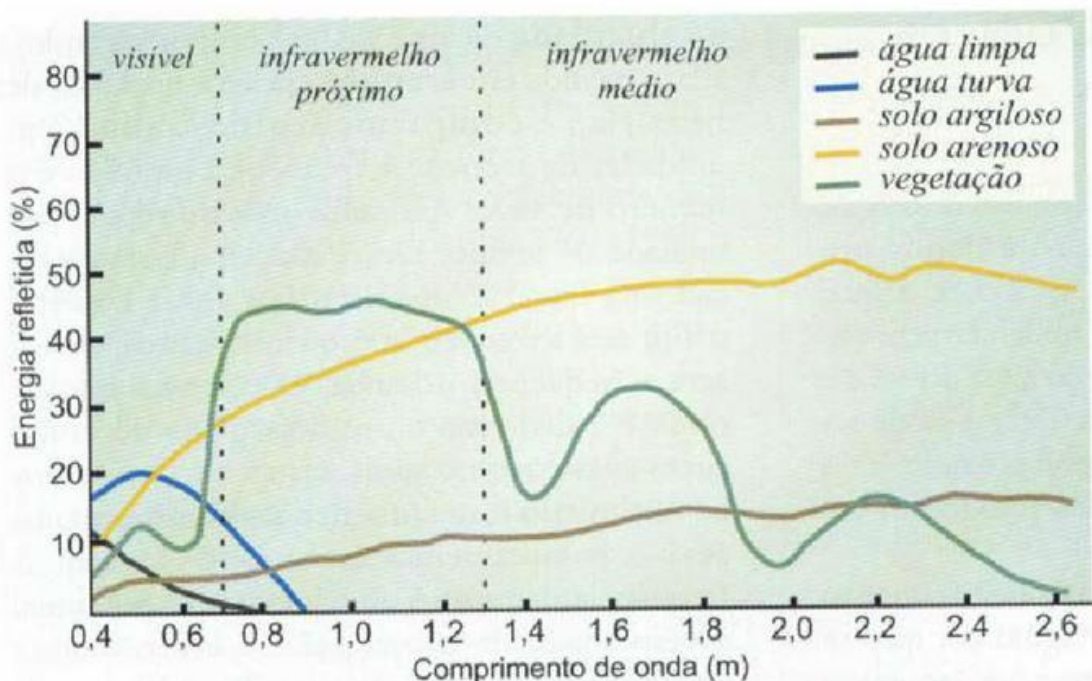
Atividade 1

1) Pesquise em qual faixa de frequência se encontra cada uma das radiações eletromagnéticas abaixo e faça a devida correspondência em comprimento de onda ($c = \lambda \cdot \nu$).

- Radiação Gama (γ):
- Raios X:
- Ultravioleta (UV):
- Visível (luz):
- Infravermelho (IV):
- Micro-ondas:
- Ondas de rádio:

2) Os objetos como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética, que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas. As variações da energia refletida podem ser representadas através de curvas, como as apresentadas na figura 4.

Fig. 4: Curvas de energia refletida por diferentes superfícies.



Disponível em: <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>

De acordo com o que indica o gráfico, para um comprimento na faixa do infravermelho médio, qual (is) substância (s) não refletem mais energia?

3) Ao olhar atentamente para o céu estrelado, pode-se perceber diferenças entre as estrelas. Umas são pequenas e brilhantes, outras maiores e avermelhadas, outras azuladas. O que a cor de uma estrela pode informar?

AULA III (2 hora aula 50 min.)

2. Estrutura da matéria

2.1. Primeiras ideias gregas sobre a constituição da matéria e o atomismo

Desde a Antiguidade, o homem procurava compreender racionalmente a natureza, com base em relações ao princípio de uma matéria primordial, levando a basear-se na existência de um *Cosmos*, termo grego que significa um todo organizado.

Os gregos foram os primeiros filósofos a registrar sua curiosidade sobre a constituição da matéria. Dentre eles, destacam-se:

- O filósofo **Tales de Mileto** (624 – 547 a.C.), que buscou explicar a natureza do mundo físico indagando: “podem todas as coisas ser vistas como uma simples realidade, aparecendo em diferentes formas?”. Em sua análise racional da natureza, um de seus maiores legados, Tales formulava suas teorias a partir da observação e da experiência. Seus estudos levaram a propor a água como constituinte básico da matéria. Uma das possíveis origens para esta escolha parece ter sido pela sua importância para todos os seres vivos, o constituinte básico da matéria seria um elemento passível de observação que fizesse parte do mundo dos sentidos e que estivesse presente em todos os corpos.

- O filósofo **Anaximandro de Mileto** (610 – 547 a. C.), discípulo de Tales, propôs o *apeíron* (do grego – indefinido), para ele o *apeíron* não seria uma substância material, e faria parte de uma realidade imperceptível aos sentidos, deveria ser eterna, indestrutível e infinita, e também teria um movimento eterno, o que lhe permitia gerar diferentes formas e corpo, numa eterna dança de criação e destruição. Conforme pregava Tales sobre a criação do mundo

difundida na Índia e na Babilônia, Anaximandro também usava a perspectiva na qual a substância fundamental da matéria poderia dividir-se o que geraria duas substâncias contrárias.

- O filósofo **Anaxímenes de Mileto** (585 – 525 a.C.), possível discípulo de Anaximandro, propôs como possível constituinte básico da matéria uma substância composta de minúsculas partículas, capazes de estar em todos os lugares, para esta substância ele designou o ar, e na observação dos processo de rarefação e condensação, que pela *filosofia dos contrários*, seriam os responsáveis pelo movimento.

- Na filosofia de **Parmênides de Eléia** (515-450 a.C.), a natureza era representada pela estagnação. O *Ser* preencheria todo o Universo, e seria imutável e estável; já o *Não-Ser* seria mutável e representaria o movimento. Parmênides interpretava o *Ser* como a matéria presente no Universo, e o *Não-Ser* como o vácuo.

- O filósofo **Heráclito de Éfeso** (540-475 a.C.) apresentou o Universo (ou a natureza) por meio de duas forças opostas que procuravam o equilíbrio por meio do movimento eterno.

- O filósofo **Anaxágoras de Clazômena** (500-428 a.C.), propõe que a matéria seria composta de pequenas partes, *as sementes*, que continham porções extremamente pequenas de tudo aquilo que existe no mundo visível.

- O filósofo **Empédocles de Agrigento** (492-432 a.C.), fez uma proposta diferente para explicar a origem da matéria. Segundo ele, não existia um, mas quatro elementos responsáveis por formar toda a matéria: a *água*, o *ar*, a *terra* e o *fogo*. Esses elementos seriam unidos por meio do *amor* e separados pelo *ódio*, que eram os representantes da *Filosofia dos Contrários* de Anaxímenes.

O termo *atomismo* passou a surgir com o filósofo **Leucipo de Abdera** (500-450 a.C.), pelo provável estudo das ideias de seus antecessores, propôs que o constituinte básico da matéria seria formado por partículas minúsculas e indivisíveis, as quais denominou *átomos* (do grego, a- negação, tomos-partes). Em sua teoria, Leucipo apresentou o mundo composto apenas por *átomos* e pelo vazio. Os *átomos* formavam as substâncias, infinitas em número e forma, e seriam extremamente pequenos, (menor quantidade de matéria existente na natureza), e por isso não poderiam ser divididos. Um *átomo* era inalterável,

mas um conjunto de *átomos*, arranjado de maneiras diferentes poderiam formar várias formas de matéria.

O filósofo Demócrito de Abdera (470-380 a.C.), um discípulo de Leucipo e Epicuro de Samos (341- 270 a.C.), outro defensor do atomismo, postularam a existência de propriedades para os *átomos*. Defendiam a indivisibilidade do *átomo* proposta por Leucipo, mas a justificavam de maneira diversa. Para Demócrito, o *átomo* era indivisível porque não continha um vazio intrínseco; já para Epicuro, a indivisibilidade era devido à dureza do *átomo*. O tamanho e o formato seriam, para Demócrito, as propriedades capazes de diferenciá-los; também acreditava que existiria um número infinito de formas para o *átomo*. Para Epicuro, o peso seria a característica capaz de diferenciá-los.

Estas concepções sobre a contribuição dos gregos sobre a estrutura da matéria são baseadas conforme Pinheiro (2011), no texto “*Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje*”. Para mais informações e ler o arquivo na íntegra, acesse: http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v22_v6_pinheiro_costa_moreira.pdf.

As primeiras especulações referentes à essência e constituição da matéria representou uma questão intrigante para os filósofos antigos e ainda é para os físicos da atualidade. Percebe-se que a concepção do atomismo se deu pela impossibilidade do mundo ser explicado pelas teorias disponíveis na época, e que a ideia de átomo não ocupou lugar permanente no desenvolvimento da ciência grega.

Atividade 2

- 1) Em que as especulações filosóficas a cerca da constituição da matéria contribuíram para o estabelecimento da forma atômica?
- 2) Por que as propostas gregas sobre a estrutura da matéria sobreviveram por tantos séculos? O que motivou esta aceitação?
- 3) “*Os conhecimentos, geralmente, são difundidos como uma continuidade de ideias apresentadas ao longo da história da ciência.*” Qual a sua opinião sobre a frase citada?

A partir de agora, vamos passar a analisar algumas teorias a cerca do átomo.

AULA IV (3 hora aula 50 min.)

2.2 Teoria atômica de Dalton

Em 1803, o inglês **John Dalton (1766 – 1844)** estabeleceu formulação da considerada como a primeira evidência da teoria atômica científica, o que representou um marco na história da teoria atômica.

- Constatou que a matéria é constituída por partículas muito pequenas e indivisíveis, os átomos.
- Átomos de mesmo tipo têm propriedades e massa idêntica e a junção de átomos de mesmo tipo forma um elemento químico.
- As combinações de átomos formam as substâncias e, nessas combinações químicas, os átomos não são destruídos nem modificados, o que se altera são as ligações entre eles.

Fig. 5: Representação do átomo de Dalton, esfera maciça e indivisível.



Fonte: O autor

Esse modelo ficou conhecido como “**bola de bilhar**”.

TANAMITI (2009), artigos modelos atômicos – Cronologia átomo.

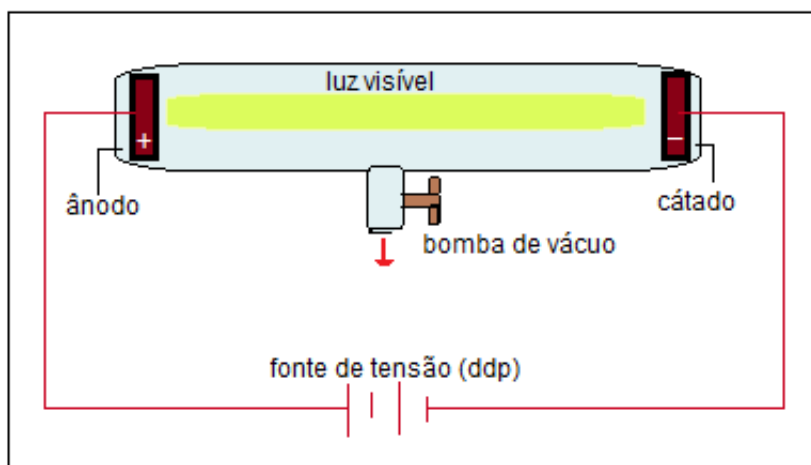
2.3 Teoria atômica de Thomson

Próximo no final do século XIX, após diversos experimentos realizados por estudiosos como: Faraday, Crookes, Stoney, Becquerel, entre outros, os cientistas suspeitaram da existência de partículas subatômicas e com carga elétrica, dentro do átomo (<http://www.euachei.com.br/educacao/quimica/atomistica/>).

Por meio de experimentos em laboratório, Joseph John Thomson (1856 – 1940), propôs um modelo de átomo diferente do modelo de Dalton, considerando um modelo atômico constituído de partículas positivas e negativas.

Pelo desenvolvimento tecnológico ocorrido no século XIX, surgiram os denominados “*tubos de Crookes*”, tubos de vidro selados, dos quais poderia retirar o ar de seu interior. O funcionamento deste aparato constituía da aplicação de alta tensão entre duas placas metálicas – uma ligada ao polo positivo, o *ânodo*, e outra ligada ao polo negativo, o *cátodo*, colocadas em seu interior.

Fig. 6: *Tubo de Crookes em funcionamento.*



Fonte: O autor

Quando a pressão dentro desse tubo é diminuída e aplicando-se uma grande diferença de potencial entre os dois eletrodos, o gás entre eles transmite certa luminosidade entre o cátodo e o ânodo (semelhante a uma lâmpada fluorescente). Mas ao diminuir a pressão (cerca de 100mil vezes a pressão ambiente) a luminosidade desaparece, restando apenas uma mancha luminosa atrás do cátodo. Esse feixe foi chamado de *raio catódico*, uma vez que partia do cátodo.

Além deste experimento, Thomson submeteu o feixe à ação de um campo magnético e à ação de um campo elétrico, e observou que a trajetória do feixe brilhante era desviada na presença desses campos. Já era conhecido na época, que somente era possível um corpo interagir com campos elétricos e magnéticos se houvesse carga elétrica, desta forma, Thomson deduziu que havia partículas dotadas de carga no feixe e de acordo com seus experimentos, concluiu que o sinal das cargas envolvidas no feixe era negativo. Posteriormente, essas partículas receberam o nome de *elétrons*.

Para saber mais!

1- Vídeos:

Tubo de Raios catódicos: <https://www.youtube.com/watch?v=bB7VhcM8EuE> (1:47 min.)

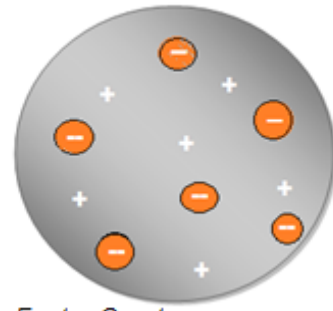
Modelo de Thomson - Tubos de Crookes: http://www.youtube.com/watch?v=_Pwrvn2ZI5U
(4:21 min.)

2- Simulação raios catódicos:

http://condigital.cursoscead.net/condigital/index.php?option=com_content&view=article&id=511&Itemid=91

Após a descoberta do elétron, chegou-se à conclusão de que o átomo possuía certa estrutura. Em 1904, Thomson estabeleceu seu modelo para o átomo, que ficou conhecido como “*pudim de passas*”. Nele, o átomo seria uma partícula compacta, esférica, mas não indivisível constituído de elétrons que girariam em círculos imersos em uma bolha de uma substância carregada positivamente, como pode ser observado na *figura 7*. Na época, este modelo passou a ser mais aceito, pois consistia em explicar de maneira simples os raios catódicos, a eletrização e ionização da matéria.

Fig. 7: Representação do átomo de Thomson.



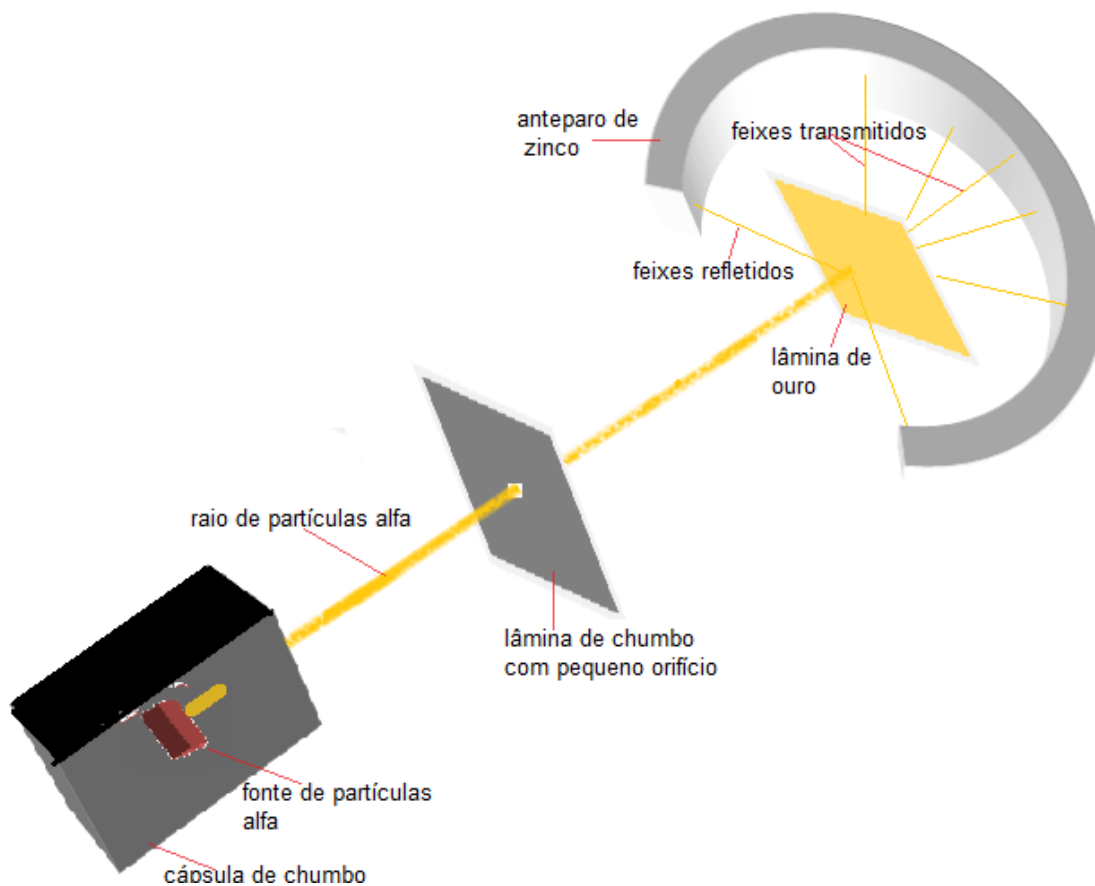
Fonte: O autor.

2.4 O modelo atômico de Rutherford

Um dos principais cientistas da época, Ernest Rutherford (1871 – 1937), que fora aluno de Thomson, desenvolveu muitos estudos sobre radioatividade, tendo sido o descobridor das partículas α (alfa) e β (beta), emitidas por elementos radiativos. Em 1911, num desses estudos, realizados com a colaboração de seus alunos Hans Geiger (1882 – 1945) e Ernest Marsden (1889 – 1970), eles pretendiam analisar o poder de penetração das partículas α sobre alguns materiais. O experimento conhecido como espalhamento de partículas, consistia em fazer incidir feixes de partículas α sobre uma lâmina finíssima de ouro (ou outros materiais) e analisar o poder de retenção ou de penetração das partículas por essas placas. Como o modelo atômico aceito na época considerava que os átomos eram partículas compactas, esféricas (o modelo de Thomson), havia então a expectativa de que as partículas fossem retidas, pela dificuldade de penetrar essas esferas maciças e compactas que acreditavam ser o átomo. Porém, foi observado que quase todas atravessavam

a lâmina, com muito poucas sendo desviado de sua trajetória inicial, o que podia ser visualizado pelo efeito produzido sobre placas fluorescentes (placas de sulfeto de zinco) colocadas em volta da lâmina de ouro, conforme representado na *figura 8*. (STEFANOVITS, 2013, p.242).

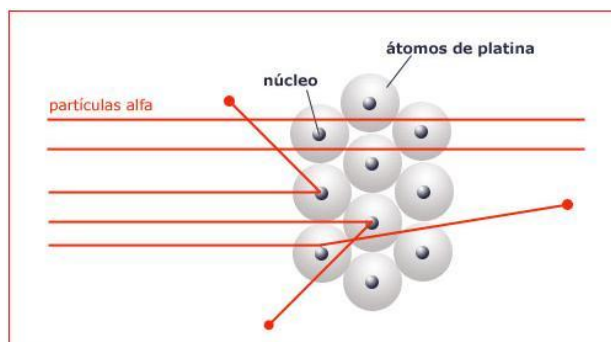
Fig. 8: Representação do arranjo experimental de Rutherford.



