



**FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE**

**MARCO AURÉLIO DE JESUS**

**A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO  
MÉDIO:  
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

ARIQUEMES-RO

2011

**Marco Aurélio de Jesus**

**A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO  
MÉDIO:  
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito parcial a obtenção do título de licenciado em Física.

Prof. Orientador: Thiago Nunes Jorge

ARIQUEMES-RO

2011

**Marco Aurélio de Jesus**

**A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO:  
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito parcial a obtenção do título de licenciado em Física.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Profº Orientador: Ms. Thiago Nunes Jorge  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

---

Profº Ms. Gustavo José Farias  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

---

Profª. Drª. Rosani Aparecida Alves Ribeiro de Souza  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA

Ariquemes, 04 de Julho de 2011

Ao meu pai (*in memoriam*), pelo constante incentivo aos estudos.

A minha esposa sempre presente, prestativa e amorosa.

A minha filha, que faz todo o meu esforço valer à pena.

## AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus é uma obrigação diária, portanto agradeço às pessoas que Ele pôs em meu caminho para me ajudar a atingir meus objetivos.

A todos os professores da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, por me proporcionarem o conhecimento e fomentarem o meu desejo de aprender. Aos funcionários de todas as escalas de hierarquia, por terem preparado o ambiente físico e administrativo para a minha formação.

A minha esposa Fernanda e a minha Filha Isabela, por terem sempre me apoiado e por terem compreendido os motivos dos muitos sábados e domingos em que fiquei debruçado sobre os livros.

Ao meu Professor Orientador Thiago Nunes Jorge, pela atenção e pelo excelente direcionamento. Vida longa e próspera.

Aos meus pais Inácio (*in memoriam*) e Maria Joana, por toda a dedicação, afeto e promoção de valores familiares.

Aos meus padrinhos Lourival e Maria Alexandrina, pelo carinho, motivação e atenção nos momentos em que eu mais precisei de apoio.

Por fim, a Ernandes Amaral, Givanildo Machado, Isaías Fernandes, Marcos Roberto Alves, Sara Michelini e Simone Gaspar, meus companheiros físicos que vivenciaram comigo essa jornada até o fim e a Josué dos Santos e Sérgio Santos ex-colegas de curso que traçaram outro caminho, mas que antes disso contribuíram imensamente com a minha formação.

*Aqui, no entanto, nós não olhamos  
para trás por muito tempo, Nós  
continuamos seguindo em frente,  
abrindo novas portas e fazendo coisas  
novas, porque somos curiosos...*

*E a curiosidade continua nos  
conduzindo por novos caminhos.*

*Siga em frente.*

***Walt Disney***

## RESUMO

A Física Moderna é uma das mais fantásticas áreas do conhecimento humano, entretanto, os alunos de Ensino Médio, sobretudo os das escolas públicas, têm pouco ou nenhum contato com essa ciência, sendo que parte dessa carência se deve ao fato de que muitos livros didáticos não dão a devida atenção ao tema.

Este estudo tem por objetivo apresentar métodos para a inserção da Física Moderna simultaneamente ao ensino da Física Clássica no Ensino Médio.

Para isso, foi feita uma análise de como os livros didáticos de Física aprovados pelo Ministério da Educação (MEC) abordam a Física Moderna, onde se constatou que na maioria deles a ciência é reservada para os últimos capítulos dos volumes finais e geralmente desvinculada da Física Clássica.

Como proposta metodológica para essa inserção, foram elaborados fascículos que tratam essas duas subdivisões da Física de maneira paralela, contextualizada, com exemplos de aplicação e com propostas de atividades e pesquisas e que podem servir de material de apoio para professores e alunos do Ensino Médio no estudo da Física Moderna.

**Palavras-Chave:** Física no Ensino Médio. Física Moderna. Produção de Material Didático.

## ABSTRACT

Modern Physics is one of the most amazing areas of human knowledge, however, high school students, especially those of public schools have little or no contact with this science, and part of this shortage is due to the fact that many textbooks do not give enough attention to the subject.

This study aims to present methods for the simultaneous insertion of Modern Physics to the teaching of classical physics in High School.

An analysis of how the physics textbooks approved by the Ministry of Education (MEC) approach Modern Physics, where it was found that in most cases, science is reserved for the last chapters of the final volumes and generally unrelated to Classic Physics.

