

**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 I**

**Física Nuclear e Sociedade**  
**Caderno do Professor**

**SÉRIE**  
**Produtos Educacionais em Ensino de Física**

**UEPG - PROEX**

SÉRIE

**Produtos Educacionais em Ensino de Física**

Volume 9 – Tomo I

JOSICARLOS PERON

ANDRÉ VITOR CHAVES DE ANDRADE

# Física Nuclear e Sociedade

## Caderno do Professor

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 I

JOSICARLOS PERON

ANDRÉ VITOR CHAVES DE ANDRADE

# Física Nuclear e Sociedade

## Caderno do Professor

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 professor [livro eletrônico]/ Josicarlos Perón, André Vitor Chaves de Andrade. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2018. (Série Produtos Educacionais em Física, v. 9, t.1).

31 p.; il.; e-book

ISBN: 978-85-63023-29-2

1. Ensino-aprendizagem. 2. Física nuclear. 3. Simulações.  
4. PHET. I. Silva, Jeremias Borges da. II. T.

CDD: 539.7

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

Foto da Capa: Kimbery Cressman

Disponível em:

<http://www.guoguiyan.com/nuclear-wallpapers/68501471.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

Apresentação .....	8
Introdução.....	9
Física Nuclear .....	11
DIMENSÃO E FORMA DO NÚCLEO .....	12
ENERGIA DE LIGAÇÃO .....	12
RADIOATIVIDADE .....	13
DECAIMENTO GAMA.....	14
DECAIMENTO ALFA .....	14
DECAIMENTO BETA .....	15
FISSÃO NUCLEAR.....	16
FUSÃO NUCLEAR .....	17
Orientações Metodológicas.....	18

# Apresentação

---

Caro professor,

Sobre o desafio apresentado no ensino de Física, Pinho e Pinheiro (2010) expõem as diferenças entre “dar aula” e “Ensinar Física”.

*Lembre-se que “dar aula” qualquer pessoa, a princípio, pode fazê-lo, pois basta repetir o livro. “Ensinar Física” é um pouco mais difícil, pois implica ensinar a pensar o mundo de uma forma particular, isto é, utilizando as ferramentas da Ciência e compreendendo as suas limitações. Para isto, é necessário, além de saber muito de Física, saber como podemos sensibilizar nosso aluno a aceitar e gostar de Física.*

Refletindo sobre esta citação, não tivemos por objetivo desenvolver um material onde o ferramental matemático ocupasse lugar de destaque, apesar de ele estar presente, porém, de forma bastante reduzida, uma vez que a finalidade do presente trabalho é o estudo dos fenômenos físicos relacionados ao tema, segundo uma abordagem fundamentalmente conceitual, onde priorizamos as discussões e atividades em grupo, a fim de motivar o estudante no interesse pela ciência como também desenvolver sua consciência crítica objetivando a formação integral de um cidadão ativo na sociedade.

Sendo assim, este material pedagógico foi idealizado, planejado e produzido com uma sequência didática sobre Física Nuclear a ser desenvolvida em oito aulas de cinquenta minutos com turmas de Ensino Médio, sem haver, no entanto, a obrigatoriedade de conhecimentos prévios de conceitos de Física, pois o material apresenta todos os conceitos necessários para o desenvolvimento do tema.

O presente material faz uma abordagem de Física Nuclear de maneira contextualizada historicamente e cientificamente, através do texto, produzido pelo deste trabalho, aliado ao uso de modelos e simulações computacionais para uma melhor compreensão dos fenômenos estudados.

Não apresentamos este material como um produto que deva ser rigidamente seguido, mas que possa ser adaptado e utilizado de acordo com as especificidades da realidade na qual professor e aluno estão inseridos.

Os autores

# Introdução

---

A concepção humanista de ensino proposta por Paulo Freire considera o aluno como um ser agente na construção do seu conhecimento, tornando-lhe, assim, o protagonista desta construção. Nesta concepção de ensino, diferentemente do ensino tradicionalista, o professor tem o papel de facilitador na sala de aula, auxiliando o estudante no seu desenvolvimento educacional.