Fonte: O AUTOR.

A partir dessas observações, Rutherford concluiu que o átomo teria um núcleo muito pequeno e compacto, onde se concentrariam as partículas positivas e a maior parte da massa do átomo, rodeado por uma região relativamente maior, em que estariam os elétrons distribuídos por seu volume. Esta verificação explicaria o fato de muitas partículas alfa passarem em linha reta, as que se chocam frontalmente com o centro do núcleo, refletidas, e também aquelas partículas que passam próximas do núcleo serem fortemente repelidas por sua carga positiva, provocando assim os maiores ângulos de espalhamento observados. Na *figura 9*, pode ser observado um esquema ampliado, ilustrando esta situação.

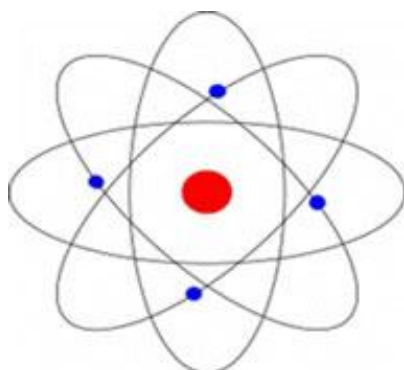
Fig. 9: Representação das partículas alfa sendo defletidas, refletidas ou ricocheteadas, ao incidir sobre a folha de ouro.



Disponível: <http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Rutherford/modelo.html>

Assim, Rutherford propôs o modelo atômico, que substituiu o de Thomson. Segundo este modelo, as partículas de carga negativa orbitariam ao redor do núcleo em um movimento contínuo, sem a ocorrência de choques entre eles, havendo regiões vazias, sem a presença de partículas em grande parte do átomo.

Fig. 10. Representação do átomo de Rutherford.



Disponível: <http://www.explicatorium.com/CFQ9-Evolucao-atomo.php>

Atividade 3

1) Por que a teoria atômica de Dalton foi considerada tão importante na história da ciência? O que a diferenciava de suas antecessoras?

2) (G1 - CFTSC 2010) Toda a matéria é constituída de átomos. Ao longo dos anos, foram propostos vários modelos para descrever o átomo. Em 1911, Rutherford realizou um experimento com o qual fazia um feixe de partículas alfa, de carga positiva, incidir sobre uma fina lâmina de ouro. Com esse

experimento, observou que a maior parte dessas partículas atravessava a lâmina sem sofrer qualquer desvio.

Diante dessa evidência experimental, é correto afirmar que:

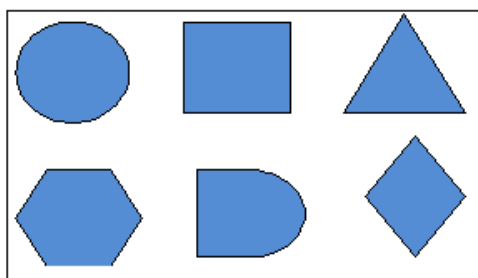
- a) o átomo não é maciço, mas contém muitos espaços vazios.
- b) o átomo é maciço e indivisível.
- c) os elétrons são partículas de carga negativa localizadas no núcleo do átomo.
- d) o núcleo do átomo é constituído de cargas positivas e negativas.
- e) o átomo é formado por uma “massa” de carga positiva, “recheada” de partículas de carga negativa: os elétrons.

3) (Adaptado: SIQUEIRA E PIETROCOLA, 2010) Espalhamento de Rutherford: Experimento.

Relação dos materiais: 2 chapas de madeira : uma de 30 cm x 30 cm e outra de 50 cm x 50 cm; Folha de isopor de 15 mm; Bolinhas de diversos tamanhos (bolinhas de gude, esferas metálicas de rolamento, etc.); Folha de cartolina.

Montagem: Recorte no isopor algumas formas geométricas básicas como representadas na *figura 11*. Escolha uma forma e fixe-a sobre a chapa de madeira 30 cm x 30 cm e cubra com a maior (50 cm x 50) cm, ou vice-versa, de modo que o aluno não consiga ver a forma do objeto que está entre as chapas de madeira. Pode ser feita diferentes montagens com outras formas de objetos.

Fig. 11: Exemplos de formas de objetos a serem cortadas na folha de isopor.



Fonte: O autor.

Em grupos, os alunos procurarão identificar qual a forma do objeto que se encontra entre as chapas. Para isso, eles irão lançar a bolinha de diferentes ângulos em direção ao objeto até então desconhecido, por estar encoberto pela chapa de madeira, como indicado na *figura 12*.

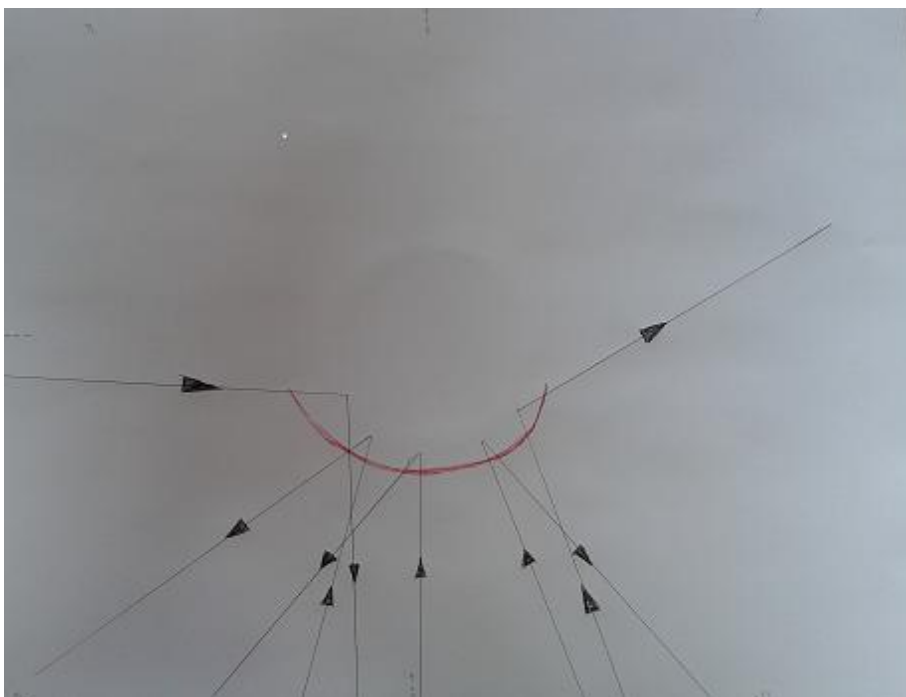
Fig. 12: Lançamento da bolinha em direção ao objeto a ser identificado.



Fonte: O autor.

Em seguida, ir traçando na folha de cartolina as trajetórias aproximadas de cada lançamento e retorno da bolinha, através do ângulo de incidência e de reflexão, procurando, através destes chegar à forma do objeto, como o representado na *figura 13*.

Fig. 13: Marcação na cartolina das trajetórias observadas.



Fonte: O autor.

OBS: O experimento pode ser feito diretamente sobre uma mesa ou sobre a folha de cartolina, utilizando apenas a chapa de madeira para cobrir a

forma geométrica. Para lançar a bolinha, pode ser improvisada uma espécie de caneleta para facilitar a ação. Para maiores informações, acesse o link: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num2/a04.pdf>.

Objetivo: A atividade tem o intuito de levar aos estudantes a discussão de como “enxergar” um objeto que não pode ser visto a olho nu devido ao seu tamanho microscópico, como é o caso do átomo e do núcleo atômico, materializando o método utilizado por Rutherford, muito utilizado na física nuclear, atômica e de partículas elementares. Além disso, teve-se a preocupação de mostrar que a ideia do espalhamento está mais próxima de nós do que imaginamos.

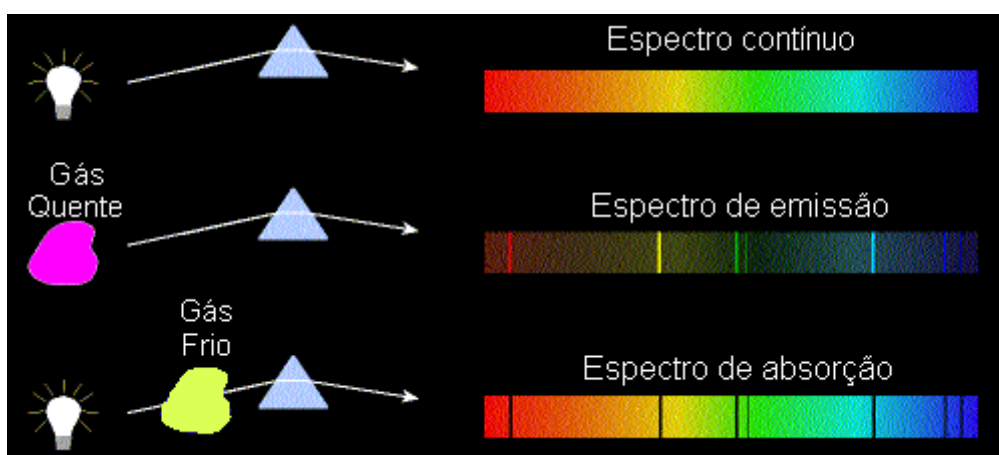
AULA V (3 hora aula 50 min.)

2.5 Átomo de Bohr

A relação quantização de energia de Planck ($E = h \cdot \nu$) possibilitou compreender o fenômeno que intrigava os físicos do final do século XIX e início do século XX. Experimentos mostravam que as espécies químicas gasosas, quando excitadas em condições apropriadas, podiam emitir luz, formando um espectro de cores (espectro de emissão). Se o gás não é excitado, quando ele é iluminado por luz, passa a absorvê-la (espectro de absorção).

Na época, muitos cientistas, dentre eles, Balmer, Rydberg, Lyman, Paschen, Bracket e Pfund, estudavam as linhas ou raias observadas no espectro do átomo de hidrogênio, submetido à baixa pressão, quando uma corrente elétrica passava através dele. Já se sabia que os responsáveis pela emissão ou absorção de luz eram os elétrons dos átomos que compunham o gás. Muitos elementos absorvem e emitem mais luz em uma determinada temperatura. Portanto, a essa temperatura, suas linhas de absorção e de emissão são mais fortes. As raias ou linhas espectrais são brilhantes quando o material emite luz e escuras quando o material absorve. O que pode ser observado na *figura 14*.

Fig. 14: Representação do espectro contínuo, de emissão e de absorção.



Disponível : <http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/3.html>

O espectro de emissão do gás é sua marca registrada, sua impressão digital. Nunca dois elementos diferentes terão o mesmo espectro. Um applet dos espectros de emissão e absorção de cada elemento químico pode ser visualizado em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/elements/Elements.htm>.

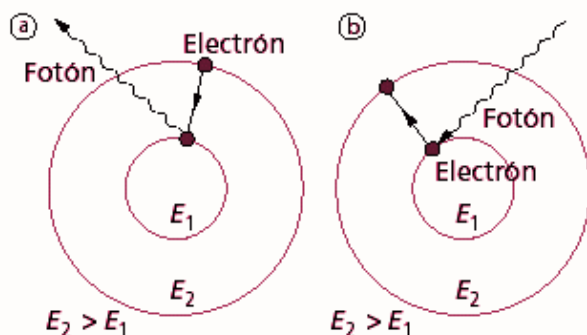
O espectro do gás hidrogênio foi o mais estudado entre os anos de 1860 e 1885, e acabou sendo tomado como padrão comparativo para analisar espectros de outros elementos químicos.

Para entender a estrutura interna dos átomos era fundamental para explicar os diferentes espectros de emissão. A emissão de radiação pelos elétrons levaria a uma inconstância no modelo atômico de Rutherford, uma vez que essa emissão representa perda de energia, o que faria os elétrons diminuir continuamente seu raio de órbita até se chocar com o núcleo, não haveria como se manter estável.

O físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1965), em 1913, propôs um modelo atômico fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio. Seu modelo era visualizado da seguinte forma: o átomo é composto por um núcleo central que está envolto por elétrons, que descrevem órbitas circulares em torno do núcleo. Para cada órbita, está associado um valor de energia para os elétrons. Enquanto eles permanecerem em uma determinada órbita, a estabilidade é mantida. A emissão de radiação pelos átomos é explicada quando elétrons transferem-se de órbitas associadas com mais energia para outras associadas com menos energia, como o representado na *figura 15*. Foi nessa descrição que Bohr aplicou as ideias de Planck à sua teoria. Segundo

Bohr, os elétrons só poderiam realizar transições de uma órbita para outra se absorvessem ou emitissem os quanta de energia necessários para isso. (PINHEIRO, 2011, p.54).

Fig. 15: Esquema de emissão (a) e absorção (b) de um fóton segundo o postulado de Bohr.



Disponível : <http://www.hiru.com/fisica/el-modelo-atomico-de-bohr-sommerfeld>

As mudanças entre os estados de energia são chamadas de “saltos” do elétron, o qual pode ocupar somente um estado energético de cada vez e a condição para que ocorra, é necessário ele ganhar ou perder energia na forma de fótons.

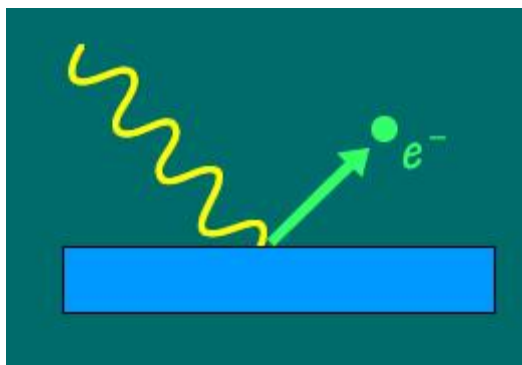
A variação de energia desses saltos é dada por $E_{final} - E_{inicial} = h \cdot \nu$, em que E_{final} é a energia final, $E_{inicial}$ é a energia inicial, h é a constante de Planck e ν é a frequência de cada fóton. A variação de energia ΔE entre os dois estados corresponde a energia do fóton, de frequência ν , que foi ganha ou perdida pelo elétron. $\Delta E = E_{final} - E_{inicial} = h \cdot \nu$.

2.5.1 Efeito fotoelétrico

Desde 1887, experiências mostravam que elétrons poderiam ser ejetados de uma superfície metálica quando esta era exposta à luz, em geral, luz ultravioleta. A explicação para essas observações foi dada, em 1905, por Albert Einstein. Para ele, a luz não apresenta apenas propriedades ondulatórias caracterizadas pela frequência (ν) e pelo comprimento de onda (λ). Apresenta, também, propriedades corpusculares. Ele admitiu que a energia radiante está quantizada em pacotes de energia, que vieram a ser chamados de fótons. Esses fótons, de energia $h \cdot \nu$, ao colidirem com os elétrons do metal, transferiam toda sua energia para esses elétrons, que eram ejetados da placa

metálica com uma determinada energia cinética, representado na *figura 16*. Tal fenômeno foi chamado de efeito fotoelétrico. (OLIVEIRA e FERNANDES, 2006, p.08).

Fig. 16: Representação da emissão de elétrons de um material pela absorção de radiação eletromagnética.



Disponível: <https://moodle.ufsc.br/mod/book/view.php?id=504206>

O efeito fotoelétrico apresenta as características a seguir:

- Deve existir uma frequência mínima da radiação incidente para que os elétrons sejam emitidos. Com frequência abaixo deste valor, qualquer que seja a intensidade da radiação, não é possível fazer os elétrons se desprenderem da superfície metálica.
- Quando os elétrons são emitidos, sua energia cinética se mantém, não importando a intensidade da luz incidente. Luz mais intensa resulta em mais elétrons desprendidos, com a mesma energia cinética, e não em elétrons mais velozes.

A descoberta do efeito fotoelétrico tornou possível a construção de aparelhos dotados de células fotovoltaicas, nas quais a energia da luz é transformada em corrente elétrica.

2.5.2 Dualidade onda-partícula

Os estudos referentes ao efeito fotoelétrico e a interpretação que Einstein dá para o mesmo, AP propor que nesse caso, a luz deveria se comportar como um pacote de partículas (os fótons) e não como onda eletromagnética, levavam a uma interpretação física incomoda para os cientistas. A partir de diversos procedimentos experimentais, resolveram admitir que a natureza da luz seria melhor entendida, se fosse aceita para ela um caráter dual (onda-partícula). Em determinadas situações (por exemplo,

difração e interferência), a luz se comporta como uma onda (radiação); em outras (radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico), a luz se comporta como partícula (fóton). (CHESMAN, 2004, p.147).

Louis de Broglie (1892 – 1987) contribuiu de maneira significativa para a elaboração da Física Quântica, ao fazer proposições teóricas sobre o comportamento da matéria. Ele propôs que, se a luz, que era entendida como onda, podia apresentar também um comportamento de partícula, então o elétron, que era uma partícula, poderia também apresentar comportamento de onda. Com esta indagação, Broglie chegou à conclusão que talvez todas as formas de matéria tenham características duais de onda e partícula e em 1923 apresentou sua hipótese, na qual propunha uma equação que permite calcular o comprimento de onda do elétron: $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$

Em que λ é o comprimento de onda do elétron, h é a constante de Planck, $m \cdot v$ é a quantidade de movimento do elétron (m é sua massa e v é a sua velocidade).

Broglie também postulou que a frequência f de cada onda de matéria pode ser calculada pela expressão: $f = \frac{E}{h}$, em que E é a energia e h é a constante de Planck.

As hipóteses de Broglie foram confirmadas teoricamente no modelo atômico de Bohr, e três anos mais tarde, em 1927, no experimento de *difração de elétrons*, tendo por base o experimento da dupla fenda para a radiação eletromagnética realizada por Thomas Young (1773 – 1829). (STEFANOVITS, 2013, p.250).

Para saber mais assista o vídeo “DR Quantum- Dupla fenda”, disponível no link: <http://www.youtube.com/watch?v=u7VctogNgU4> (8:04 min.)

Atividade 4

1) É possível obter corrente elétrica iluminando um pedaço de metal? Como isso seria possível?

2) Qual a condição mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico?

3) Pesquise e explique sucintamente como que a luz solar influencia no acionamento das lâmpadas de iluminação pública?

4) Um átomo emite um fóton quando um dos seus elétrons

- a) colide com outro de seus elétrons.
- b) é removido do átomo.
- c) faz uma transição para um estado de menor energia.
- d) faz uma transição para um estado de maior energia.

5) (ENEM-2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor. WENDLING, M. Sensores.

Disponível em: www2.feg.unesp.br. Acessado em: 07/05/2014 (adaptado).

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- a) da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas.