As a methodological approach to this integration two subdivision of Physics have been developed that refer to these issues in parallel, contexted, with examples of application and proposed activities and research and can serve as support material for teachers and high school students in study of Modern Physics.

**Keywords:** Physics in High School. Modern Physics. Production of Teaching Materials.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coleção "Física: Ensino Médio", de Máximo e Alvarenga.....	20
Figura 2 - Coleção "Física: Ciência e Tecnologia", de Penteado e Torres.....	22
Figura 3 - Coleção "Universo da Física" de Sampaio e Calçada.....	23
Figura 4 - "Física", de Sampaio e Calçada (volume único) .....	24
Figura 5 - "Física", de Gonçalves Filho e Toscano (volume único) .....	25
Figura 6 - "Física", de Gaspar (volume único) .....	26
Figura 7 - "Física Completa, de Bonjorno (volume único) .....	26
Figura 8 - Velocidade relativa mesmo sentido.....	28
Figura 9 - Velocidade relativa sentido oposto.....	28
Figura 10 – Relatividade: o trem e os dois observadores (montagem com caricaturas de Gogue e Alex Pereira) .....	30
Figura 11 – Relatividade: o observador "Albert" dentro do trem (montagem com caricatura de Gogue).....	31
Figura 12 – Relatividade: o observador "Isaac" fora do trem (montagem com caricatura Alex Pereira) .....	31
Figura 13 - Triângulo dos deslocamentos .....	32
Figura 14 - Antes da colisão.....	37
Figura 15 - Choque perfeitamente elástico após a colisão.....	37
Figura 16 - Choque parcialmente elástico .....	38
Figura 17 – Montagem experimental do Efeito Fotoelétrico .....	40
Figura 18 - Representação da emissão fotoelétrica .....	40
Figura 19 - Comparação entre as escalas .....	43
Figura 20 - Bandas de Energia (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 282) ..	45
Figura 21 - Representação da agitação das partículas .....	46
Figura 22 - Ciclo da convecção .....	47
Figura 23 - Lâmpada incandescente: exemplo de radiação térmica .....	48

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Velocidade relativa mesmo sentido.....	28
Equação 2 - Velocidade relativa sentido oposto.....	28
Equação 3 - Velocidade Relativa .....	29
Equação 4: Fator de Lorentz .....	33
Equação 5 - Dilatação do tempo .....	33
Equação 6 - Energia Mecânica .....	35
Equação 7 - Momento Linear .....	36
Equação 8 - Momentos após uma colisão .....	36
Equação 9 - Coeficiente de Restituição .....	36
Equação 10 - Energia Quantizada .....	39
Equação 11- Energia Cinética Máxima .....	41
Equação 12 - Energia Cinética restante.....	41
Equação 13 - Momento Linear em função da freqüência.....	42
Equação 14 - Momento Linear em função do comprimento de onda .....	42
Equação 15 - Relação entre as escalas termométricas .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS

FAEMA	Faculdade de Educação e Meio Ambiente
LHC	Large Hadron Collider (Grande Colisor de Hádrons)
MEC	Ministério da Educação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares PCN
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PNLEM	Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVO GERAL</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	16
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	17
4.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
4.1.2 <b>Análise dos Livros Didáticos para o Ensino Médio</b> .....	18
4.1.2.1 <b>“Física: Ensino Médio”, de Antônio Luz e Beatriz Alvares, editora Scipione, volumes 1, 2 e 3</b> .....	20
4.1.2.2 <b>“Física: Ciência e Tecnologia”, de Paulo César Martins Penteado e Carlos Magno Azinaro Torres, editora Moderna, volumes 1, 2 e 3</b> .....	22
4.1.2.3 <b>“Universo da Física”, de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada, editora Atual, volumes 1, 2 e 3</b> .....	23
4.1.2.4 <b>“Física”, de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada, editora Atual, volume único</b> .....	24
4.1.2.5 <b>“Física”, de Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano, editora Scipione, volume único</b> .....	25
4.1.2.6 <b>“Física”, de Alberto Gaspar, editora Ática, volume único</b> .....	26
4.1.2.7 <b>“Física Completa”, Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno, Valter Bonjorno e Clinton Marcico Ramos, editora FTD, volume único</b> .....	26
4.1.3 <b>Proposta para inserção da Física Moderna no Ensino Médio</b> .....	27
4.1.3.1. <b>Velocidade Relativa e Teoria da Relatividade</b> .....	27
4.1.3.2 <b>Choques Mecânicos e Efeito Fotoelétrico</b> .....	34
4.1.3.3 <b>Escalas Termométricas (Kelvin) e Nível de Fermi</b> .....	43
4.1.3.4 <b>Transmissão de Calor e Radioatividade</b> .....	46
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	52
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53
<b>ANEXO – FICHA DE AVALIAÇÃO DO PNLEM/2007</b> .....	57
<b>APÊNDICE A</b> .....	63
<b>APÊNDICE B</b> .....	69
<b>APÊNDICE C</b> .....	75
<b>APÊNDICE D</b> .....	79
<b>APÊNDICE E</b> .....	84

## INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade grandes pensadores buscavam respostas para questões essenciais sobre o Universo. Indagações profundas que vão além do famigerado “de onde viemos e para onde vamos?” e que por séculos fomentaram a curiosidade, imaginação e empenho dos chamados filósofos naturais. Um desses questionamentos teve sua origem na Grécia de 600 a. C. e pode ser sintetizado na pergunta: de que é feito o Universo? A resposta mais aceita até então era a teoria de Empédocles de que tudo era composto da combinação dos elementos terra, fogo, água e ar. Entretanto, de acordo com Ostermann (1998, p. 415), somente com Leucipo (490 a.C) e seu discípulo Demócrito (470 – 380 a.C) foi criado o termo “átomo”, que em grego significa “o que não pode ser dividido”. Na visão dos gregos é uma partícula infinitamente pequena e indestrutível que compõem todas as coisas.

Com o tempo, grandes cientistas postularam as hipóteses sobre os modelos atômicos, de John Dalton, passando por J. J. Thomson, Ernest Rutherford até Niels Bohr e Arnold Sommerfeld. Cada um lançou uma luz sobre as limitações na teoria de seu predecessor, algo muito comum na história da Ciência.

Para ilustrar essa última consideração, basta levar em conta que, entre o primeiro e o mais moderno modelo atômico, a humanidade vislumbrou grandes gênios das ciências. Dois deles foram responsáveis por sistematizar as leis que regem os principais fenômenos naturais: o inglês Isaac Newton e o escocês James Clerk Maxwell.

O primeiro praticamente unificou as leis que descrevem os movimentos de corpos sob a ação de forças. Sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural) é considerada um marco na História da Ciência:

[...] inicia, com sua obra de síntese científica, um novo período na história da física, que completa a obra de Galileu, no domínio da mecânica, estendendo-se também para outros campos da física. Na sua célebre obra *Principia* em 1687, todos os corpos existem no espaço e no tempo e os fenômenos têm por suporte a matéria e como causa a força (ARAGÃO, 2006, p. 12)

Tamanha a importância e o prestígio de Sir Isaac Newton, que o famoso poeta inglês Alexander Pope escreveu o seguinte epitáfio para Newton: “Na noite se escondiam a Natureza e suas leis. Deus disse: ‘Que surja Newton!’, e tudo foi luz.”<sup>1</sup>

Já Maxwell, que se dedicou ao estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos, unificou as leis da eletricidade e do magnetismo, culminando com as importantes equações que levam seu nome e, segundo Knigh (2009, p. 1096) “As equações de Maxwell nos levam ao auge da física clássica”. A Física denominou de Mecânica Clássica os estudos de Newton e de Eletromagnetismo Clássico as descobertas de Maxwell, sendo a base para a conhecida Física Clássica.

No final do século XIX e nas três primeiras décadas do século XX, uma nova ciência surgiu como contraponto à Física Clássica, exatamente em questões que a “antiga ciência” não podia explicar ou apresentava falhas. Essa nova ciência se embasa nas hipóteses levantadas em detrimento aos experimentos acerca da radiação de cavidade e da teoria atômica que não podiam ser explicadas utilizando a mecânica newtoniana. Para resolver esses problemas, novas hipóteses foram levantadas, abandonando muito do que se acreditava até aquele momento, surgindo então a Física Moderna, que rompe definitivamente o domínio de mais de duzentos anos das teorias de Isaac Newton. Para Medeiros (2008, p. 3) a Física Moderna “no sentido lato, é a teoria que descreve e explica o Universo”.

