

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

PPGF
ensino de física

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Sílvio Luiz Rutz da Silva
(organizadores)

**JOSICARLOS PERON
ANDRÉ VITOR CHAVES DE ANDRADE**



Volume 9
Tomo II

Física Nuclear e Sociedade
Caderno do Aluno

SÉRIE
Produtos Educacionais em Ensino de Física

UEPG - PROEX

SÉRIE

Produtos Educacionais em Ensino de Física

Volume 9 – Tomo II

JOSICARLOS PERON

ANDRÉ VITOR CHAVES DE ANDRADE

Física Nuclear e Sociedade

Caderno do Aluno

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Sívio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX
1a. Edição
Ponta Grossa – PR
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Prof. Dr. Carlos Luciano Sant'Ana Vargas
REITOR

Profa. Dra. Gisele Alves de Sá Quimelli
VICE-REITOR

Profa. Dra. Marilisa Do Rocio Oliveira
PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E ASSUNTOS CULTURAIS

Profa. Dra. Osnara Maria Mongruel Gomes
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓSGRADUAÇÃO

PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MNPEF - POLO 35 – UEPG
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Colegiado

Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (Coordenador)

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (*Vice-Coordenador*)

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes

Prof. Dr. Paulo César Facin

Aluno (*Rep. Discente*)

Suplentes

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Júlio Flemming Neto

SÉRIE:

PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

CONSELHO EDITORIAL DA SÉRIE

Prof. Dr. Alexandre Camilo Junior (UEPG)

Prof. Dr. André Maurício Brinatti (UEPG)

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (UEPG)

Prof. Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro (UEPG)

Prof. Dr. Gelson Biscaia de Souza (UEPG)

Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Júlio Flemming Neto (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG)

Prof. Dr. Marcelo Emilio (UEPG)

Prof. Dr. Paulo Cesar Facin (UEPG)

Prof. Dr. Fabio Augusto Meira Cássaro (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Fernando Pires (UEPG)

Prof. Dr. Sérgio da Costa Saab (UEPG)

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz (UEPG)

Profa. Dra. Josie Agatha Parrilha da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Adriano Reinaldo Viçoto Benvenho

(UFABC)

Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin (UTFPR)

Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Jr

(UEM)

Profa. Dra. Cleci Werner da Rosa (UPF)

Prof. Dr. José Ricardo Galvão (UTFPR)

Prof. Dr. Hércules Alves de Oliveira Jr. (UTFPR)

Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)

Prof. Dr. João Amadeus Pereira Alves (UTFPR)

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira (UFRGS)

Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak (UTFPR)

Profa. Dra. Sandra Mara Domiciano (UTFPR)

Profa. Dra. Sani de Carvalho Rutz da Silva (UTFPR)

SÉRIE

Produtos Educacionais em Ensino de Física

Volume 9 – Tomo II

JOSICARLOS PERON

ANDRÉ VITOR CHAVES DE ANDRADE

Física Nuclear e Sociedade

Caderno do Aluno

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Sívio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX
1a. Edição
Ponta Grossa – PR
2018

P453f Peron, Josicarlos
Física nuclear e sociedade: caderno do aluno [livro eletrônico]/ Josicarlos Perón, André Vitor Chaves de Andrade. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2018. (Série Produtos Educacionais em Física, v. 9, t.2).

41 p.; il.; e-book

ISBN: 978-85-63023-30-8

1. Ensino-aprendizagem. 2. Física nuclear. 3. Simulações.
4. PHET. I. Andrade, André Vitor Chaves de. II. T.

CDD: 539.7

Ficha Catalográfica Elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos - CRB 9/986

Foto da Capa: Clarence Pass

Disponível em:

<http://www.guoguiyan.com/nuclear-wallpapers/69320700.html>



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

PREFÁCIO

Durante as últimas décadas, no Brasil se tem conseguido avanços significativos em relação a alfabetização científica, em especial na área do Ensino de Física, nos diversos níveis de ensino, entretanto continua pendente o desafio de melhorar a qualidade da Educação em Ciências. Buscando superar tal desafio a Sociedade Brasileira de Física (SBF) implementou o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que se constitui em um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física, resultando em uma ação que engloba diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo do MNPEF é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande de professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência do MNPEF é nacional e universal, ou seja, está presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, o MNPEF está organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerem as orientações das dissertações e são ministradas as disciplinas do currículo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, por meio de um grupo de professores do Departamento de Física, faz parte do MNPEF desde o ano de 2014 tendo nesse período proporcionado a oportunidade de aperfeiçoamento para quarenta e cinco professores de Física da Educação Básica, sendo que desses quinze já concluíram o programa tornando-se Mestres em Ensino de Física.

A **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física**, que ora apresentamos, consta de vários volumes que correspondem aos produtos

educacionais derivados dos projetos de dissertação de mestrado defendidos. Alguns desses volumes são constituídos de mais de um tomo.

Com essa série o MNPEF - Polo 35 - UEPG, não somente busca entregar materiais instrucionais para o Ensino de Física para professores e estudantes, mas também pretende disponibilizar informação que contribua para a identificação de fatores associados ao Ensino de Física a partir da proposição, execução, reflexão e análise de temas e de metodologias que possibilitem a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, pelas vias do ensino e da pesquisa, resultado da formação de docentes-pesquisadores.

A série é resultado de atividade reflexiva, crítica e inovadora aplicada diretamente à atuação profissional do docente, na produção de conhecimento diretamente associado à prospecção de problemas e soluções para o ensino-aprendizagem dos conhecimentos em Física, apresentando estudos e pesquisas que se propõem com suporte teórico para que os profissionais da educação tenham condições de inovar sua prática em termos de compreensão e aplicação da ciência.

A intenção é que a **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física** ofereça referências de propostas de Ensino de Física coerentes com as estruturas de pensamento exigidas pela ciência e pela tecnologia, pelo exemplo de suas inserções na realidade educacional, ao mesmo tempo que mostrem como se pode dar tratamento adequado à interdependência de conteúdos para a formação de visão das interconexões dos conteúdos da Física.

Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva

Organizadores

Sumário

Do que as coisas são feitas?	8
Rumo ao Núcleo Atômico	15
Raios, óh Raios!	17
Radioatividade	19
Meia vida de um elemento	19
Decaimento gama	19
Decaimento alfa	20
Decaimento beta	21
Atividade Proposta – “Caixa de átomos”	23
Fissão e Fusão	25
Fissão Nuclear	25
Reatores Nucleares de Fissão	27
Fusão Nuclear	28
Atividade Proposta – Simulação Computacional	31
Simulação 1 – Decaimento Beta	31
Simulação 2 – Decaimento Alfa	33
Simulação 3 – Fissão Nuclear	35
REFERÊNCIAS	39

Do que as coisas são feitas?

Desde a Grécia Antiga, os primeiros filósofos já estavam intrigados com perguntas como: Qual o princípio de todas as coisas? Do que tudo é formado? Estas perguntas norteiam a busca por respostas dos primeiros filósofos, dentre eles Tales de Mileto (640-562 a.C.), considerado o primeiro filósofo, que não aceita mais explicações embasadas em magias e mitos. Muitas foram as respostas pensadas, ideias defendidas, algumas delas conhecidas até hoje.



Fig. 1 – Teatro de Mileto¹

- *TALLES (640-562 a.C.) - O princípio de tudo é a água.*
- *ANAXIMANDRO (611-545 a.C.) - Apeiron = indeterminado*
- *ANAXÍMENES (585-528 a.C.) - O princípio de tudo é o ar.*
- *HERÁCLITO (576-480 a.C.) - O fogo origina tudo.*
- *EMPÉDOCLES (492-432 a.C.) - Os quatro elementos: água, ar, fogo e terra que, combinados em diferentes proporções dão origem a tudo.*
- *PITÁGORAS (570-497 a.C.) - O mundo segue a harmonia dos números.*
- *LEUCIPO (século V a.C.) e DEMÓCRITO (460-370 a.C.) - Matéria não contínua, constituída por pequenas partículas invisíveis, imutáveis e indivisíveis chamadas de átomos.*

¹ Fig. 1 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milet_Amphitheater1.JPG

A teoria dos quatro elementos perdura até o início da Idade Moderna, como a mais aceita para explicar a constituição de tudo o que existe. Porém, com o estudo de gases, pressão, força, calor, por nomes como Roger Bacon, Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, Robert Boyle, Isaac Newton, René Descartes, a teoria atômica ganha força.

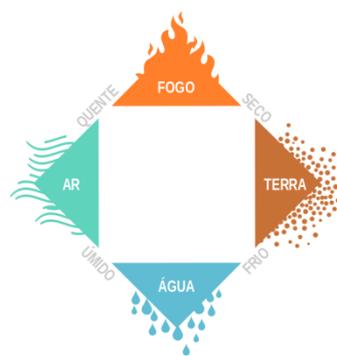
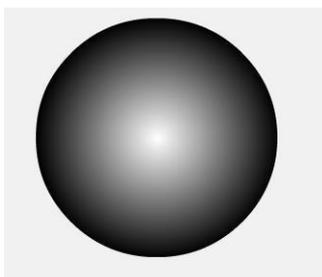


Fig. 2 – Os Quatro Elementos²

ÁTOMO - partículas invisíveis ao olho humano



Em 1808, o cientista John Dalton, formula sua teoria, seguindo a ideia de Leucipo e Demócrito, que para ele era coerente. Assim, para Dalton, a matéria era constituída por átomos indivisíveis e imutáveis. Este modelo atômico ficou conhecido como o modelo da bola de bilhar.

Fig. 3 – Átomo de Dalton³

Não há como negar que a contribuição de Dalton, principalmente no que se refere à constituição da matéria foi de suma importância, porém, com a descoberta do elétron, em 1897, como sendo partícula constituinte do átomo, com carga elétrica negativa, o seu modelo atômico se torna ultrapassado. Assim, em 1897, Joseph John Thomson, propõe um novo modelo de átomo. Neste modelo, o átomo seria uma esfera composta por algum tipo de fluido que continha carga positiva na qual estavam imersos os elétrons, com carga negativa, distribuídos de maneira uniforme, tornando assim o átomo neutro. Este modelo ficou conhecido como o modelo do “pudim de passas”.

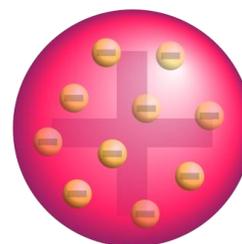


Fig. 4 – Modelo Atômico “Pudim de Passas”⁴

²Fig. 2 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles#/media/File:Diagrama_4_elementos.svg

³ Fig. 3 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atomo_de_Dalton.jpg

⁴ Fig. 4 - https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81tomo#/media/File:Plum_pudding_atom.svg

Mário Schenberg (1914-1990), físico brasileiro, considerava a história da ciência mais fascinante que um romance policial, pois enquanto o mistério de um romance sempre se esclarece ao seu final, os da ciência se multiplicam, constituindo-se em fonte permanente de novos e intrigantes questionamentos.⁵

Em fins do século XIX e início do XX, fenômenos estranhos estavam sendo detectados e estudados. Raios esquisitos já faziam parte das pesquisas de Becquerel e do casal Curie, fenômenos estes que intrigavam a comunidade científica da época. Mesmo com modelos para explicar o átomo, ainda não havia certeza de sua existência.