Não cabe nesta proposta, o professor como protagonista, que detém todo o conhecimento a ser puramente despejado sobre o estudante. A este modelo de ensino, Freire chama de educação bancária, onde o professor é visto como o depositário do conhecimento em que o aluno o recebe passivamente.

*Na visão “bancária” da educação, o “saber” é uma doação dos que se julgam sábios aos que julgam nada saber. Doação que se funda numa das manifestações instrumentais da ideologia da opressão – a absolutização da ignorância, que constitui o que chamamos de alienação da ignorância, segundo a qual esta se encontra sempre no outro.*

*O educador, que aliena a ignorância, se mantém em posições fixas, invariáveis. Será sempre o que sabe, enquanto os educandos serão sempre os que não sabem. A rigidez destas posições nega a educação e o conhecimento como processos de busca.” (FREIRE, 2005, p. 67)*

Nesta proposta, o estudante abandona sua posição alienada de um ser ignorante que reconhece no professor o agente necessário, cuja existência é justificada pela própria ignorância do estudante. Assim, quando o aluno se reconhece como personagem principal no processo ensino-aprendizagem, permite-se, desta forma, que sua consciência crítica acerca do mundo que o rodeia aflore. Isto, no entanto, só será possível através da concepção de uma educação libertadora.

Estando as ações humanas intrinsecamente relacionadas com a compreensão de mundo, torna-se necessário, então, que o estudante tenha formação completa como cidadão do mundo para o mundo. Cabe, assim, a escola, e por extensão ao professor, a responsabilidade por tal formação, não apenas transmitindo conhecimento, mas possibilitando que sua construção ocorra.

Neste sentido, entendemos, então, que o ensino de Física na escola média tem papel importante na formação do cidadão.

*Entende-se, então, que a Física, tanto quanto as outras disciplinas, deve educar para a cidadania e isso se faz considerando a dimensão crítica do conhecimento científico sobre o Universo de fenômenos e a não-neutralidade da produção desse conhecimento, mas seu comprometimento e envolvimento com aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais. (PARANÁ, 2008, p. 50)*

Desta forma, o presente material foi idealizado e desenvolvido, pensando na importante posição da Física Nuclear e suas aplicações. A abordagem foi estruturada dentro de uma contextualização histórica e científica, priorizando aulas dialógicas, tendo em vista a formação de um cidadão crítico frente à sociedade.

# Física Nuclear<sup>1</sup>

---

O núcleo atômico é composto apenas por prótons e nêutrons, cujas massas são aproximadamente iguais, sendo a massa do nêutron em torno de 0,2% maior que a do próton. Este último possui carga elétrica positiva, de módulo igual à carga do elétron ( $|e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}|$ ), enquanto que o nêutron não apresenta carga elétrica.

A soma do número de prótons  $Z$  e nêutrons  $N$  nos fornece o número de massa  $A$  de um núcleo, assim, temos  $A = Z + N$ . No entanto, a identidade do núcleo é dada pelo seu número de prótons  $Z$ , chamado de número atômico. Em geral, núcleos leves apresentam aproximadamente o mesmo número de prótons e nêutrons, porém, para núcleos mais pesados, o número de nêutrons será maior.

Elementos que apresentam mesmo número  $Z$ , mas com diferentes números  $N$  são chamados *isótopos* de um elemento.

No interior do núcleo, os núcleons<sup>2</sup> são atraídos por uma força de atração de grande intensidade, porém, de alcance pequeno, chamada de *interação nuclear forte*. Uma comparação entre as forças fundamentais pode ser observada no quadro abaixo.

TIPO	INTENSIDADE DA FORÇA	ALCANCE
Interação nuclear forte	$\sim 20$	Curto
Força eletromagnética	$\sim 1$	Longo (Lei do inverso do quadrado da distância)
Interação nuclear fraca	$\sim 10^{-7}$	Curto
Força gravitacional	$\sim 10^{-36}$	Longo (Lei do inverso do quadrado da distância)

Comparação entre as interações fundamentais<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> TIPLER; MOSCA, 2006, p. 210-233.