Em seu início, a Física Moderna teve como expoentes a Teoria da Relatividade de Albert Einstein e a Teoria Quântica de Max Planck. Na primeira teoria, Einstein demonstra matematicamente como os corpos se comportam a velocidades próximas à velocidade da luz e como o tempo e o espaço, considerados absolutos na teoria de Isaac Newton, são afetados quando um corpo se movimenta à essa velocidade. Além disso, Einstein dedicou-se ao estudo do efeito fotoelétrico, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1921.

Max Planck, com o intento de explicar a radiação emitida por um corpo aquecido, abandona o determinismo da mecânica clássica e postula que a troca de energia entre paredes de um radiador de cavidade é quantizada, chegando assim à importante relação entre a frequência da radiação emitida e a energia. Essa relação seria proporcional a uma constante chamada constante de Planck ( $h$ ) que caracteriza a distinção entre a ciência clássica e a ciência moderna.

---

<sup>1</sup> Inscrição do túmulo de Isaac Newton na Abadia de Westminster, em Londres, Inglaterra

A Física é a ciência que tem por finalidade analisar as leis que regem o Universo, as interações entre matéria e energia e as causas e conseqüência de fenômenos naturais, por isso, geralmente é definida como a “Ciência da Natureza”. É papel da Física buscar explicações para fenômenos que vão desde interações subatômicas às transformações ocorridas em galáxias distantes; compreensão do decaimento de um material radioativo à criação de matéria devido a explosão de uma supernova. Esses fenômenos podem ser objeto de estudo tanto cientistas e acadêmicos do ensino superior de física quanto de alunos do ensino médio.

Entretanto, para isso é necessário compreender essa ciência em sua plenitude, acompanhar os avanços e descobertas dos últimos anos e reconhecer que o desenvolvimento científico das últimas décadas e as tecnologias atuais não podem mais ser explicados por conceitos formulados a centenas de anos. Contudo, não se trata de negar toda a evolução da ciência ao longo dos anos, pois nas palavras de Biezunski (1993, p. 10) a Física Moderna “[...] é herdeira de desenvolvimentos que remontam geralmente à época de Galileu no que respeita à física clássica”.

Como exemplo, pode ser citado o famoso acelerador de partículas LHC – Large Hadron Collider (em português, Grande Colisor de Hádrons), localizado próximo à Genebra, na Suíça e criado por uma organização européia. O invento teve grande destaque na mídia, gerou polêmica e expectativas, além de ter sido o centro de debates entre físicos do mundo inteiro em virtude de ter como um de seus objetivos a identificação do bóson de Higgs, também conhecida como a “partícula de Deus”. O bóson de Higgs, até então hipotético, teria propriedade de fornecer massa às partículas, o que transformaria gases cósmicos em galáxias, estrelas e planetas. No entanto, para compreender o funcionamento e a finalidade do acelerador é necessária ao menos uma noção de Física Moderna, caso contrário, um dos maiores eventos da ciência pode ser confundido com um mero espetáculo pirotécnico que consumiu milhões de euros para ser realizado.

Diante dessa realidade, um professor de Física do Ensino Médio não poderia explicar um fenômeno dessa proporção usando somente a “Física newtoniana” e um questionamento é se os livros didáticos estão adaptados para essa nova ciência, diante da importância do estudo da Física Moderna, pois é necessária uma revisão dos métodos e conteúdos ministrados no Ensino Médio:

Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual idéias revolucionárias mudaram a ciência totalmente.

(OSTERMANN e MOREIRA, 2000, p. 24)

Os PCNEM de Física também orientam sobre a importância da Física Moderna para o cotidiano dos jovens, sobretudo no que tange à tecnologia:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores.

(BRASIL, 2000, p. 19)

Portanto, seria de extrema importância usar a Física para despertar a curiosidade, o interesse e atenção dos alunos do Ensino Médio, proporcionando-lhes uma visão completa do mundo que os cercam.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Apresentar uma proposta metodológica para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio, simultaneamente ao ensino da Física Clássica

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar como os livros didáticos do Ensino Médio abordam a Física Moderna;
- Elaborar um material didático que possibilite o ensino da Física Moderna simultaneamente ao ensino da Física Clássica.