Robert Brown, botânico escocês observou, através de um microscópio que o pólen apresentava um movimento estranho, frenético, quando espalhado sobre água contida em um recipiente. Ele relacionou este movimento à existência dos átomos. Sua teoria ficou esquecida por quase 80 anos, quando,

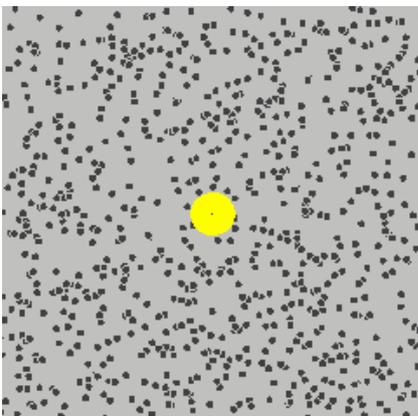


Fig. 5 – Movimento Browniano⁶

ninguém menos do que Albert Einstein, reavaliando o movimento estranho descoberto por Brown, põe fim a discussão sobre a existência ou não do átomo. Para Einstein, o movimento frenético apresentado pelos grãos de pólen sobre a água só poderia ocorrer se eles estivessem sendo empurrados por alguma coisa. Esta “coisa” só poderia ser o átomo.

PARA FUNDIR A CUCA

Existem mais átomos em um copo d'água do que copos d'água em todos os oceanos da Terra.

⁵ SCHENBERG apud PEDUZZI, 2008, p. 53.

⁶ Fig. 5 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brownian_motion_large.gif



Fig. 6 – Ernest Rutherford⁷

Em 1909, Ernest Rutherford (1871-1937), obcecado pela radioatividade, realiza na Universidade de Manchester, em conjunto com seus assistentes Hans Geiger e Ernest Marsden, experimentos que consistiam, essencialmente, em bombardear uma finíssima lâmina de ouro com o que era denominado por Rutherford de raios-alfa proveniente do elemento rádio.

Neste experimento, Rutherford incumbiu seus assistentes a “metralharem” a lâmina de ouro com a radiação alfa e contar, em uma placa fosforescente, os lampejos quase invisíveis que nelas apareceriam.

Durante semanas seus assistentes observaram a placa fosforescente. Em um encontro que Rutherford teve com seu assistente Geiger, este lhe reporta que nada havia acontecido fora do normal. Porém, fazendo uso de sua intuição científica assombrosa, Rutherford pede a seu assistente para que verificasse se conseguiria detectar alguma partícula alfa sendo refletida à frente da lâmina de ouro. O que parecia ser uma ideia estúpida, após dias de observação, o impossível acontece, Geiger e Marsden detectam, raríssimas partículas alfa ricocheteando da folha de ouro. Segundo cálculos de Geiger, uma em cada oito mil partículas alfa sofria este ricocheteio.

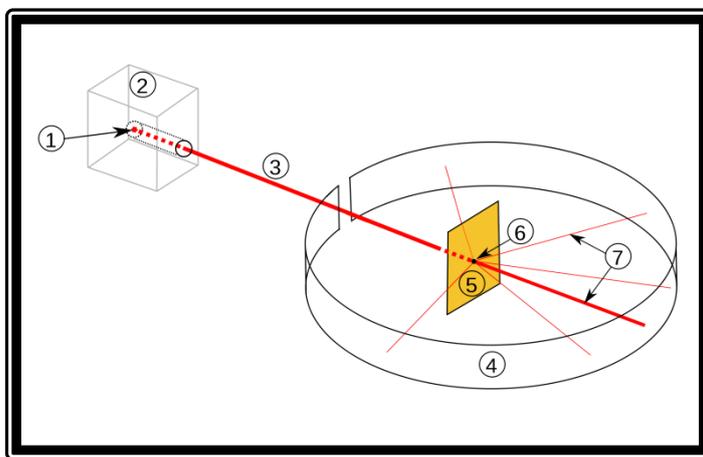


Fig. 7 – Experiência de Rutherford⁸

Rutherford, pasmo com a notícia, percebe que algo extraordinário havia sido descoberto. Mesmo durando mais de um ano para que ele entendesse esta descoberta, Rutherford é capaz de mostrar a estrutura destas minúsculas partículas chamadas de átomos.

⁷ Fig. 6 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford#/media/File:Ernest_Rutherford2.jpg

⁸ Fig. 7 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rutherford_Scattering.svg

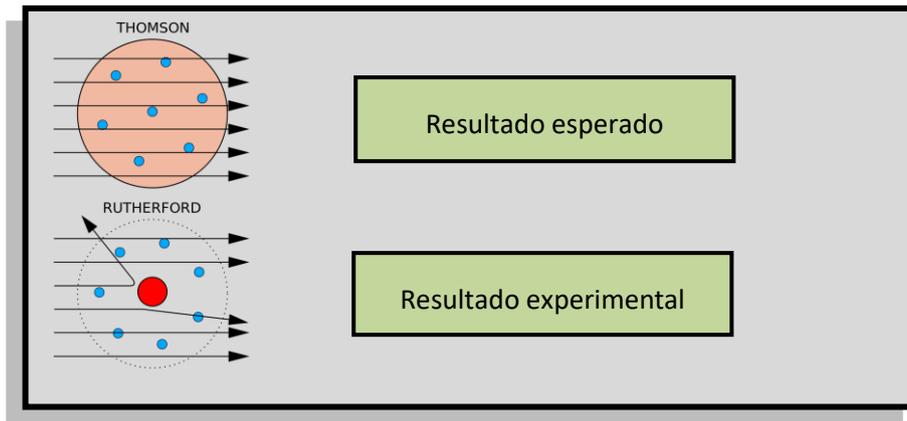


Fig. 8 – Resultado da experiência de Rutherford⁹

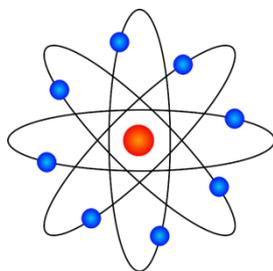


Fig. 9 – Átomo de Rutherford¹⁰

Como os experimentos mostraram algo inesperado e impensado para a estrutura atômica, Rutherford se pôs a pensar sobre o que fazia as partículas alfa, positivas, sofrerem reflexão. Ele propõe então, um modelo onde, os elétrons, partículas carregadas negativamente, giravam em torno de um núcleo muito pequeno, com carga positiva.

Logo surgiria um enorme problema para explicar este modelo atômico. De acordo com as leis da Física daquela época, não seria possível os elétrons girarem em torno de um núcleo, pois, segundo a teoria clássica do eletromagnetismo, o elétron irradiaria energia devido a sua aceleração centrípeta, assim, os elétrons deveriam colapsar em uma trajetória espiral rumo ao núcleo quase que instantaneamente.

Muitos problemas vieram com a experiência de Rutherford. Em apenas seis anos, o átomo é considerado como real, com praticamente todo seu volume contendo espaço vazio e por fim, não obedece às leis físicas conhecidas. Era necessário então o surgimento de uma nova Física, novos cientistas, que, com uma mente aberta, pudessem pensar o impensável.

Após um breve tempo em que trabalha com Thomson, um jovem físico dinamarquês, Niels Bohr (1885-1962) muda-se para Manchester, em 1911, para trabalhar com ninguém menos que Ernest Rutherford.

⁹ Fig. 8 - https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Gold_foil_experiment_conclusions.svg

¹⁰ Fig. 9 - <https://pixabay.com/pt/%C3%A1tomo-n%C3%AAutron-n%C3%BAcleo-proton-30442/>



Fig. 10 – Niels Bohr¹¹

Bohr dá início ao seu trabalho no laboratório de Rutherford, estudando a radioatividade, porém, o modelo atômico nuclear o intriga.

Apesar da pouca idade, Bohr já despontava como um físico brilhante e, estava imensamente fascinado pelo modelo atômico de Rutherford que passou a perseguir insistentemente uma explicação para tal modelo, mesmo este sendo incompatível com as leis da Física Clássica, mas isso não o abateu.

Físico teórico, detentor de uma mente extraordinária, Bohr abre mão de qualquer intuição ou senso comum da época, mantendo sua mente aberta para qualquer possibilidade desta nova física que desabrochava.

Bohr propõe um modelo para o átomo de hidrogênio, no qual o elétron descreve, ao redor do núcleo uma órbita circular, sofrendo influência de atração elétrica segundo a Lei de Coulomb.

Este modelo, no entanto, contrariava a teoria eletromagnética clássica que, segundo ela, este modelo não seria possível, pois os elétrons, descrevendo um movimento circular perderiam energia, caindo, desta forma, no núcleo.

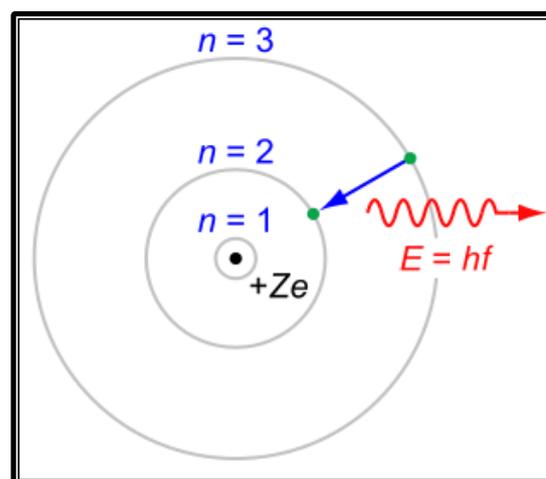


Fig. 11 – Átomo de Bohr¹²

¹¹ Fig. 10 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Niels_Bohr.jpg

¹² Fig. 11 - https://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model#/media/File:Bohr-atom-PAR.svg

Bohr soluciona este problema postulando que:

- *O elétron se move em órbitas circulares estacionárias ao redor do núcleo, sem emitir ou absorver energia espontaneamente.*
- *O elétron não pode ocupar órbitas contínuas, mas sim discretas, não podendo então estar entre uma e outra, mas numa ou noutra.*
- *Quando recebe valores discretos de energia, pode transitar para uma órbita mais afastada do núcleo e, liberando esta energia, voltaria para seu estado fundamental.*

Os valores discretos de energia são propostos a partir da teoria quântica de Planck, os chamados quanta (pacotes) de energia.

A ideia de quantum (pacote) de energia foi proposta por Einstein para explicar o efeito fotoelétrico.

O modelo atômico de Bohr, apesar de explicar o modelo proposto por Rutherford, não apresentava nenhuma justificativa para os postulados. Este problema será solucionado pela mecânica quântica. Os estados estacionários do modelo de Bohr correspondem a soluções estacionárias da equação de Schrödinger.

