

Física Quântica no  
Ensino Médio:  
abordagens, metodologias  
e uma sugestão de  
Módulos Didáticos



Vanessa Pereira de Souza Moura  
Sílvia Martins

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática  
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica  
CEP 38408-100 – Uberlândia - MG

## Reitor:

Valder Steffen Júnior

## Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação:

Carlos Henrique Martins da Silva

## Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática:

José Gonçalves Teixeira Júnior

## Realização:

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática





UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

**Autoras:**

Vanessa Pereira de Souza Moura  
Sílvia Martins



**Avaliadores:**

Débora Coimbra  
Nilva Sales





UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.



Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M929 Moura, Vanessa Pereira de Souza, 1988-  
2024 Física Quântica no ensino médio: reflexão sobre artigos publicados e o potencial para formação de professores [recurso eletrônico] / Vanessa Pereira de Souza Moura. - 2024.

Orientadora: Silvia Martins.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.447>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Ciência - Estudo ensino. I. Martins, Silvia , 1973-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 50:37

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:


Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

# Sumário

<b>Apresentação</b> .....	6
<b>Capítulo 1:</b> Propostas Didáticas .....	11
<b>Capítulo 2:</b> Material de Apoio para o Ensino Médio: Formação e Atuação de Professores .....	35
<b>Capítulo 3:</b> Aplicação da sequência didática - primeiros Resultados .....	46
<b>Capítulo 4:</b> Módulos Didáticos .....	54
Módulo Didático I .....	56
Módulo Didático II .....	96
Módulo Didático II .....	134
Referências .....	164


# Apresentação

A inserção da Física Quântica (FQ) no Ensino Médio (EM) tem sido destacada na literatura acadêmica há algum tempo, devido ao seu impacto na sociedade. No entanto, muitos apontam dificuldades em sua abordagem nesse nível de ensino e a crescente disseminação de interpretações indevidas, que fornecem subsídios para que Osvaldo Pessoa Jr (2011) as apresente como o "Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico", o qual, de acordo com Saito (2021), tem invadido todas as áreas da cultura e da sociedade. Diante disso, há uma urgência em trabalhar a Física Moderna e Contemporânea e, em especial, a Física Quântica no Ensino Médio, mesmo que de forma




conceitual, para tentar contrapor as consequências geradas pelo misticismo quântico para a ciência e educação, suprimindo assim o grande crescimento da pseudociência (SAITO, 2021). Este Ebook, intitulado “Física Quântica no Ensino Médio: abordagens, metodologias e uma sugestão de Módulos Didáticos” é o resultado educacional da pesquisa de mestrado “Física Quântica no Ensino Médio: uma reflexão sobre artigos publicados e o potencial para a formação de professores” e visa contribuir para tal tarefa.

Concordamos com Silva e Almeida (2011), quando afirmam que professores de EM são as/os únicas/os que pode realmente fazer com que os tópicos da FQ passem a fazer parte do currículo do EM. É uma discussão de muitas camadas, que demanda a reflexão sobre as









questões “o que?”, “quando?” e “como?” ensinar, uma vez que parece existir um consenso de “por que ensinar”. Pensando numa parceria efetiva que integrasse a universidade, a escola básica e outros espaços de educação não-formal como o museu, interrogamos como artigos publicados em revistas de ensino de física poderiam contribuir para a formação de professores, para o planejamento das aulas e para a efetiva inserção da FQ no EM. Escolhemos o recorte temporal das duas últimas décadas e dois periódicos de grande relevância para a pesquisa nacional na área: a Revista Brasileira de Ensino de Física e o Caderno Brasileiro de Ensino de Física.


O trabalho de categorização dos artigos catalogados constituiu a base de elaboração desse ebook, inspirando a sequência didática






implementada junto aos licenciandos do quinto período de Física, que cursavam a disciplina “Física Moderna e seu ensino” na UFU (Universidade Federal de Uberlândia). Após as discussões iniciais sobre as dificuldades de inserção da FQ no EM, o estudo dos documentos orientadores e análise dos artigos, os licenciandos sugeriram alguns tópicos que foram distribuídos em três módulos didáticos com as respectivas sugestões de abordagens para serem trabalhadas no EM.

A elaboração do presente Ebook é fruto da investigação conduzida junto aos discentes da licenciatura em Física da UFU, os quais foram responsáveis pela formulação dos módulos didáticos contidos no capítulo 4. O Ebook foi estruturado da seguinte forma: no Capítulo 1, intitulado “Proposta Didática”, são apresentadas metodologias e abordagens relacionadas à Física Quântica, juntamente com artigos que discutem





propostas didáticas relevantes para o ensino; no Capítulo 2, intitulado "Materiais de Apoio para o Ensino Médio: Formação e Atuação de Professores", são destacados materiais de apoio, acompanhados por artigos que fornecem embasamento teórico sólido; o Capítulo 3 contempla os primeiros resultados da pesquisa e o início da estruturação dos módulos didáticos para o Ensino Médio; por fim, o Capítulo 4 são detalhados os módulos didáticos 1, 2 e 3, assim como suas respectivas aulas.

Esperamos que com esse material de apoio, você possa consultar e/ou se apropriar completa ou parcialmente ao planejar e/ou realizar suas aulas.

Para acessar nosso ebook de forma dinâmica, basta clicar nas imagens, plataformas ou títulos dos artigos. O hyperlink irá direcioná-lo para o conteúdo desejado.

As autoras




A teal notepad with a white border and a row of small circles at the top, resembling a spiral binding. An orange paperclip is attached to the top right corner.


# Capítulo 1


“Propostas Didáticas”

A white, hand-drawn wavy line that underlines the text above it.A simple line drawing of a crayon, positioned to the right of the wavy line.




Existem três viés para abordar a Física Quântica: a histórica, a postulacional e a fenomenológica. Cada abordagem apresenta vantagens e desafios a serem superados, podendo ainda combinar as variações. A abordagem fenomenológica, discute os fenômenos e pode levar ao mistério da dualidade onda-partícula, enquanto a abordagem postulacional fornece a base do formalismo matemática necessária para resolver problemas típicos da mecânica quântica. Por sua vez, a abordagem histórica dá sentido ao desenvolvimento da teoria, mostrando quais problemas motivaram a proposição de novos conceitos e a necessidade de construir uma teoria quântica (Lima, Cavalcanti e Ostermann, 2021).






Cada abordagem da Física Quântica apresenta vantagens e desafios únicos. Portanto, é crucial considerar essas diferentes perspectivas para obter uma compreensão mais abrangente da teoria quântica. Ao combinar os aspectos positivos de cada abordagem, podemos superar as limitações individuais e desenvolver uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos quânticos.


Ao analisar os artigos de propostas didáticas, observamos abordagens isoladas, junção de abordagens, combinações das variações com diferentes metodologias, bem como a integração com outras áreas de conhecimento.






A **abordagem fenomenológica** concentra-se na discussão dos fenômenos observados e a busca por explicá-los. Dentre os que deram início à teoria quântica estão a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e o efeito Compton. Ao tentar explicar esses fenômenos, chega-se à conclusão da dualidade onda-partícula, o que nos ajuda a compreender a natureza da luz.


Embora a realização de experimentos em laboratório seja mais comum em universidades ou escolas particulares, muitas escolas públicas enfrentam a limitação de não possuir laboratórios, o que dificulta o trabalho do professor. Para contornar essa questão,






opções viáveis incluem a implementação de experimentos de baixo custo e a utilização de simulações virtuais disponíveis gratuitamente em plataformas online. Essas alternativas possibilitam que os alunos participem de experiências práticas, mesmo em ambientes com recursos limitados, enriquecendo assim o processo de aprendizado da Física.


Os artigos com essa abordagem foram denominados "*Experimentos e Simulações*". A seguir estão os respectivos links dos artigos encontrados para consulta, que apresentam experimentos reais e virtuais de maneiras bem distintas, com propostas de trabalhar conceitos de física quântica, tanto na escola básica como nas disciplinas introdutórias na graduação.







Em relação aos experimentos reais, foram encontradas propostas de baixo custo para o ensino médio na confecção de espectrômetros, conforme apresentado por Tenfen e Tenfen (2017) e Azevedo, Sousa e Castro (2019). Essas propostas visam analisar o espectro de emissão do hélio e servir como recurso didático para a introdução de conceitos de Física Quântica no Ensino Médio, respectivamente. Além disso, Lüdke (2011) apresenta, para o ensino superior, alguns experimentos para comprovação de conceitos da estatística quântica de Fermi-Dirac e medidas quantitativas da densidade de corrente no vácuo.