#### 4. METODOLOGIA

Baseado nos critérios definidos pelo Ministério da Educação – MEC para a qualificação dos livros didáticos, foram analisadas as principais obras de Física destinadas às escolas públicas do Estado de Rondônia e ofertadas pelo Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio – PNLEM, objetivando averiguar como a Física Moderna é tratada pelos principais livros destinados a esse nível de ensino. Ao todo, foram analisados sete livros didáticos, sendo que seis foram devidamente aprovados pelo MEC para comporem o PNLEM: "Física: Ensino Médio", de Luz e Álvares, "Física: Ciência e Tecnologia", de Penteado e Torres, "Universo da Física" de Sampaio e Calçada, "Física", de Sampaio e Calçada (volume único), "Física", de Gonçalves Filho e Toscano, "Física", de Gaspar. Já a obra "Física Completa", de Bonjorno, mesmo não fazendo parte do PNLEM, foi escolhida para análise por estar no mercado há muitos anos e por ser muito popular no meio docente das escolas públicas, sendo bastante utilizada como material de apoio.

Como propostas para inserção da Física Moderna no Ensino Médio, foram apresentados quatro temas devidamente selecionados da Física Clássica e suas respectivas correspondências na Física Moderna: Velocidade Relativa e Teoria da Relatividade, Choques Mecânicos e Efeito Fotoelétrico, Escalas Termométricas (Kelvin) e Nível de Fermi, Transmissão de Calor e Radioatividade. Os conteúdos foram escolhidos em virtude de sua relevância para o Ensino Médio, bem como foi levada em consideração a aplicação da Física Moderna em um grau que possibilitasse a compreensão dos alunos daquele nível de ensino. Logo, os conceitos, as teorias e, sobretudo os cálculos são apresentados a altura da clientela a qual este projeto se destina.

Entretanto, para que fosse possível realizar essa junção, foi necessária uma revisão da literatura específica de Física, com o intuito de dar fundamentação teórica e proporcionar um entendimento mais aprofundado dos aspectos clássicos e quânticos da ciência.

Como instrumento de integração entre as "duas Físicas", foram produzidos fascículos onde a Física Moderna é abordada concomitantemente ao ensino da Física Clássica. Os assuntos começam com uma contextualização e culminam com uma aplicação, objetivando o reconhecimento da importância dos temas. Há ainda um bom número de exercícios ao final de cada assunto, além de propor algumas

pesquisas relevantes. Do ponto de vista técnico, os fascículos foram criados utilizando o programa Microsoft Publisher 2007, um aplicativo do Office pouco conhecido, mas que possibilita criar e editar publicações de maneira relativamente simples. A maior parte das imagens foi elaborada com programas de edição para evitar problemas com direitos autorais e aquelas que não foram produzidas, tiveram suas fontes devidamente citadas. Tais fascículos poderão ser utilizados como material de apoio por professores de Física que compartilhem das mesmas aspirações.

Contudo, o ponto crítico na produção desses fascículos foi o processo de leitura para adquirir embasamento para sua elaboração. Diversas obras foram consultadas para dar sustentação ao objeto de aplicação desse estudo, pois, conforme Perfetti e Scortecci (2007, p. 135) “além de observar, a leitura é primordial. Leia muito! Ler significa entrar em contato com a língua portuguesa. Da leitura tiramos as substâncias, a essência para começar a escrever.”

#### 4.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1.2 Análise dos Livros Didáticos para o Ensino Médio

Como já fora exposto, a Física Moderna representa um fator importante no ensino de ciências para alunos do Ensino Médio. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM, complementados pelos PCN+, reforçam a importância de a Física formar cidadãos dentro de um contexto atual:

A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade.  
(BRASIL, 2000, p. 01)

Esse papel de manter a Física atualizada e a cada dia presente no cotidiano das pessoas é representado pela Física Moderna. Não obstante o que já fora citado a respeito da compreensão de diversos fenômenos, destaca-se a opinião de duas educadoras que propuseram a utilização de experimentos de Física Moderna nas três séries do Ensino Médio:

A introdução de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio tem sido abordada por muitos pesquisadores na área de ensino, já que o seu entendimento é visto como uma necessidade para compreender os fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes, sejam elas de origem natural ou tecnológica.  
(CAVALCANTE e TAVOLARO, 2007, p. xiii)

Logo, é esperado que um livro didático de Física proporcione o acesso dos alunos a esse conhecimento comprovadamente importante para sua formação. Assim, no ano de 2008 o Ministério da Educação – MEC, solicitou aos professores das redes públicas que selecionassem os livros a serem utilizados a partir de 2009, ano em que pela primeira vez houve distribuição de livros de Física. Os livros foram analisados pelo MEC e os títulos de Física aprovados para o PNLEM foram relacionados mediante Portaria nº 366, de 31 de janeiro de 2006 e as editoras começaram a enviar exemplares para a análise dos professores.