A mecânica quântica descreve apenas a probabilidade de se encontrar um elétron em uma certa região, uma vez que ele é descrito por uma função de onda. Assim, neste modelo atômico, não é possível localizar o elétron em uma trajetória definida. Existe apenas uma região em que ele poderá ser encontrado. Esta região é chamada de nuvem eletrônica.

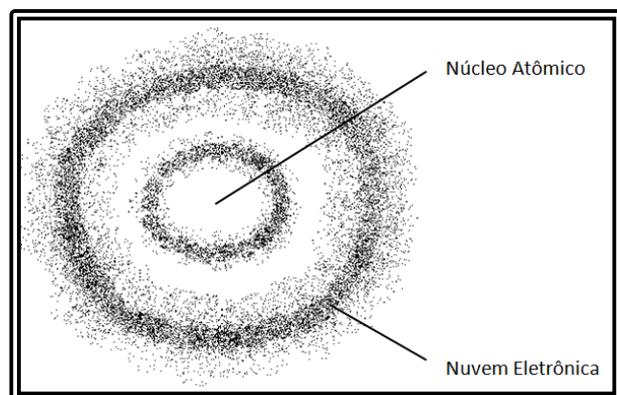


Fig. 12 – Nuvem Eletrônica¹³

¹³ Fig. 12 - Do AUTOR

Rumo ao Núcleo Atômico

Apenas em 1919, Ernest Rutherford publica suas pesquisas foi descoberta a existência do próton, com uma massa 1870 vezes maior que a do elétron e carga elétrica de mesmo módulo, porém positiva. Somente em 1932, o físico inglês James Chadwick descobriu-se um novo tipo de partícula componente do núcleo, com carga elétrica nula e massa 0,2% maior que a massa do próton, partícula esta chamada de nêutron. Com isso foi possível se compreender melhor a estrutura atômica.

O número de prótons é igual ao número de elétrons, desta forma o átomo se mantém eletricamente neutro.

Em núcleos leves o número de prótons e nêutrons é aproximadamente igual, porém, quanto mais pesado for o núcleo, a diferença entre prótons e nêutrons aumenta significativamente.

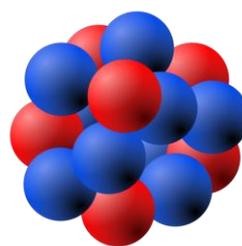


Fig. 13 – Núcleo Atômico¹⁴

O que dá identidade ao elemento é justamente o número de prótons que ele possui, ou seja, elementos químicos diferentes possuem número de prótons diferentes. Como exemplo, podemos pensar no hidrogênio. Ele é hidrogênio porque possui um próton em seu núcleo. Caso ele apresente dois prótons, não será hidrogênio, mas outro elemento, o hélio.

Como já analisado, o número de prótons é a identidade do elemento químico, mas um fenômeno bastante interessante é o da isotopia, onde mesmos elementos químicos apresentam número de nêutrons diferente no seu núcleo. Em geral, os átomos possuem três isótopos estáveis, porém, este valor varia de acordo com cada elemento, assim, alguns podem apresentar apenas um isótopo estável enquanto outros apresentarem em torno de cinco. O hidrogênio, por exemplo, possui três isótopos, como pode ser visto na figura.

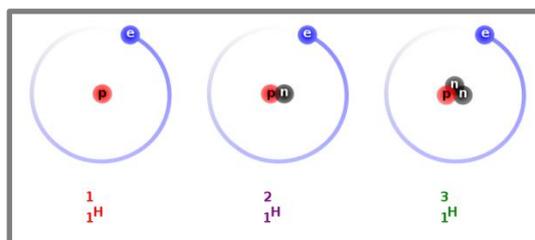


Fig. 14 – Isótopos do Hidrogênio¹⁵

¹⁴ Fig. 13 - https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_nucleus#/media/File:Nucleus_drawing.svg

¹⁵ Fig. 14 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_Deuterium_Tritium_Nuclei_Schematic.svg

Sugestão de Atividade

Para visualizar a experiência de Rutherford, pode ser utilizado o simulador Phet Colorado.

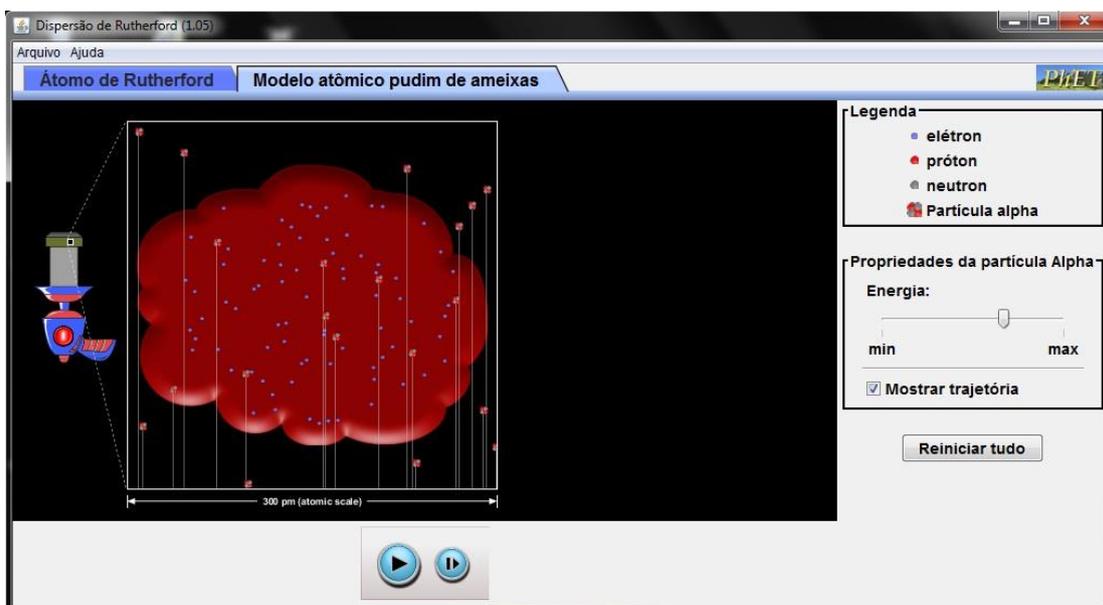


Fig. 15 – Resultado esperado¹⁶

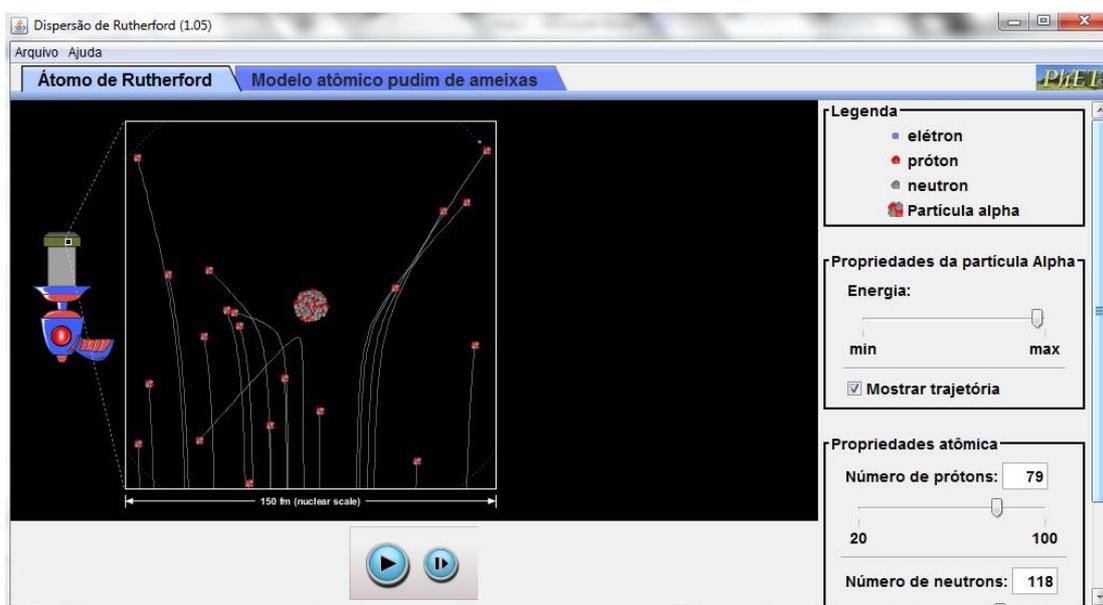


Fig. 16 – Resultado experimental¹⁷

¹⁶ Fig. 15 - http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering

¹⁷ Fig. 16 - Id.

Raios, óh Raios!

Henry Becquerel, em 1896, trabalhando em seu laboratório com materiais fluorescentes e fosforescentes que, quando estimulados por luz solar impressionavam chapas fotográficas com um tipo de raio estranho, mas devido ao mal tempo em Paris, precisou parar com seus experimentos, guardando uma amostra de minério de urânio e algumas chapas fotográficas em uma gaveta. Alguns dias depois, com a melhora do tempo, ele resolve dar continuidade em seus experimentos e, para isso, revela as chapas que estavam na gaveta para se certificar de que estavam em bom estado e, qual foi a sua surpresa quando percebeu que as chapas haviam sido sensibilizadas pelo urânio, mesmo guardadas na ausência de luz.

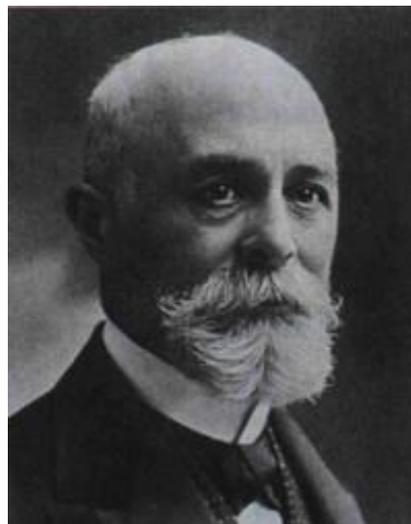


Fig. 17 – Henri Becquerel¹⁸

Este resultado inesperado trouxe novas discussões e uma explicação que foi generalizada, pois foi mostrado que aparentemente não era necessário expor o material fosforescente à luz solar para que este emitisse tais raios e tanto com urânio puro como também com minério deste material, os resultados eram semelhantes.

Em 2 de março, estes resultados de Becquerel são apresentados à Academia Francesa de Ciências, colocando Becquerel como sendo o descobridor de um novo fenômeno físico, algo que ficaria conhecido mais tarde como RADIOATIVIDADE.

Ainda que Becquerel tenha feito esta descoberta, para ele isto não significava algum tipo novo de fenômeno, ele não fez a relação com uma descoberta, talvez tenha sido justamente por não ter entendido o que acabara de verificar. Mesmo assim, suas contribuições científicas não são diminuídas, sendo isto comprovado pelo fato de, em 1903, receber o Prêmio Nobel.

Se estes raios não eram nenhum tipo de fluorescência ou fosforescência, o que seriam então?