<sup>2</sup> Termo que se refere a partículas nucleares (prótons e nêutrons)

<sup>3</sup> Adaptado de: AVANCINI; MARINELLI, 2009, p. 50

O quadro acima compara a interação entre dois prótons no interior do núcleo, utilizando como referência a força eletromagnética<sup>4</sup>.

Pode-se observar, então, que força de atração gravitacional no interior do núcleo é desprezível. Com relação à força eletromagnética, os nêutrons, por não possuírem carga elétrica, não apresentam tal interação, porém, os prótons apresentam repulsão eletromagnética, mas muito menor que a interação forte, podendo assim ser desprezada.

## **DIMENSÃO E FORMA DO NÚCLEO**

Diversos experimentos podem ser utilizados para determinar a dimensão e a forma de um núcleo, como por exemplo, o bombardeamento por partículas de alta energia, observando-se então o seu espalhamento. Na sua grande maioria, os experimentos apontam para uma forma esférica do núcleo, cujo raio pode ser obtido com boa aproximação a partir da equação:

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (1)$$

Em que  $R_0 \approx 1,2 \text{ fm}$  e  $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

Pode-se concluir também que, se o volume nuclear e sua massa são proporcionais a  $A$ , as massas específicas dos núcleos são aproximadamente idênticas.

## **ENERGIA DE LIGAÇÃO**

Quando dois ou mais núcleons se combinam para formar um núcleo a massa total do núcleo é menor do que a soma das massas dos núcleons<sup>5</sup>. A diferença dessa massa se transforma na energia responsável por manter os prótons e nêutrons ligados no núcleo. Esta energia pode ser expressa pela seguinte equação, proposta por Einstein.

$$E = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - m_A)c^2 \quad (2)$$

---

<sup>4</sup> Adaptado de: AVANCINI; MARINELLI, 2009, p. 50

<sup>5</sup> SANTOS, 2007, p. 24

Onde:

$m_p$  = massa do próton = 1,007825 u

$m_N$  = massa do nêutron = 1,008665 u

$m_A$  = massa atômica do núcleo

$c$  = velocidade da luz no vácuo

1u (unidade de massa atômica) =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  kg

## RADIOATIVIDADE

Núcleos instáveis podem sofrer decaimento em outros núcleos. Estes decaimentos radioativos podem ocorrer pela emissão de três tipos de radiação:

- Núcleos de Hélio, denominadas partículas alfa ( $\alpha$ )
- Partículas beta, que podem ser elétrons ( $\beta^-$ ) ou pósitrons ( $\beta^+$ )
- Radiação eletromagnética, denominada de radiação gama ( $\gamma$ ),

Considerando  $N_0$  o número de núcleos radioativos no instante  $t = 0$ , e também que individualmente ocorre um decaimento aleatório, no decorrer do tempo, o número  $N$  sofrerá redução de acordo com a equação:

$$N = N_0 e^{-t/\tau} \quad (3)$$

Onde  $\tau$  é uma constante denominada de *vida média*.

A equação acima pode ser escrita

$$N = N_0 e^{-\gamma t} \quad (4)$$

Em que  $\gamma = 1/\tau$  é a constante de decaimento.

O tempo necessário para que metade da amostra sofra decaimento é chamado de *meia vida*  $\tau_{1/2}$

Temos então que

$$\tau_{1/2} = \tau \ln 2 \quad (5)$$

O número de decaimentos por segundo caracteriza a atividade radiativa  $R$  da amostra. No Sistema Internacional de Unidades, temos que 1 becquerel (Bq) equivale a uma desintegração por segundo.

A representação formal da atividade pode ser expressa pela equação:

$$R = -\frac{dN}{dt} \quad (6)$$

A partir da derivada da equação (6) temos

$$R = \gamma N_0 e^{-\gamma t} \quad (7)$$

Então

$$R = \gamma N \quad (8)$$

A partir da equação (8), temos que

$$R_0 = \gamma N_0 \quad (9)$$

Desta forma

$$R = R_0 e^{-\gamma t} \quad (10)$$

### **DECAIMENTO GAMA**

Considerando um elemento  ${}^A_ZX$ , caso sofra um decaimento gama, ele não sofre alteração no seu número atômico  $Z$  e nem no seu número de massa  $A$ . Ocorre apenas a emissão de um fóton, decaindo, desta forma, de um estado de maior excitação para um estado de energia mais baixo.