# Experimentos reais


Medidas de elétrons livres no vácuo e estatística de Fermi-Dirac

O modelo atômico de Bohr e suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio

Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio



Foram encontradas também propostas de experimentos reais voltadas para o ensino médio, que requerem o uso de itens específicos ou a estrutura de laboratório didático, como as apresentadas por Oliveira et al. (2020), que propõem a determinação da constante de Planck através do exame das curvas características de LASER's semicondutores. Da mesma forma, Slovinski e Alves-Brito (2021) apresentam a atividade experimental "borracha quântica", que aborda alguns princípios fundamentais da Física Quântica, e Hoernig, Massoni e Hadjimichef (2021) propõem um aparato experimental para abordar a relação entre energia e frequência, além usar a abordagem histórica e epistemológica.



# Experimentos reais

O experimento da borracha quântica: discutindo o quântico pelo clássico em sala de aula

Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica

Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma

Quando se trata de simulações virtuais, Ferreira e Souza Filho (2016) e (2019) exploram o experimento virtual da dupla fenda disponível gratuitamente na plataforma PhET Simulações. No primeiro artigo, eles realizam uma análise do comportamento corpuscular e ondulatório do ponto de vista da Física clássica, e no segundo artigo, eles realizam uma análise do comportamento quântico, e trabalham o formalismo matemático a nível do EM usando a notação de Dirac. Além de explorar esses fenômenos, os artigos também oferecem subsídios teóricos aos docentes. As duas propostas são para o Ensino Médio.




Link



# Simulações virtuais - experimento da dupla fenda

O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional


O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz



Outra opção para abordar os fenômenos quânticos é a simulação computacional do interferômetro virtual de Mach-Zehnder que possibilita a exploração de um conjunto de atividades didáticas qualitativas, algumas foram destacadas no trabalho de Netto, Ostermann e Cavalcanti (2018).

Rabelo e Costa (2018), apresentam os processadores remotos, para abordar a computação quântica. Eles desempenham um papel crucial com simulação dos conceitos quânticos.

Essas duas propostas são para o ensino superior, mas nada impede que sejam aplicadas em turmas avançadas de EM.




# Simulações virtuais - Interferômetro e processador quântico


Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits


Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de Mach-Zehnder integrado a atividades didáticas





A **abordagem histórica** da Física Quântica nos permite compreender o contexto em que as teorias foram desenvolvidas, as controvérsias e debates que surgiram ao longo do tempo, e como essas teorias foram influenciadas por descobertas anteriores e por avanços tecnológicos. Isso nos ajuda a entender a evolução da teoria quântica e a importância de cada conceito no desenvolvimento da física moderna. No entanto, a abordagem histórica pode ser limitada pela falta de compreensão dos conceitos matemáticos e teóricos que sustentam a teoria quântica, o que pode dificultar a compreensão profunda dos fenômenos quânticos.






Ao escolher essa abordagem é importante que o docente adote uma visão historiográfica e epistemológica para trabalhar o contexto histórico. Analisando a natureza do conhecimento científico, as causas e consequências dos acontecimentos, promovendo uma análise reflexiva.

Uma outra limitação dessa abordagem é a falta de textos historicamente consistentes sobre a Física Quântica que apresentem uma linguagem acessível, além da superficialidade da literatura encontrada nos livros didáticos.


Para sanar as limitações dessa abordagem, alguns recursos de outras áreas de conhecimento podem ser associados, bem





como a junção das abordagens. Alguns artigos apresentam propostas de abordagem da FQ por meio da literatura e da arte, metodologia essa que é comum em outros tópicos da física e em outras disciplinas. Por exemplo, as tirinhas são bastante usadas para enunciar conceitos de diversas áreas de conhecimento e estão sempre presentes nos livros didáticos.

Essa metodologia busca trazer leveza para o conteúdo de FQ, que aborda conceitos abstratos e de difícil compreensão, tornando-a mais acessível. A integração com outras abordagens compensa as limitações da abordagem histórica. Os artigos apresentados a seguir sugerem abordar a FQ por meio da ***literatura e arte***, afim de atingir o nível de abstração necessária para compreensão da teoria.



# Introdução da FQ por meio da literatura e arte

Influências  
da física  
moderna na  
obra de  
Salvador  
Dalí

Pinturas do  
Salvador Dalí  
para introduzir  
os conceitos de  
Mecânica  
Quântica no  
Ensino Médio


Ensino da  
Mecânica  
Quântica no  
nível médio por  
meio da  
abstração  
científica  
presente na  
interface

Física Literatura


# Introdução da FQ por meio da literatura e arte

O livro paradigmático  
no ensino de Física  
– uma análise  
fabular, científica e  
metafórica da obra  
Alice no País do  
Quantum: A Física  
Quântica ao  
alcance de todos

Uma sequência  
didática  
utilizando a  
literatura de  
cordel e a arte  
das histórias em  
quadrinhos para  
inserção de  
tópicos de Física  
Quântica no  
Ensino Médio



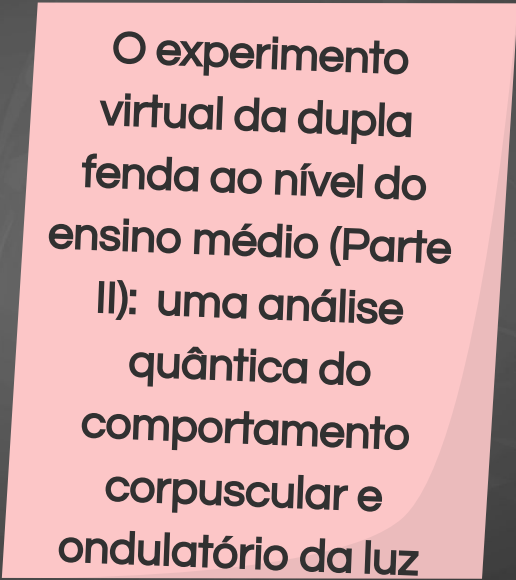
A *abordagem postulacional* da Física Quântica fornece a base matemática necessária para resolver problemas típicos da mecânica quântica. Essa abordagem se concentra na formulação dos postulados e princípios fundamentais da teoria quântica, possibilitando a criação de modelos e a resolução de problemas práticos. No que permite a construção de modelos e a resolução de problemas práticos. No entanto, é importante ressaltar que a falta de suporte nos livros didáticos e a abstração do formalismo da teoria podem dificultar a interpretação dos resultados e a aplicação prática em situações reais. Ademais, a complexidade matemática envolvida pode limitar o acesso a esse conhecimento apenas no ensino superior.



Para contornar esse problema e aprofundar o estudo da estrutura da matéria no ensino médio, é de grande potencial o uso da notação de Dirac, que é compatível com essa etapa de ensino. Ferreira e Souza Filho (2019), em seu artigo intitulado "O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz", exploram a abordagem fenomenológica, além de explicar o experimento de fenda dupla utilizando o formalismo matemático proposto por Feynman e seus colaboradores, que usam brackets e vetores de estado. Os professores podem consultar esse artigo para aprimorar seu conhecimento sobre esse formalismo, se assim desejarem.


# Formalismo matemático

Este artigo também foi indicado na categoria de experimentos e simulações.




O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz





Os artigos classificados como *Integração de abordagens e metodologias* podem contribuir significativamente para o ensino de Física Quântica, proporcionando novas abordagens e estratégias pedagógicas que tornam os conteúdos mais acessíveis e interessantes para os alunos. Eles buscam inserir os tópicos da FQ usando abordagens históricas e fenomenológicas, combinando diferentes métodos como o Ciclo da experiência Kellyana, CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) e o uso de analogias. Ao ampliar o repertório docente e promover uma reflexão sobre práticas educativas inovadoras, esses estudos podem auxiliar os professores a enriquecer suas aulas e estimular o interesse dos estudantes.