¹⁸ Fig. 17 - <http://energia.nuclear.br/que-es-a-energia-nuclear/historia>

Em busca de resposta para esta pergunta, Marie Curie e seu marido Pierre Curie iniciam, em 1897, uma nova investigação para explicar o que seriam estes raios estranhos descobertos por Becquerel.



Fig. 18 – Marie Curie¹⁹

Marie desenvolve suas pesquisas, usando, primeiramente o urânio e verifica que, os raios emitidos por ele dependem unicamente dele, sem apresentar variações devido a temperatura, umidade, luminosidade ou outro tipo de elemento contido na amostra. Ela conclui então que os raios emitidos são próprios do urânio.

Mais tarde ela resolve verificar se tais raios eram emitidos apenas pelo urânio ou se outros elementos apresentariam também tais propriedades. Logo verifica que outros materiais também apresentam tais características como o tório e o bário. A busca por novos elementos radioativos faz com que encontrem um elemento quatrocentas vezes mais ativo que o urânio, tendo o nome sugerido por ela de polônio, uma homenagem ao seu país de origem. Outro elemento também descoberto por ela, cujo nome sugerido foi rádio.

Nesta época, o modelo atômico nuclear ainda não era conhecido

Seus trabalhos foram apresentados, em 1903, como tese de seu doutorado, sendo esta a maior contribuição científica jamais feita em uma tese de doutorado.

Em 1903, Marie, Pierre e Becquerel dividem o Prêmio Nobel de Física

Marie ganha, em 1911, um segundo Prêmio Nobel, agora de Química

Morreu em 1934, de leucemia, possivelmente decorrente da exposição as radiações durante seu trabalho.

¹⁹Fig. 18 - <https://www.flickr.com/photos/124561666@N02/14403529254>

Radioatividade

Alguns núcleos instáveis possuem a capacidade de emitirem energia na forma de partículas ou radiação eletromagnética. Este processo é conhecido como decaimento radioativo, onde um núcleo instável sofre sucessivos decaimentos até chegar a um núcleo estável. Os mais comuns são os decaimentos α (alfa), β (beta) e γ (gama). Mais tarde será verificado que as partículas α são núcleos de ${}^4\text{He}$, as partículas β são elétrons (β^-) ou pósitrons (β^+) e a radiação γ , que são fótons.



Fig. 19 – Radioatividade - Perigo²⁰

*A taxa de decaimento não se mantém constante ao longo do tempo, mas diminui exponencialmente. Essa dependência exponencial do tempo é uma característica de todos os fenômenos radioativos, e indica que o decaimento radioativo é um processo estatístico.*²¹

Meia vida de um elemento – é o intervalo de tempo necessário para que uma amostra do elemento seja reduzida a metade.

Vamos tomar o urânio como exemplo. Elemento químico representado pelo símbolo U, com número atômico 92 (92 prótons e 92 elétrons). Seus isótopos mais comuns possuem uma meia vida longa. Aproximadamente 4,3 bilhões de anos para o Urânio – 238, aproximadamente 700 milhões de anos para o Urânio – 235 e aproximadamente 250 mil anos para o Urânio – 234.

Decaimento gama: Quando um núcleo recebe algum tipo de energia externa, ele pode sofrer uma excitação, passando para algum outro estado

²⁰Fig. 19 - <https://pixabay.com/pt/radia%C3%A7%C3%A3o-s%C3%ADmbolo-perigo-646217/>

²¹ TIPLER; MOSCA. 2006. p. 2014

possível. Porém, este estado tende a ter uma vida muito curta, assim, ele decai para um nível de menor energia, possivelmente seu estado fundamental, emitindo, desta forma a energia em excesso que havia adquirido sob a forma de energia eletromagnética, chamada esta de **radiação ou decaimento gama**.

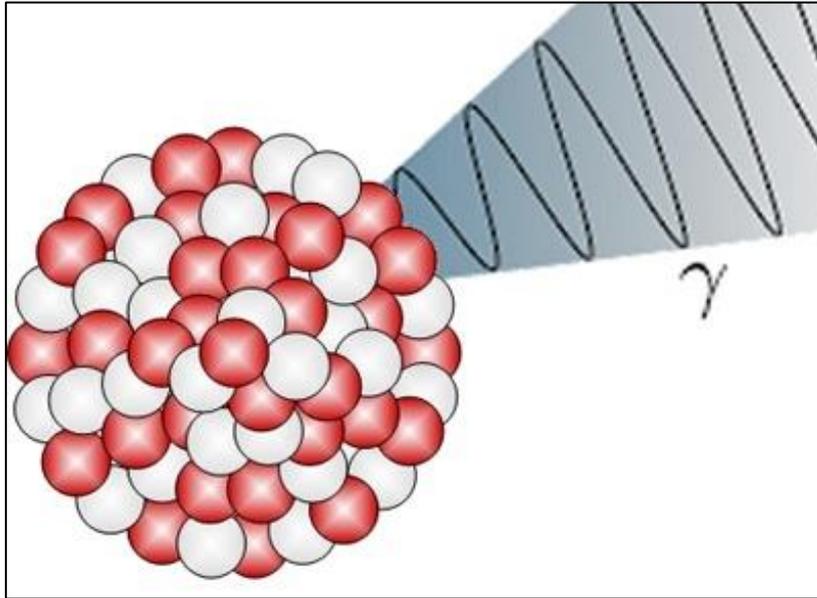
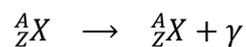


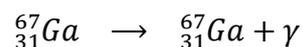
Fig. 20 – Decaimento gama²²

Essa reação pode ser expressa pela equação:



No caso deste decaimento, um átomo pai transmuta para um átomo filho mais radiação gama.

EXEMPLO: O elemento Gálio é um emissor gama. Ele possui massa atômica igual a 67 e número atômico igual a 31.



Decaimento alfa: Os núcleos muito pesados, com número atômico maior que 83, tendem a serem instáveis. Estes núcleos emitem, então, dois prótons e dois

²²Fig. 20 - https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray#/media/File:Gamma_Decay.svg

nêutrons, ocorrendo, desta forma uma transmutação, pois o núcleo pai, ao emitir estas partículas, se transforma em outro elemento com número atômico duas unidades menor e número de massa quatro unidades menor.

Esta partícula alfa é, simplesmente, um núcleo de hélio (${}^4_2\text{He}$)

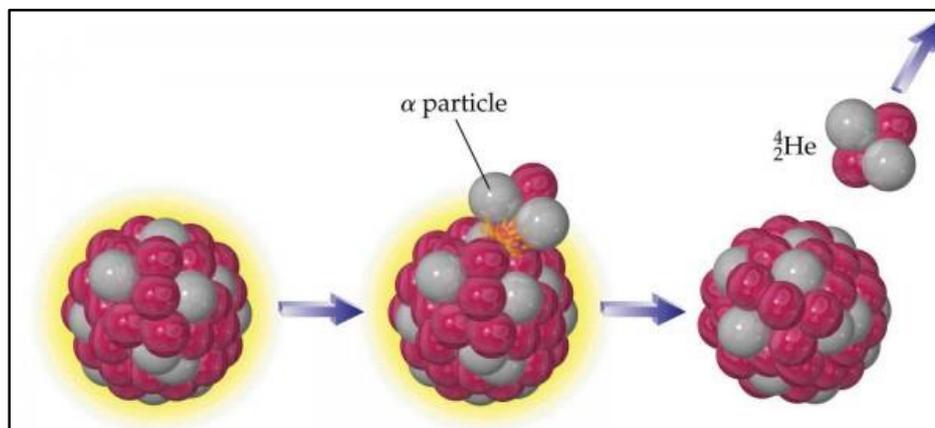
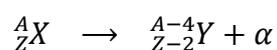


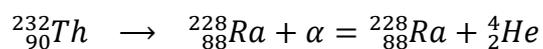
Fig. 21 – Decaimento alfa²³

Esse tipo de reação pode ser expresso da seguinte forma:



No caso deste tipo de decaimento, um átomo pai transmuta para um átomo filho mais uma partícula alfa.

EXEMPLO: O isótopo do elemento Tório ${}^{232}_{90}\text{Th}$ (Z=90) sofre decaimento alfa.



Decaimento beta: Neste processo de desintegração, um núcleo instável transforma-se em outro elemento através da emissão de uma partícula beta. Existem três principais reações deste tipo. A radiação β^- ocorre quando um nêutron se transforma em um próton com a emissão de um elétron e um antineutrino (antipartícula do neutrino).

²³ Fig. 21 - <http://scienceblogs.com/startswithabang/2012/12/12/why-the-world-will-run-out-of-helium/>

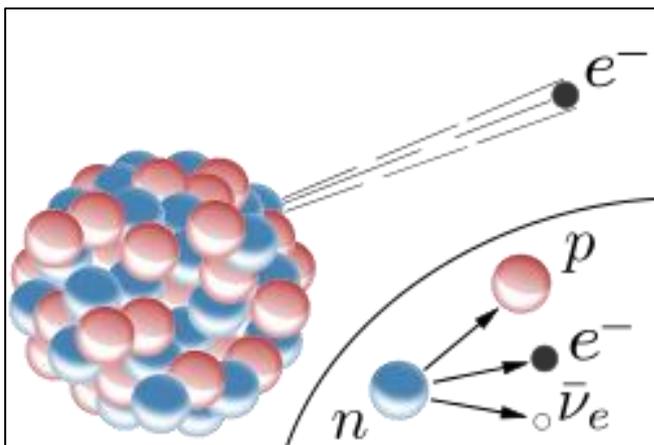
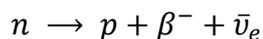
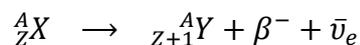


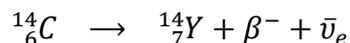
Fig. 22 – Decaimento beta²⁴



Esse tipo de reação pode ser expresso da seguinte forma:



EXEMPLO: Um decaimento β^- importante é o caso do carbono-14



A radiação β^+ acontece quando um próton se transforma em um nêutron com a emissão de um pósitron (antielétron) e um neutrino. O terceiro tipo de reação beta é a captura de um elétron por um próton do núcleo, transformando-se em um nêutron.

IMPORTANTE

*O fato do elétron (pósitron) aparecer como um produto do decaimento NÃO significa que existam elétrons (pósitrons) dentro do núcleo! Na verdade, eles são criados no processo graças à intervenção da interação fraca, responsável pelo decaimento.*²⁵

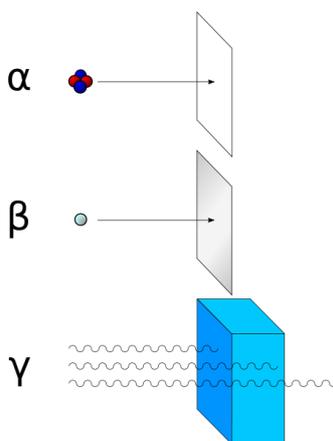


Fig. 23 – Blindagem radioativa²⁶

Radiação alfa possui baixo poder de penetração, podendo ser barrada por uma folha de papel ou até mesmo pela pele humana.