Em Rondônia, a seleção ocorreu em duas etapas: Na primeira, cada escola escolheu seu livro didático conforme análise e parecer dos professores da área. Em seguida, houve uma assembléia em nível municipal para uniformizar a escolha, de modo que todas as escolas daquele município adotassem o mesmo livro. Essa medida visava possibilitar que um aluno transferido de uma escola para outra dentro do mesmo município usasse o mesmo livro e em caso de falta de livros, que uma escola pudesse suprir a outra, sem necessidade de aguardar a chegada de mais livros da editora.

Para o MEC o livro didático deve:

[...] oferecer informações atualizadas, de forma a apoiar a formação continuada do professores, na maioria das vezes impossibilitados, pela demanda de trabalho, de atualizar-se em sua área específica. Dessa forma, a escolha do livro deve ser criteriosa e afinada com as características da escola, dos alunos e com o contexto educacional em que estão inseridos.  
(BRASIL, 2007, p. 17)

Tal citação a respeito de atualizações fortalece a importância e a necessidade do ensino da Física Moderna e, conseqüentemente, sua abordagem em livros do Ensino Médio.

Portanto, a análise dos livros didáticos está baseada nos Critérios de Qualificação definidos pelo MEC através do Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio – PNLEM/2007 (que podem ser verificados no Anexo deste

estudo). Foram analisados os aspectos gerais das obras, contudo, como o objeto de estudo é a Física Moderna, foi dada ênfase aos Critérios de Qualificação de números 36 e 37, que respectivamente questionam se o livro oferece:

Estímulo ao uso do conhecimento científico como elemento para a compreensão dos problemas contemporâneos, para a tomada de decisões e a inserção dos alunos em sua realidade social.

Proposição de discussões sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, dando elementos para a formação de um cidadão capaz de apreciar criticamente e posicionar-se diante das contribuições e dos impactos da Ciência e da Tecnologia sobre a vida social e individual.  
(BRASIL, 2007, p. 65)

Também foi elaborado um formulário de avaliação próprio com base nas concepções já expostas a respeito da Física Moderna e que visa analisar de maneira específica a forma como os livros de Ensino Médio tratam a ciência. O resultado é apresentado no Apêndice “E” deste estudo. Como há critérios propostos para avaliar as obras no que se refere aos aspectos contemporâneos da Ciência, a seguir, será relatada a análise dos livros didáticos aprovados pelo MEC para o PNLEM.

#### 4.1.2.1 “Física: Ensino Médio”, de Antônio Luz e Beatriz Álvares, editora Scipione, volumes 1, 2 e 3.



Figura 1 - Coleção "Física: Ensino Médio", de Máximo e Alvarenga

De um modo geral, é um livro muito bem contextualizado, que relaciona os conteúdos apresentados com situações cotidianas. Os conceitos são precedidos de exemplos concretos, abordagens históricas, com linguagem clara e simples. Há ainda exercícios em bom número, distribuídos por grau de dificuldade, com boa variedade de exemplos resolvidos. Apresenta ainda interdisciplinaridade, visto que faz referência a diversas áreas do conhecimento, interligando-as com a Física. Com tantos atributos, a obra foi escolhida para ser utilizada nas escolas estaduais de Ariquemes a partir de 2009.

Em relação à Física Moderna há poucas correspondências entre os conceitos clássicos e modernos no momento em que os primeiros são apresentados, como por exemplo, no final do Capítulo 9 do volume 2, onde sucintamente se refere à descoberta do nêutron e no final do capítulo 22 (como um tópico especial) aborda o acelerador de partículas ciclotrón. Finalmente no Capítulo 25 do volume 3 (o último capítulo do livro), intitulado “A Nova Física”, os autores apresentam uma síntese de algumas teorias quânticas e alguns tópicos de cosmologia. O livro inclusive faz referência aos aceleradores de partícula, situando historicamente a descoberta dos hádrons, quarks e léptons e até mesmo expondo as características dessas partículas.