6) (PUC-MG 2007) Os interruptores brilham no escuro graças a uma substância chamada sulfeto de zinco (ZnS), que tem a propriedade de emitir um brilho amarelo esverdeado depois de exposta à luz. O sulfeto de zinco é um composto fosforescente. Ao absorverem partículas luminosas, os elétrons são estimulados e afastados para longe do núcleo. Quando você desliga o interruptor, o estímulo acaba e os elétrons retornam, aos poucos, para seus lugares de origem, liberando o seu excesso de energia na forma de fótons. Daí a luminescência. (Texto adaptado do artigo de aplicações da fluorescência e fosforescência, de Daniela Freitas)

A partir das informações do texto, pode-se concluir que o melhor modelo atômico que representa o funcionamento dos interruptores no escuro é o de:

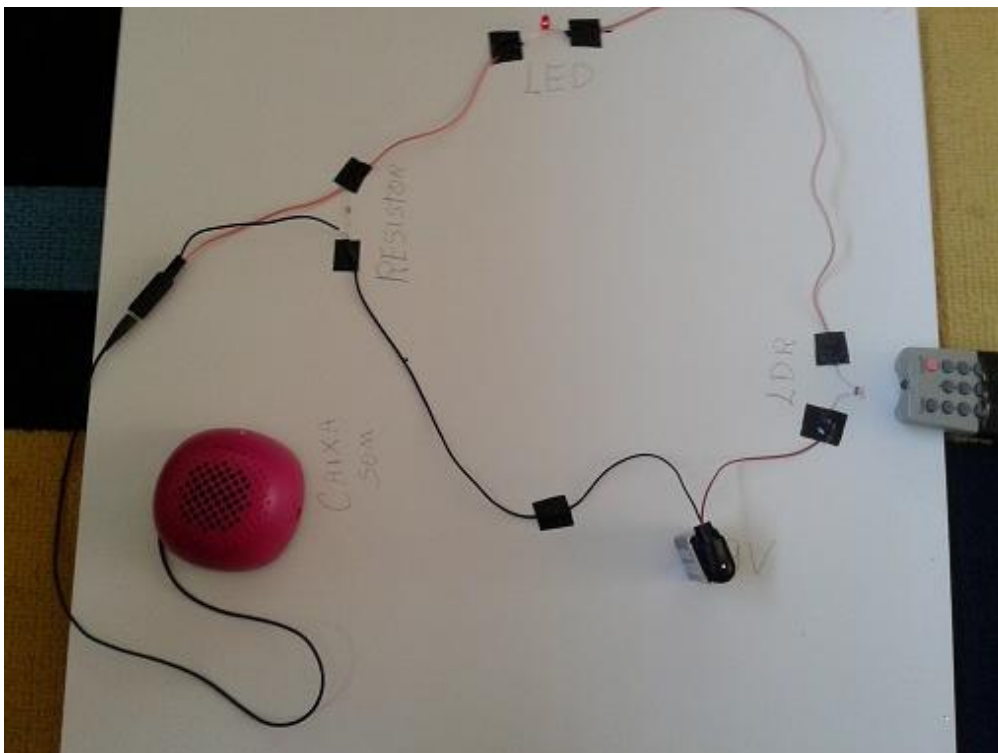
- a) Rutherford
- b) Bohr
- c) Thomson
- d) Heisenberg

3) (Adaptado SILVA e ASSIS, 2012) Experimento “*Ouçã seu controle remoto!*” por meio da interação social.

Relação dos materiais: Os materiais são de baixo custo e podem ser adquiridos em lojas de componentes eletrônicos – 1 bateria de 9 V; 1 LDR; 1 LED vermelho (ou outra cor); 1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som); 1 resistor de 680 Ω e 1/8 W; 2 jacarés; 1 suporte para bateria; 1 controle remoto; caixa de som de computador ou rádio.

Montagem: Verifique a polaridade do LED, extremidade ligeiramente maior é o polo positivo, ao qual deve ser ligado ao polo positivo da bateria. A bateria, o LDR e o resistor são ligados em série nessa ordem, como o observado na *figura 17*. Com os jacarés, liga-se o pino fêmea P2 em paralelo com o resistor. É através do resistor que escutaremos o som do sinal do controle remoto. Esse som é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixa de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor.

Fig. 17: Esquema da montagem do experimento ouça seu controle remoto.



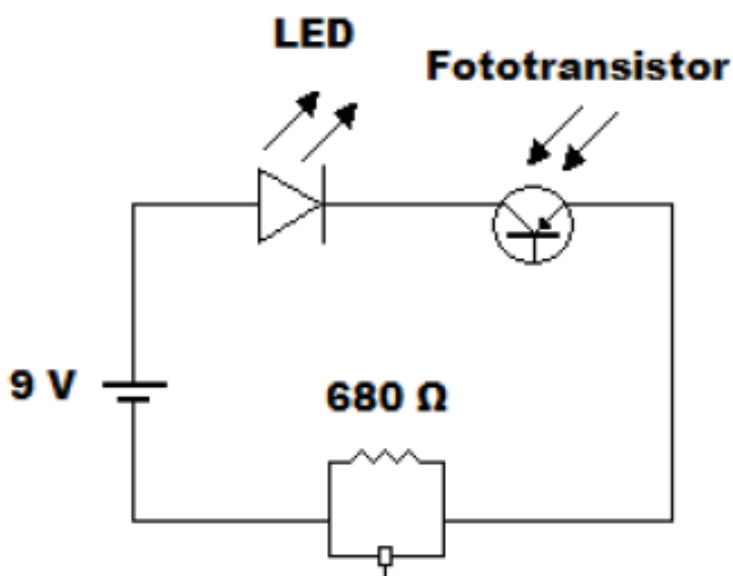
Fonte: O autor.

Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, provocada pela alteração da resistência do LDR ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

Para testar o funcionamento do circuito, basta iluminar o LDR com um *laser*. Se o LED acender, é por que está tudo conectado corretamente. Senão, verifique as ligações e a polaridade do LED. Pode ser que a polaridade foi trocada ou que algum fio não esteja ligado de forma adequada.

Para testar a saída de som, conecte as caixinhas de som ao circuito, e incida o infravermelho no LDR, usando um controle remoto de televisão. Se tudo estiver bem conectado, o som do controle remoto semelhante ao som de um helicóptero será ouvido, devido ao fato de o infravermelho do controle ser pulsado. A *figura 18*, representa o esquema do circuito do experimento.

Fig. 18: Esquema do circuito do experimento.



Fonte: SILVA e ASSIS, 2012.

AULA VI (3 hora aula 50 min.)

2.6 Princípio da incerteza e modelo contemporâneo do átomo

Na Física Quântica, um sistema físico é definido por uma função de estado (ou função de onda) e tudo o que se pode saber sobre o sistema num dado instante está contido na função de onda. Essa função está relacionada com a evolução no tempo das probabilidades da partícula assumir qualquer estado quântico. Em resumo, a função de onda não mede a posição de uma partícula, mas sim a sua probabilidade de assumir certo estado energético em um dado instante.

Werner Heisenberg (1901 – 1976), em 1927, formulou o princípio conhecido como Princípio da Incerteza de Heisenberg, que consiste num enunciado que estabelece que é impossível conhecer simultaneamente, com precisão arbitrária, a posição e a quantidade de movimento de uma partícula ou, então, a energia da partícula e o intervalo de tempo de sua medição. Isso equivale a dizer o seguinte: quando se tem uma grande precisão na determinação do valor da quantidade de movimento, é baixa a precisão obtida no cálculo do valor da posição, e vice versa. O mesmo ocorre com a relação energia-tempo: se a precisão na medida de um deles é alta, a precisão para o outro é automaticamente baixa (GRIEBELER, 2012, p.21-22).

Essa proposição foi mais uma evidência de que a Física Clássica e seu caráter determinista não se aplicam nos domínios dos elementos estruturantes da matéria.

Classicamente, as medidas experimentais de posição e quantidade de movimento apresentam incertezas associadas, que podem ser minimizadas. Os erros experimentais estão associados a fatores como precisão do equipamento e cuidado do experimentador na tomada de dados. Uma vez adotados procedimentos para melhorar a qualidade das medições experimentais, os erros, decrescem, sem que exista um limite de precisão.

Na Física Quântica, de acordo com o princípio da incerteza, a indeterminação não pode ser minimizada indefinidamente. O ato de medir acarreta, em geral, uma mudança irreversível no sistema, que não deixa pistas sobre seu estado anterior a realização da medição. (STEFANOVITS, 2013, p.251).

A compreensão da dualidade onda-partícula da matéria é mais bem esclarecida com o princípio da incerteza, os físicos chegaram à conclusão que é possível evidenciar um único desses aspectos em cada experimento. Por exemplo, o efeito fotoelétrico traduz somente o comportamento de partícula de fóton e não permite observar seu aspecto ondulatório. O experimento de duas fendas, por sua vez, evidencia o comportamento ondulatório do elétron, sem que seja observado seu comportamento de partícula. Assim, para a Física Quântica, todos os participantes são ondas e partículas ao mesmo tempo, mas somente uma dessas características pode ser observada em cada situação experimental (STEFANOVITS, 2013, p.251).

Heisenberg mostrou que a incapacidade de determinar com absoluta certeza as grandezas físicas de um sistema microscópico não se trata de um problema tecnológico de melhoria de instrumentos de medição – ela é uma limitação física do mundo das partículas atômicas e subatômicas, que pode ser quantificada pela relação: $\Delta Q_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$

Onde Δx é a incerteza na determinação da posição da direção x , ΔQ_x é a incerteza na determinação da componente x da quantidade de movimento e h , é a constante de Planck. Isso significa que o produto dessas duas grandezas é igual a um valor constante que ao tentar melhorar a medida da posição do elétron, por exemplo, pioramos a medida de sua quantidade de movimento de tal maneira que o produto delas continua sendo o mesmo valor $\frac{h}{4\pi}$. (SANT'ANNA, 2013, p. 258).

SUGESTÃO: acessando o site <http://www.newgrounds.com/portal/view/525347>, nele é possível visualizar e comparar através de uma escala regressiva ou progressiva, para se ter melhor compreensão sobre as dimensões do universo e principalmente de um objeto quântico comparadas com o universo macroscópico.

2.6.1 O modelo atômico atual

O modelo atômico atual resulta do aprimoramento de modelos elaborados ao longo do século XIX e XX. Admite que um átomo possua núcleo em torno do qual se movimentam os elétrons. Tal movimento não pode ser completamente descrito, uma vez que as trajetórias dos elétrons são indeterminadas. Contudo, é possível calcular a probabilidade de encontrar os elétrons em setores determinados em torno do núcleo atômico.

A mecânica quântica desenvolvida a partir das ideias de de Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, entre outros, estabelece que só seja possível estudar o comportamento de sistemas microscópicos em termos de “probabilidades”. Assim, não é permitido utilizarmos expressões, como a *trajetória de um elétron*, mas sim a região de maior probabilidade de se encontrar um elétron, que é o orbital atômico, passando esses sistemas a

serem descritos por uma função de onda, representada pela letra grega Ψ (Psi).

Em 1926, Erwin Schrödinger formulou uma equação de onda para descrever o comportamento de sistemas microscópicos, em que considerava o comportamento dualístico de uma partícula se movimentando em três dimensões. A equação proposta é:

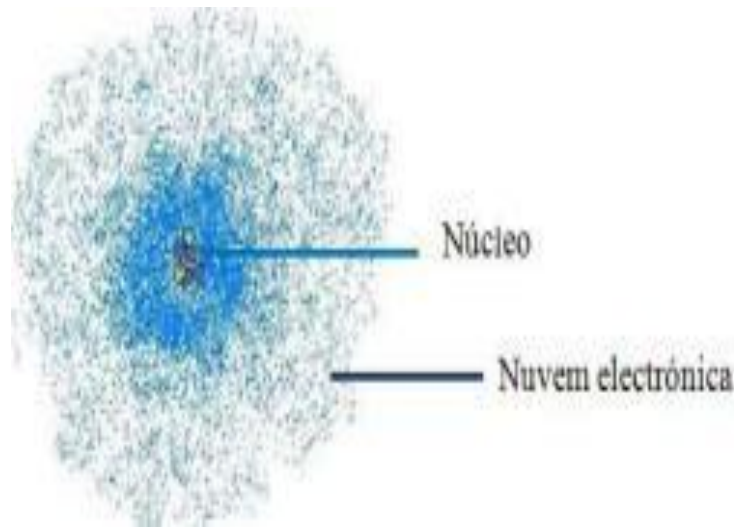
$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)\psi = 0$$

Nela, Ψ é a função de onda associada à partícula, m é a massa, E , a energia total do sistema, e V , a energia potencial da partícula. (OLIVEIRA, 2006, p.02).

O átomo é atualmente entendido como um sistema quântico: os elétrons do átomo possuem valores discretos de energia. A resolução da equação de Schrödinger para um átomo tem como resultados os possíveis valores de energia e as funções de onda que representam os correspondentes estados eletrônicos. Costuma-se caracterizar abreviadamente um estado eletrônico pelo conjunto de números quânticos constitutivo de sua expressão matemática. (SILVA e CUNHA, 2008, p.7).

A teoria atômica moderna descreve a estrutura eletrônica do átomo como a probabilidade de encontrar elétrons em determinadas regiões do espaço. No átomo, existem regiões sem a presença de nenhuma partícula, entre o núcleo e a eletrosfera e entre um elétron e outro. A abordagem probabilística permite obter apenas a probabilidade de encontrar o elétron em determinada região do espaço, mas nunca sua posição absoluta. Para cada estado ocupado por um elétron, é possível, pela função de onda, determinar a região na qual é provável e a região na qual não é provável encontrá-lo. As regiões nas quais é provável encontrar o elétron são chamadas de orbitais e dependem do estado do elétron e do átomo, podendo assumir diferentes formatos. Pela abordagem quântica, a provável posição do elétron é, na verdade, descrita como uma nuvem de probabilidades, conforme pode ser observado na *figura 19*.

Fig.19: Representação modelo da nuvem eletrônica.



Disponível: <http://fisikokimika.wordpress.com/author/fisikokimika/page/6/>

Atividade 5

1) Assista ao vídeo Princípio da Incerteza de Heisenberg, disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=Z7wyTd1pLc0> (4:32 min.), e faça alguns apontamentos referentes a este princípio.

2) Referente ao modelo atômico atual, são feitas as seguintes afirmativas:

I. Ao se incorporar a ideia do comportamento de onda do elétron, propõe-se, no modelo atômico atual, que os elétrons de um átomo possuem determinado número de órbitas bem definidas ao redor do núcleo.

II. É possível calcular a velocidade e a posição de um elétron, num mesmo instante - Princípio da Certeza.

III. O elétron apresenta comportamento duplo, isto é, pode ser interpretado como partícula ou onda, conforme o fenômeno estudado.

IV. É impossível determinar simultaneamente a posição e a velocidade de um elétron em um átomo.

Pela análise das afirmativas, conclui-se que estão corretas as alternativas:

- a) I e II b) I e III c) II e III d) II e IV e) III e IV

- 3) Em relação à região nuclear do átomo, assinale a alternativa INCORRETA:
- a) Contém elétrons em orbitais.
 - b) É carregada positivamente.
 - c) Praticamente contém toda a massa do átomo.
 - d) É muito pequena quando comparada com a região extranuclear eletrosfera.
 - e) Contém prótons e nêutrons.
- 4) (UDESC – 2013) Assinale a alternativa correta sobre o modelo atômico atual.
- a) O número de prótons é sempre igual ao número de nêutrons, em todos os átomos.
 - b) Os elétrons se comportam como partículas carregadas, girando ao redor do núcleo em órbitas definidas.
 - c) A descrição probabilística de um elétron em um orbital p gera uma forma esférica em torno do núcleo.
 - d) Orbital é a região mais provável de se encontrar o elétron a uma certa distância do núcleo.
 - e) Os átomos são formados pelas partículas elétrons, prótons e nêutrons, cujas massas são semelhantes.

Unidade II: Física Atômica e Nuclear

A Física Atômica e Nuclear objetiva apresentar aspectos generalizados das partículas e suas interações explorando o interior da matéria, ou seja, é a física das partículas e das altas energias. Nesta unidade, estudaremos conceitos referentes aos átomos, nos aspectos da evolução científica, para entender sua estrutura, que levaram a descoberta dos elétrons, as partículas subatômicas como o próton e o nêutron, dos raios X e do fenômeno da radioatividade. Neste contexto, serão estudados conceitos das reações nucleares nos processos da fissão e fusão nuclear.

3. Átomos

A matéria é constituída por átomos. Ao longo dos tempos, o átomo era considerado como a menor partícula constituinte da matéria, sendo, portanto indivisível. Hoje, com a evolução dos processos científicos, sabe-se que o átomo não é a menor partícula da matéria, mas que a outras ainda menores, com propriedades específicas que ajudam a entender a estrutura da matéria e de como utilizá-la em aplicações científicas e tecnológicas.

Para situarmos um pouco das especulações acerca da teoria atômica, analise o trecho a seguir, que trás uma parte do diálogo apresentado no *livro* “Vovó conta de que são feitas as coisas”, Endler (2007, p.5).

[...] Apanhei a lata de biscoitinhos de fécula de batata para acompanhar o chá, e Daniel continuava pensativo sem falar, mas logo depois do primeiro gole de chá ele perguntou:

- Vovó, quando foi que pela primeira vez se pensou que tudo é feito de pequeninas partes?
- Já nos anos do quinto século a.C. (antes de Cristo) os filósofos gregos, Leucipo (480 – 420 a.C.) e Demócrito (460 – 370 a.C.), propuseram que todas as coisas são compostas por corpúsculos, isto é, corpos diminutos, que são indivisíveis, ou seja, não podem ser divididos e que eles denominaram *átomos*.
- Por que escolheram esta palavra átomo e o que ela significa?
- Esta é uma palavra grega que significa indivisível, “não” (a) “divisível” (tomo).
- Puxa, então já faz muito tempo que se pensava que qualquer coisa pode ser feita de partes muitíssimo menores chamadas de átomos.
- É, mas podemos dizer que apesar do genial físico e matemático inglês Isaac Newton (1642 – 1727) no século XVII ter retomado à ideia que a matéria era constituída de átomos, foi somente no início do século XIX que a ideia se popularizou, quando o químico John Dalton (1766 – 1844) interpretou reações químicas, e estabeleceu as leis básicas da Química, que a hipótese da constituição atômica da matéria começou a se impor. [...]

O questionamento referente ao átomo ser realmente indivisível ou se é dotado de alguma estrutura interna, foi marcado por estudos em que os primeiros resultados surgem no início do século XX, como a descoberta do elétron, raios catódicos, raios X e do fenômeno da radioatividade. Estas descobertas foram fundamentais para formular hipóteses sobre a estrutura interna do átomo e para a criação de Modelos Atômicos que pudessem explicar

os resultados experimentais para entender a estrutura da matéria, conhecidos na época.

3.1. A descoberta do elétron

A primeira partícula elementar descoberta foi o elétron (e^- ou simplesmente e), por J. J. Thomson em 1897 (o conceito atômico originado na Grécia por Demócrito é tido como especulação metafísica). Thomson utilizou de um tubo de raios catódicos, elétrons, e acabou visualizando o surgimento de luz pela formação de íons excitados nos choques eletrônicos com o gás rarefeito. Os elétrons eram produzidos por um filamento aquecido e acelerados entre duas placas polarizadas com alta diferença de potencial (ddp). O movimento destes em um campo magnético permitiu o cálculo de sua relação massa/carga. Thomson sugeriu o nome de corpuscles para a partícula, e elétron para a carga, que mais tarde foi adotado também para a partícula. Assim ele sugeriu que o átomo era formado por um conjunto de elétrons espalhados homoganeamente em meio às cargas positivas, formando um corpo neutro, o Pudim de Passas.

(http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Jean_Bel/secXX.htm).

Em 1909, Millikan, utilizando-se de um experimento que ficou conhecido como *aparato experimental da gota de óleo de Millikan*, conseguiu medir e comprovar a quantização da carga do elétron. (CHESMAN, 2004, p.110-121).

Curiosidade: Por volta de 1887 o cientista inglês Joseph John Thomson (1856-1940) por meio de experimentos com tubo de raios catódicos, chegou à conclusão que estes são constituídos por fluxo de partículas menores que o átomo e dotadas de carga elétrica negativa. Estava descoberto o elétron. Por esta descoberta, ganhou o Prêmio Nobel de física de 1906.