Radiação beta possui mais poder de penetração que as partículas alfa. Pode ser blindada por uma lâmina de alumínio.

Radiação gama tem alto poder de penetração. Para sua blindagem é necessária uma placa de chumbo com espessura entre 2,5 cm a 5 cm, dependendo da energia da radiação.

²⁴ Fig. 22 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beta-minus_Decay.svg

²⁵ AVANCINI; MARINELLI. 2009. p. 33

²⁶ Fig. 23 - https://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Alfa_beta_gamma_radiation.svg

Atividade Proposta – “Caixa de átomos”

Aproximadamente 99,3% de todo o Urânio natural disponível na Terra é composto pelo isótopo U-238, sendo o restante composto pelo U-235 (0,7%) e uma quantidade praticamente inexistente de U-234.

Vamos então visualizar a proporção entre os isótopos do U-238 e U-235 com uma atividade prática.

Materiais

- Miçangas brancas e pretas com 4 mm de diâmetro
- Caixinha de acrílico com tampa, com dimensões 50 mm x 50 mm x 45 mm

Procedimento

- Dividir os alunos em grupos (sugestão: 4 alunos por grupo)
- Cada grupo deverá separar 993 miçangas brancas e 7 pretas
- Acomodar as miçangas na caixinha de acrílico
- Tampar a caixinha e balançar para misturar as miçangas das duas cores



Fig. 24 – Caixa de Átomos²⁷



Fig. 25 – Caixa de Átomos - zoom²⁸

²⁷ Fig. 24 - Do AUTOR

²⁸ Fig. 25 - Id.

Discussão em grupo

- 1- O que as miçangas representam?
- 2- Estabelecer a porcentagem entre as duas cores.
- 3- Levantar hipóteses sobre o porquê da diferença entre as duas cores.

Sugestão

O professor poderá confeccionar sua “caixa de átomos” para melhor visualização.

Materiais

- 993 pérolas brancas e 7 pretas com 8 mm de diâmetro
- Caixa de acrílico com tampa, com dimensões 200 mm x 100 mm x 40 mm

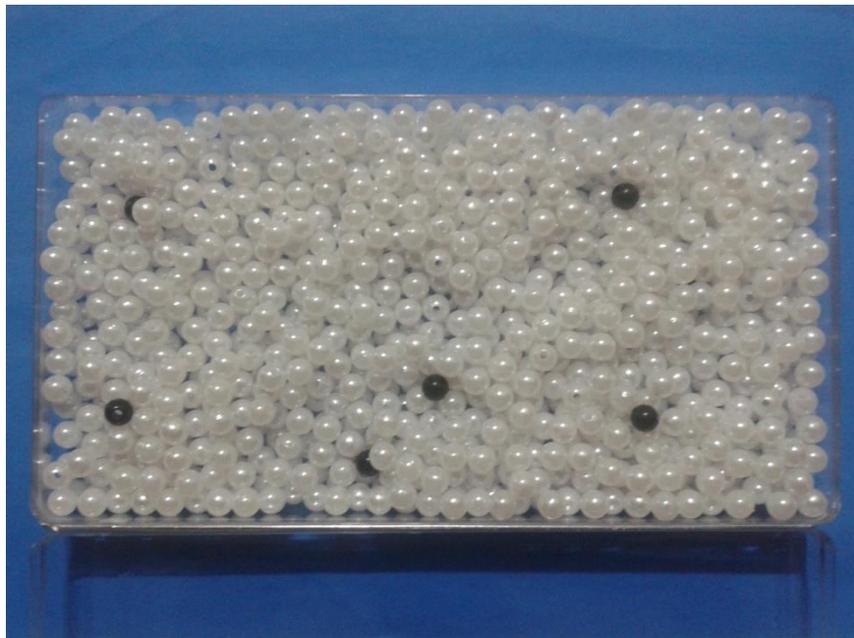


Fig. 26 – Caixa de Átomos do professor²⁹

²⁹ Fig. 26 - Do AUTOR

Fissão e Fusão

Fissão Nuclear

O processo de Fissão Nuclear foi descoberto em 22 de dezembro de 1938 os químicos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann. A energia liberada nessa reação é incrivelmente grande, nunca visto anteriormente, o que acendeu o alerta do uso de tamanho poder para fins militares. Este temor se concretiza na manhã do dia 06 de agosto de 1945, com a detonação da bomba nuclear em Hiroshima, no Japão e, três dias após, uma segunda bomba é detonada sobre Nagasaki, também no Japão. O mundo ficou em estado de choque com tamanho poder de destruição. Tinha início aí uma era de “terror nuclear”, dividindo o mundo em superpotências que se armaram com um número tão grande de armas nucleares capazes de liquidar com o planeta algumas dezenas de vezes.



Fig. 27 – Hiroshima³⁰

Apesar da complexidade técnica na realização da fissão nuclear, o processo é relativamente fácil para entender.

Fissão é o fenômeno no qual um átomo pesado, como Urânio ou Plutônio, sofre uma divisão em dois átomos mais leves.

Nem todos os isótopos de um elemento serão obrigatoriamente físséis, pois, tomando como exemplo o Urânio natural, constituído pelos isótopos U-238 e U-235, apenas o segundo possui a propriedade de fissionar.

O processo ocorre quando um núcleo do U-235 absorve um nêutron, tornando-se desta forma instável. Esta instabilidade fará com que ele se divida em dois núcleos mais leves além de emitir nêutrons de alta energia e radiação γ .

Uma reação bastante comum de fissão nuclear é:

³⁰ Fig. 27 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hiroshima_aftermath.jpg?uselang=pt-br

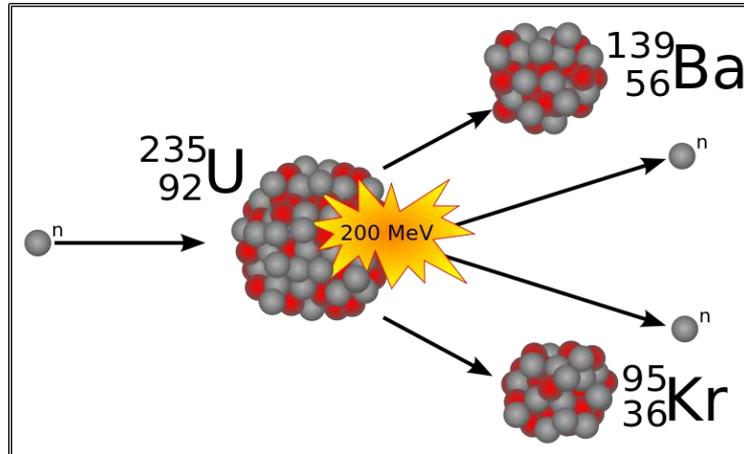
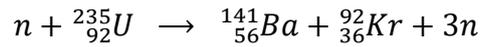


Fig. 28 – Fissão Nuclear³¹

Para utilização da fissão, seja ela em reatores nucleares, alimentação de submarinos ou em armas de destruição em massa como as bombas nucleares, é necessário que haja uma concentração mínima do isótopo físsil do elemento utilizado. No caso do Urânio, a concentração na natureza é de aproximadamente 99,3% de U-238, não físsil e apenas 0,7% de U-235 físsil.

Isso torna, então, necessário o enriquecimento do elemento, que consiste em separar o isótopo físsil do não físsil. Para sua utilização, como por exemplo, em reatores de usinas nucleares, a concentração do U-235 deve ser entre 3% a 5%, nos submarinos nucleares, esta concentração é maior, em torno de 20% e, acima de 95% para a produção de uma bomba nuclear.

O resultado do enriquecimento fará com que o elemento físsil sofra uma reação em cadeia, necessária para dar continuidade no processo, pois quando o isótopo absorve um nêutron, sofre a fissão, liberando, além de energia, três nêutrons que atingirão outros núcleos que também liberarão três nêutrons cada e assim por diante.

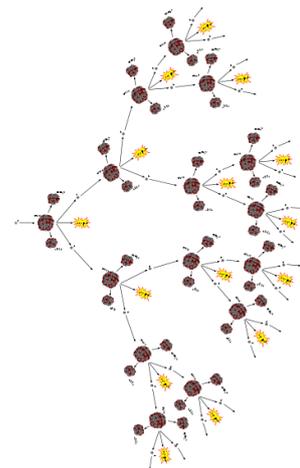


Fig. 29 – Reação em cadeia³²

³¹ Fig. 28 - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kernspaltung.svg?uselang=pt-br>

³² Fig. 29 - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kettenreaktion.svg>

Reatores Nucleares de Fissão

A reação em cadeia proveniente da fissão nuclear é um processo descontrolado. Para que seja possível o seu uso na geração de energia elétrica em centrais nucleares se faz necessário o controle da reação, feita através de reatores nucleares. A fim de absorver nêutrons, controlando dessa forma a reação em cadeia, são utilizados moderadores que contêm núcleos leves como carbono ou água pesada (D_2O). Além dos moderadores, para uma operação segura do reator, se faz necessário controlar com grande precisão a reação. Para isso, são utilizadas barras de controle, confeccionadas com materiais com grande poder de absorver nêutrons sem sofrer fissão. Os elementos utilizados na confecção das barras são o háfnio e o boro. Elas são retiradas do reator de forma gradual liberando o processo da reação em cadeia. Caso seja necessário diminuir a reação ou mesmo cessá-la, as barras de controle são novamente introduzidas no reator, parando desta forma o processo da reação, desligando assim a usina.

O princípio básico de uma usina nuclear não é complicado. A energia liberada na fissão é utilizada no aquecimento de água em um circuito primário, fechado. Através de serpentinas, um segundo circuito com água é aquecido, sendo este ligado a uma turbina a vapor e esta a um gerador elétrico. O vapor pressurizado no circuito secundário movimenta a turbina, gerando, desta forma, energia elétrica. Um terceiro circuito é utilizado para condensar o vapor do circuito secundário, que será novamente vaporizado, dando assim continuidade da geração da energia elétrica.

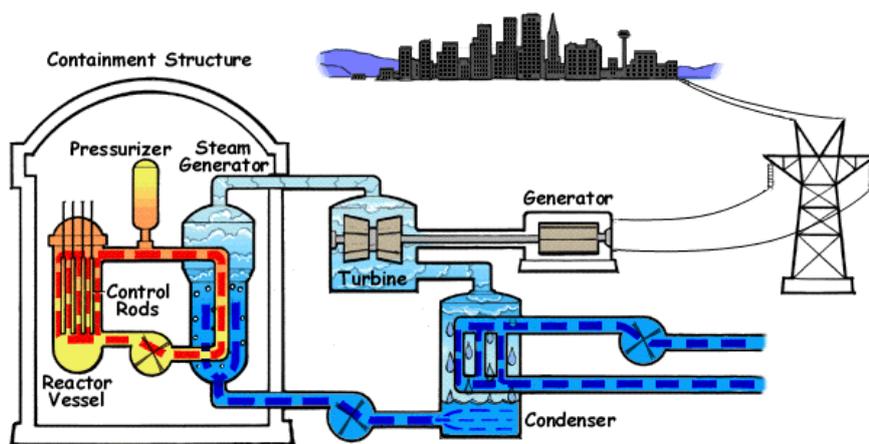


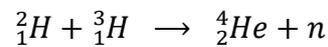
Fig. 30 – Reator Nuclear de Fissão³³

³³ Fig. 30 - <https://en.wikipedia.org/wiki/File:PressurizedWaterReactor.gif>

Fusão Nuclear

O processo de fusão nuclear consiste, basicamente, em dois núcleos leves se fundirem, formando com isso um núcleo mais pesado. Esse é o tipo de reação que ocorre nas estrelas, como o nosso sol, por exemplo, e em armas nucleares de fusão, como a bomba de hidrogênio ou também conhecida como bomba H.