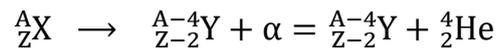
### **DECAIMENTO ALFA**

Em núcleos pesados, com grande número de nêutrons, em geral, com  $Z > 83$ , apresentam pelo menos um isótopo radioativo, porém, dependendo do elemento, todos os seus isótopos serão radioativos.

Neste tipo de decaimento, o isótopo instável emite dois prótons e dois nêutrons, transmutando-se, desta forma em outro núcleo, chamado de núcleo filho. Esta emissão é a chamada emissão  $\alpha$ , sendo esta partícula nada mais do

que um núcleo de Hélio ( ${}^4_2\text{He}$ ). Desta forma, em relação ao núcleo original (núcleo pai), o núcleo filho apresentará o número atômico  $Z$  duas unidades menor e o número de massa  $A$  quatro unidades menor.

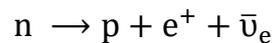
Considerando um elemento  ${}^A_Z\text{X}$ , sua emissão alfa pode ser analisada de acordo com a expressão



### DECAIMENTO BETA

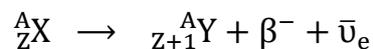
Este tipo de decaimento ocorre quando um núcleo instável adquire estabilidade com a alteração da diferença entre o seu número de prótons e nêutrons.

Em uma emissão  $\beta^-$ , um nêutron se transforma em um próton, emitindo com isso um elétron e um antineutrino (antipartícula do neutrino).

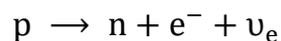


Nesta reação o núcleo terá seu número atômico  $Z$  aumentado em uma unidade.

Considerando um elemento  ${}^A_Z\text{X}$ , sua emissão beta pode ser analisada de acordo com a expressão

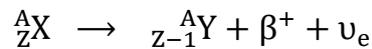


No caso de uma emissão  $\beta^+$ , um próton se transforma em um nêutron, emitindo com isso um pósitron (antipartícula do elétron) e um neutrino.

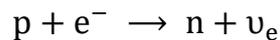


Nesta reação o núcleo terá seu número atômico  $Z$  diminuído em uma unidade.

Considerando um elemento  ${}^A_ZX$ , sua emissão beta pode ser analisada de acordo com a expressão

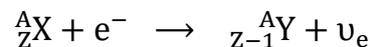


O terceiro tipo de reação beta é a chamada captura eletrônica, em que um elétron é capturado por um próton, transformando-se, então em um nêutron.



Nesta reação o núcleo terá seu número atômico  $Z$  diminuído em uma unidade.

Considerando um elemento  ${}^A_ZX$ , a captura eletrônica pode ser analisada de acordo com a expressão



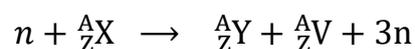
*IMPORTANTE:* No núcleo atômico existem apenas prótons e nêutrons, os elétrons, pósitrons, neutrinos e antineutrinos emitidos através do decaimento beta são criados no processo do decaimento.

## **FISSÃO NUCLEAR**

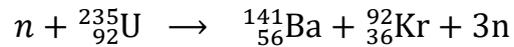
A fissão nuclear é a reação pela qual, um núcleo pesado,  $Z \geq 92$ , se divide em outros dois núcleos menores. Estes núcleos pesados estão suscetíveis à fissão nuclear espontânea, porém, esta reação pode ser provocada pelo bombardeamento deste núcleo por um nêutron.

A reação induzida é importante quando se deseja uma reação em cadeia, fundamental na utilização de reatores nucleares de fissão e bombas nucleares de fissão.

Considerando que um elemento  ${}^A_ZX$  capture um nêutron, sofrendo com isso fissão, esta reação pode ser analisada, em geral, a partir da expressão



Uma reação de fissão comum nos reatores ou bombas nucleares ocorre com a utilização do urânio  $^{235}_{92}\text{U}$ . O resultado característico desta fissão é



## FUSÃO NUCLEAR

A fusão nuclear é a reação na qual dois núcleos leves se fundem para formar um mais pesado. No entanto, para que esta reação ocorra, os núcleos precisam vencer as forças de repulsão de Coulomb, desta forma, são necessárias grandes energias cinéticas, sendo alcançadas em temperaturas elevadas, da ordem de  $10^8\text{K}$ , como as existentes no interior das estrelas.