3.2. Partículas subatômicas

O átomo, que era apenas esfera sem estrutura no modelo de Dalton, já estava dividido pelo menos em duas partes: o núcleo e os elétrons. Mas, e o núcleo, será que é maciço ou formado possui alguma estrutura? Quantos elétrons há em um átomo? Existe alguma relação entre a massa e a carga do núcleo?

Rutherford e outros cientistas buscaram essas respostas.

3.2.1 Descoberta do próton

O início do século XX foi marcado por diversas e incríveis descobertas. Por isso, não se sabe ao certo quem descobriu o próton. A descoberta é geralmente atribuída a Rutherford, que foi também quem deu esse nome ao então conhecido núcleo do átomo de hidrogênio.

Em 1919, Rutherford e seus colaboradores realizaram o sonho dos alquimistas e conseguiram experimentalmente, pela primeira vez na história, transmutar um elemento em outro. O experimento consistia em bombardear o gás nitrogênio com partículas alfa altamente energizadas. Como resultado, alguns núcleos de hidrogênio eram detectados, e Rutherford estava certo que eles somente poderiam ser provenientes dos núcleos dos átomos de nitrogênio. Nesse processo, o que ocorreu é que o nitrogênio era transmutado em oxigênio, através de uma reação nuclear.

Então, o núcleo do nitrogênio continha núcleos de hidrogênio! Como o hidrogênio era o elemento de menor massa, Rutherford concluiu que se tratava de uma partícula elementar dos núcleos de todos os átomos: o núcleo atômico possui uma estrutura, e formado por prótons!

Entretanto, duas questões importantíssimas estavam em aberto:

1. O número de prótons em um núcleo é insuficiente para justificar sua massa. De onde viria o restante da massa?
2. Cargas de sinais opostos se atraem. Cargas de mesmo sinal se repelem. Como é possível os prótons ficarem juntos em um espaço tão pequeno como o núcleo? De acordo com a Lei de Coulomb, a força de repulsão seria descomunal. (NISENBAUM, p.18).

3.2.2 A descoberta do nêutron

Quando Rutherford descobriu que o número de prótons em um núcleo suficientes para justificar sua carga não era suficiente para justificar sua massa, imediatamente sugeriu a existência de outras partículas, eletricamente neutras, no núcleo.

Sua descoberta é atribuída a Chadwick, em 1932, embora essa descoberta tenha sido feita com apoio em trabalhos dos físicos, Bothe, Becker e do casal Irene Curie – Frederic Joliot. É uma partícula neutra. E, não tendo

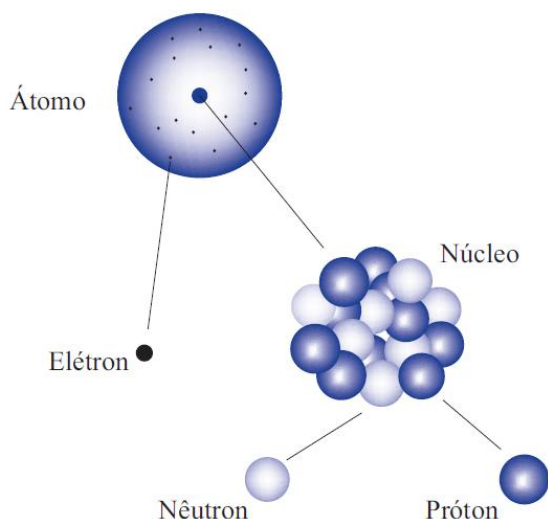
carga elétrica, não é desviado em campos elétricos, nem em campos magnéticos, o que dificulta a sua observação. Pelo fato de não ter carga elétrica ele penetra na matéria com relativa facilidade, porque, sendo neutro, não é repelido pelas cargas elétricas dos átomos da substância em que está penetrando. Por causa disso faz-se “bombardeamento” de átomos com nêutrons. (SALMERON, 2004).

Durante algum tempo se pensou que o nêutron fosse uma reunião de um próton com um elétron. Depois foi demonstrado que isso não é verdade. O nêutron é uma partícula independente. Uma das provas disso é que a massa do nêutron é maior que a soma das massas do próton e do elétron, sendo assim, a partícula mais pesada conhecida.

3.3. O núcleo atômico e algumas de suas propriedades

A descoberta do nêutron estimulou a construção de um modelo teórico consistente para explicar a massa do núcleo atômico. Sabe-se que os átomos não são esferas maciças e indivisíveis, como foi tido ao longo da história, mas sistemas compostos por várias partículas. Como pode ser observado na *figura 20*, dentro dos principais constituintes do átomo, destacam-se prótons e nêutrons, compondo o núcleo, enquanto a eletrosfera é formada pelos elétrons.

Fig. 20: O átomo e seus constituintes principais

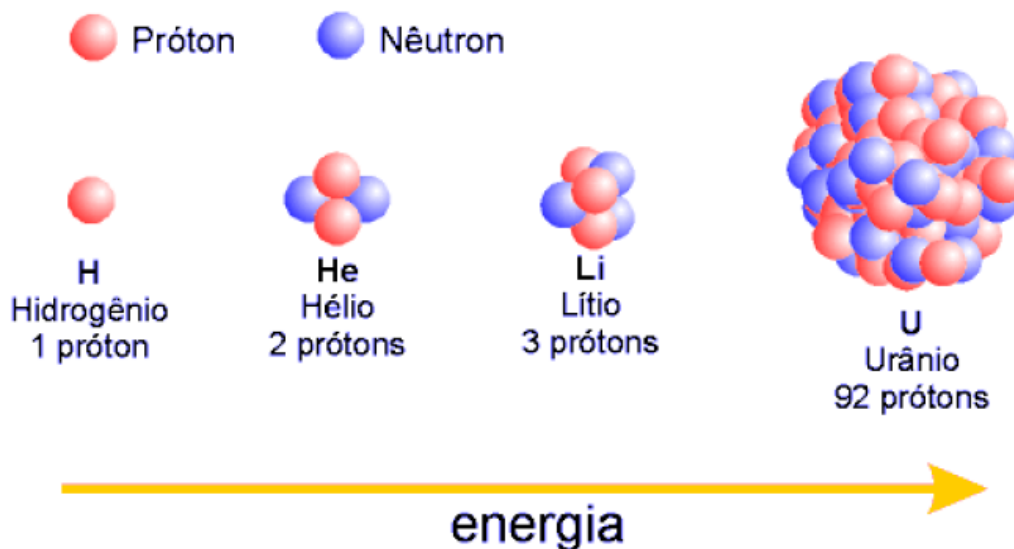


Fonte: AVANCINI e MARINELLI (2009, p.13).

O número de prótons (ou número atômico) identifica um elemento químico, comandando seu comportamento em relação aos outros elementos. O elemento natural mais simples, o hidrogênio, possui apenas um próton; o mais

complexo, o urânio, tem 92 prótons, sendo o elemento químico natural mais pesado (CARDOSO, 2003, p. 06). A figura 21 representa o número de prótons de alguns elementos em relação ao crescimento energético.

Fig. 21: Elementos químicos naturais.



Disponível: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01001/radio.pdf>

A massa do átomo concentra-se basicamente no núcleo, uma vez que a massa do próton é aproximadamente 1836 vezes a massa do elétron, embora ambos tenham a mesma quantidade de carga elétrica. Próton e nêutron têm massas muito próximas entre si.

A *tabela 1* refere-se a alguns dados quantitativos das partículas atômicas fundamentais.

Tabela 1: Partículas atômicas fundamentais.

Partícula	Massa	Massa relativa	Carga	Carga relativa
Próton	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg	1	$+ 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C	+1
Nêutron	$1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg	1	0	0
Elétron	$9,1095 \cdot 10^{-31}$ kg	1/1836	$- 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C	- 1

Disponível: http://www.rumoaota.com/site/attachments/564_farias_brito_quimica_sergio_matos_estrutura_atmica.pdf

O número de nêutrons no núcleo pode ser variável, pois eles não têm carga elétrica. Com isso, um mesmo elemento químico pode ter massas diferentes. Átomos de um mesmo elemento químico com massas diferentes são denominados isótopos.

O hidrogênio tem 3 isótopos: o hidrogênio, o deutério e o trício (ou trítio).

Fig. 22: Isótopos de hidrogênio.



Disponível: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01001/radio.pdf>

O urânio, que possui 92 prótons no núcleo, existe na natureza na forma de 3 isótopos:

- U-234, com 142 nêutrons (em quantidade desprezível);
- U-235, com 143 nêutrons, usado em reatores PWR, depois de enriquecido (0,7%);
- U-238, com 146 nêutrons no núcleo (99,3%).

Atividade 6

- 1) A ideia de átomo foi sempre a mesma ao longo da história? Justifique.
- 2) Referente ao estudo dos átomos analise as afirmativas a seguir em verdadeiro (V) ou falso (F).
 - () Em 1897, descobriu-se que os átomos não são os menores constituintes da matéria.
 - () Os elétrons são diminutas porções indivisíveis, uniformes, duras, sólidas, eternas, e são considerados as partículas de maior massa no átomo.
 - () Os átomos, apesar de serem indivisíveis, são constituídos por elétrons, prótons e nêutrons.
 - () Os elementos de núcleo pesado como o urânio, são mais energéticos comparados aos de núcleos mais leves.
 - () Com a descoberta do elétron, com carga elétrica negativa, pôde-se concluir que deveriam existir outras partículas, os nêutrons, para justificar a neutralidade elétrica do átomo.
 - () A partir da descoberta dos elétrons, foi possível determinar as massas dos átomos.

3) Faça a associação correspondente.

- (1) Elétrons () Identifica um elemento químico.
(2) Prótons () A massa do átomo concentra-se basicamente nesta região.
(3) Nêutrons () Átomos de mesmo elemento químico com massas diferentes.
(4) Isótopos () Não é desviada por campos elétricos e nem magnéticos.
(5) Núcleo
(6) Eletrosfera

A sequência correta é o contido em:

- a) 5 – 6 – 4 – 3
b) 2 – 2 – 4 – 3
c) 5 – 6 – 2 – 4
d) 2 – 5 – 4 – 3

AULA VIII *(2 hora aula 50 min.)*

3.4 Descoberta dos Raios X

Um dos marcos na história das ciências, os raios X foram descoberto em 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), quando estudava o fenômeno de luminescência produzido por raios catódicos num tubo de Crookes. Ele desejava saber se raios catódicos propagam-se para fora do tubo de Crookes; a resposta a essa indagação não era possível de ser visualizada a olho nu (e nem com os precários equipamentos disponíveis à época) devido à intensa luminosidade dos raios catódicos. Röntgen estava determinado a testar uma ideia que possibilitaria, segundo ele, esta visualização. Envolveu então um tubo de Crookes com uma espécie de capa de papelão, de cor preta, e ficou observando o tubo enquanto aplicava descargas elétricas entre os eletrodos do equipamento. Quando Röntgen ligou o tubo, percebeu que uma placa de um material fluorescente chamado platinocianeto de bário, colocada casualmente perto do tubo, brilhou. Röntgen então desligou o tubo e o brilho emitido pelo material fluorescente, de forma praticamente instantânea, desapareceu. Ele novamente ligou o tubo, e o efeito de fluorescência voltou a aparecer. Estava claro para ele que este efeito de fluorescência era devido à emissão de algum tipo de radiação produzida pelo tubo de raios catódicos. Mas ele também

estava convencido que os raios catódicos não se propagavam para a parte exterior do tubo e, portanto, não poderiam estar provocando esse fenômeno. E o mais surpreendente então ocorreu: o brilho luminescente persistia mesmo quando Röntgen colocava um livro ou uma folha de alumínio entre o tubo e a placa de bário. Röntgen interpretou esse fenômeno como sendo devido a um novo tipo de radiação que seria originada a partir da colisão dos raios catódicos com a parede de vidro do tubo. Desconhecendo a natureza de tais raios, denominou-os raios-X. Apesar da denominação da radiação passar a levar, na Alemanha, o seu nome (raios de Röntgen) ele sempre preferiu a designação de raios-X. Wilhem Conrad Röntgen recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física em 1901. Seis semanas depois da descoberta, convidou sua esposa para ir ao laboratório e realizar uma imagem dos ossos de sua mão esquerda com seu anel de casamento claramente visível, gerando uma das mais famosas imagens da história da fotografia, observada na *figura 23*. Para isto fez com que a radiação atravessasse a mão de sua esposa atingindo uma placa fotográfica. (VASCONCELLOS, p.01)

Fig. 23: Imagem obtida por Röntgen utilizando feixes de raios-X



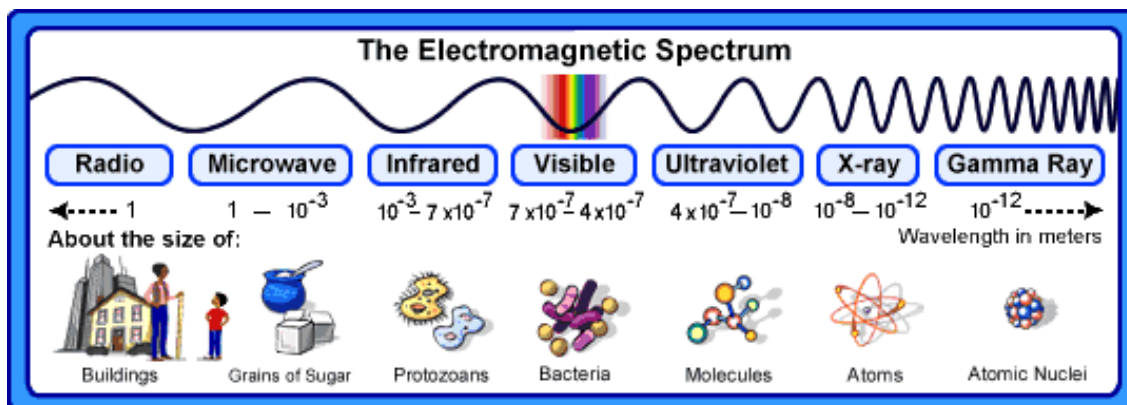
Disponível: <http://www.cesarzen.com/FIS1057Lista7.pdf>.

Os raios-X são uma forma de radiação eletromagnética localizada entre a radiação ultravioleta (comprimentos de onda maiores) e os raios gama (comprimentos de onda menores) no espectro eletromagnético. Tipicamente, suas energias estão na faixa entre 100^1 eV e 100 keV, apesar de algumas

¹ Elétron-volt (eV) é a unidade mais usada para medir a energia das radiações. Normalmente são empregados múltiplos dessa unidade: quiloelétron-volt = 1keV = 1000 eV; megaelétron-volt = 1 MeV = 1000 000 eV. Um elétron-volt representa a energia gerada por um elétron ao ser acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt.

aplicações industriais e medicinais utilizarem raios X com energias da ordem e 1 MeV. Raios X com energias de até 5 keV são chamados de raios-X moles, e com energias acima disso, de raios-X duros. Essa radiação, situada na faixa de frequência 10^{18} a 10^{20} Hz do espectro e com comprimento por volta de 10^{-8} a 10^{-12} m, o que pode ser visualizado na *figura 24*. Possui comprimento de onda comparável ao tamanho dos átomos, energia suficientemente grande para ionizar moléculas e ainda tem um grande poder de penetração, o que faz com que seu uso seja bem variado tanto do ponto de vista científico quanto aplicado (http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf).

Fig. 24: Espectro eletromagnético em comparação ao tamanho de alguns corpos.



Disponível: <http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/espectro.htm>

Os raios X interagem com a matéria em, principalmente, duas formas diferentes, dependendo de sua energia e da composição do material. São elas:

- I. Absorção Fotoelétrica: é aquela na qual o fóton de raios-X é absorvido e toda sua energia é transferida para um elétron. Acontece principalmente com raios X moles.
- II. Espalhamento Compton: é uma forma de espalhamento inelástico, onde o fóton incidente perde energia para, por exemplo, um elétron, e a radiação espalhada tem então um comprimento de onda maior do que o da radiação incidente. É o mecanismo predominante em raios X duros, e é o utilizado para gerar imagens médicas.

Os raios X são radiações de natureza eletromagnética, pode ser produzida de varias maneiras, sendo a mais comum, pelo bombardeamento de um material metálico por um feixe de elétrons. Na colisão, os elétrons emitem energia na forma de fótons em diversas frequências. Sendo que algumas delas

situadas na faixa conhecida como radiação X, e outras na faixa do infravermelho (calor), ultravioleta e luz visível. Os raios X provoca luminescência em determinados sais metálicos, que é a absorção da radiação, ou energia, pelo sal e posterior reemissão dessa energia sob a forma de luz. Essa propriedade é muito útil na produção e registro de imagens radiológicas através dos filmes e telas intensificadoras. Os raios X têm características ionizantes (ioniza o meio no qual se propaga), arrancando elétrons dos átomos com os quais interage. Essa característica é extremamente importante, pois quando ocorre à interação da radiação com os tecidos em nível atômico, a ionização dos átomos pode alterar sua ligação a outros átomos vizinhos, provocando uma mudança nas características dos tecidos irradiados. A característica ionizante da radiação X também é muito utilizada em equipamentos de radiação, pois, ao ionizar um gás pelo qual passa, a radiação deixa íons que podem ser quantificados, determinando assim a quantidade de radiação que o atravessou. (SOARES, 2006, p. 16).

O uso dos raios x possibilitou um grande impulso nas técnicas de diagnose, devido a uma de suas características: a de poder penetrar nos materiais. Na biologia e medicina, permite observar os órgãos internos sem que se tenha que abrir (fazer uma cirurgia) o paciente. Na indústria podemos citar a irradiação de alimentos por raios x para prolongar o período de conservação, e a análise de estruturas de engenharia, como determinar trincas internas ao concreto, entre outras. Nas ciências, entre outras coisas, auxilia a entender como os átomos e moléculas estão ligados, o que tem ajudado muito o desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos, aplicados amplamente em computadores e nos mais variados aparelhos eletrônicos. Ainda há outras aplicações, como as máquinas de raios x em aeroportos, monitoração ambiental, terapias, etc.

Os raios X nada mais são do que um tipo de luz que não podemos ver, assim como acontece com a radiação infravermelha (IR) e radiação ultravioleta (UV) que são invisíveis também. Para cada tipo de luz (radiação) podemos associar uma quantidade de energia: a luz (radiação) infravermelha tem uma menor energia do que a luz visível; o visível tem menor energia que o ultravioleta; e o ultravioleta menor que os raios x. Esta propriedade dos raios x

de ter maior energia do que a luz visível é que os torna interessante nas aplicações acima citadas e em muitas outras.

A quebra em grande quantidade de ligações químicas em um organismo vivo pode ser nociva. É esta a razão do caráter nocivo de se expor intensamente à luz ultravioleta e aos raios x. Por isso recomenda-se protetor solar que possui em sua composição filtros que bloqueiam boa parte da radiação ultravioleta (UVA e UVB) proveniente do Sol. Como os raios x têm uma energia associada mais alta que a radiação ultravioleta, usualmente é utilizados materiais mais densos ("pesados") para bloqueá-los, como o chumbo.

Existem muitos estudos para tentar determinar os limites seguros de exposição dos seres vivos à radiação, porém isto é muito difícil de estabelecer devido à grande quantidade de variáveis envolvidas. Contudo, existem normas muito bem estabelecidas de proteção radiológica, envolvendo métodos e equipamentos, que fornecem uma boa confiabilidade em termos de segurança, e que, se obedecidas, mantêm as exposições à radiação abaixo do limite onde os danos se tornam importantes.

Atividade 7

1) Leia a notícia publicada em- <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2013/03/raio-x-ajuda-policia-rodoviaria-combater-entrada-de-drogas-no-pais.html> (Raio-X ajuda Polícia Rodoviária a combater a entrada de drogas no país), e assista o vídeo <http://www.youtube.com/watch?v=ZDd3ILm3imo> (1:52 min.) - Raio-X Polícia Federal.