Um exemplo comum de fusão nuclear ocorre com os isótopos do hidrogênio, um núcleo de deutério H-2 e um núcleo de trítio H-3. No processo, ocorre a formação de um núcleo de hélio He-4, mais um nêutron e energia.



A energia liberada pela fusão nuclear é em torno de 10 vezes maior do que a energia liberada pela fissão.

No entanto, este tipo de reação requer algumas condições muito especiais. É necessária uma quantidade muito grande de energia capaz de vencer as forças de repulsão coulombiana existentes entre os prótons dos núcleos do H-2 e H-3.

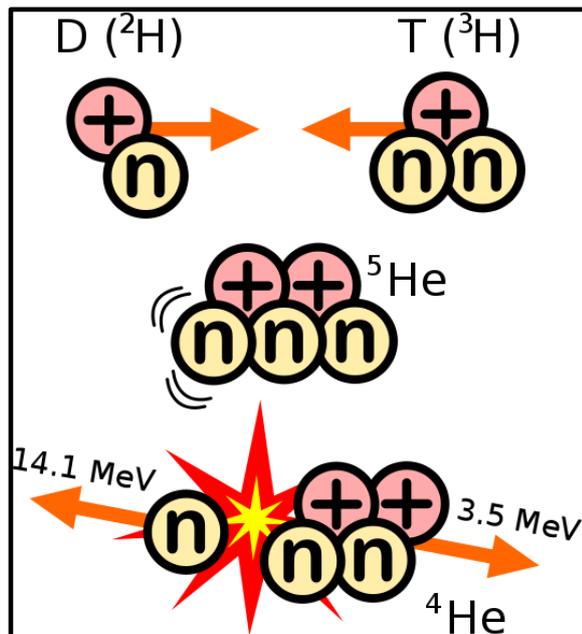


Fig. 31 – Fusão Nuclear ³⁴

No interior de uma estrela como o sol, as forças de repulsão eletrostática são vencidas pela enorme gravidade que gera altíssimas temperaturas, da ordem de milhões de kelvin. Nestas temperaturas o gás encontra-se no estado de plasma. A energia cinética dos núcleos é tão alta, sendo capaz, assim, de aproximá-los de tal forma que as interações nucleares passam a agir, ocorrendo desta forma a fusão entre os núcleos.

³⁴ Fig. 31 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:D-T_fusion.svg

Devido a enorme energia liberada pela fusão nuclear, os cientistas buscam incansavelmente uma maneira de utilizá-la na produção de energia elétrica em reatores de fusão nuclear.

Desde os anos 40, quando se descobriu a fonte de energia nuclear, imaginou-se que em um futuro não tão distante estaríamos utilizando esta fonte de maneira barata e inesgotável. Pensou-se que tudo ou quase tudo poderia ser movido por ela, desde carros e aviões até eletrodomésticos de uso diário em nossas casas. No entanto, décadas se passaram e isso ainda não se tornou realidade e, pelo que parece, ainda está longe de se tornar.

A energia a partir da fissão nuclear é utilizada nos dias de hoje, porém esta gera resíduos tóxicos e radioativos, além dos perigos que rondam os reatores. A geração de energia elétrica a partir do processo de fusão nuclear é a “menina dos olhos” de muitos cientistas, porém ainda não foi possível obter êxito neste tipo de reator. Apesar da grande quantidade de energia gerada pela fusão, o processo controlado ainda é ineficiente, pois com a tecnologia atual, ela consome mais energia do que gera.

Outro problema neste tipo de gerador são as altíssimas temperaturas necessárias para que os núcleos de deutério e trítio se fundam. Não existe material na Terra capaz de conter o plasma confinado no reator, sendo assim necessária a utilização de um confinamento magnético, necessitando de grande quantidade de energia e, ainda assim, o processo cessa antes do tempo necessário para que a reação em cadeia comece. No sol, este problema não ocorre devido a altas temperatura e pressão no seu interior.

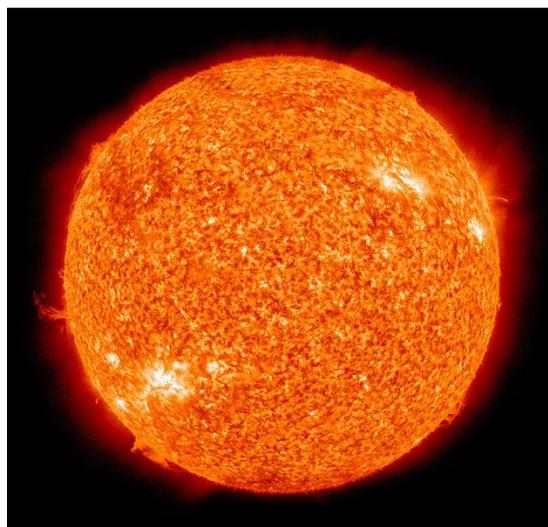


Fig. 32 - Sol³⁵

³⁵Fig. 32 -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Sun_by_the_Atmospheric_Imaging_Assembly_of_NASA%27s_Solar_Dynamics_Observatory_-_20100819.jpg

Diversos países têm investido em pesquisa, a fim de controlar o processo de fusão. Os reatores mais utilizados até então são os do tipo Tokamak (Tokamak Fusion Test Reactor), capazes de suportar as altas temperaturas do plasma mantendo-o longe de suas paredes a partir de campos magnéticos. No entanto, ainda são energeticamente ineficientes.

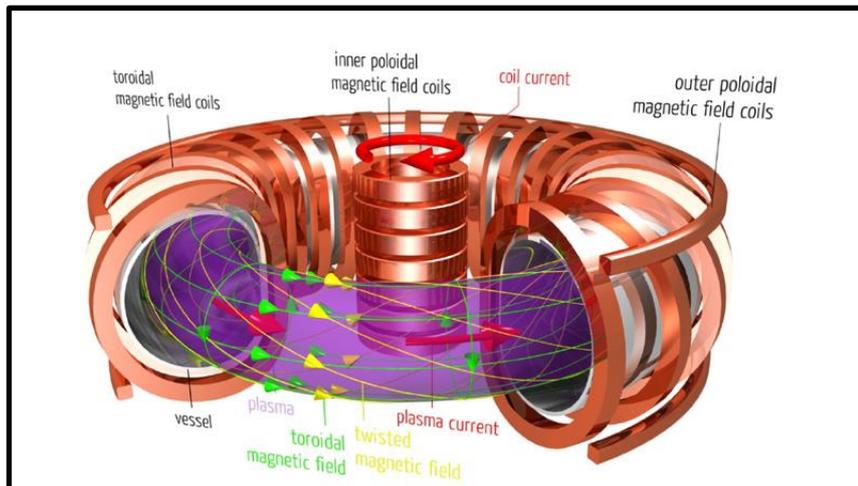


Fig. 33 – Esquema Reator Tokamak³⁶

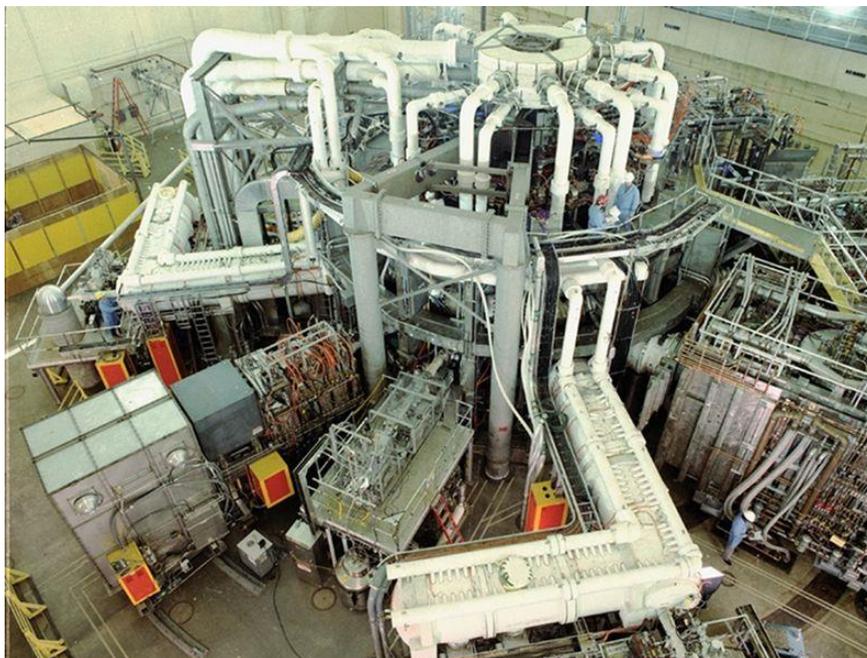


Fig. 34 – Foto: Tokamak Fusion Test Reactor³⁷

³⁶ Fig. 33 - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokamak_\(scheme\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokamak_(scheme).jpg)

³⁷ Fig. 34 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TFTR_1989.jpg

Atividade Proposta – Simulação Computacional

Com o uso do simulador PhET-Colorado, é possível visualizar os fenômenos da Fusão Nuclear, Fissão Nuclear e Reação em Cadeia.