# Integração de abordagens e metodologias

Quantum  
"Ghosts"

Investigando o  
uso do ciclo da  
experiência  
Kellyana na  
compreensão  
do conceito de  
difração de  
elétron

Física de  
Partículas no  
ensino médio  
Parte I:  
Eletrodinâmica  
Quântica

# Integração de abordagens e metodologias



O átomo de Bohr no Ensino Médio


Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica




## Capítulo 2

“Material de apoio para o Ensino MÉdio:  
Formação e Atuação de Professores”





Além dos problemas acerca das dificuldades de inserção da FQ no EM, os professores enfrentam desafios ao lidar com interpretações equivocadas da Física Quântica, conhecidas como "Misticismo Quântico", que se propagam na sociedade. A falta de formação teórica adequada nesse campo contribui para a dificuldade dos docentes em abordar o tema de forma clara. Investir na formação contínua dos professores é essencial para preencher essas lacunas e capacitá-los a transmitir o conhecimento de maneira precisa aos alunos. Artigos sobre Física Quântica podem servir como material de apoio valioso para os educadores, suprimindo literatura superficial dos livros didáticos, ampliando seu conhecimento e auxiliando na abordagem do tema



em sala de aula. Esses recursos contribuem significativamente para a formação dos professores, estimulando debates e reflexões mais abrangentes, e melhorando a qualidade do ensino e aprendizado.

Os artigos reunidos nesta categoria, intitulada *Material de Apoio para o Ensino Médio: Formação e Atuação de Professores*, oferecem uma base teórica sólida e contribuem de forma significativa para a formação inicial e continuada de professores sobre temas e tópicos da Física Quântica. Eles foram organizados de acordo com suas contribuições, abordando reflexões do contexto histórico, teorias e interpretações da FQ, o interferômetro de Mach-Zender, o princípio da incerteza, revisão de conceitos e aplicações da FQ.

# Reflexões do contexto histórico

O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton

Os 100 anos do átomo de Bohr

O legado de Feynman visto por pesquisadores brasileiros

Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores

# Reflexões do contexto histórico

Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrêni  
cas

A descoberta do efeito Compton:  
De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica

Das margens para o centro:  
Mudanças na pesquisa em fundamentos da mecânica quântica



# Reflexões do contexto histórico

O experimento  
WS de 1950 e  
as suas  
implicações  
para a segunda  
revolução da  
mecânica  
quântica

As contribuições  
de John Clauser  
para o primeiro  
teste  
experimental do  
teorema de Bell:  
uma análise das  
técnicas e da  
cultura material

Uma tradução  
comentada do  
artigo "A  
Termodinâmica  
Oculta das  
Partículas" de  
Louis de Broglie

# Teorias e interpretações da FQ

Os problemas epistemológicos da realidade, da compreensibilidade e da causalidade na teoria quântica

Teoria quântica da gravitação: cordas e teoria M

A formulação dos 'estados relativos' da teoria quântica

# Teorias e interpretações da FQ

Elementos de  
mecânica  
quântica da  
partícula na  
interpretação da  
onda piloto

Fragments do  
paradoxo EPR em  
um trecho de  
divulgação  
científica: uma  
pesquisa de cunho  
exploratório com  
ingressantes na  
universidade

# Interferômetro virtual de Mach-Zehnder

Interpretações  
da mecânica  
quântica em  
um  
interferômetro  
virtual de  
Mach-Zehnder

O tratamento  
clássico do  
interferômetro de  
Mach-Zehnder: uma  
releitura mais  
moderna do  
experimento da  
fenda dupla na  
introdução da física  
quântica

Uma  
abordagem  
conceitual e  
fenomenológica  
dos  
postulados da  
física quântica

# Princípio da Incerteza

Certezas e  
incertezas sobre  
as relações de  
Heisenberg

Diferentes  
proposições do  
princípio da incerteza  
para posição e  
momentum:  
integrando  
formalismo  
matemático,  
fenomenologia e  
interpretações no  
ensino da teoria  
quântica

# Revisão de conceitos e aplicações da FQ

O GPS:  
unindo  
ciência e  
tecnologia  
em aulas de  
física

Os quanta  
de luz e a  
ótica  
quântica

O  
Computador  
Quântico da  
IBM e o IBM  
Quantum  
Experience

Mecânica  
Quântica 120  
anos: Uma  
abordagem a  
partir da  
medida e de  
simetrias


A teal notepad with a white border and a row of small white circles at the top, resembling a spiral binding. An orange paperclip is attached to the top right corner. The text "Capítulo 3" is written in white on the notepad.

## Capítulo 3


Three small colored dots (yellow, teal, orange) arranged in a small cluster.

“Aplicação da sequência didática - primeiros resultados”






A discussão sobre a ciência no cotidiano e os desafios do mundo contemporâneo, contudo, não pode descartar o ensino da Física Quântica. No entanto, livros didáticos (assim como na prática docente), geralmente é planejada para o final do terceiro ano (FONTES e RODRIGUES, 2019) e, nesse momento do ensino, os estudantes já estão com seus olhares para o final do ensino médio. Essa organização, assim como lacunas na formação docente (PAULO e MOREIRA, 2011; SILVA e ALMEIDA, 2011), fazem com que a abordagem de conteúdos de física moderna (que contém os conteúdos de física quântica) no ensino médio seja bastante prejudicada na prática e, não raramente, sequer é abordada (FONTES e RODRIGUES, 2019).









Neste contexto, entendemos que os artigos selecionados e as categorias discutidas em nossa pesquisa são instrumentos importantes para a construção de uma proposta de currículo para o ensino de física quântica em nível médio. Assim, buscamos trazer, dentro do contexto de formação inicial de professores, discussões que permitissem incluir, além dos livros didáticos, os artigos organizados neste trabalho.


Elaboramos, então, uma sequência didática para a disciplina "Física Moderna e seu Ensino" do quinto período do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia. Foram selecionados seis artigos da categoria "Proposta Didática"



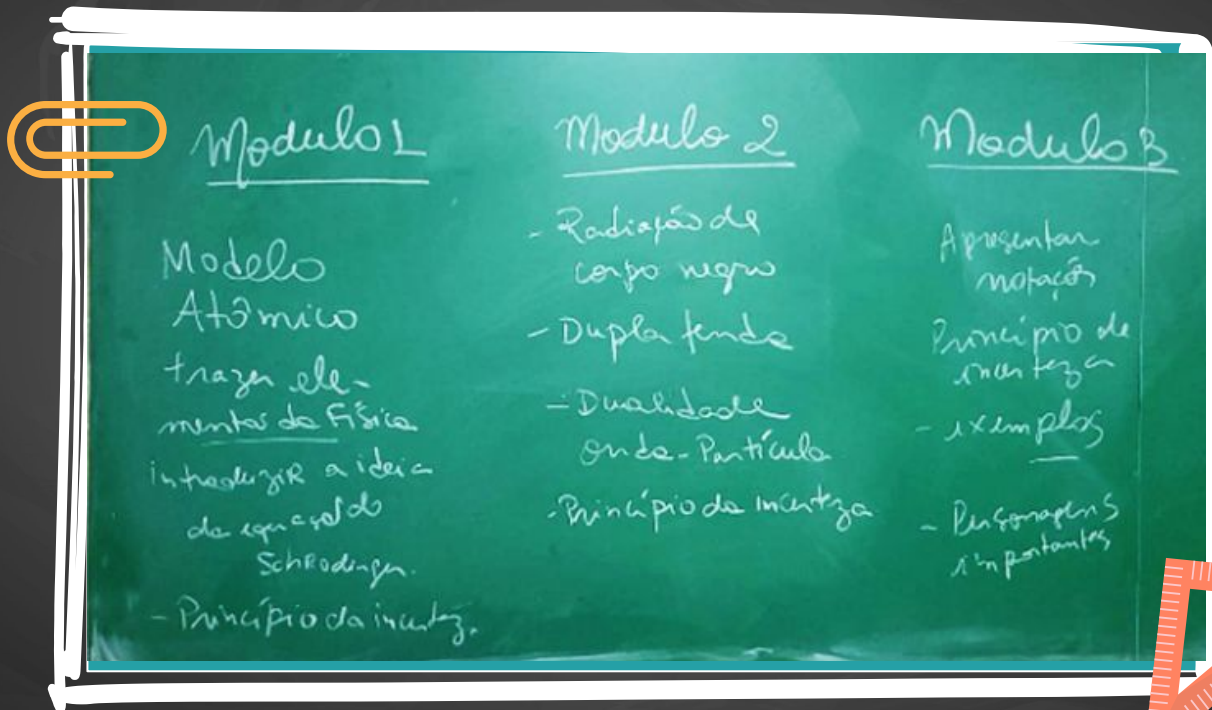


que os licenciandos analisaram individualmente e apresentaram resenhas críticas. O objetivo era analisar como os artigos publicados nas revistas de ensino poderiam contribuir para a efetiva inserção da Física Quântica no Ensino Médio.