Pela análise da notícia e do vídeo, levante alguns apontamentos para discussão referente: Se for necessário, consulte outras fontes.

- I. Relações complexas – exposição à radiação.
- II. Níveis de radiação, níveis de exposição, normas de segurança.
- III. Racionalidade no uso das tecnologias.

2) Faça um pesquisa referente aos perigos quanto a exposição aos raios X.

3.5 Radiações e a descoberta da radioatividade

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

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

A radiação eletromagnética é constituída por campos elétricos e magnéticos variando no espaço e no tempo. É caracterizada pela amplitude (tamanho) e pela frequência (ou, alternativamente, pelo comprimento de onda) da oscilação. (GONÇALVES E FARIAS, 2008. p.08).

A descoberta dos raios X por Röntgen (novembro de 1895) provocou muito entusiasmo entre os cientistas daquela época. Durante uma das seções da Academia de Ciências de Paris (Académie des Sciences, Paris), Henri Poincaré, físico francês, apresentou, com a intenção de discuti-lo, uma cópia do trabalho de Röntgen sobre a natureza dos raios X. Naquela reunião Becquerel expressou suas ideias sobre a constituição dos raios X. Seu interesse pela natureza dos mesmos assinalaria o início de uma série de experiências que levariam o físico francês a descoberta da emissão espontânea de radiações ou "radioatividade natural" pelo urânio. (GONÇALVES e FARIAS, 2008. P. 12).

Antoine H. Becquerel, membro de uma família de quatro gerações de físicos de renome, tinha grande interesse pelas áreas de fosforescência e fluorescência moleculares. A descoberta de Röntgen o levou a fazer observações para verificar se substâncias fosforescentes ou fluorescentes emitiam raios-X. Seus primeiros resultados foram negativos. Com experimentos adicionais utilizando urânio, Becquerel chegou à conclusão de que a radiação penetrante era originária do próprio elemento e não tinha relação com o fenômeno da fluorescência.

Esta radiação, que inicialmente ficou conhecida como raios de Becquerel foi chamada de radioatividade pela polonesa ²Marie S. Curie, em 1898, e logo passou a ser investigada por importantes nomes da época, tais como J. J. Thomson, e também por vários cientistas em começo de carreira.

Dessa forma, em 1900, pouco tempo após as descobertas de Becquerel, o físico neozelandês Ernest Rutherford e o físico francês Pierre Curie identificaram, de forma independente e quase simultaneamente, dois tipos distintos de emissões oriundas dos elementos radioativos, denominadas de partículas alfa (α) e beta (β). No mesmo ano, o físico francês Paul U. Villard identificou outra espécie de radiação eletromagnética, que também era emitida por esses elementos, que denominou radiação gama (γ).

Em 1903, Rutherford propôs a existência do núcleo atômico e verificou-se posteriormente que a radioatividade, com suas emissões α , β e γ , era um fenômeno que ocorria com os núcleos instáveis de alguns elementos químicos. Este fenômeno ficou conhecido como decaimento radioativo, onde os átomos do elemento original eram eventualmente transformados em novos elementos. Também foi descoberto que a velocidade do decaimento por unidade de massa é fixa para qualquer radioelemento específico, não dependendo de sua composição química ou de seu estado físico; porém, varia drasticamente de um radioelemento para outro. O decaimento poderia ser expresso em termos de meia-vidas, que é o tempo que leva para a atividade de um radioelemento decair à metade do seu valor original.

Em 1913, os físicos F. Soddy, A. Russell e K. Fajans, em trabalhos independentes, elaboraram uma generalização sobre as emissões α , β e γ , que ficou conhecida como Lei do Deslocamento: “Quando uma partícula alfa for emitida, o novo átomo será deslocado duas casas à esquerda na Tabela Periódica. E quando for emitida uma partícula beta, o novo átomo estará deslocado uma casa à direita na Tabela Periódica”. Os radioelementos que

² Maria Skodowska Curie (1867-1934), física polonesa, é uma famosa personagem da história da ciência. Foi a primeira mulher a ganhar um prêmio Nobel de Física (1903), pela descoberta da Radioatividade, conjuntamente com Pierre Curie (seu marido) e Henri Becquerel. Conseguiu-se destacar como pesquisadora em uma época em que as universidades eram um domínio masculino. Pode-se dizer que, com a colaboração de seu marido Pierre Curie, ela “inventou” a radioatividade e descobriu novos elementos radioativos – o tório, o polônio e o rádio. Foi apenas a partir do seu trabalho que surgiu um enorme interesse pelos fenômenos radioativos e que essa área começou a se desenvolver de fato.

caíssem na mesma posição da tabela periódica seriam quimicamente idênticos. Soddy propôs, para os elementos deste último caso, o nome de isótopos. (XAVIER, 2007, p.83).

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

A radiação nuclear é originada no núcleo de determinados átomos de elementos químicos que não estão estáveis, implicam enormes variações de energia e geralmente transformam um elemento químico em outro. As radiações nucleares podem ser de vários tipos, mas, principalmente: partículas alfa (α), partículas beta (β) e radiação gama (γ). (GONÇALVES e FARIAS, 2008. p.13-14).

Atividade 8

1) Adaptado (GONÇALVES E FARIAS, 2008). Identifique os termos a seguir como sendo **radiação** e/ou **radioatividade**.

Urânio	
Infravermelho	
Raios X	
Partículas alfa	
Luz	
Ultravioleta	
Ondas de rádio	
Micro-ondas	
Raios gama	
Césio 137	

2) Assista o vídeo: descoberta da radioatividade <http://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk> (9:00 min.), e faça alguns apontamentos a cerca do termo *radioatividade*.

3) A radioatividade está associada a propriedade que alguns elementos químicos tem em emitir espontaneamente partículas de altas energias, ocasionando transformações das partículas. Esse processo é o meio natural de estabilização dos núcleos atômicos desses elementos, conhecido por:

- a) expansão atômica.
- b) decaimento atômico.
- c) isolamento atômico.
- d) fotoluminescência.

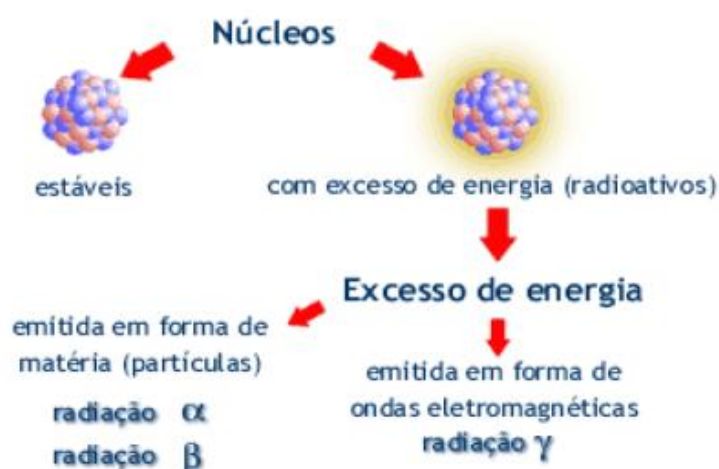
AULA X (3 hora aula 50 min.)

3.8. Decaimento Radioativo

As maiores partículas que compõem o núcleo do átomo são os prótons e nêutrons. As interações nucleares são consideradas forças de curto alcance, pois só agem no interior do núcleo.

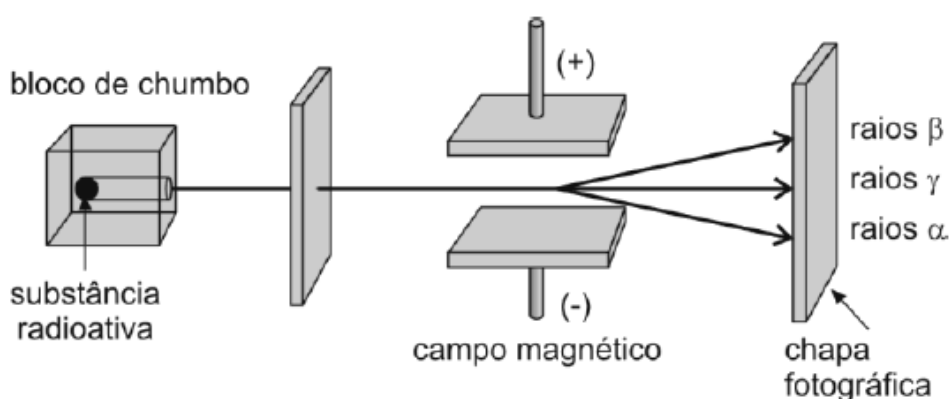
Quanto maior for à quantidade de prótons e nêutrons no núcleo, maiores serão as interações entre essas partículas. Quando muito pesado, o núcleo deixa de ser estável e passa a emitir radiação naturalmente, transformando-se em outro elemento – este estável, por ter núcleo mais leve. Esse tipo de transformação, que ocorre por meio da liberação de energia, é chamado *decaimento radioativo*, como o observado na *figura 25*. No decaimento, a energia pode ser liberada com emissão de radiação alfa, beta ou gama (a radiação gama não transforma o núcleo em outro elemento).

Fig. 25: Representação do decaimento radioativo num núcleo atômico.



Os trabalhos de Rutherford também tiveram contribuições a cerca do entendimento das radiações emitidas pelas substâncias (radioatividade). Em 1903, Ernest Rutherford idealizou um experimento para separar e determinar a natureza das radiações emitidas, como representado na *figura 26*. O material radioativo colocado no cilindro de chumbo emite radiações. As partículas α (alfa) e β (beta) são desviadas em um campo elétrico (ou em um campo magnético).

Fig. 26: Representação da emissão da radiações α, β e γ .



Disponível:

http://www.webvestiba.com.br/app/Files/CI%C3%80NCIAS_DA_NATUREZA_QU%C3%80DMICA_Demo.pdf.

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

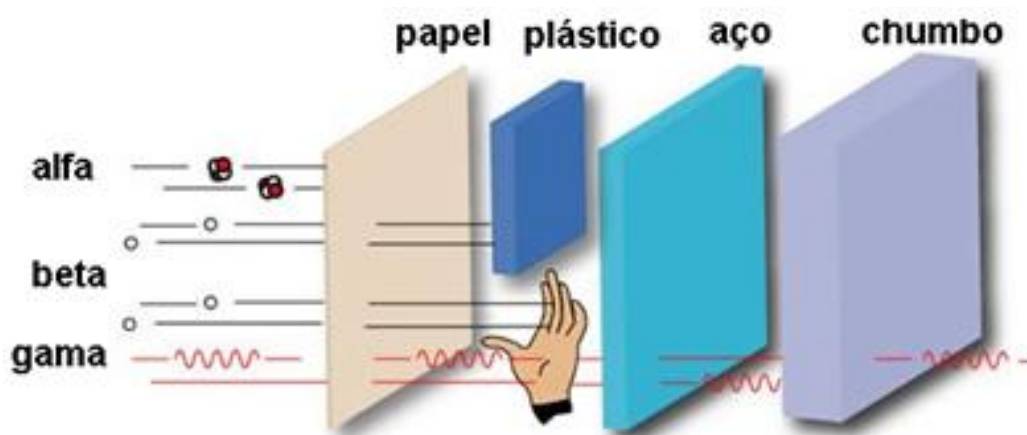
- I. Radiações α , que se desviam no sentido da placa negativa; são formadas por 2 prótons e 2 elétrons – a mesma composição do hélio – que são liberadas por elementos radioativos para fora de seu núcleo. Saem do núcleo com uma velocidade em torno de 20000 km/s e são facilmente absorvidas pelo meio. Possui um pequeno poder de penetração. Atravessa poucos centímetros de ar, é interceptada por uma folha de papel. Pode causar queimaduras na pele e quando produzida no interior do organismo não causa muito problema, tem o maior poder ionizante sobre o ar.
- II. Radiações β , que se desviam no sentido da placa positiva, têm massa desprezível; esse desvio é mais acentuado que o das partículas α ; são elétrons disparados para fora do átomo, em forma

de radiação, quando um próton se transforma em nêutron ou vice-versa. Atravessa uma folha de papel, mas não consegue atravessar uma lâmina de 1mm de alumínio; logo seu poder de penetração é maior do que o de alfa α . Quando produzida no interior do organismo, pode ocasionar danos sérios. Admite-se que o núcleo não contém elétrons. Assim, a partícula β (que é um elétron) deve-se formar pela desintegração de um nêutron, elemento radioativo.

- III. Radiações γ , que não sofrem desvio, pois não têm carga; este tipo de radiação não possui massa, é uma onda eletromagnética, como muitos outros tipos de radiação, e é resultante do decaimento radioativo (liberação de partículas alfa ou beta). Em outras palavras, quando um átomo dispara uma partícula alfa ou beta, ainda continua instável, pois a emissão da partícula não foi suficiente para estabilizar o átomo. Esta instabilidade é reduzida pela emissão de raios gama, ou seja, energia pura. Atravessam vários centímetros de chumbo, 20cm de aço e percorrem grandes distâncias no ar. Podem atravessar um ser humano e por isso ser a mais perigosa das radiações ocasionando danos irreparáveis.

A *figura 27* ilustra o poder de penetração, fora de escala das radiações alfa, beta e gama. A radiação menos penetrante é a alfa, enquanto que a gama é a mais penetrante, são necessários alguns centímetros de chumbo para contê-la.

Fig. 27: Representação do poder de penetração das partículas α , β e γ .



Disponível: <http://cursoquimicaintegral.blogspot.com.br/2013/05/radioatividade.html>

As radiações nucleares podem ser do tipo partículas, possuindo massa, carga elétrica e velocidade que depende do valor de sua energia; ou do tipo ondas eletromagnéticas, que não possuem massa e se propagam na velocidade da luz (300 000 km/s), para qualquer valor de sua energia. São da mesma natureza da luz e das ondas de transmissão de rádio e TV (<http://www.cnem.gov.br/ensino/apostilas/radio.pdf>).

As emissões de radiação são feitas de modo imprevisível e não se pode adivinhar o momento em que um determinado núcleo irá emitir radiação. Mas para a grande quantidade de átomos existente em uma amostra é razoável esperar-se certo número de emissões ou transformações em cada segundo. Essa taxa de transformação é denominada *atividade da amostra*.

A atividade de uma amostra com átomos radioativos (ou fonte radioativa) é medida em:

Bq (Becquerel) = uma desintegração por segundo (Unidade no SI).

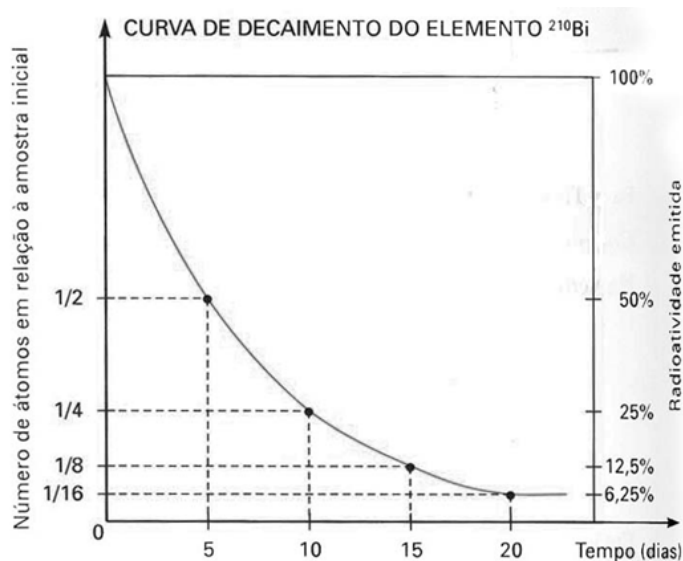
Ci (Curie) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

Cada elemento radioativo, seja natural ou obtido artificialmente, se transmuta (se desintegra ou decai) a uma velocidade que lhe é característica. Para se acompanhar a duração (ou a “vida”) de um elemento radioativo foi preciso estabelecer uma forma de comparação.

Por exemplo, quanto tempo leva para um elemento radioativo ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial? Esse tempo foi denominado *meia-vida* do elemento.

Meia-vida, portanto, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial, Como pode ser observado na *figura 28*. Isso significa que, para cada meia-vida que passa, a atividade vai sendo reduzida à metade da anterior, até atingir um valor insignificante, que não permite mais distinguir suas radiações das do meio ambiente.

Fig. 28: Representação do decaimento Bismuto 210.



Disponível: http://grupodquimica.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html

Na *Tabela 2* são encontradas as principais características de alguns elementos radioativos. Perceba que as características são intrínsecas de cada núcleo.

Tabela 2: Informações de alguns elementos radioativos.

Elemento	Representação	Tipo de desintegração	Tempo de meia-vida	Energia da partícula (MeV)
Urânio – 238	$_{92}\text{U}^{238}$	alfa	$2,50 \cdot 10^5$ anos	4,77
Bismuto – 210	$_{83}\text{Bi}^{210}$	beta	5,0 dias	1,15
Tálio - 206	$_{81}\text{Tl}^{206}$	beta	4,2 min	1,51

Fonte: Aquino 2012.

Uma Aplicação.

Preservação de alimentos: A irradiação de alimentos geralmente é feita com irradiadores de cobalto-60. Esses equipamentos consistem em uma fonte de ^{60}Co instalada em uma câmara, cujas paredes são blindadas com concreto. Os alimentos a serem irradiados (na forma *in natura* ou industrializada) são colocados em recipientes especiais e, através de um monotrilha, são conduzidos para o interior da câmara de irradiação, onde recebem uma dose de radiação gama programada, por um tempo prefixado. É uma técnica eficiente na conservação dos alimentos, pois reduz as perdas naturais

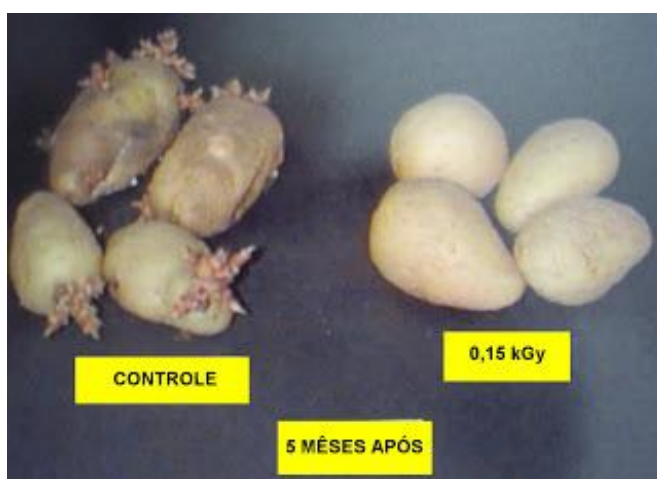
causadas por processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento), conseqüentemente aumentando o tempo de vida do alimento.

O método também elimina ou reduz a proliferação de micro-organismos, parasitas e pragas, sem causar prejuízo ao alimento. O processo de irradiação acarreta alterações químicas mínimas nos alimentos, nenhuma das quais nocivas ou perigosas, motivo pelo qual a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda sua aplicação e uso.

Como a irradiação é um processo pós-colheita, ela não pode substituir os agrotóxicos utilizados no campo, mas pode substituir aditivos químicos usados para desinfecção de frutas após a colheita como, por ex., o brometo de metila, cujo uso está condenado (XAVIER, 2007, p.90).

As figuras 29 e 30 representam uma situação de como se encontra o produto não irradiado e irradiado, após certo período de tempo.

Fig. 29: Comparação entre o alimento não irradiado com o irradiado.



Disponível: <http://radiologiasemfronteiras.blogspot.com.br/2011/04/irradiacao-de-alimentos.html>

Fig. 30: Comparação entre o alimento não irradiado com o irradiado.