Uma reação comum de fusão ocorre entre núcleos de deutério ( $^2_1\text{H}$ ) e de trítio ( $^3_1\text{H}$ ). Esta reação pode ser vista por



A energia liberada na fusão depende da reação. Esta energia, em média, três vezes maior do que a liberada na reação de fissão nuclear.

As reações de fusão controladas são excessivamente complicadas, pois é necessário manter confinado o plasma em alta temperatura por tempo suficiente para que as reações ocorram. No interior das estrelas o plasma encontra-se confinado devido ao intenso campo gravitacional.

# Orientações Metodológicas

## Aulas 1 e 2

---

### **Tema da aula**

- Histórico da evolução dos modelos atômicos.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Reconhecer a evolução da ciência como algo em construção;
- ✓ Estabelecer a evolução atômica como sendo parte de um processo histórico e científico;
- ✓ Perceber as dificuldades da ciência, principalmente no que se refere ao mundo do muito pequeno;
- ✓ Compreender a construção científica como algo passível de erros devido a interferências e limitações humanas.

### **Sugestão Metodológica**

Dividir a turma em grupos de quatro integrantes. Distribuir a cada grupo um fragmento do texto.

Na primeira aula, utilizar os textos que fazem referência à estrutura da matéria, tendo início pelas representações propostas na Grécia Antiga e, percorrendo sua evolução, já na modernidade com os modelos atômicos propostos por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Na atividade, propor a cada grupo, a elaboração de uma apresentação na forma de cartazes, colocando os pontos mais relevantes sobre esta evolução.

Na segunda aula, concluir o trabalho, onde cada grupo, por ordem cronológica, faz a apresentação da sua parte na forma de uma linha do tempo da evolução dos modelos atômicos, além dos principais nomes relacionados a ela.

Nos momentos finais da aula, podem ser apresentadas, através de data show duas simulações do PhET Interactive Simulations.

Por se tratar de uma simulação bastante simples, seu objetivo principal é de observar o resultado esperado e experimental, gerando, a partir disso um

diálogo acerca dos erros e acertos dos modelos atômicos e as limitações impostas por um fenômeno de observação direta impossível.

Tais simulações estão disponíveis em

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering)

- PARA FUNDIR A CUCA – SUGESTÃO DE ATIVIDADE

Utilizando conceitos de massa molar, densidade e Número de Avogadro, calcular o número de moléculas e de átomos contidos em um copo d'água (considerar o volume do copo igual a 180 mL).

### Aula 3

---

#### **Tema da aula**

- Descobrimto da radioatividade

#### **Objetivos específicos**

- ✓ Entender como o descobrimto da radioatividade influenciou no entendimento do modelo atômico.

#### **Sugestão Metodológica**

Distribuído previamente o texto disponível no material educacional.

Discutir fatos e descobertas mais relevantes que são apresentados sobre as pesquisas realizadas, principalmente por Becquerel e pelo casal Curie, sobre a descoberta da radioatividade.

Desenvolver a partir de um diálogo construtivo entre o professor e os alunos.

## Aula 4

---

### **Tema da aula**

- A radioatividade e os decaimentos alfa, beta e gama;
- Isótopos dos elementos

### **Objetivos específicos**

- ✓ Conhecer os processos de decaimentos alfa, beta e gama;
- ✓ Relacionar os processos de decaimentos com a existência dos isótopos de um mesmo elemento.

### **Sugestão Metodológica**

A intervenção pedagógica durante esta aula, deve ocorrer também dialogada, porém, nesta em especial, alguns aspectos mais formais relacionados à radioatividade e aos decaimentos alfa, beta e gama foram tratados. Assim, se faz necessária uma intervenção mais explicativa por parte do professor, uma vez que, os fenômenos tratados aqui apresentam uma explicação mais complexa.