Após a análise dos artigos, diversos momentos didáticos, a experiência de ambos com a FQ (ensino médio e superior), os apontamentos relatados por Fontes e Rodrigues (2019), Paulo e Moreira (2011) e Silva e Almeida (2011). Os licenciandos organizaram os conteúdos que deveriam constar no ensino de Física Quântica no nível do Ensino Médio de acordo com a fotografia a seguir.




# Conteúdos do currículo de FQ no EM



<u>Modulo 1</u>	<u>Modulo 2</u>	<u>Modulo 3</u>
Modelo Atômico trazer elementos da Física introduzir a ideia da equação de Schrödinger. - Princípio da incertiz.	- Radiação de corpo negro - Dupla fenda - Dualidade onda-Partícula - Princípio da incertiz.	Apresentar notações Princípio da incertiz. - exemplos - Perspectivas importantes


# Organização do conteúdo dos módulos


Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3
<i>Introdução</i>	<i>Estranhezas</i>	<i>Formalismo matemático</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Teorias da evolução atômica até o modelo de Schrödinger.</li><li>• Implicações que os modelos trouxeram a física século XX</li><li>• Efeito Compton</li><li>• Efeito Fotoelétrico</li><li>• Princípio da Incerteza de Heisenberg</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Radiação do corpo negro</li><li>• Dualidade onda-partícula</li><li>• Peculiaridades do Princípio da Incerteza de Heisenberg</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Notação matemática (Dirac)</li><li>• Princípio da Incerteza.</li><li>• Personagens importantes neste período de desenvolvimento</li><li>• Aplicação da FQ nas tecnologias atuais.</li></ul>




Ao final das discussões dos momentos didáticos ficou decidido que o módulo 1 abordaria a “introdução”, o módulo 2 as “estranhezas” e o módulo 3 o “formalismo matemático”. A organização em três módulos ocorreu para que pudessem ser abordados ao longo de todo o EM ou no decorrer de um ano letivo em projetos interdisciplinares com a disciplina de Física.

A partir dessa proposta inicial, os alunos foram divididos em duplas e cada dupla ficou responsável por organizar uma sequência com sugestões para as oito aulas de cada módulo, que estão no próximo Capítulo 4.





Ao analisar as sequências de aulas dos módulos didáticos propostas, percebe-se a influência direta e positiva dos artigos analisados previamente pelos estudantes. Em muitas aulas os alunos usaram a aplicação direta das propostas sugeridas nos artigos. Em outras, fizeram a junção das abordagens, provavelmente, influenciados pelas explanações dos artigos nos momentos didáticos. Até a literatura complementar pesquisada seguiram o mesmo viés dos artigos. Evidenciando que a leitura dos artigos contribuem para a formação inicial e continuada dos professores, que os artigos de proposta didática oferecem subsídio para o planejamento das aulas e, conseqüentemente, para a inserção da Física Quântica no Ensino Médio.






Capítulo  
04

Módulos


Didácticos





A construção das sugestões de aulas a seguir, foi embasada no trabalho final entregue pelos estudantes participantes da pesquisa. Sendo assim, têm participação direta na construção dos módulos como autores.

É importante salientar que as propostas de aulas, são exatamente isso, uma sugestão. Cabe ao leitor aplicá-las da forma que estão ou complementá-las, de acordo com a realidade do ambiente escolar em que estão inseridos.





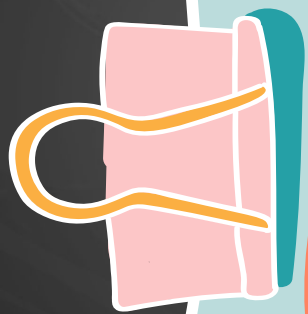
# Módulo Didático I

A dupla encarregada do Módulo Didático I analisou os artigos "Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio" (Feitosa et. al., 2020) e "Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio" (Fernandes et. al., 2017).



Autores: Giovanni Criso e Leonardo Neia



# Módulo Didático 1 - Introdução






Esse é o Módulo  
Introdutório,  
recomendado para o  
primeiro ano do ensino  
médio, mas também pode  
ser integrado em projetos  
interdisciplinares.



# Conteúdo programado



- 
- Teorias da evolução atômica até o modelo de Schroedinger.
  - Implicações que os modelos trouxeram a física século XX
- 

- 
- Quantização de energia
  - Efeito Compton
  - Efeito Fotoelétrico
  - Princípio da Incerteza de Heisenberg

Aula 01



## Objetivo

“Apresentar a evolução dos  
modelos atômicos.”

# Roteiro

01	Trabalhar o modelo pré-socráticos (5 elementos), o pensamento de partícula de Sócrates, o átomo de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr.
02	As camadas energéticas.
03	Átomo quântico e as partículas prótons, nêutrons e elétrons.
04	Atribuir trabalho.




# Metodologia

Preparação para aula (10 minutos).

Desenvolvimento da aula (40 minutos).

Separar os grupos e realizar uma leitura guiada sobre a evolução dos modelos atômicos, utilizando para isso a primeira parte da História em Quadrinhos “Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”.






É importante relatar as dificuldades encontradas pelos cientistas a cada descoberta e resultados experimentais que não condiziam com as explicações.

Separar 4 grupos para pesquisar e montar maquetes dos modelos atômicos.

Orientar cada grupo sobre os trabalhos a serem desenvolvidos, a data e tempo para apresentação do trabalho.



## Aula 02



### Objetivo

“Introduzir o conceito de quantização de energia.”



# Roteiro

01	Ler a segunda parte do texto "Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico".
02	Contextualizar a evolução dos modelos atômicos.
03	Apresentar de forma visual o efeito fotoelétrico.
04	Trabalhar o conceito de quantização de energia.

# Metodologia

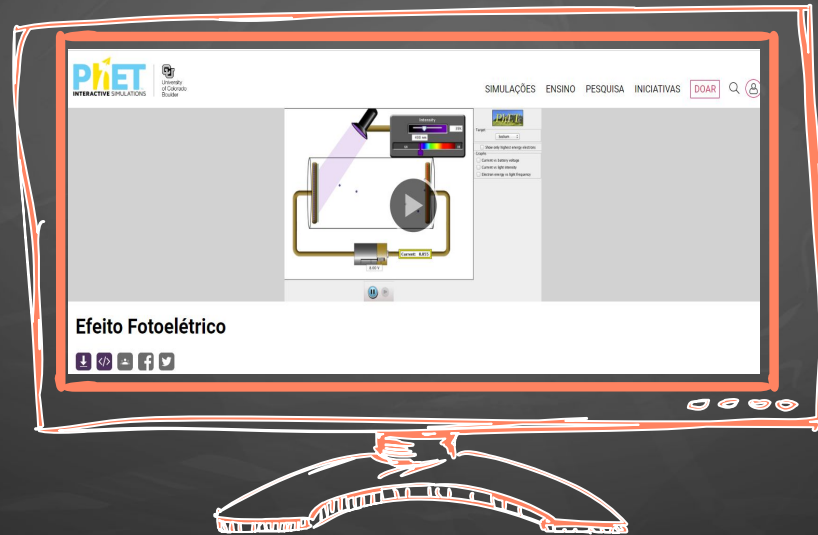
Preparação para aula (10 minutos).

Desenvolvimento da aula (40 minutos).

Separar novamente os grupos e realizar a leitura guiada da segunda parte da HQ "Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico", que aborda a evolução atômica a partir da ideia da quantização de energia proposta por Max Planck.



Apresentar o efeito fotoelétrico usando a simulação do PHET Colorado enfatizando o conceito de quantização de energia.



## Aula 03



### Objetivo

“Reconhecer e diferenciar o efeito Compton do efeito fotoelétrico.”