Disponível: <http://www.cena.usp.br/irradiacao/principios.htm>

Atividade 9

1) Estabeleça a relação:

- | | |
|-------------------|--|
| (1) Radiação Alfa | () Partícula leve |
| (2) Radiação Beta | () Não possui carga |
| (3) Radiação Gama | () Possui carga positiva |
| | () Partícula pesada |
| | () Onda eletromagnética |
| | () Não possuiu massa |
| | () Formada por 2 prótons e 2 nêutrons |

2) A radioatividade está associada a propriedade que alguns elementos químicos tem em emitir espontaneamente partículas de altas energias, ocasionando transformações das partículas. Esse processo é o meio natural de estabilização dos núcleos atômicos desses elementos, conhecido por:

- a) expansão atômica.
- b) decaimento atômico.
- c) isolamento atômico.
- d) fotoluminescência.

3) Radiações ionizantes *versus* radiações não ionizantes: Assista os vídeos referentes a radiações disponíveis nos links a seguir <http://www.youtube.com/watch?v=bz0KZcJfyIY> (9:51 min) - *radiações ionizantes*; <http://www.youtube.com/watch?v=mFSk1TUPFbY> (11:00 min.) - *radiações não ionizantes*.

Após assistir aos vídeos, apresente algumas propriedades e características e os riscos da exposição a radiações ionizantes e não ionizantes.

4) Datação por decaimento radioativo. Assista ao vídeo disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=pckGpBgS8PQ> (8:33 min.) datação por carbono 14) e escreva de forma sucinta como funciona esta técnica e em que é aplicada. Se for necessário, outras fontes podem ser consultadas.

5) Lixo tóxico: Pilhas e baterias, que em sua composição, apresentam as de mercúrio, pilhas de níquel-cádmio, pequenas baterias de chumbo, por exemplo, não emitem radioatividade, mas constituem um lixo perigoso à natureza e saúde humana.

- a) Faça uma pesquisa sobre os componentes das pilhas e baterias e seus efeitos.
- b) Faça uma entrevista com seus vizinhos, se eles sabem dos riscos e perigos deste tipo de lixo, o que fazem para o seu descarte, se sabem que há pontos específicos para sua coleta.
- c) Verifique se no município em que reside existe pontos de coleta para o lixo tóxico e onde estão localizados.
- d) Em seminário, exponha os resultados da consulta dos itens anteriores, por meio de cartazes, painéis e gráficos.

AULA XI *(4 hora aula 50 min.)*

4 Reações Nucleares

Estudos experimentais e teóricos em Física Nuclear, como a descoberta da radioatividade por Becquerel em 1896, a hipótese de Rutherford sobre a existência do núcleo atômico, formulado em 1911, tiveram um papel fundamental no desenvolvimento da Física do século XX.

Os resultados desses estudos permitiram chegar-se a um razoável entendimento das propriedades dos núcleos e estrutura responsável por essas propriedades, modelos atômicos, forças nucleares, que culminaram, por exemplo, com a descoberta da fissão nuclear (1938) e o desenvolvimento dos reatores nucleares.

Com a descoberta das desintegrações nucleares, surgiu a possibilidade de aproveitar a energia presente nos componentes do núcleo. A energia nuclear passou a ser empregada em diversas atividades, desde a geração de energia elétrica até terapias contra o câncer.

Refere-se a um campo da ciência que abrange amplas aplicações, desde o microcosmo (partículas elementares) até o cósmico (astrofísica) e, ao mesmo tempo, um potencial tão grande para atingir os limites entre o bem (diagnóstico e terapia de várias doenças) e o mal (bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki) (RODRIGUES, 2005, p.39).

4.1 O Projeto Manhattan

O desenvolvimento da indústria nuclear começou com a Segunda Guerra Mundial. Em uma carta ao presidente Franklin Roosevelt enviada em agosto de 1939, o físico Albert Einstein, ganhador do Prêmio Nobel de física em 1921, afirmava que os EUA deveriam priorizar o desenvolvimento de uma bomba baseada em energia nuclear, antes que os alemães a fizessem, pois já estavam tentando purificar o ^{235}U . Com a entrada em 1941, dos Estados Unidos na Segunda Guerra Mundial e diante da possibilidade dos alemães desenvolverem a bomba atômica, foi criado o Projeto Manhattan. Este projeto, com custo aproximado de dois bilhões de dólares, representou a maior concentração de cientistas para trabalhar em um só tema, a construção da bomba norte-americana.

Sugestão de debate

Assista o documentário Maravilhas Modernas – Projeto Manhattan, Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=HzTfWq8Mggg> (43:59 min.), e em grupos, levantem informações para debater a cerca de:

- O papel da ciência.
- O mau uso da ciência.
- As relações entre ciência, tecnologia e o esforço de guerra.
- Quais são os limites do progresso?

4.2 Energia nuclear

A energia nuclear é a energia liberada numa reação nuclear a partir da transformação de um ou mais núcleos atômicos. A energia nuclear é originada de reações nucleares, fenômenos que ocorrem nos núcleos dos átomos.

Nestas reações ocorre a liberação de energia na forma de calor no momento em que se dá a transformação dos núcleos dos átomos.

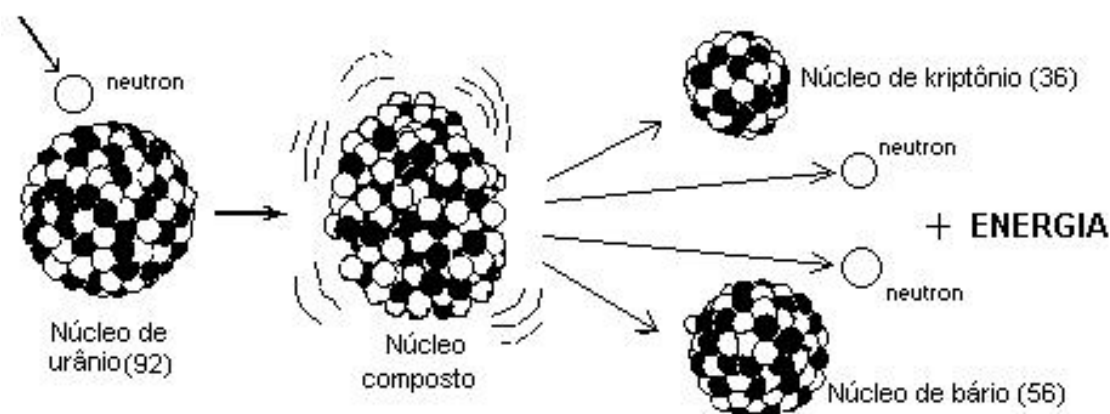
Atualmente é possível colidir prótons, elétrons e nêutrons para dividir átomos ou mesmo para fundi-los em reações nucleares de dois tipos: a fissão nuclear e fusão nuclear.

4.2.1 Fissão nuclear

Na fissão nuclear, existe um átomo que se torna instável após ser bombardeado com partículas de nêutrons. Os nêutrons são acelerados e incidem em um núcleo pesado. Isso faz com que este núcleo se divida em dois ou mais núcleos de elementos mais leves e diferentes. Estes novos elementos se transformarão em energia, raios gamas e mais partículas de nêutrons. Atualmente, este é o tipo mais usado pelo Homem para produzir energia nuclear.

Um exemplo desse processo é a fissão do urânio-235, um elemento instável que, quando atingido por um nêutron, parte-se e transforma-se em dois elementos de núcleos menores, liberando radiação, conforme pode ser observado na *figura 31*. Uma das possíveis configurações finais é a divisão em um núcleo de bário-141 e um núcleo de criptônio-92. Nesse caso, a reação libera três nêutrons, que se propagarão, podendo colidir com outros núcleos de urânio-235 e causar novas fissões (STEFANOVITS, 2013, p.259).

Fig. 31: Representação da fissão do urânio-235.



Disponível: <http://www.infoescola.com/quimica/enriquecimento-de-uranio/>

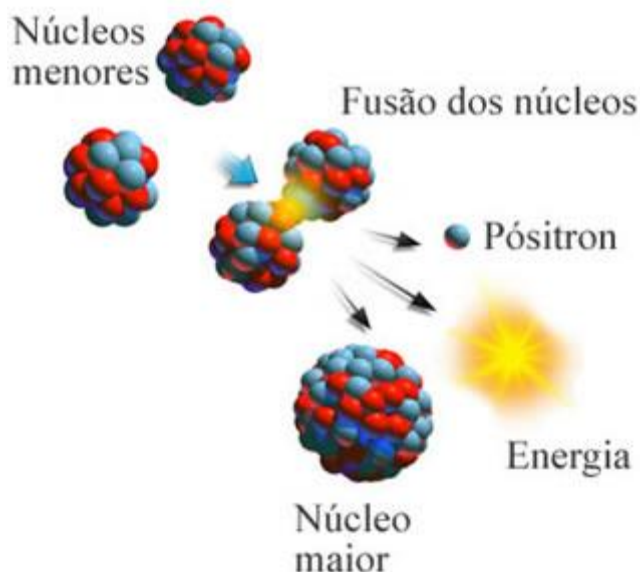
Quando o produto de uma fissão inclui nêutrons livres, estes podem colidir com outros núcleos pesados, promovendo novas fissões, que liberam

outros nêutrons, e assim sucessivamente. Esse tipo de evento é chamado de *reação em cadeia*.

4.2.2 Fusão Nuclear

A fusão nuclear é a união de dois núcleos de átomos diferentes que virão a formar um núcleo de um elemento diferente, instável. Consiste em colidir núcleos leves, como os isótopos do hidrogênio, provocando a junção de dois núcleos e transformando-os em um novo núcleo, com maior número atômico, como o ilustrado na *figura 32*. Para que haja a fusão entre os núcleos atômicos é necessária uma grande quantidade de energia. Mas a energia liberada por esta reação supera em muito a quantidade consumida. A reação de fusão nuclear é muito mais poderosa que a da fissão, sendo o tipo de reação que mantém as estrelas, como o Sol, vivas.

Fig. 32: Representação do processo de fusão nuclear.



Disponível: <http://www.brasilecola.com/quimica/bomba-hidrogenio.htm>

O processo de fusão é mais difícil de ser realizado, pois para submetê-la é necessário submeter os núcleos leves a condições de alta temperatura e alta pressão por um intervalo de tempo suficiente para que a reação ocorra. Para atingir temperatura e pressão tão elevadas e, para mantê-las, depende-se de muita energia, e por isso o desenvolvimento de processos de fusão como meio de obter energia em larga escala encontra-se ainda em fase de plano (STEFANOVITS, 2013, p.259).

Atividade 10

1) Assista ao vídeo: Fantástico - Saiba como funciona uma usina nuclear por dentro (5:53 min.), disponível no link: https://www.youtube.com/watch?v=65Nr8A_xt98.

2) As usinas nucleares consistem em fontes de energia elétrica para muitos países, inclusive para o Brasil. Faça uma pesquisa e estabeleça um balanço das vantagens e desvantagens do uso da energia nuclear.

3) (ENEM-2014) A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição. Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- a) Fissão do material radioativo.
- b) Condensação do vapor d'água no final do processo.
- c) Conversão de energia das turbinas pelos geradores.
- d) Aquecimento da água líquida para gerar vapor d'água.
- e) Lançamento do vapor d'água sobre as pás das turbinas.

3) Como é conhecido a reação de desintegração dos núcleos de átomos de metais pesados, como o urânio, através da colisão com nêutrons?

- a) Enriquecimento atômico, como o observado numa bomba atômica.
- b) Desintegração atômica, como a observada em um acelerador de partículas.
- c) Fusão nuclear, como o observado no interior do Sol.
- d) Fissão nuclear, como o observado em um reator nuclear.

Unidade III: O Modelo Padrão

O Modelo Padrão representa o modo como os físicos contemporâneos veem o universo. É o modelo atual, das partículas elementares, que descreve a matéria existente na natureza, desde as partículas produzidas nos gigantescos aceleradores de partículas até um simples grão de areia. Nesta unidade, veremos alguns conceitos referentes a partículas elementares, o modelo padrão das partículas elementares e aceleradores de partículas.

AULA XII *(3 hora aula 50 min.)*

5 Partículas elementares

A descoberta do nêutron estimulou a construção de um modelo teórico consistente para explicar a massa do núcleo atômico. No entanto, a existência de uma partícula com carga neutra não explicava o fato de as partículas positivas do núcleo não se repelirem a ponto de se separarem. Assim, questões surgiam: “como prótons e nêutrons se mantêm unidos no núcleo?” ou “tudo que faz parte das nossas vidas é composto basicamente de prótons, elétrons e nêutrons?”.

Ao longo do século 20 os físicos de partículas foram descobrindo uma grande quantidade de partículas subatômicas. Nas primeiras décadas após 1900, somente o elétron e o próton eram conhecidos, mas a partir da década de 1950 houve uma proliferação com a observação de dezenas de outras partículas. Uma variedade tão grande sugeria uma estrutura subjacente mais fundamental que permitisse realizar uma classificação mais detalhada das partículas em termos de algumas poucas partículas fundamentais. Durante a década de 1960 houve várias tentativas de encontrar uma ordem no aparente caos. Finalmente, os físicos concluíram que existem apenas umas poucas classes de partículas elementares diferentes, a partir das quais é possível “construir” todas as partículas conhecidas utilizando-as como se fossem blocos ou tijolos de brinquedo. Tanto do ponto de vista teórico quanto experimental, o conceito de elementaridade tem-se mostrado relativo, no sentido de que uma

partícula pode ser enxergada como elementar (sem estrutura interna) às baixas energias, e como composta às altas energias.

(<http://www.astro.iag.usp.br/~douglas/cosmologia/arquivos/aulas/cap01.pdf>)

Hoje, após a evolução da ciência que estuda as partículas elementares, sabe-se que as partículas fundamentais que constituem a matéria são subdivididas em três grandes classes: os léptons, os quarks e as partículas de interação, os bósons.

5.1 Da família dos elétrons: os léptons

Os léptons, cujo nome significa “leves”, são partículas que não sofrem influência da força que mantém prótons e nêutrons unidos no núcleo (força nuclear forte), pois estão sempre fora dessa estrutura, e podem viajar por conta própria. O lépton mais conhecido é o elétron (e^-), que possui carga negativa.. Outros léptons menos conhecidos, mas que fazem parte do universo são o tau (τ^-) e o múon (μ^-), sendo que ambos possuem carga negativa (-1), tal qual o elétron. Os outros léptons são o neutrino do elétron (ν_e), o neutrino do tau (ν_τ) e o neutrino do múon (ν_μ). Esses léptons, por sua vez, não possuem carga. Os neutrinos do elétron são as partículas que mais nos bombardeiam diariamente. Eles atravessam a atmosfera, vindos do sol, e cerca de 50 trilhões de neutrinos atravessam o nosso corpo a cada segundo (AQUINO, 2012, p.40).

Para cada lépton citado existe a sua antipartícula, que possui as mesmas características da partícula correspondente, possuindo, contudo, uma carga oposta. Para o tau, por exemplo, existe o antitau, com carga +1, cujo símbolo é τ^+ . Assim, as partículas que não possuem carga, como os neutrinos, são iguais às suas respectivas antipartículas, ou seja, um neutrino é igual a um antineutrino. Uma antipartícula de uma partícula sem carga é representada com um traço sobre seu símbolo, como por exemplo, próton (p) e antipróton (\bar{p}) (AQUINO, 2012, p.40).

5.1.2 Os quarks e o núcleo atômico

Os quarks são partículas fundamentais que possuem carga elétrica fracionária, mas que nunca foram detectadas livres, estando sempre agrupadas. Ao agrupamento de quarks dá-se o nome de hádrons, que significa

“confinados”, cada um podendo ser composto de quarks e/ou antiquarks. São conhecidos seis tipos de quarks: quark *up* (*u*), quark *down* (*d*), quark *strange* (*s*), quark *charm* (*c*), quark *bottom* (*b*) e quark *top* (*t*). Suas cargas são frações da carga do elétron: $+\frac{2}{3}e$, $-\frac{1}{3}e$, $-\frac{1}{3}e$, $+\frac{2}{3}e$, $-\frac{1}{3}e$ e $+\frac{2}{3}e$, respectivamente (lembre-se que a carga do elétron é de $1,6 \cdot 10^{-19}C$). A soma das cargas dos quarks no agrupamento fornece a carga do hádron, que será sempre um múltiplo inteiro da carga elétrica do elétron. Os pares de quarks e antiquarks são chamados de mésons, e a junção de três quarks ou de antiquarks é chamada de bárion. (AQUINO, 2012, p.42).

Os bárions mais conhecidos são os prótons e os nêutrons. Pois bem, os prótons e os nêutrons não são partículas elementares, como se acreditava até o início dos anos trinta. Um próton é constituído por três quarks “uud” (*up*, *up*, *down*); já um nêutron é formado por três quarks “udd” (*up*, *down*, *down*). A soma das cargas dos quarks que formam o próton ($+\frac{2}{3}+\frac{2}{3}-\frac{1}{3}$) dá a ele a carga que já conhecemos, ou seja, carga +1. Cálculo similar pode ser feito para o nêutron ($+\frac{2}{3}-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}$) para obtermos a carga igual à zero, também muito conhecida. (AQUINO, 2012, p.42).

5.1.3 Os bósons e suas interações

Além dos léptons e dos quarks e suas respectivas antipartículas, existem as partículas de força conhecidas como bósons. Os bósons, ou partículas mediadoras, mantêm unidas as partículas elementares para formar outras partículas. Uma força fundamental é um mecanismo pelo qual as partículas interagem mutuamente, e que não pode ser explicado por nenhuma força mais fundamental. Cada fenômeno físico observado, desde uma colisão de galáxias até quarks agitando-se dentro de um próton, pode ser explicado por estas interações. Em outras palavras podemos dizer que objetos, corpos, coisas, etc exercem influência uns sobre os outros, produzindo campos de força em torno de si. O campo de um corpo exerce uma força sobre outro corpo e vice-versa. (AQUINO, 2012, p.47).

Devido a sua importância fundamental, a compreensão destas interações ocupou a atenção dos cientistas por muito tempo e continua até hoje. As partículas de força são quatro:

- Fóton (talvez a mais famosa) é o mediador da força eletromagnética que liga os elétrons ao núcleo e os átomos nas moléculas. Além disso, é a partícula responsável por todo o espectro eletromagnético, desde os raios gama às ondas hertzianas de rádio, passando pela luz, raios X, radiação ultravioleta e infravermelha.
- W (pode ser W^+ , W^-) e Z^0 são partículas de força fraca. Essas partículas medeiam às transformações nucleares nos fenômenos de radioatividade. A massa do bóson W é de $14 \cdot 10^{-24}$ g e a massa do bóson Z de $16 \cdot 10^{-24}$ g.
- Glúons são partículas de interação forte que medeiam à força que mantém os quarks ligados e confinados nos hádrons. No núcleo de átomos os glúons mantêm os quarks unidos para formarem os prótons e nêutrons. Os glúons são considerados a cola da matéria. Há oito tipos de glúons e nunca se sabe quais dos oito possíveis glúons participam de uma dada interação.
- A partícula mediadora da interação gravitacional ainda não foi detectada, apesar de o seu nome já existir: gráviton. Muitos físicos teóricos tentam descrever uma teoria quântica para a gravidade. (AQUINO, 2012, p.47-48).

5.2 O Modelo Padrão da Física de Partículas

O chamado Modelo Padrão das partículas elementares não é propriamente um modelo, é uma teoria. É na história a mais sofisticada teoria matemática sobre a natureza. É uma teoria compreensiva que identifica as partículas básicas e especifica como interagem.