## Aula 5

---

### **Tema da aula**

- Atividade prática: Construção de modelo representativo dos isótopos do elemento Urânio

### **Objetivos específicos**

- ✓ Interpretar o significado do modelo proposto na atividade;
- ✓ Calcular a porcentagem das duas cores existentes no modelo;
- ✓ Comparar a porcentagem das cores do modelo com a existência dos isótopos do Urânio 238 e 235;

### **Sugestão Metodológica**

Para uma melhor compreensão dos conteúdos de radioatividade e decaimentos naturais trabalhados na aula 04, propõe-se a realização de uma

atividade prática, consistindo na construção de um modelo representativo dos átomos de Urânio existentes na natureza.

Divididos em grupos (sugestão 4 integrantes por grupo), os alunos deverão construir o que chamaremos aqui de “caixas de átomos”. Para representar os átomos do Urânio 238 e 235, são utilizadas miçangas nas cores branca e preta. Na representação da porcentagem dos isótopos estudados, utiliza-se mil miçangas, sendo 993 brancas, representando o U-238 e 7 pretas representando o U-235.

Na produção da caixa de átomos, pedir aos grupos que cada um conte as mil miçangas. Mesmo ocupando um tempo relativamente grande da aula, isto é importante para que os alunos tenham contato com a proporção de cada cor, não apenas através de observação da caixa pronta, mas que sentam, durante a contagem, a grande diferença entre o número dos dois isótopos, representados na atividade.

O modelo representativo proposto pode ser visto no material educacional.

## Aula 6

---

### **Tema da aula**

- Fissão nuclear;
- Reatores nucleares de fissão;
- Fusão nuclear;
- Reatores de fusão nuclear

### **Objetivos específicos**

- ✓ Entender o processo de fissão nuclear;
- ✓ Compreender o fenômeno da reação em cadeia;
- ✓ Compreender a necessidade do enriquecimento de Urânio quando este é utilizado em processos que requerem uma reação em cadeia;
- ✓ Interpretar o enriquecimento do Urânio com o modelo visualizado na aula anterior.
- ✓ Entender o funcionamento básico do reator nuclear de fissão.
- ✓ Entender o processo de fusão nuclear;

- ✓ Relacionar as reações de fusão nuclear com o combustível estelar;
- ✓ Comparar, qualitativamente, a energia liberada pelas reações de fissão e fusão nucleares;
- ✓ Identificar as dificuldades na implementação de reatores de fusão na geração de energia elétrica.

### **Sugestão Metodológica**

A abordagem dos fenômenos de Fissão e Fusão nucleares, deve ocorrer a partir de uma contextualização histórica, seguida dos conceitos físicos envolvidos nas reações.

Nesta aula, devem ser discutidos os princípios pelos quais ocorrem as reações.

No processo de fissão nuclear, além da análise dos elementos potencialmente utilizáveis, deve ser enfatizado que nem todos os isótopos destes elementos são físséis. Sendo assim, vale-se das discussões da aula anterior para perceber a importância do processo de enriquecimento. Além disso, é feita uma apresentação técnica do funcionamento dos reatores nucleares utilizados na geração de energia elétrica.

Podem ocorrer discussões relacionadas aos pontos positivos e negativos do uso deste tipo de energia, porém, a sugestão é de tratar disto com maior profundidade nas aulas 7 e 8.

Semelhantemente a abordagem dos conceitos relacionados à fissão nuclear, também se faz com as reações de fusão nuclear.

## Aula 7

---

### **Tema da aula**

Simulação computacional

- Simulação 1: Decaimento beta;
- Simulação 2: Decaimento alfa;
- Simulação 3: Fissão nuclear, reação em cadeia e reator nuclear
- Reatores de fusão nuclear

### **Objetivos específicos**

- ✓ Identificar o fenômeno simulado;
- ✓ Discutir a diferença no tempo de decaimento de cada átomo de um mesmo elemento;
- ✓ Analisar a energia do núcleo na absorção de um nêutron;
- ✓ Descrever o produto resultante da fissão e fusão nucleares;
- ✓ Perceber a utilidade de uma câmara de contenção;
- ✓ Entender a relação explosão/massa crítica;
- ✓ Visualizar o funcionamento de um reator nuclear de fissão;
- ✓ Relacionar o número de fissões com a energia produzida no processo.