# Roteiro

01	Estudar o efeito Compton
02	Abordar as diferenças entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico.

# Metodologia



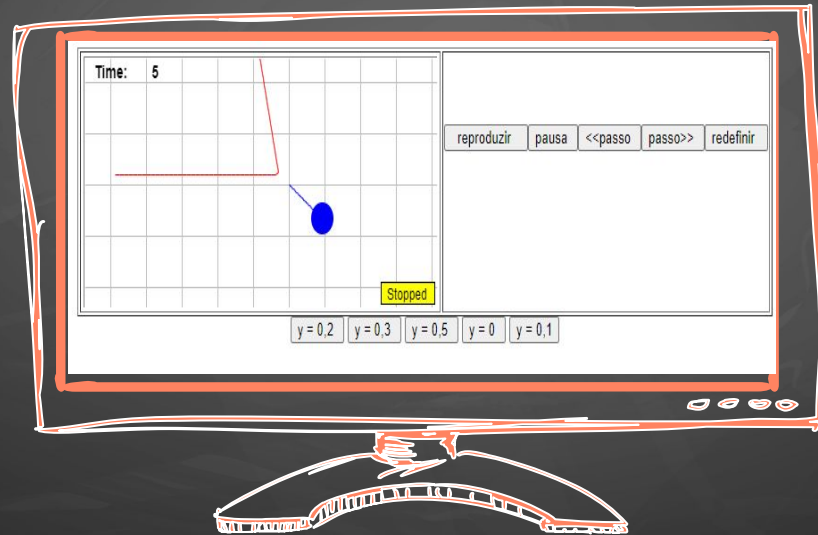
Preparação para aula (10 minutos).

Retomar a ideia de quantização de energia da HQ para explicar o efeito fotoelétrico.

Desenvolvimento da aula (40 minutos).

É interessante mostrar novamente a simulação do PHET Colorado para explicar o efeito fotoelétrico e comparar com a simulação do efeito Compton.

Explicar o efeito Compton com a simulação do Physics.bu.edu, enfatizando a quantização de energia e diferenciando do efeito fotoelétrico.



## Aula 04



### Objetivo

“Revisar os conceitos de cada modelo atômico e discutir a influência de de Broglie e de Arthur Compton na física quântica.”



# Roteiro

01	Retomar a discussão sobre os modelos atômicos.
02	Evidenciar o papel de figuras importantes como de Broglie e Arthur Compton.
03	Atividade de fixação.

# Metodologia




Preparação para a aula (15 minutos).

Retomar as ideias abordadas na HQ e em seguida os alunos devem expor a pesquisa realizada que foi atribuída como trabalho na Aula 1.

Desenvolvimento da aula (35 minutos).


Nesta aula será realizada a apresentação da pesquisa em grupo. Os alunos devem expor um apanhado geral modelos atômicos, dos cientistas e do conhecimento sobre a estrutura da matéria na época.



Esta aula deverá enfatizar o modelo atômico e a influência de de Broglie e Arthur Compton para a mecânica quântica.

O objetivo é extrair o que foi compreendido pelos estudantes sobre o processo de evolução das teorias atômicas e sanar as dúvidas quando houver.

Para finalizar, o professor pode organizar um jogo no Kahoot, ou outra atividade da sua preferência, sobre os conceitos de evolução dos modelos atômicos, o efeito Compton, o efeito fotoelétrico e disponibilizar para os alunos.



# Aula 05



## Objetivo

“Estudar o modelo quântico e introduzir o conceito de orbitais.”

# Roteiro

01	Estudar o modelo atômico de Schroedinger.
02	Diferenciar os modelos de Bohr e Schroedinger.

# Metodologia



Preparação para a aula (15 minutos).

Leitura guiada da parte final do texto “Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico” que dá ênfase no modelo atômico desenvolvido por Erwin Schrödinger.

Desenvolvimento da aula (35 minutos)

Após a leitura, aprofundar as ideias de de Broglie e do átomo quântico de Schrödinger, destacando as contribuições de cada um para a compreensão da estrutura atômica.

Utilizar a simulação virtual "Modelos Atômicos de Hidrogênio" para ilustrar exemplos práticos, incluindo o modelo de Schroedinger e o modelo de Bohr, e demonstrar a diferença entre eles. Incentivar a participação dos alunos durante a demonstração.



# Aula 06



## Objetivo

“Introduzir o princípio da Incerteza.”



# Roteiro

01	Apresentar obras de arte do Pintor Víctor Molev e Salvador Dalí.
02	Estimular os alunos a fazerem observações sobre as obras e associar as observações à ideia de incerteza.

## Metodologia



Preparação para a aula (20 minutos).

Reserve esse tempo para apresentar brevemente a biografia e o contexto artístico de Victor Molev, para que os alunos compreendam melhor suas obras.

Pode mostrar também algumas obras de arte de Salvador Dalí que abordem a ideia de incerteza e ilusão, para criar um contraste interessante com as obras.






Desenvolvimento da aula (30 minutos).

Ao introduzir o conceito de Princípio da Incerteza de Heisenberg, comece com uma explicação clara e simples do princípio, antes de conectar com as obras de arte de Molev e Dalí. Isso ajudará os alunos a entender melhor a conexão entre arte e física quântica.

Incentive os alunos a fazer comparações entre as obras de Molev e Dalí, destacando como cada um deles aborda a ideia de incerteza de maneiras diferentes.



Além disso, considere incluir atividades práticas, como pedir aos alunos que criem suas próprias obras de arte inspiradas no conceito de incerteza, ou realizar uma discussão em grupo sobre as diferentes percepções das obras de Molev e Dalí. Isso pode ajudar a envolver os alunos e aprofundar sua compreensão do tema.



# Aula 07



## Objetivo

“Aprofundar os conceitos do  
Princípio da Incerteza.”

# Roteiro

01	Estudar a obra "Mercado de escravos com o busto de Voltaire" de Salvador Dalí.
02	Relacionar a obra com o Princípio da Incerteza de Heisenberg.

# Metodologia



Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Introdução (5 minutos)

Apresentar a obra "Mercado de escravos com o busto de Voltaire" de Salvador Dalí.

Estimular os alunos a analisar de forma crítica a obra e refletir sobre o conceito de incerteza.





•  
•  
Mercado de  
escravos com  
o busto  
desaparecido  
de Voltaire



## Discussão da obra (25 minutos)

Iniciar a discussão fazendo perguntas-chaves que estimulem a reflexão dos alunos, como:

- ❖ O que vocês percebem ao olhar para a obra?
- ❖ Como a obra de Dalí representa o conceito de incerteza?
- ❖ De que forma a perspectiva influencia a nossa percepção da realidade?
- ❖ Qual mensagem a obra transmite sobre a incerteza e a mudança de perspectiva?

- 
- ❖ Como a interpretação da obra pode mudar ao ser observada de diferentes ângulos, e como isso se relaciona com a incerteza de Heisenberg?
  - ❖ De que forma a obra de Dalí desafia a ideia de uma realidade estável e previsível, relacionando-se com o conceito de incerteza?
- 

## Atividade prática (15 minutos)

Propor uma atividade prática em que os alunos criem sua própria obra de arte que represente o conceito de incerteza e a mudança de perspectiva. Se essa proposta foi executada na aula anterior, os alunos devem apresentar suas obras e explicar como elas refletem o conceito discutido.

## Conclusão (5 minutos)

Fazer uma breve recapitulação da discussão e atividade prática. Reforçar a importância de refletir sobre a incerteza e a mudança de perspectiva para compreender a FQ.

# Aula 08



## Objetivo

“Avaliar a aprendizagem nas apresentações dos trabalhos em grupo”

# Roteiro

01	Responder o Quiz
02	Apresentação das maquetes
03	Jogo educativo

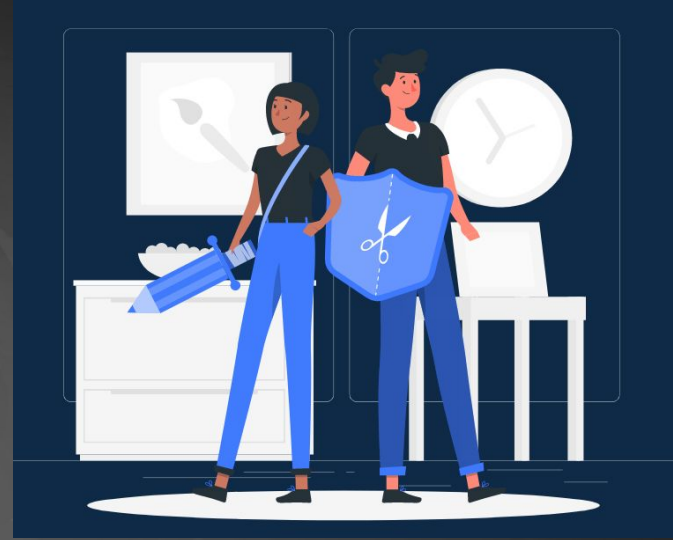
# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Visando iniciar a aula de maneira interativa e descontraída, sugere-se elaborar um Quiz sobre o conteúdo abordado durante o módulo para que os alunos respondam.

Em seguida, apresentar as maquetes previamente expostas o que foi desenvolvida por cada grupo (trabalho da aula 1).