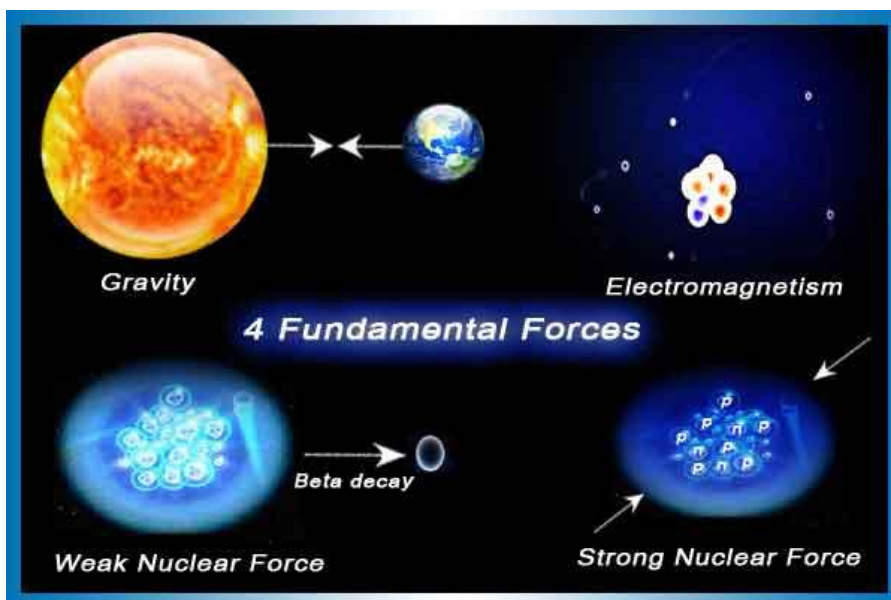
De acordo com o Modelo Padrão, léptons e quarks são partículas verdadeiramente elementares, no sentido de não possuírem estrutura interna. Partículas que têm estrutura interna são chamadas de hádrons.

Há na natureza quatro tipos de interações fundamentais, representado na *figura 33: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca*. Cada uma delas é devida a uma propriedade fundamental da matéria: massa (interação gravitacional), carga elétrica (interação eletromagnética), ³cor (interação forte)

³ A força forte é uma das forças fundamentais da Natureza. Ela atua nos quarks, os constituintes dos prótons, nêutrons e outras partículas elementares. Da mesma forma que a força eletromagnética atua nas partículas que possuem carga elétrica, podemos atribuir uma carga aos quarks e imaginar que a força forte atua nas partículas que possuem essa carga. Convencionou-se chamar a carga das interações fortes de COR.

e carga fraca (interação fraca). Se chamarmos cada uma destas propriedades de carga teremos quatro cargas: carga massa, carga elétrica, carga cor e carga fraca. Assim sendo, há também quatro forças fundamentais na natureza: força gravitacional, força eletromagnética, força cor e força fraca.

Fig. 33: Representação das quatro forças fundamentais.



Disponível; <http://www.mundos-fantasticos.com/forcas-fundamentais/>

O conjunto formado por léptons, quarks e partículas de força forma o conhecido modelo padrão da matéria.

Além do gráviton, que ainda não foi detectado, o modelo padrão apresenta ainda outro problema: a falta de explicação para as massas das partículas. Uma partícula possivelmente responsável pela interação de massa das partículas seria o bóson de Higgs, conhecido como “partícula de Deus”, que ainda está para ser detectado no LHC (Large Hadron Collider - Grande Colisor de Hádrons).

O bóson de Higgs foi a última peça descoberta do quebra-cabeças da física do Modelo Padrão, um conjunto de partículas subatômicas que constitui grande parte do universo visível. O Modelo Padrão inteiro depende do bóson. Todas as partículas que o constituem só existem como tal por causa do chamado campo de Higgs, de onde se origina o bóson de mesmo nome. Previsto por Peter Higgs e o Nobel de física de 1977 Philip Warren Anderson, é esse campo invisível, formado depois do Big Bang, que transfere massa para as partículas subatômicas que compõem a matéria. Tanto Higgs, da Universidade de Edimburgo (Escócia), quanto Englert, da Universidade de

Bruxelas (Bélgica), propuseram, independentemente, teorias que previam a existência do bóson. Os trabalhos de ambos foram publicados em 1964 – o de Englert em coautoria com o físico já falecido Robert Brout. Inicialmente, a existência do bóson foi duramente criticada e considerada um devaneio sem embasamento. A situação mudou completamente desde que se iniciaram as buscas pela partícula no LHC (MOUTINHO, 2013).

Com o Modelo Padrão da matéria e todo o seu mundo subatômico será mais fácil entender como o núcleo de um átomo pode ser instável ou estável e como fenômenos nucleares contribuem para estabilidade do núcleo.

A tabela 3: Visão esquemática do Modelo Padrão.

Matéria			
Léptons		Quarks	
Não são influenciados pela força nuclear forte e podem viajar por conta própria		São influenciados pela força nuclear forte e estão sempre confinados em partículas maiores, hádrons	
Lépton	Antilépton	Quarks	Antiquarks
Elétrons	Pósitron	<i>up</i>	<i>anti up</i>
Neutrino do elétron	Antineutrino do elétron	<i>down</i>	<i>anti down</i>
Múon	Antimúon	<i>charm</i>	<i>anti charm</i>
Neutrino do múon	Antineutrino do múon	<i>strange</i>	<i>anti strange</i>
		<i>botton</i>	<i>anti botton</i>
		<i>top</i>	<i>anti up</i>
		Hádrons	
		Mésons	Bárions
Tau	Antitau	<i>Par de quark-antiquark</i>	<i>Três quarks ou três antiquarks</i>
Neutrino do tau	Antineutrino do tau		
Bósons			
Transmitem as quatro forças da natureza			
Fótons	W^+ , W^- e Z	Glúons	Graviton (não detectado ainda)

Fonte: Aquino, 2012.

Para saber mais, assista ao vídeo “Modelo Padrão da Física de Partículas” (14,58 min.), Casa das Ciências, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=Nqi-bM90vfg>

Atividade 11

1) Assista aos vídeos e faça algumas anotações acerca do Modelo Padrão: O Discreto Charme das Partículas Elementares, Radar Cultura, disponíveis nos links:

- I: https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM ((9:19 min).
- II: <https://www.youtube.com/watch?v=f4aOj2VURG4> (8:20 min).
- III: <https://www.youtube.com/watch?v=XN-eoR-8Cgg> (10:37 min).

2) Pesquise qual foi o principal papel do brasileiro César Lattes na detecção dos mésons?

3) Referente o Modelo Padrão da Física de partículas, é correto afirmar que:

a) é uma teoria que descreve as partículas fundamentais que fazem toda a matéria e suas interações.

b) é um modelo que identifica o átomo como uma esfera maciça composta de prótons, nêutrons e elétrons.

c) trata-se de um modelo hipotético que coloca o átomo como uma partícula fundamental da matéria e indivisível.

d) é uma teoria que identifica o átomo como a menor partícula da matéria semelhante a um pudim de passas.

4) Assinale a opção que contém as 4 interações independentes fundamentais organizadas pelo modelo padrão.

a) leve, moderada, forte e super-forte.

b) atômica, nuclear, elétrica e mística.

c) gravitacional, eletromagnética, forte e fraca.

d) centrípeta, magnética, elétrica e gravitacional.

5) Com base no modelo padrão, são tipos de partículas fundamentais, EXCETO:

a) múon e elétron.

b) próton e nêutron.

c) férmions e bósons.

d) léptons e quarks.

- 6) Referente ao termo *antimatéria*, pode-se afirmar que:
- a) um próton na presença de um elétron se destrói mutuamente.
 - b) para cada partícula existe uma antipartícula.
 - c) cargas elétricas de mesmo tipo se repelem.
 - d) fótons são partículas virtuais.
- 7) Pela carga elétrica os prótons se repelem, mas mesmo assim, eles conseguem manter-se a certa distância no núcleo do átomo. Isso se explica porque:
- a) o interior atômico está livre da ação de forças.
 - b) a força nuclear forte é muito mais intensa que a eletromagnética.
 - c) os elétrons da eletrosfera equilibram estas forças.
 - d) os nêutrons criam um campo isolando os prótons.

AULA XIII (3 hora aula 50 min.)

5.3 Aceleradores de partículas

No início, a maior parte das informações referente às propriedades das partículas e dos núcleos vinha do estudo do decaimento de partículas instáveis, de núcleos e das reações entre os mesmos. Os experimentos eram feitos usando-se núcleos radioativos, analisando se as partículas emitidas e os seus espectros de energia. A partir das observações de raios cósmicos, foi possível um grande avanço na área de física de partículas, no entanto, a grande desvantagem na utilização de raios cósmicos é que os experimentos não podem ser controlados.

Mas, numa evolução dos tubos de raios catódicos, onde elétrons produzidos pelo aquecimento de um filamento eram acelerados, Ernest Lawrence, em 1936, inventou o Ciclotron, um acelerador de partículas carregadas que utiliza a conjugação de campos elétricos e magnéticos (COSSI JUNIOR, 2014, p. 101).

Hoje em dia, a maior fonte de informações sobre as propriedades das partículas elementares e dos núcleos vem dos experimentos realizados nos grandes aceleradores de partículas, que nos permitem reproduzir as reações que ocorrem nos raios cósmicos no laboratório, com a vantagem de podermos controlar todo o processo (energia, direção etc). A importância e a necessidade desses equipamentos para a física de partículas deve-se a várias razões, dentre elas:

1) Para testarmos pequenas distâncias, o comprimento de onda de De Broglie, $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$ deve ser pequeno, o que exige que o momento linear ($p = m \cdot v$) ou, de modo equivalente, a energia cinética das partículas seja grande.

2) A massa e a energia cinética das partículas que são artificialmente produzidas nos experimentos são obtidas a partir da energia das partículas participantes das reações e, portanto, quanto maior for a energia, maior o número e tipos de partículas que podem ser criados.

3) Quanto maiores as energias envolvidas, mais nos aproximamos do desconhecido e, assim, podemos explorar a possibilidade de existirem novas partículas e novas interações e testar as previsões feitas pelas teorias existentes. Nós estamos agora vivendo num mundo onde a teoria da relatividade é dominante, a massa de uma partícula M , criada no laboratório é dada pela relação massa-energia de Einstein: $E = M \cdot c^2$ (AVANCINI e MARINELLI, 2009, p.71-72).

A organização europeia para pesquisa nuclear, mais conhecida como CERN, é o maior laboratório de física de partículas do mundo e situa-se na fronteira entre França e Suíça. Foi criado em 1952, no pós-guerra, com o apoio da UNESCO, com o objetivo de promover a colaboração entre os países europeus na área de pesquisa visando o domínio da física de altas energias. O objetivo de aproximar as comunidades científicas levou o CERN a tornar-se o único lugar onde cientistas russos e americanos trabalharam em conjunto durante a Guerra Fria. Atualmente, trabalham ali mais de 2600 pessoas, porém o número de envolvidos ultrapassa 8000 pessoas ao redor do mundo, através da grande quantidade de institutos conveniados. Diversos experimentos foram realizados no complexo do CERN desde 1954, envolvendo colisões $e^+ e^-$ (elétron e sua antipartícula, o pósitron), ep (elétron e próton) e pp^- (próton e

antipróton). Com o advento das colisões envolvendo íons, que concentram uma maior densidade de energia e podem fornecer informações mais profundas sobre a estrutura da matéria, entrou em funcionamento o PS (do inglês Proton Synchrotron) e seu desdobramento, o SPS (Super Proton Synchrotron). Com o intuito de aumentar a energia envolvida nas colisões, comissionou-se o Large Hadron Collider (LHC), que pode ser observado na *figura 34*, cujo túnel circular de 27 km de extensão está situado a 100 metros da superfície. No LHC são acelerados dois feixes de partículas em sentidos contrários, obtidos a partir da ionização do hidrogênio ou de núcleos de chumbo. Estas partículas são denominadas hádrons, pois possuem uma subestrutura composta de quarks e interagem via força nuclear forte (NÓBREAGA e MACKEDANZ, 2013, p.1301) .

Fig. 34: Foto aérea do LHC na Suíça.

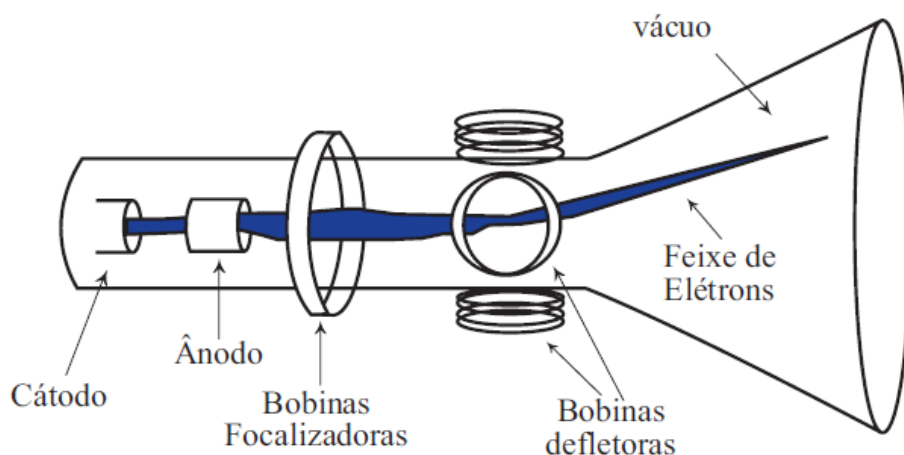


Disponível: <http://scienceblogs.com/startswithabang/2011/05/09/the-future-of-colliders-beyond/>

No que diz respeito ao alvo, geralmente os aceleradores são de dois tipos:

1) **Aceleradores com alvo fixo**, em que o feixe de partículas é dirigido a um alvo com uma dada energia. No dia-a-dia, aceleradores de partículas rudimentares nos cercam: tubo de raios catódicos de televisores, lâmpadas fluorescentes, tubo de raios X. Como representado na *figura 35*.

Fig. 35: Representação de um acelerador elementar (tubos de raios catódicos).

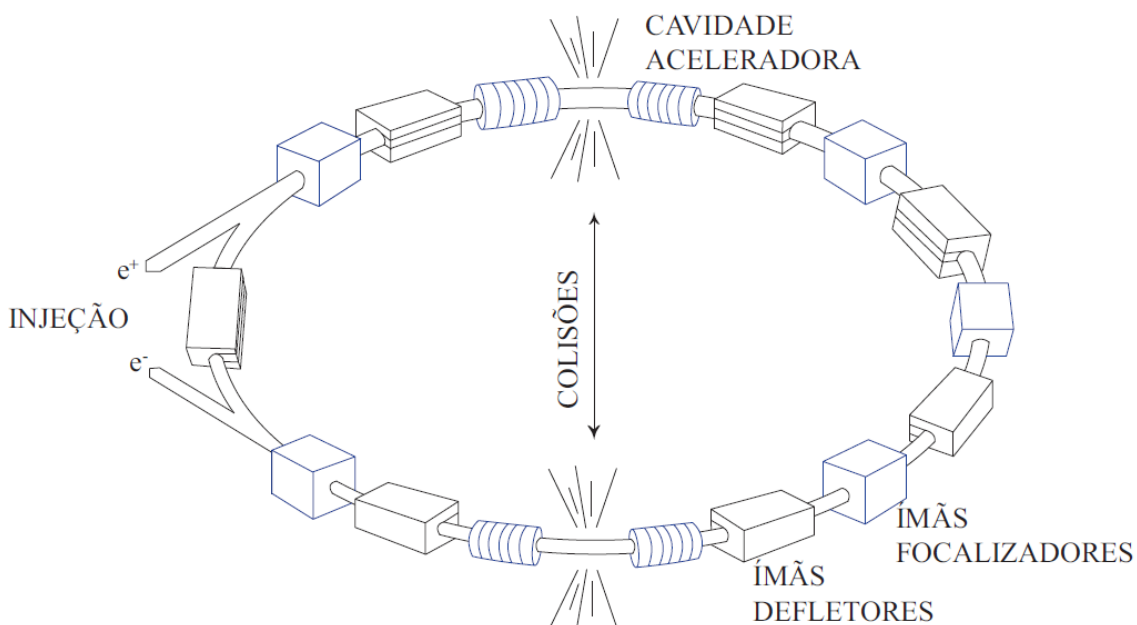


Fonte: Avancini e Marinelli, 2009.

Um tubo de raios catódicos, representado na figura 36, é um acelerador de alvo fixo. Nele, o feixe de partículas é direcionado a um alvo com uma dada energia. A voltagem utilizada em um tubo de TV é da ordem de 20 mil volts. Portanto a energia de cada elétron é da ordem de 20 keV. Isto pode ser comparado com a energia dos elétrons no acelerador LEP-CERN, que atingem cerca de 60 GeV (COSSI JUNIOR, 2014, p.102).

2) **Colisores**, isto é, aceleradores nos quais dois feixes de partículas viajam em direções opostas até realizarem uma colisão frontal. A figura 23 pode-se observar o esquema de um acelerador deste tipo.

Fig. 36: Esquema de um acelerador circular.



Fonte: Fonte: Avancini e Marinelli, 2009.

Em geral, nos aceleradores as partículas são aceleradas por campos elétricos e são direcionadas através de campos magnéticos. Note que esses campos, como bem sabemos, só vão agir sobre partículas carregadas.

As partículas são produzidas por uma fonte e, então, colimadas e injetadas em uma região onde existem campos elétricos e magnéticos que vão mantê-las nessa região até que obtenham a energia desejada. A fim de que não interajam com outras partículas enquanto estão sendo aceleradas elas são mantidas em regiões onde é feito vácuo.

Os dois tipos de aceleradores mais populares são os lineares e os circulares. Nos aceleradores lineares as partículas se movem em linha reta através de uma série de cavidades aceleradoras. Tais aceleradores têm a óbvia desvantagem de precisar de um longo comprimento para atingir altas energias. Os aceleradores circulares por sua vez aceleram as partículas através de campos elétricos e as curvam por meio de campos magnéticos. A energia desejada é obtida acelerando-se as partículas do feixe, forçando-a a dar várias voltas ao redor da circunferência do acelerador. A grande desvantagem desse tipo de acelerador é a radiação síncrotron. Como se sabe do Eletromagnetismo, toda carga acelerada irradia e, portanto, a partícula tem uma perda de energia devido a essa radiação, que terá de ser compensada acelerando-se ainda mais a partícula (COSSI JUNIOR, 2014, p.103).

O exemplo de um moderno acelerador circular é o chamado Síncrotron. Neste acelerador as partículas se movem através de câmaras onde é feito vácuo e são mantidas em órbita circular através de imãs supercondutores. A aceleração é obtida por meio de cavidades de radiofrequência, RF, que a cada volta dão um pequeno impulso à partícula, aumentando sua energia. O campo magnético é aumentado de maneira sincronizada à medida que a velocidade da partícula aumenta de modo que a partícula seja mantida em uma órbita circular fixa. Por exemplo, em um síncrotron, prótons dão cerca de 5000 voltas e, em cada uma, recebem um incremento de energia da ordem de 0, 1 MeV da cavidade de RF até atingirem o pico de energia desejado (COSSI JUNIOR, 2014, p.103).

5.4 O CNPEM e o LNLS

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) é uma Organização Social qualificada por um decreto do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e está localizado num polo de alta tecnologia na cidade de Campinas, interior do estado de São Paulo.

É responsável pela gestão e operação de instalações de C&T que atuam como Laboratórios Nacionais. Tais laboratórios são centros de pesquisa de referência, abertos, multiusuários e multidisciplinares, que operam grandes equipamentos, tais como: geradores nucleares experimentais, síncrotron, usinas piloto, entre outros. Os laboratórios nacionais operados pelo CNPEM (quatro) também buscam manter forte interação com o setor industrial do País, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico em áreas de alta tecnologia.