Materiais

- Computador

Simulação 1 – Decaimento Beta

Procedimento

Primeira Parte – Único Átomo

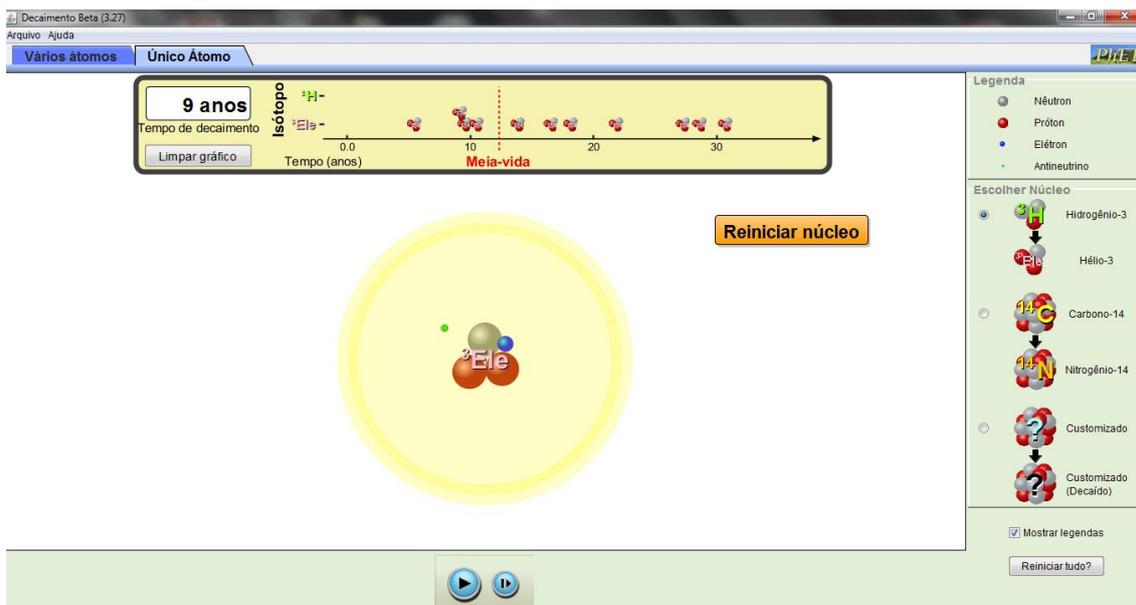


Fig. 35 – Decaimento Beta – Único Átomo³⁸

³⁸ Fig. 35 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

- Simular o decaimento beta do Deutério, repetindo a emissão de átomos algumas vezes (sugestão: 15 vezes);
- Simular o decaimento beta do Carbono-14, repetindo a emissão de átomos algumas vezes (sugestão: 15 vezes).

Segunda Parte - Vários Átomos

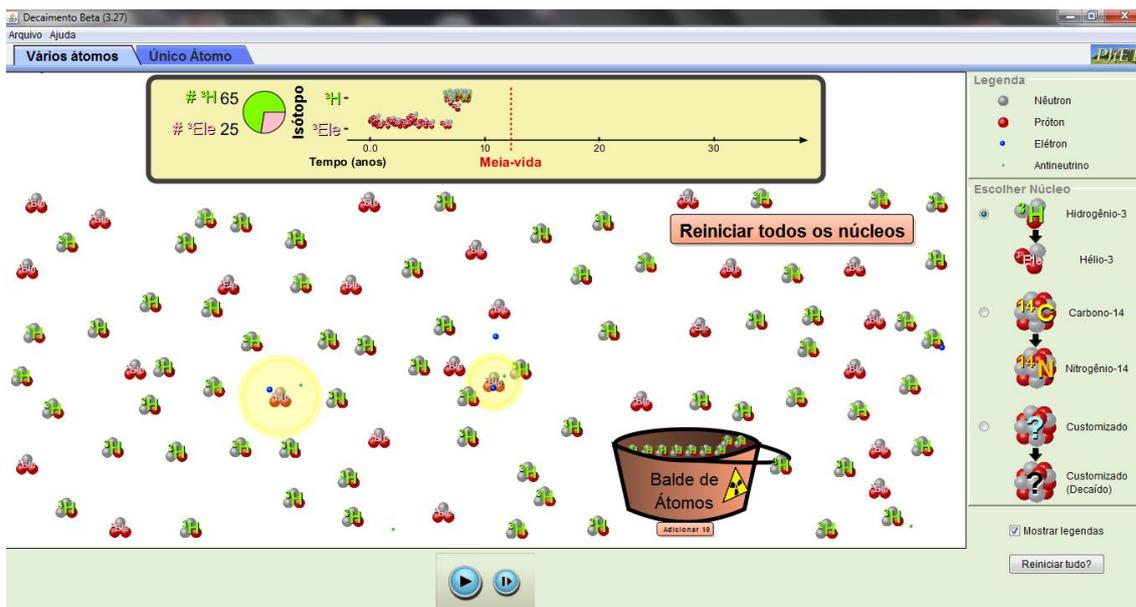


Fig. 36 – Decaimento Beta – Vários Átomos³⁹

- Adicionar átomos de Deutério que se encontram no balde de átomos e iniciar a simulação;
- Adicionar átomos de Carbono-14 que se encontram no balde de átomos e iniciar a simulação.

³⁹ Fig. 36 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

Discussão em grupo

- 1- A partir da observação do tempo de decaimento para um único átomo, discutir os motivos pelos quais os tempos de decaimentos são diferentes para um mesmo elemento.
- 2- A partir da simulação com vários átomos, discutir sobre o porquê dos átomos não sofrerem decaimento todos ao mesmo tempo, relacionando, com a análise anterior.

Simulação 2 – Decaimento Alfa

Procedimento

Primeira Parte – Único Átomo

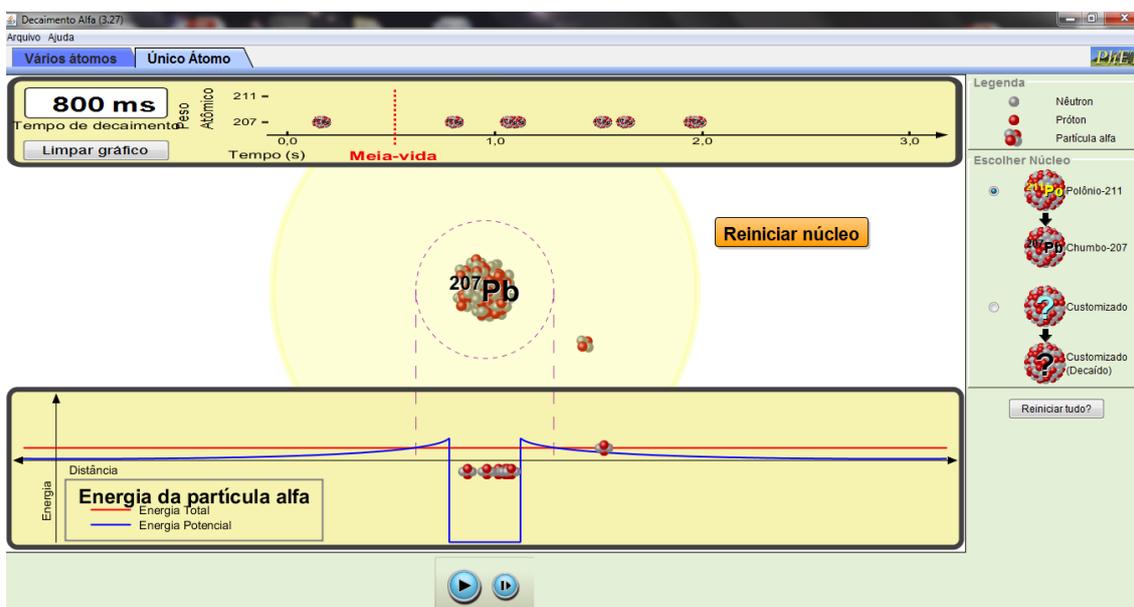


Fig. 37 – Decaimento Alfa – Único Átomo⁴⁰

⁴⁰ Fig. 37 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay

- Simular o decaimento alfa do Polônio-211, repetindo a emissão de átomos algumas vezes (sugestão: 15 vezes);

Segunda Parte - Vários Átomos

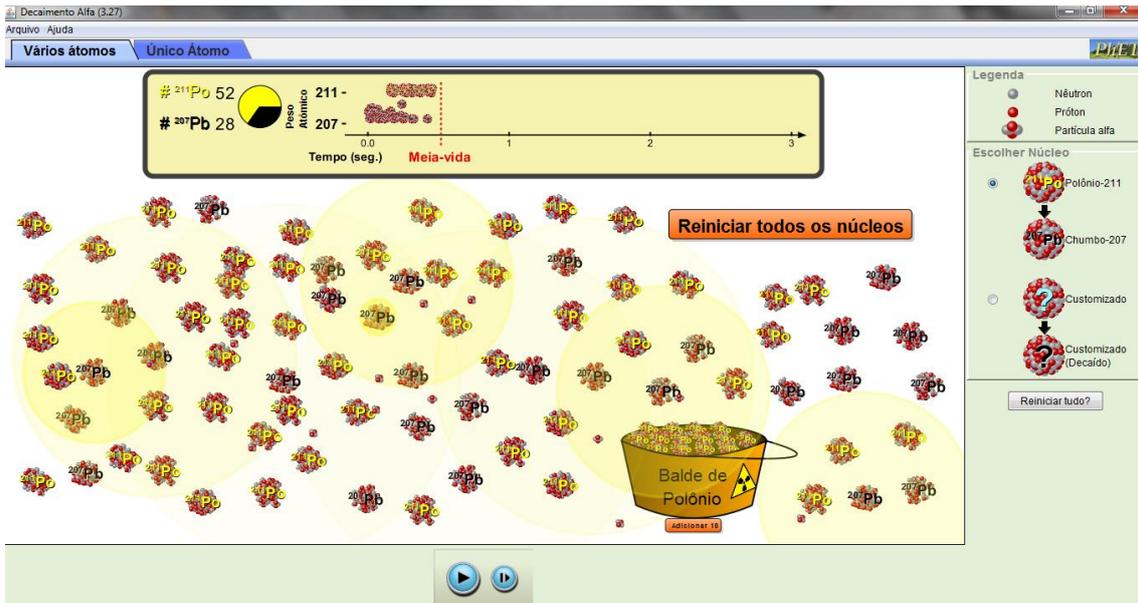


Fig. 38 – Decaimento Alfa – Vários Átomos⁴¹

- Adicionar átomos de Polônio-211 que se encontram no balde de átomos e iniciar a simulação;

Discussão em grupo

- 1- A partir da observação do tempo de decaimento para um único átomo, discutir os motivos pelos quais os tempos de decaimentos são diferentes para um mesmo elemento.
- 2- A partir da simulação com vários átomos, discutir sobre o porquê dos átomos não sofrerem decaimento todos ao mesmo tempo, relacionando, com a análise anterior.