Após as apresentações, propõe-se realizar um jogo de tabuleiro, onde cada grupo terá que responder a 7 perguntas corretamente para finalizar a “corrida”. As regras do jogo incluem a definição da ordem de respostas por sorteio, e a progressão no tabuleiro de acordo com as respostas corretas. Caso a resposta seja incorreta, a vez passa para o próximo grupo. O jogo prosseguirá até que todas as perguntas sejam respondidas e todos os grupos alcancem a “linha de chegada”.





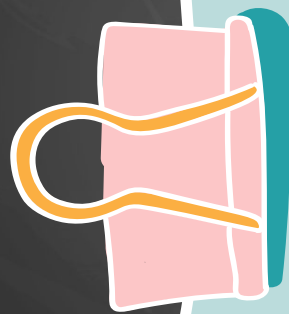
## Módulo Didático II

A dupla encarregada do Módulo Didático II, analisou os artigos "Concepções da dualidade onda-partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica" (Lima, Cavalcanti e Ortermann, 2021) e "Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica" (Hoernig, Massoni e Hadjimichef, 2021).



Autores: Brenda Scartezini e Maísa Poiani



# MÓdulo Didático 2 - EStranhezas




Esse é o MÓdulo das EStranhezas, recomendado para o segundo ano do ensino médio, mas também pode ser integrado em projetos interdisciplinares.



# Conteúdo programado



- Radiação do corpo negro
  - Dualidade onda-partícula
- 

- Peculiaridades do Princípio da Incerteza de Heisenberg
- 

Aula 01



## Objetivo

“Contextualizar o desenvolvimento da Física Quântica”

# Roteiro

01	Contextualizar a história da Física Quântica.
02	Mostrar os fenômenos que a Física Clássica não conseguiu explicar e deram origem a Física quântica.
03	Apontar as diferenças entre o mundo macro e o mundo quântico.

# Metodologia

Preparação para a aula (10 minutos)

Comece a aula com uma pergunta provocativa ou um breve vídeo para despertar a curiosidade dos alunos sobre o tema a ser abordado, como:

- ❖ Você já se questionou por que a física clássica falha em conseguir explicar fenômenos microscópicos?
- ❖ O que os físicos do século passado descobriram que alterou nossa compreensão do mundo subatômico?

## Desenvolvimento da aula (40 minutos)

Contextualize a história abordando as dificuldades encontradas pelos físicos ao tentar compreender os fenômenos experimentais do mundo microscópico. Explanar os pontos em que a física clássica não pôde explicar os entes estudados.

Sugere-se o uso de simulações para demonstrar o efeito fotoelétrico, contextualizando os eventos de acordo com a Teoria Clássica e Quântica. Outra sugestão é a utilização do gráfico Rayleigh-Jeans construído com base nas teorias clássicas e comparar com o gráfico dos resultados experimentais.

É interessante ressaltar que os cientistas da época estavam receosos com tudo que estava acontecendo e que Planck inclusive chegou a se questionar se a introdução da constante  $h$  (constante de Planck) era apenas um artifício matemático ou se realmente havia um significado mais profundo.



A pink notepad with horizontal lines, tilted slightly to the right. The equation  $E = h \cdot f$  is written on it in black ink. To the right of the notepad, there are three white diagonal lines pointing towards it.



# Aula 02



## Objetivo

“Compreender o espectro eletromagnético”

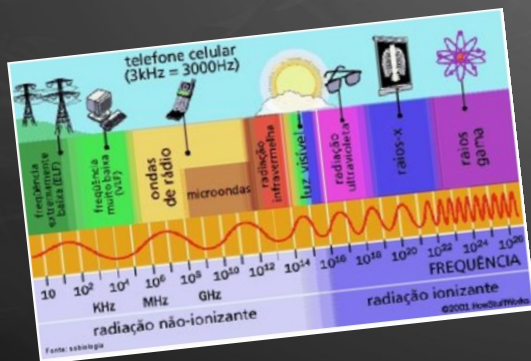
# Roteiro

01	Estudar o espectro eletromagnético.
02	Analisar a simulação virtual da Radiação do Corpo Negro.
03	Pesquisar sobre radiação de Corpo Negro.

# Metodologia

Preparação da aula (20 minutos)


Apresentar o espectro eletromagnético completo, explicando as escalas das frequências e comprimentos de ondas, destacando a diferença entre radiações ionizantes e não-ionizantes, e relacionando com exemplos do cotidiano.



## Desenvolvimento da aula (30 minutos)

Realizar a simulação do Espectro do Corpo Negro na plataforma Phet Colorado, estimulando os alunos a observarem e discutirem os resultados da simulação.






Promover uma discussão em sala de aula para que os alunos construam hipóteses a partir dos resultados da simulação virtual.

Deliberar um tempo para que os alunos pesquisem sobre a radiação de corpo negro, leiam sobre o assunto ou assistam algum vídeo, buscando respostas para explicar a simulação.

O docente pode indicar ou disponibilizar materiais científico para os alunos.



## Aula 03



### Objetivo

“Compreender a radiação do corpo negro”

# Roteiro

01	Apresentar o tema: o que é o corpo negro?
02	Abordar o contexto histórico.

# Metodologia

## Preparação da aula (20 minutos)

Contextualizar a história da origem do conceito, evolução das ideias até chegar à Física Moderna e sua importância para ciência.

Estimular os alunos a participarem, compartilhando o que aprenderam com a pesquisa da aula anterior.

## Desenvolvimento da aula (30 minutos)

Introduzir conceitos de Corpo Negro: absorção *versus* reflexão da luz. É recomendável usar imagens ilustrativas e a simulação do Phet Colorado.



# Comentário pedagógico

Apenas a introdução do assunto é necessária, uma vez que aprofundar além do proposto pode confundir e desanimar os estudantes. Nesta aula, vamos dar continuidade às pesquisas realizadas previamente pelos alunos, permitindo que eles compartilhem o que descobriram e esclareçam dúvidas. Essa interação contribuirá para a melhor compreensão do conteúdo.

# Aula 04



## Objetivo

“Introduzir a Dualidade  
onda-partícula”

# Roteiro

01	Problematizar sobre a dualidade onda-partícula.
02	Caracterizar uma onda e uma partícula.
03	Ler o texto: Teoria corpuscular x Teoria Ondulatória.

# Metodologia


Preparação para a aula (10 minutos)

Realizar a problematização inicial, instigando os alunos com perguntas do tipo: “Você conhece algo que pode ser duas coisas ao mesmo tempo?”

Em seguida, contextualizar como o estudo da natureza da luz desafiou a teoria vigente, levando à necessidade de uma nova teoria para explicá-la.


Desenvolvimento da aula (40 minutos)

Apresentar as características de uma onda e de uma partícula,

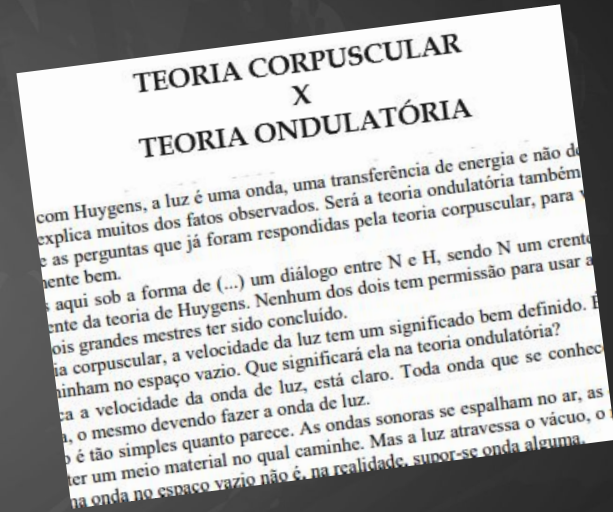


estimulando a imaginação dos alunos. Por exemplo, reconstruir a experiência de compartilhar uma informação em um mundo sem computadores e celulares, destacando a diferença entre o envio de uma carta física e o envio de um e-mail em termos de movimento de partículas e ondas eletromagnéticas. A mensagem chegaria da mesma maneira, mas sem a necessidade de a carta física ir até o local, uma vez que quem se desloca são as ondas eletromagnéticas, e não a partícula.

Levantar a questão se a luz é uma onda ou uma partícula, destacando que esse questionamento existe desde antes do surgimento da Física Moderna, com a leitura do texto "Teoria corpuscular x Teoria Ondulatória".