### **Sugestão Metodológica**

Nos minutos iniciais (sugere-se 5 minutos), com a finalidade dos estudantes se familiarizarem com o simulador, pode ser deixado livre para que explorem as possibilidades de simulação sem intervenção por parte do professor.

### Simulação 1 – decaimento beta

Simulação disponível em:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/beta-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay)

Na primeira parte do procedimento, realiza-se o decaimento beta para um único átomo de deutério, repetindo a emissão de átomos algumas vezes, sugestão entre 15 e 20 vezes. Este procedimento deve ser repetido, substituindo-se, no entanto, os átomos de deutério por átomos de carbono-14. Sugere-se neste caso também uma repetição de 15 a 20 vezes, atentando-se, nos dois casos, para os tempos de decaimentos representados na parte superior do simulador.

Na segunda parte do procedimento, deve ser utilizado o recurso de decaimento beta para vários átomos.

Nesta simulação, os tempos de decaimento para cada átomo, observado na primeira parte, agora será visto simultaneamente ocorrendo, ficando clara

assim a diferença no tempo de decaimento dos átomos que compõe uma amostra do material. Será possível ter uma noção clara do significado de meia vida, além de concluir que não se é possível prever qual átomo sofrerá decaimento na sequência, demonstrando então o caráter aleatório dos decaimentos.

## Simulação 2 – decaimento Alfa

Simulação disponível em:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/alpha-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay)

Os procedimentos na realização desta simulação são semelhantes aos anteriores.

Na primeira parte do procedimento, o decaimento alfa deverá realizado para um único átomo de Polônio-211, sendo repetida a emissão de átomos algumas vezes, sugestão aqui também entre 15 e 20 vezes. Nesta simulação deve-se estar atento a duas informações, a primeira delas considerada aqui mais relevante, pelo próprio objetivo da atividade, é o tempo de decaimento mostrado na parte superior da tela de simulação. A outra informação observada é um gráfico na parte inferior da tela, mostrando a energia da partícula alfa.

Na segunda parte do procedimento, deve ser utilizado o recurso de decaimento alfa para vários átomos.

Este evento também se assemelha ao observado nos decaimentos beta com vários átomos.

Relaciona-se, então, a observação simulada com os fenômenos estudados nas aulas anteriores. Será possível observar o tempo de decaimento entre os átomos, estabelecendo-se o conceito de meia vida de um elemento. Além disso, retomando as discussões relacionadas à existência dos diferentes isótopos de um mesmo elemento, fica evidente, a partir desta observação o caráter aleatório dos decaimentos.

Uma possível variação da simulação, pode ser utilizada tanto nos decaimentos alfa com vários átomos como nos beta.

Após iniciada a simulação, já com alguns átomos tendo sofrido decaimento, solicita-se aos alunos que deem pausa na simulação e tentem

adivinhar qual será o próximo átomo a sofrer decaimento. A chance de acerto será pouco provável, demonstrando com isso a imprevisibilidade dos decaimentos individuais, podendo-se apenas prever com considerável precisão o decaimento da amostra.

### Simulação 3 – Fissão Nuclear

Simulação disponível em:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/nuclear-fission](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission)

Esta simulação é dividida em três partes.

#### Primeira parte – Fissão: Um núcleo

O procedimento nesta simulação é bastante simples. O núcleo físsil utilizado é o Urânio-235. Contra ele deve ser disparado um nêutron a partir do canhão de nêutrons. No momento em que o núcleo absorve o nêutron, observa-se, no gráfico situado na parte inferior da tela de simulação, um na sua energia, deixando-o ainda mais instável. Em poucos segundos, o núcleo sofre fissão, transmutando-se em dois núcleos filhos além da liberação de três nêutrons.

Quando analisada a fissão de um núcleo individual, os nêutrons livres não aparentam grande importância além da energia que carregam. No entanto, esta importância fica evidente na reação em cadeia.

#### Segunda parte – Reação em cadeia

Esta simulação traz inúmeras combinações possíveis sendo exploradas as identificadas como mais relevantes. São disponibilizados núcleos de Urânio 235 e 238.