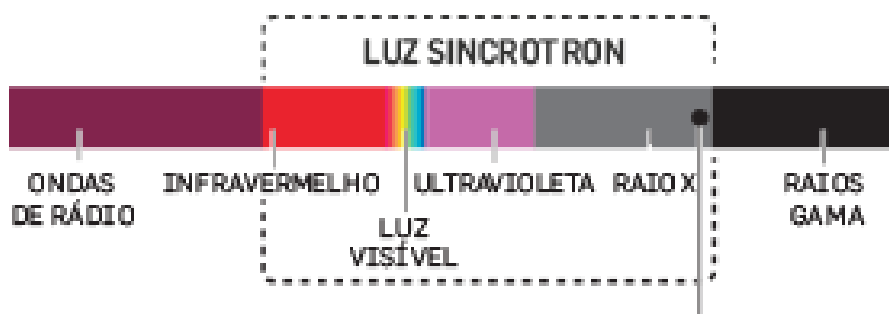
O LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) é um dos cerca de 50 laboratórios espalhados pelo mundo que possuem um acelerador de partículas e atua como laboratório aberto, multiusuário e multidisciplinar, provendo ferramentas únicas na América Latina que permitem a visualização e manipulação da matéria em seu nível mais fundamental: a escala atômica.

Estas características são de caráter estratégico para um país que planeja ter um papel de destaque no cenário internacional, pois viabilizam pesquisas em áreas tecnológicas importantes, como materiais avançados, nanotecnologia e biotecnologia.

É ele que construiu, opera e mantém o único acelerador de elétrons responsável por gerar Luz Síncrotron da América Latina denominado UVX. Seu objetivo final é prover, por meio da Fonte de Luz Síncrotron, raios-X, ultravioleta e infravermelho com características singulares, em diferentes faixas do espectro de energia, para a realização de experimentos em diversas áreas do conhecimento, como física de superfícies, análise de proteínas e cristalografia.

Luz Síncrotron é uma radiação eletromagnética intensa produzida por elétrons de alta energia num acelerador de partículas. A luz síncrotron é uma radiação de amplo espectro, que abrange desde o infravermelho até os raios X, conforme indica a *figura 37*.

Fig. 37 : Luz Sincrotron.



Disponível: <http://infograficos.estadao.com.br/vida/acelerador-particulas/sirius.html?a5>

O acelerador funciona como um gigantesco microscópio, que os cientistas utilizam para enxergar a estrutura atômica e molecular de diferentes materiais, iluminando-os com os diferentes tipos de radiação presentes na luz sincrotron visando desvendar conhecimentos sobre os átomos e as moléculas, como estes se organizam, quais átomos compõem determinada matéria, qual é a distância entre eles, quais são suas propriedades, etc. (ROCHA, 2013).

5.4.1 O projeto Sirius

Pioneiro neste tipo de equipamento no hemisfério sul, o LNLS começou suas atividades em 1987 alavancado pela audácia e entusiasmo de cinco físicos que iniciaram o desenvolvimento em meio a muitas dificuldades como a falta de recursos científicos e financeiros, mão de obra especializada e indústrias com habilidade e disposição para aceitar o desafio em desenvolver e construir os equipamentos necessários.

Em operação desde 1997, o Brasil já possui um acelerador de elétrons denominado UVX. Atualmente ele possui 18 linhas de luz, atende cerca de 1,4 mil pesquisadores por ano e tem quase 3 mil trabalhos científicos publicados nos últimos 16 anos. O UVX é uma máquina com características que o classificam como um acelerador de partículas de segunda geração.

Além da aplicação científica e acadêmica, ele tem sido usado por grandes empresas petrolíferas, como a Petrobrás e a Braskem. Porém, apesar de ainda ser muito útil, o equipamento está desatualizado, não podendo competir diretamente com aceleradores síncrotrons de terceira geração, como se propõe a ser o Sirius.

O projeto Sirius pertence ao LCLS e será construído no mesmo campus do CNPEM. O custo total estimado para o projeto é de R\$ 650 milhões e a previsão é de começar a operar com 13 linhas de luz – suficientes, já, para atender toda a demanda atual do UVS, mas terá capacidade de comportar até 40 linhas de luz.

A nova máquina será mais de cinco vezes maior do que o UVS; não será apenas maior, mas também substancialmente melhor do que a atual em vários aspectos, produzindo uma luz muito mais brilhante, beneficiando a comunidade científica e proporcionando ampliar consideravelmente o seu leque de aplicações.

O planejado é colocar o Sirius para funcionar e produzir o primeiro feixe de luz em 2016. Após essa inauguração, a máquina passará por um período de comissionamento, em que vários testes serão realizados para garantir que ela está funcionando da melhor forma possível. Isso pode demorar vários meses ou até um ano (ROCHA, 2013).

Para conhecer um pouco mais sobre o Projeto acesse o infográfico disponível em: <http://infograficos.estadao.com.br/vida/accelerador-particulas/sirius.html#a5>.

Atividade 12

1) Assista Aos vídeos O Discreto Charme das Partículas Elementares, Radar Cultura, disponíveis nos links:

- IV: <https://www.youtube.com/watch?v=oSfuSOP8ePI> (10,33 min).
- V: <https://www.youtube.com/watch?v=dnRU2qOsjtA> (5:34 min).

2) (ENEM – 2009) “Quatro, três, dois, um... Vá!” O relógio marcava 9h32min (4h32min em Brasília) na sala de comando da Organização Europeia de Pesquisa Nuclear (CERN), na fronteira da Suíça com a França, quando o narrador anunciou o surgimento de um flash branco nos dois telões. Era sinal de que o experimento científico mais caro e mais complexo da humanidade tinha dado seus primeiros passos rumo à simulação do Big Bang, a grande explosão que originou o universo. A plateia, formada por jornalistas e cientistas,

comemorou com aplausos assim que o primeiro feixe de prótons foi injetado no interior do Grande Colisor de Hadrons (LHC – Large Hadrons Collider), um túnel de 27 km de circunferência construído a 100 m de profundidade. Duas horas depois, o segundo feixe foi lançado, em sentido contrário. Os feixes vão atingir velocidade próxima à da luz e, então, colidirão um com o outro. Essa colisão poderá ajudar a decifrar mistérios do universo.

CRAVEIRO, R. “Máquina do Big Bang” é ligada. Correio Braziliense, Brasília, 11 set. 2008, p. 34. (com adaptações).

Segundo o texto, o experimento no LHC fornecerá dados que possibilitarão decifrar os mistérios do universo. Para analisar esses dados provenientes das colisões no LHC, os pesquisadores utilizarão os princípios de transformação da energia. Sabendo desses princípios, pode-se afirmar que

(A) as colisões podem ser elásticas ou inelásticas e, em ambos os casos, a energia cinética total se dissipa na colisão.

(B) a energia dos aceleradores é proveniente da energia liberada nas reações químicas no feixe injetado no interior do Grande Colisor.

(C) o feixe de partículas adquire energia cinética proveniente das transformações de energia ocorridas na interação do feixe com os aceleradores.

(D) os aceleradores produzem campos magnéticos que não interagem com o feixe, já que a energia preponderante das partículas no feixe é a energia potencial.

(E) a velocidade das partículas do feixe é irrelevante nos processos de transferência de energia nas colisões, sendo a massa das partículas o fator preponderante.

Aplicação do questionário pós-teste

1) A partir do conceito da teoria atômica pela ideia científica do átomo, surgiram teorias fundamentadas por experimentos para explicar a forma e constituição de um átomo. Dentre elas, pode-se citar a (o):

- a) Teoria do Caos.
- b) Modelo Atômico Rutherford-Bohr.
- c) Relógio atômico.

2) O termo radioatividade está relacionado com:

- a) radiação.
- b) tóxicos.
- c) Amadurecimento de Ostwald.

3) Referente a estrutura atômica, fazem parte da constituição do núcleo do átomo:

- a) elétrons e nêutrons.
- b) elétrons e neutrinos.
- c) prótons e nêutrons.

4) O que existem dentro dos átomos?

- a) espaço vazio, vácuo.
- b) partículas fundamentais e partículas de energia.
- c) matéria escura e plasma.

5) A seguir, é apresentado um trecho da carta de Einstein enviada para o presidente dos E.U.A. Franklin D. Roosevelt em 2 de agosto de 1939: “nos últimos quatro meses tornou-se provável – através do trabalho de Joliot, na França, bem como de Fermi e Szilard, nos EUA – que seja possível desencadear, numa grande massa de urânio, uma reação nuclear em cadeia, que geraria vastas quantidades de energia e grandes porções de novos elementos com propriedades semelhantes às do elemento rádio”. Este trecho desta carta tratava de uma valiosa descoberta para o desdobramento de um grande projeto, conhecido como?

- a) Manhattan, cujo objetivo final era produzir a bomba atômica.
- b) Esfera de Dyson, que iria abranger o sistema solar e tirar o máximo da energia.
- c) Corrente alternada de Tesla, que permite a transmissão de energia a longas distâncias.

6) Partícula subatômica, ainda não identificada, que poderia revelar a origem da massa atômica, conhecida como *partícula de Deus*:

- a) Léptons.
- c) Méson-pi.
- d) bóson de Higgs.

7) O LHC, Grande Colisor de Hádrons, construído entre a França e Suíça, é um acelerador de partículas que visa reproduzir situações como a do Big Bang. Referente a acelerador de partículas, você diria que:

- a) O único construído pelo homem é o LHC.
- b) Existem vários outros, como o Sirius, brasileiro.
- c) O LHC é o maior, existindo apenas outros de pequenas proporções nos EUA.

8) O volume do núcleo atômico é muito pequeno, formado por um conjunto compacto com forças muito grande. Quando se consegue romper esse conjunto, libera uma grande quantidade de:

- a) energia atômica.
- b) fluídos gasosos.
- c) cristais ionizantes.

9) Dentro núcleo atômico existem partículas que se mantêm ligadas por ação da mais poderosa força da natureza, denominada:

- a) força gravitacional.
- b) força elétrica.
- c) força nuclear.

10) Principais reações nucleares responsáveis pela liberação de energia do núcleo atômico:

- a) fissão e fusão.
- b) fusão e condensação.
- c) oxidação e núcleo-fusão.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Kátia Aparecida da Silva; AQUINO, Fabiana da Silva. **Radioatividade e meio ambiente: os átomos instáveis da natureza** – São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2012. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cap/images/quimica/katiaaquino/3anos/complementar/08colaiqradiacao.pdf>. Acessado: 21/10/2014.

AVANCINI, Sidney dos Santos; MARINELLI, José Ricardo. **Tópicos de física nuclear e partículas elementares**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2009. Disponível: <http://nead.uesc.br/arquivos/Fisica/fisica-nuclear/topicos-fisica-nuclear-livro-texto.pdf>. Acessado: 13/11/2014.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **Programa de Integração CNEN – PIC: Módulo Informação Técnica**. CNEM, 2003. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/pic.pdf>. Acessado: 15/11/2014.

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACEDO, Augusto. **Física moderna: experimental e aplicada**. 2.ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

COSSI JUNIOR, Odair Aparecido. **Material didático como apoio ao professor sobre tópicos de física de partículas elementares para o ensino médio**. UTFPR, Curitiba – 2014. Disponível: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2227/1/CT_COFIS_2013_2_04.pdf, acessado em: 25/11/2014.

ENDLER, Anna Maria Freire. **Vovó conta de que são feitas as coisas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

GONÇALVES, Giuliana; FARIAS, Josué; GONÇALVES, Tatiana. **Radioatividade x Radiação**. Universidade de São Paulo – 2008. Disponível em: <http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/86/RadiacaoXRradioatividade.pdf>. Acessado: 20/11/2014.

GRIEBELER, Adriane. **Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa**. 2012. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v23_n6_griebeler_moreira.pdf. Acessado: 24/10/2014.

Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria. **Radiação de corpo negro**. Disponível: <http://coral.ufsm.br/gef/Moderna/moderna02.pdf>. Acessado: 21/10/2014.

MENEZES, Luis Carlos e HOSOUKE, Yassuko. In: Sociedade Brasileira de Física: **Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Belo Horizonte: UFMG/ CECIMIG/ FAE, 1997. Disponível:

http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/SNEF/XII/XII-SNEF-Atas.pdf - acessado em 31/03/2014.

MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Viz. **A Radioatividade e a História do Tempo Presente**. Química Nova Escola, 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc19/a08.pdf> , acessado em 23/09/2014.

MOUTINNO, Sofia. **O bóson de novo**. Ciência Hoje on-line: Física de partículas: Física Nobel 2013. Disponível: <http://cienciahoje.uol.com.br/especiais/premio-nobel-2013/o-boson-de-novo>. Acessado: 25/11/2014.

NISENBAUM, Moisés André. **Estrutura Atômica** – Disponível em: http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_estrutura_atomica.pdf. Acessado: 11/11/2014.

NÓBREGA, Fábio Kopp; MACKEDANZ, Luiz Fernando. **O LHC (Large Hadron Collider) ea nossa fisica de cada dia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 1, p. 1301, 2013.

OLIVEIRA, Ótom Anselmo de; FERNANDES, Joana D'arc Gomes. **Arquitetura atômica e molecular** – Natal (RN): EDUFRN – Editora da UFRN, 2006. Disponível em:

PARANÁ, Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica: Física**. Curitiba, 2008.

PINHEIRO, Lisiane Araujo; COSTA, Sayonara Salvador Cabral da; MOREIRA, Marco Antônio. **Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v22_v6_pinheiro_costa_moreira.pdf. Acessado 04/11/2014.

ROCHA, Milton César. **Sirius: o novo acelerador de partículas brasileiro**. - CEPEN (Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais), 2013. Disponível em: https://events.aubrasil.autodesk.com/sites/default/files/content_au2013/2a_Maq_EquipInd-ApostilaMiltonRocha.pdf. Acessado: 25/11/2014.

RODRIGUES, Cláudio; MAIORINO, J.R.; SAXENA, R.N. **Aplicações da Física Nuclear**. IN Física: tendências e perspectivas? (organizador) Gil da Costa Marques – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

Ruzzi, Maurizio. *Física Moderna: teorias e fenômenos* – Curitiba: Ibepe, 2008.

SALMERON, Roberto A. **Noções elementares sobre a constituição da matéria e sobre radioatividade – As partículas elementares**- 2004. Disponível:

http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/moderna/universitario/cap02/cap2_06.php.
Acessado em: 12/11/2014.

SANT'ANNA, Blaidi; MRTINI, Glória; SPINELLI, Walter; REIS, Hugo Carneiro. **Conexões com a Física**. – 2. Ed. – São Paulo: Moderna, 2013.

SILVA, José Luiz P.B.; CUNHA, Maria Bernadete de Melo. **Para compreender o modelo atômico quântico** – XIV Encontro de Ensino de Química, Curitiba 2008. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0298-1.pdf>. Acessado 11/11/2014.

SILVA, Luciene Fernanda da; ASSIS, Alice. **Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física – UFSC, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n2p313>. Acessado: 30/10/2014.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. **Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio**. Física na Escola, v. 11, n. 2, 2010. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num2/a04.pdf>. Acessado: 20/09/2014.

SOARES, Augusto Penna. **A produção de raios X em ampolas radiográficas**. Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88297/229908.pdf?sequence=1>. Acessado: 13/11/2014.

STEFANOVITS, Angelo. **Ser Protagonista: Física, 3º ano: ensino médio** – obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM. 2. Ed. – São Paulo, 2013.

TANAMATI, Ailey Aparecida Coelho. **Artigos modelos atômicos – Introdução à evolução dos modelos atômicos: de Demócrito e Leucipo à James Chadwick**. UTFPR, 2009. Disponível: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/aactanamati/coordenacao-de-engenharia-de-alimentos-coeal/disciplinas/disciplina-de-engenharia-de-alimentos/quimica-geral-e-inorganica-el31e-ig1a/material-aula-teorica/modelos-atomicos/artigos-modelos-atomicos/cronologia%20atomo.pdf/view>.

VASCONCELLOS, César Augusto Zen. **Transições eletrônicas: raios X**. UFRS – Instituto de Física, Departamento de Física. Disponível em: <http://www.cesarzen.com/FIS1057Lista7.pdf>. Acessado: 23/11/2014.

XAVIER, Allan Moreira et al. **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Química Nova, v. 30, n. 1, p. 83, 2007.

Sites:

<http://astro.if.ufrgs.br/rad/elements/Elements.htm>

http://condigital.cursoscead.net/condigital/index.php?option=com_content&view=article&id=511&Itemid=91

<http://cursoquimicaintegral.blogspot.com.br/2013/05/radioatividade.html>

<http://infograficos.estadao.com.br/vida/acelerador-particulas/sirius.html?a5>

http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf

<http://fisikokimika.wordpress.com/author/fisikokimika/page/6/>

<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2013/03/raio-x-ajuda-policia-rodoviaria-combater-entrada-de-drogas-no-pais.html>

http://grupodquimica.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html

<https://moodle.ufsc.br/mod/book/view.php?id=504206>

<http://pixelcefetmg.com/2013/12/06/2896/>

<http://radiologiasemfronteiras.blogspot.com.br/2011/04/irradiacao-de-alimentos.html>

<http://scienceblogs.com/startswithabang/2011/05/09/the-future-of-colliders-beyond/>

<http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Rutherford/modelo.html>

<http://www.astro.iag.usp.br/~douglas/cosmologia/arquivos/aulas/cap01.pdf>

<http://www.brasilecola.com/quimica/bomba-hidrogenio.htm>

<http://www.cena.usp.br/irradiacao/principios.htm>

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

<http://www.cesarzen.com/FIS1057Lista7.pdf>

<http://www.euachei.com.br/educacao/quimica/atomistica/>

<http://www.explicatorium.com/CFQ9-Evolucao-atomo.php>

http://www.fisica.ufmg.br/fopdist/oem/oem_guia.htm

<http://www.hiru.com/fisica/el-modelo-atomico-de-bohr-sommerfeld>

<http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/espectro.htm>

<http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/3.html>
http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Jean_Bel/secXX.htm
<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01001/radio.pdf>
<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>
<http://www.infoescola.com/quimica/enriquecimento-de-uranio/>
<http://www.mundos-fantasticos.com/forcas-fundamentais/>
<http://www.newgrounds.com/portal/view/525347>
http://www.rumoaoita.com/site/attachments/564_farias_brito_quimica_serjio_m atos_estrutura_atomica.pdf
<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num2/a04.pdf>
<http://www.quantum-rd.com/2010/05/los-8-descubrimientos-de-la-fisica.html>
<http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>
<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>
http://www.webvestiba.com.br/app/Files/CI%C3%84NCIAS_DA_NATUREZA_QU%C3%84DMICA_Demo.pdf

Vídeos do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=bB7VhcM8EuE>
<http://www.youtube.com/watch?v=Pwrvn2ZI5U>
<http://www.youtube.com/watch?v=u7VctogNgU4>
<http://www.youtube.com/watch?v=Z7wyTd1pLc0>
<http://www.youtube.com/watch?v=ZDd3ILm3imo>
<http://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>
<http://www.youtube.com/watch?v=bz0KZcJfyIY>
<http://www.youtube.com/watch?v=mFSk1TUPFbY>
<http://www.youtube.com/watch?v=pcKGpBgS8PQ>
<http://www.youtube.com/watch?v=HzTfWq8Mggg>
https://www.youtube.com/watch?v=65Nr8A_xt98

<https://www.youtube.com/watch?v=oSfuSOP8ePI>

<https://www.youtube.com/watch?v=dnRU2qOsjtA>

<https://www.youtube.com/watch?v=Nqi-bM90vfg>

https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM

<https://www.youtube.com/watch?v=XN-eoR-8Cgg>

<https://www.youtube.com/watch?v=f4aOj2VURG4>