Posteriormente, dividir a turma em dois grupos para um debate, onde cada grupo defenderá uma teoria, podendo os alunos pesquisar sobre os cientistas que defendiam cada ideia e assumir os papéis desses personagens.



# Observações

Para a elaboração desta aula, foi utilizado um material desenvolvido em uma parceria entre a Universidade de São Paulo e Professores da Rede Pública de Ensino do Estado, parte integrante do trabalho de BROCKINGTON (2005) e o texto do arquivo do Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP, disponível em <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/BlocoXI-Dualidade.pdf>

# Aula 05



## Objetivo

“Debater sobre a Dualidade  
onda - partícula”



# Roteiro

01	Organizar as perguntas para o debate
02	Organizar e mediar o debate.

# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Nesta aula, os alunos serão os protagonistas e a dinâmica será participativa. O professor irá estimular o debate por meio de perguntas e intervir quando necessário, com o intuito de avaliar os alunos de forma individual e em grupo.

## Comentário pedagógico

Nessa etapa, o professor consegue avaliar a dedicação do aluno à pesquisa por meio dos argumentos utilizados para defendê-la, além de verificar se o discente compreendeu o conteúdo pela coesão e coerência das argumentações.

# Aula 06



## Objetivo

“Introduzir conceitos de interferência construtiva e destrutiva”

# Roteiro

01	Montar o experimento
02	Preparar as perguntas para roda de conversa
03	Organizar e mediar a roda de conversa.

# Metodologia

Como inspiração para o primeiro experimento, sugere-se usar o trabalho de OLIVEIRA et al (2019), por ser considerado de fácil reprodução, de baixo custo e com resultado satisfatório.

Preparação da aula: 20 minutos

Os alunos devem ser instruídos a manusear, observar o experimento e formular hipóteses sobre os eventos.

Desenvolvimento: 30 minutos

Recomenda-se que o professor promova uma discussão em grupo e aborde as observações realizadas durante experimento. Se possível validar as hipóteses levantadas e avaliar o conhecimento dos alunos sobre ondas mecânicas e eletromagnéticas, bem como os fenômenos de interferência construtiva e destrutiva.

## Comentário pedagógico

O tempo reservado para reconhecer o experimento, sem que haja uma explicação logo de início, incentiva os alunos a tentar compreender e trabalhar a percepção.

## Aula 07



### Objetivo

“Trabalhar os conceitos de interferência construtiva e destrutiva e a dualidade onda-partícula”

# Roteiro

01	Trabalhar as simulações de interferência construtiva e destrutiva.
02	Explicar conceitos de interferência construtiva e destrutiva.
03	Abordar o que acontece no experimento de dupla fenda e contextualizar com a dualidade onda-partícula.
04	Trabalhar a radiação do corpo negro.



# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula: 50 minutos

Explicar o fenômeno da interferência de ondas e utilizar a simulação do experimento da fenda dupla disponível gratuitamente no site do Phet Colorado para exemplificar esse processo. Através da



manipulação da simulação, será possível demonstrar o comportamento dual da luz, evidenciando as interferências construtivas e destrutivas.

Em seguida, realizar uma exploração do problema da dualidade onda-partícula, mostrando como a luz pode se comportar tanto como onda (observado nas interferências) quanto como partícula.

Estimular os alunos a comparar a simulação do Phet com o experimento realizado na aula da aula 6.

Revisar os conceitos de radiação de corpo negro, ressaltando que a explicação desse fenômeno só foi possível quando a luz foi tratada como partícula, evidenciando os indícios da dualidade onda-partícula.

## Comentário pedagógico

É interessante estabelecer conexões entre todas as aulas do módulo, de forma a evidenciar e cumprir o conteúdo programático, envolvendo os alunos e demonstrando que as atividades possuem um propósito claro.

# Aula 08



## Objetivo

“Aprofundar sobre o conceito de Princípio da Incerteza”

# Roteiro


01	Montar o experimento.
02	Organizar as perguntas para estimular os alunos a levantar hipóteses.
03	Mediar as hipóteses.

# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula: 50 minutos

Vamos repetir o experimento da aula 6, onde colocamos um pote com água e fizemos ondas na superfície. Dessa vez, vamos adicionar uma miçanga pequena e leve à água.


O objetivo é realizar o mesmo experimento, porém desta vez com a adição da miçanga para que ela se propague junto com a onda. Convide os alunos a palpitar em que lugar a miçanga vai chegar, repetindo diversas vezes. A maioria das vezes, a miçanga chegará ao mesmo lugar, mas em algumas situações pode alcançar lugares diferentes.



Durante a realização do experimento, o professor deverá enfatizar o Princípio da Incerteza, reforçando e expandindo o conteúdo trabalhado no Módulo 1 até chegar à ideia da natureza probabilística dos fenômenos quânticos.

## Comentário pedagógico

Incentivar a participação do aluno como protagonista, observador que sugere hipóteses em todas as atividades.



## Módulo Didático III

A dupla encarregada do Módulo III, analisou os artigos "Física de partículas no Ensino Médio" (Dorsch e Guio, 2021) e "O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz" (Ferreira e Souza Filho, 2019).

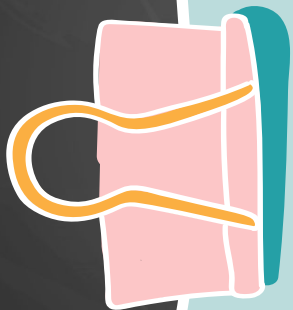
Autores: Lucas Naves e Fabrício Kalaki



# Módulo Didático 3 - Formalismo matemático




A proposta deste módulo é desenvolver o formalismo matemático de maneira dinâmica, abordando as figuras importantes e os impactos que esses avanços representam para a sociedade.






# Conteúdo programado



- Princípio da Incerteza.
  - Notação matemática (Dirac)
  - Personagens importantes neste período de desenvolvimento
- 

- Aplicação da FQ nas tecnologias atuais.
  - Equações de Schrödinger.
- 

# Aula 01



## Objetivo

“Pesquisar sobre as figuras que contribuíram para a Física Moderna e para a sociedade atual”

# Roteiro

01	Apresentar o tema.
02	Dividir os grupos.
03	Orientar a pesquisa, organização do trabalho e tempo de apresentação.


# Metodologia

Preparação para a aula (10 minutos)

Apresentar o tema do trabalho:

“Física Moderna: das figuras importantes às suas contribuições para a sociedade”. O trabalho terá dois temas em destaque:


1. Os personagens importantes para a Física Moderna: Max Planck; Albert Einstein; Niels Bohr; Werner Heisenberg; Wolfgang Pauli; Paul Dirac; Erwin Schrödinger; Marie Curie.
2. As contribuições dos avanços da Física Moderna para a sociedade (trazer exemplos do cotidiano): GPS, leitor de Código de barras, efeito fotoelétrico, radiação (raio-x), nanotecnologia, entre outros.



A proposta é de dividir a turma em grupos (o número de grupos dependerá do tamanho da turma e será determinado pelo professor). Metade dos grupos ficará responsável pelo tema 1 e a outra metade pelo tema 2.

Desenvolvimento da aula (40 minutos):

Durante esse período, o professor pode permitir que os alunos organizem seu trabalho e realizem pesquisas, além de orientar os grupos.



## Aula 02



### Objetivo

“Apresentar as pesquisas realizadas pelos grupos”

# Roteiro

01	Organizar as apresentações dos grupos.
02	Preparar perguntas.
03	Mediar as dúvidas apresentadas.

# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Apresentação dos trabalhos sobre o tema 1.

Os personagens importantes para a Física Moderna: Max Planck; Albert Einstein; Niels Bohr; Werner Heisenberg; Wolfgang Pauli; Paul Dirac; Erwin Schrödinger; Marie Curie.

É importante estimular que todos os integrantes dos grupos e a turma participem.



# Aula 03



## Objetivo

“Apresentar as pesquisas realizadas pelos grupos”

# Roteiro

01	Organizar as apresentações dos grupos.
02	Preparar perguntas.
03	Mediar as dúvidas apresentadas.

# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Apresentação dos trabalhos sobre o tema 2.

As contribuições dos avanços da Física Moderna para a sociedade (trazer exemplos do cotidiano): GPS; leitor de Código de barras; efeito fotoelétrico; radiação (raio-x); nanotecnologia entre outros.