No primeiro momento, devem ser utilizados núcleos de Urânio-238. Estes podem ser acrescentados à tela principal a partir de uma ferramenta de controle do lado direito do simulador.

Disparando um nêutron sobre a amostra, observa-se que apenas um núcleo absorve o nêutron, não ocorrendo nenhuma reação a partir de disso.

Quando se substitui estes núcleos por outros de Urânio-235 e dispara-se um nêutron, por ser físsil, este libera outros três nêutrons, que serão absorvidos

por outros três núcleos, que também se fissionam, liberando outros três nêutrons e assim por diante, dando continuidade a reação em cadeia até que todos os núcleos da amostra sejam fissionados.

Selecionando, a seguir, uma câmara de contenção, variando suas dimensões de modo a comportar um número reduzido de U-235, dispara-se o canhão de nêutrons e, observa-se que a reação em cadeia ocorre até o último núcleo sofrer fissão, então a reação cessa.

Aumentando as dimensões da câmara de modo a comportar um número elevado de U-235 e disparando um nêutron, os núcleos sofrem fissão e o processo será finalizado com a representação de uma explosão atômica.

### Terceira parte – Reator Nuclear

Esta simulação representa o funcionamento de um reator nuclear. É possível explorar alguns fenômenos importantes empregados nas usinas nucleares.

Durante o funcionamento do reator, três informações são atualizadas em tempo real, apesar de não trazerem escalas de medidas, são representações gráficas para uma análise qualitativa. São elas a temperatura do reator, que varia de acordo com a intensidade das reações, além de informações sobre a energia produzida por segundo e a total.

No primeiro momento, dispara-se um nêutron sem retirar as barras controladoras. Será possível observar que a reação cessa em poucos instantes, pois os nêutrons responsáveis pela reação em cadeia serão absorvidos pelas barras.

No segundo momento, retira-se as barras e dispara-se um nêutron. Observa-se que a reação será contínua. É possível controlar a reação subindo ou descendo as barras controladoras. Esse controle poderá ser observado nos gráficos de energia total e de saída, além da temperatura do reator.

### **Tema da aula**

- Discussão com base no texto: Energia Nuclear: Risco ou oportunidade

### **Objetivos específicos**

- ✓ Discutir a matriz energética no Brasil;
- ✓ Formular um pensamento crítico sobre o uso de reatores nucleares na geração de energia elétrica;
- ✓ Discutir a potencial letalidade da radiação liberada no interior do reator;
- ✓ Identificar o avanço tecnológico no uso da energia nuclear;
- ✓ Contrastar os pontos positivos e negativos no uso deste tipo de energia;

### **Sugestão Metodológica**

Análise do texto “ENERGIA NUCLEAR: RISCO OU OPORTUNIDADE?”, disponível em:

<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-108-energia-nuclear-risco-ou-oportunidade>

Disponibilizar aos estudantes para uma leitura prévia, extraclasse, para um posterior debate sobre às discussões contidas nele.

De maneira geral, o texto trata de aspectos importantes no que concerne um posicionamento a respeito do uso da energia nuclear.

A partir da análise do texto, a prática pedagógica será uma discussão na forma de mesa redonda. Nela os alunos deverão ser estimulados a assumir uma posição frente ao exposto, tomado cuidado para que esta posição ocorra através de embasamento teórico/científico, afastando-se de conclusões de conhecimento do senso comum.

## **SUGESTÃO DE OUTROS TEXTOS PARA DISCUSSÃO:**

“Radioatividade e o acidente de Goiânia”

Disponível em:

<file:///E:/1-%20Profissional%20E/MNPEF/1-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o/PRODUTO/Artigos/verifica%C3%A7%C3%A3odos%20textos%20abaixo/7842-23583-1-PB.pdf>

“Uma breve história da política nuclear Brasileira”

Disponível em:

<file:///E:/1-%20Profissional%20E/MNPEF/1-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o/PRODUTO/Artigos/verifica%C3%A7%C3%A3odos%20textos%20abaixo/Dialnet-UmaBreveHistoriaDaPoliticaNuclearBrasileira-5166006.pdf>

## 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>