⁴¹ Fig. 38 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay

Simulação 3 – Fissão Nuclear

Procedimento

Primeira Parte – Fissão: Um Núcleo

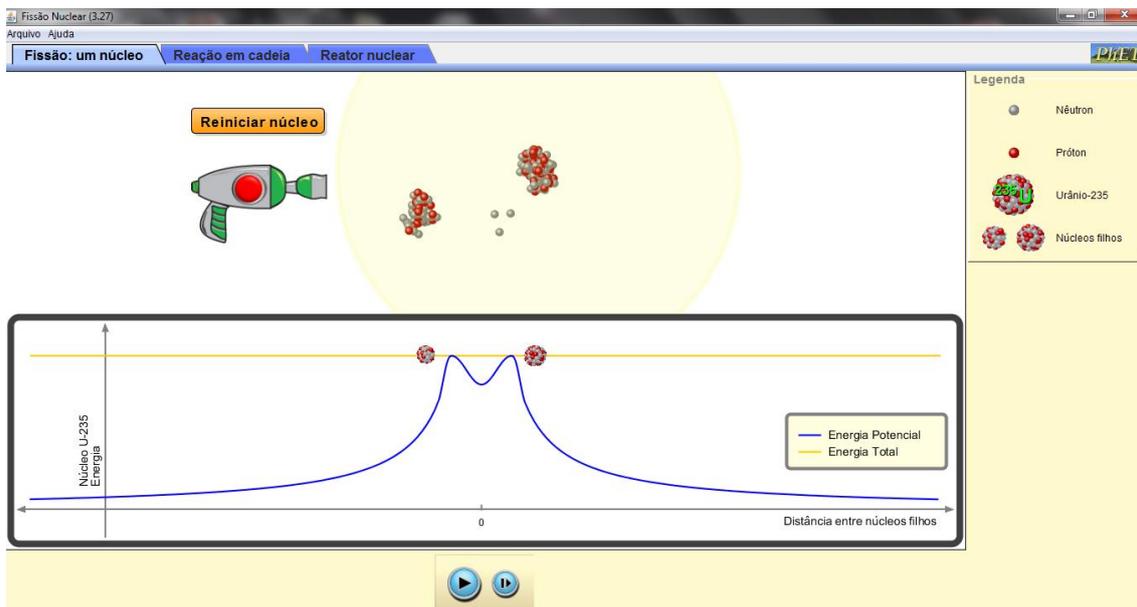


Fig. 39 – Fissão – Um Núcleo⁴²

- Disparar um nêutron fazendo com que o Urânio-235 sofra fissão.

⁴² Fig. 39 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

Segunda Parte - Reação em cadeia

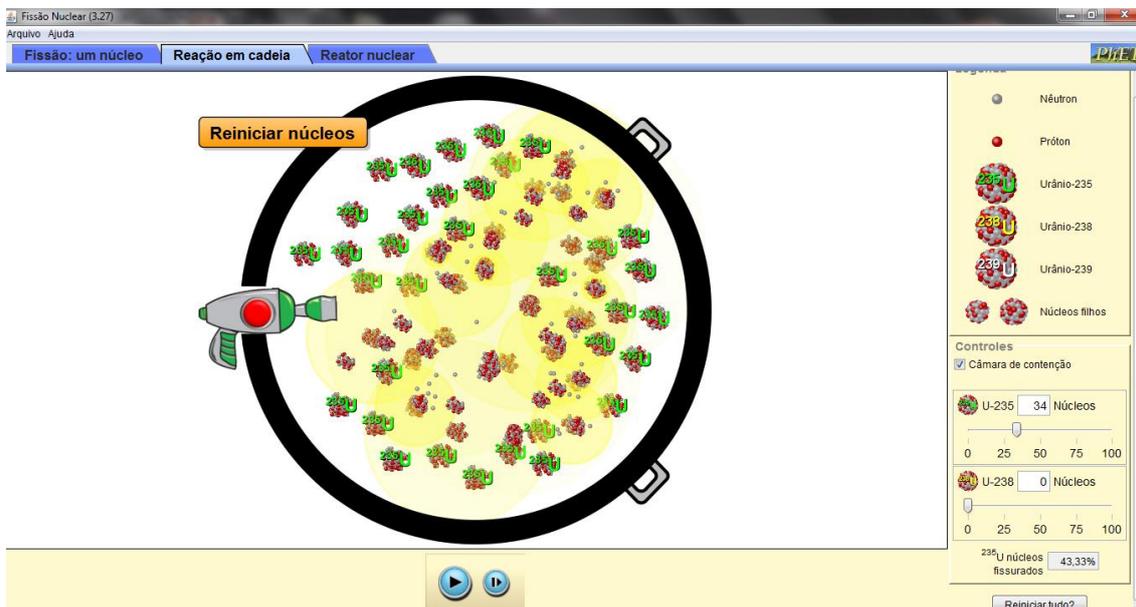


Fig. 40 – Reação em cadeia⁴³

- Adicionar um núcleo de Urânio-235 e disparar o nêutron;
- Adicionar um núcleo de Urânio-238 e disparar o nêutron;
- Adicionar vários núcleos (limite 100) de Urânio-235 e disparar o nêutron;
- Adicionar vários núcleos (limite 100) de Urânio-238 e disparar o nêutron;
- Adicionar vários núcleos de Urânio-235 e de Urânio-238 juntos e disparar o nêutron;
- Selecionar a câmara de contenção e adicionar núcleos, variando a proporção, entre U-235 e U-238;
- Aumentar as dimensões da câmara de contenção, fazendo com que caiba um número maior de núcleos, variando a proporção entre U-235 e U-238.

⁴³Fig. 40 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

Terceira Parte – Reator Nuclear

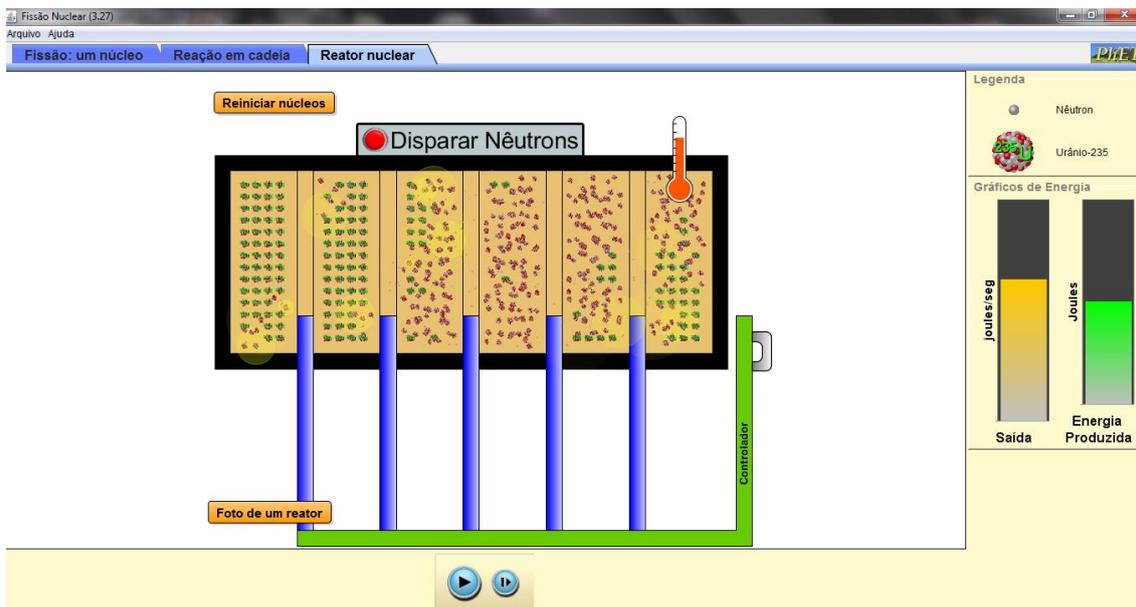


Fig. 41 – Reator Nuclear⁴⁴

- Disparar nêutrons sem baixar as barras de contenção;
- Disparar nêutrons variando a posição das barras de contenção.

Discussão em grupo

- 1- Analisar o que ocorre com a energia do núcleo quando o absorve o nêutron;
- 2- Discutir o produto da fissão;
- 3- Analisar o processo da fissão com vários núcleos, discutindo as diferenças na reação quando se varia a proporção entre os núcleos de U-235 e U-238;
- 4- Entender o que ocorre quando se cria uma câmara de contenção;

⁴⁴Fig. 41 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

- 5- Perceber que é necessária uma massa acima de um valor mínimo de núcleos físséis para que uma explosão nuclear ocorra;
- 6- Observar a importância das barras de contenção em um reator nuclear;
- 7- Relacionar o número de fissão com a energia produzida por segundo e no total.

REFERÊNCIAS

ATOM: A Clash of the Titans. Direção de Tim Usborne. Produção de Tim Usborne. [s.i]: Bbc, 2007. (60 min.), DVD, son., color. Legendado. Série Atom.

AVANCINI, S. S.; MARINELLI, J. R. **Tópico de Física Nuclear e Partículas Elementares**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2009.

MARINELLI, J. R. Enxergando o núcleo atômico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 6, n. 3, p. 234-240, 1989.

MENEZES, L. C. et al. **Quanta Física: 3º ano**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica- Física**. Paraná, 2008.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo grego ao átomo de Bohr**. 2008.

PINHO-ALVES, J; PINHEIRO, T. F. **Instrumentação para o Ensino de Física A**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2010.

SANTOS, C. A. **Tópicos de Física Moderna**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2007.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física: Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria**. v.3. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SÉRIE
PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

VOLUME 1 – Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms

Wanderley Marcílio Veronez, Luiz Américo Alves Pereira, Gélson Biscaia de Souza

VOLUME 2 – O Arduino na Programação de Experiências em Termodinâmica e em Física Moderna

Marilene Probst Novacoski, Gélson Biscaia de Souza, Luiz Américo Alves Pereira

VOLUME 3 – Do Magnetismo à Lei da Indução Eletromagnética de Faraday

Marlon Labas, Fábio Augusto Meira Cássaro

VOLUME 4 – Estudando Astronomia, Aprendendo Física: Atividades Práticas de Observação do Sol

Ana Caroline Pscheidt, Marcelo Emílio

VOLUME 5 – Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano

Gustavo Trierveiler Anselmo, Júlio Flemming Neto, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 6 – Ensino dos Conceitos de Movimento e Inércia na Mecânica, a partir de uma Concepção de Ciência que não Utiliza a Lógica Binária

Luiz Alberto Clabonde, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 7 – Uma Proposta de Utilização de Mídias Sociais no Ensino de Física com Ênfase à Dinâmica de Newton

Heterson Luiz De Lara, Alexandre Camilo Junior, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 8 – O Eletromagnetismo e a Física Moderna através de Atividades Experimentais

Ademir Kreпки Henisch, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 9 – Física Nuclear e Sociedade

Tomo I – Caderno do Professor

Tomo II – Caderno do Aluno

Josicarlos Peron, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 10 – Conceituação e Simulação na Dinâmica do Movimento

Tomo I – Caderno do Professor

Tomo II – Caderno do Aluno

Leandro Antonio dos Santos, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 11 – Montagem de um Painel Didático e Atividades Experimentais em Circuitos de Corrente Contínua

Renato Dalzotto, Sérgio da Costa Saab, André Maurício Brinatti

VOLUME 12 – Nas Cordas dos Instrumentos Musicais

Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires

VOLUME 13 – O Fóton em Foco: Relações entre Cor, Frequência e Energia de Radiações Eletromagnéticas

Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 14 –

Tomo I - Iniciação em Robótica e Programação com Algumas Aplicações em Física

Tomo II – Tutorial: Tela Interativa com Controle do Nintendo Wii

Hernani Batista da Cruz, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 15 – O Uso do Software Tracker no Ensino de Física dos Movimentos

Edenilson Orkiel, Silvio Luiz Rutz da Silva



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons –
Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

Disponível em:

<http://uepg.br/proex/Home/ebook.html>