É importante estimular que todos os integrantes dos grupos e a turma participem

# Aula 04



## Objetivo

“Introduzir a equação de  
Schroedinger”

# Roteiro

01	Recapitular quem foi Erwin Schroedinger.
02	Caracterizar a equação de onda de Schroedinger.

# Metodologia

A proposta é apresentar as equações de Schroedinger, sem aprofundar no formalismo matemático, sendo essa aula mais expositiva.

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Recapitular quem foi Erwin Schroedinger, seus pensamentos e ideias (uma sugestão é mencionar o que o grupo apresentou sobre ele). Em seguida, apresentar a equação, buscando demonstrar o que levou a construção dela, bem como, a sua importância para a Física.

# Observações

Utilizando a experiência mental do Gato de Schrödinger como referência, é proposta uma atividade prática para ilustrar o conceito de superposição de estados. Neste caso, o professor(a) pode utilizar uma moeda, com uma face representando "cara" e a outra "coroa". A ideia é que os alunos não vejam qual face a moeda caiu. Após o lançamento da moeda, o professor(a) pergunta "Qual lado a moeda caiu?" e os alunos expressam o que eles acham sem olhar. Em seguida, o professor(a) permite que os alunos vejam qual foi a face da moeda que ficou para cima e verifica quais alunos acertaram.

# Aula 05



## Objetivo

“Estudar a equação de Schrödinger, independente do tempo”



# Roteiro

01 | Caracterizar a equação de onda de Schroedinger.

# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)

Apresentar a equação independente do tempo fazendo analogias com o oscilador harmônico, energia mecânica e a relação de de Broglie, detalhando cada parte da equação para elucidar sua importância e conexões com esses conceitos.

# Aula 06



## Objetivo

“Introduzir a Notação de Dirac para a MQ”

# Roteiro

01	Mostrar o experimento da fenda dupla (Phet Colorado).
02	Introduzir a notação de Dirac usada na MQ de EM.

# Metodologia

A aula será dividida em duas etapas:

Preparação para a aula (25 minutos): Inicialmente, fazer uma revisão dos conceitos relativos ao experimento da fenda simples e da fenda dupla, além de relacionar com o Princípio da Incerteza.

Desenvolvimento da aula (25 minutos): Segunda parte, serão introduzidas as ideias iniciais que levaram Paul Dirac a propor uma notação para a mecânica quântica. (Sugestão: mencionar o grupo que apresentou sobre Paul Dirac)

# Observações

Uma sugestão para o docente trabalhar a notação de Dirac é abordada no trabalho “O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz.”

# Aula 07



## Objetivo

“Explicar a Notação de Dirac para a MQ”

# Roteiro

01

Explicar a notação de Dirac para explicar o que ocorre no experimento da fenda dupla, contextualizando a interpretação.



# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos):

A notação de Dirac será empregada para explicar o experimento da dupla fenda. Os autores mencionados na aula 6 baseiam-se nos trabalhos de Richard Feynman e seus colaboradores, utilizando o livro "Lições de Física". Tanto o trabalho quanto o livro introduzem a notação de Dirac de maneira simplificada aos alunos, permitindo que compreendam o conceito de Brackets (Bras e Kets), sem exigir um nível matemático avançado.

Artigo "O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz."

# Aula 08



## Objetivo

“Concluir o tema e avaliar os alunos”

# Roteiro

01

Atividade avaliativa



# Metodologia

Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos):

Como encerramento do Módulo III, o professor pode dividir a turma em duplas e fornecer uma atividade contendo perguntas sobre os temas abordados nas aulas anteriores. Sugere-se que as duplas respondam às perguntas uma por uma; após cada questão, as duplas apresentam suas respostas e o professor pode intervir para esclarecer eventuais dúvidas.

# Referências

- AMARAL, G. M. et al. Quantum “Ghosts”. Revista Brasileira de Ensino de Física, Campinas, v. 38, n. 3, e3309, 1-12, mar. 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0052> Disponível em: <http://old.scielo.br/pdf/rbef/v38n3/1806-1117-rbef-38-03-e3309.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.
- ANDRADE, R. R. D.; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M. G. Influências da Física moderna na obra de Salvador Dalí. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 24, n. 3, p. 400--423, dez. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6243>. Acesso em: 11 dez. 2021.
- AZEVEDO, A. L.; SOUSA, A. K. S.; CASTRO, T. J. Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre v. 41, n. 4, e20180349, 1-10, mar. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0349> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/vHfts85vGQtRvwvqfpyjNFG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 08 jul. 2022.
- BARROS, M. A.; BASTOS, H. F. B. N. Investigando o uso do ciclo da experiência Kellyana na compreensão do conceito de difração de elétrons. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 24, n. 1, p. 26--49, abr. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/1549>. Acesso em: 11 dez. 2021.
- Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 4701--4701, out. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400022> Disponível em: Acesso em: 16 out. 2021.
- DORSCH, G. C.; GUIO, T. C. C. Física de Partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica Quântica. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 43, e20210083, 1-32, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0083> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/7t5mJSb8rsk6TXWJXGyQY4n/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2022.

FEITOSA, S. S. et al. Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 37, n. 2, p. 662-694, ago. 2020. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p662> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n2p662/43909> Acesso em: 08 ago. 2022.

FERNANDES, R. F. A. M. et al. Pinturas do Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 34, n. 2, p. 509-529, ago. 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p509> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n2p509/34627> Acesso em: 10 ago. 2022.

FERREIRA, C. F.; SOUZA FILHO, M. P. O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 302-329, abr. 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p302> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p302/39941>. Acesso em: 20 out. 2022.

FERREIRA, D. C.; SOUZA FILHO, M. P. O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 697-716, ago. 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n2p697> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n2p697/32435>. Acesso em: 14 mar. 2022.

HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; HADJIMICHEF, D. Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 43, p. e20210044, 1-18, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0044> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/bRTgnq5YBknbQDJChnCsMRx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2022.

LIMA N.; CAVALCANTI C.; ORTERMANN, F. Concepções de dualidade onda-partícula: uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Porto Alegre, v. 43, e20200270, 1-16, out. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/yFLHKMG9B4HWKZfPtDNgPsn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2022.

LIMA, L. G.; RICARDO, E. C. O ensino de mecânica quântica no nível da abstração científica presente na interface Física-Literatura. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 8-54, abr. 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p8> Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7008478>. Acesso em: 14 mar. 2022.

LÜDKE, E.. Medidas de elétrons livres no vácuo e estatística de Fermi-Dirac. *Revista*

NETTO, J. S.; OSTERMANN, F. E.; CAVALCANTI, C. J. H. Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de Mach-Zehnder integrado a atividades didáticas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 35, n. 1, p. 185-234, abr. 2018. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n1p185> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n1p185/36176>. Acesso em: 10 set. 2022.

OLIVEIRA, A. N. et al.. Algoritmos quânticos com IBMQ Experience: Algoritmo de DeutschJozsa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 44, p. e20210333, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/jwThwdbMLr5M4GtgGMLk8Bn/?lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2021. PARENTE, F. A. G.; SANTOS, A. C. F.; TORT, A. C.. Os 100 anos do átomo de Bohr. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 35, n. 4, 4301, out. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400001> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/VYcRWRjrjX9fQVG8xYsRjNQ/?lang=pt#> Acesso em: 18 out. 2021.

PESSOA JÚNIOR, O. O fenômeno cultural do misticismo quântico. In: FREIRE JÚNIOR, O.;; PESSOA JÚNIOR, O.;; BROMBERG, J. L., (orgs.). *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

RABELO, W. R. M.; COSTA, M. L. M. Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Porto Alegre, v. 40, n. 4, e4306. 1-10, abr. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF2018-0038> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/3Mjbd4BKTrDQdsYWmwvDZh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SAITO, M. T. O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, Passo Fundo, v. 4, n. 3, p. 1101-1129, set. 2021. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12903>. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/12903>. Acesso em: 17 fev. 2024.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física quântica no ensino médio: o que dizem as

SLOVINSCKI, L.; ALVES-BRITO, A. O experimento da borracha quântica: discutindo o quântico pelo clássico em sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 38, n. 2, p. 1113--1134, ago. 2021. <https://doi.org/DOI:10.5007/2175-7941.2021.e76484>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/76484>. Acesso em: 11 dez. 2023.

SOUZA, A. R.; NEVES, L. A. S. O livro paradigmático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1145> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p1145/33009> Acesso em: 10 set. 2022.

TENFEN, D. N.; TENFEN, W. O modelo atômico de Bohr e as suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 216--235, abr. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p216>. Acesso em: 11 dez. 2023.