Nos outros volumes há alguns tópicos relacionados à Física Moderna, como por exemplo, no Capítulo 15 do volume 2, ao tratar da refração da luz, o livro aborda de maneira resumida a teoria de Einstein sobre a expansão do universo e a Teoria da Relatividade Restrita. No mesmo volume, um tópico no final do capítulo 15 cita o modelo corpuscular da luz e faz uma breve referência à dualidade onda partícula, entretanto o efeito fotoelétrico não é citado. Há ainda outros pontos abordados como apêndice de capítulos e muito poucos com referência direta ou contraponto ao conceito clássico.

Finalizando a análise, fica a impressão de que, apesar de discutir alguns dos temas mais relevantes Física Moderna ao longo do texto, o livro poderia ressaltar em quais pontos os conhecimentos atuais suplantam ou complementam a Física Clássica. Contudo, dentre os livros analisados é um dos que melhor abordam a Física Moderna.

#### 4.1.2.2 “Física: Ciência e Tecnologia”, de Paulo César Martins Penteadó e Carlos Magno Azinaro Torres, editora Moderna, volumes 1, 2 e 3



Figura 2 - Coleção "Física: Ciência e Tecnologia", de Penteadó e Torres

Um livro dinâmico, que mais parece uma revista e obviamente chama a atenção do leitor. Apresenta muitas gravuras, caixas de texto bem localizadas, conceituação clara e boa contextualização. Os exercícios, em sua maioria, são retirados de vestibulares e outros processos seletivos e são em bom número, apesar de não haver uma escala de nível de dificuldade. Após a avaliação da obra em 2008, os professores de Ariquemes avaliaram que no quesito contextualização essa coleção foi superada pela de Luz e Álvares, ficando como segunda opção na escolha dos livros didáticos.

Em se tratando de Física Moderna essa obra é diferenciada e, não fosse um detalhe que será relatado a seguir, poderia ser considerada ideal sob o ponto de vista da proposta deste estudo. Há três capítulos inteiros dedicados ao assunto (Capítulos 5, 6 e 7 do volume 3), com abordagem clara e excelente embasamento histórico. O Capítulo 5 trata da Teoria da Relatividade com maestria e excelentes meios didáticos, muitas ilustrações e apesar da linguagem simples, não perde qualidade conceitual. O Capítulo 6 trata da Física Quântica com as mesmas características do capítulo anterior, citando Max Planck, o efeito fotoelétrico, o modelo atômico de Bohr, dentre outros. Já o Capítulo 7 trata da radioatividade com ênfase nos seus efeitos ao corpo humano e suas aplicações médicas e bélicas, tudo isso sem deixar de descrever física e matematicamente os processos de decaimento radioativo, fusão e fissão nuclear.

O “detalhe” citado no parágrafo acima, que tira da coleção de Penteado e Torres a condição de ideal no que se refere à Física Moderna, é justamente o fato dos Capítulos 5, 6 e 7 serem os capítulos finais do último volume da obra. Fatores como calendário escolar apertado, planejamento anual que privilegia alguns conteúdos em detrimento a outros além do despreparo de alguns professores, tornam quase impossível alcançar esses fantásticos capítulos dentro do ano letivo regular.

Uma opção seria a inserção desses capítulos em concomitância com os conceitos clássicos que possibilitam a interação direta com a Física Moderna, como por exemplo, ao tratar de ondulatória ou de óptica no 2º ano (volume 2) abordar a dualidade onda - partícula da luz. Ou ao tratar de choques mecânicos no volume 1 tratar também das colisões de partículas subatômicas. Apesar desse contratempo, ao final desta análise, o leitor poderá notar que esta obra aparenta ser a mais completa em se tratando de elementos da Física Moderna.

#### 4.1.2.3 “Universo da Física”, de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada, editora Atual, volumes 1, 2 e 3.



Figura 3 - Coleção "Universo da Física" de Sampaio e Calçada

Uma obra com boa contextualização, com seções interessantes como “Não é bem assim” que trata de elucidar conceitos incorretos utilizados freqüentemente; “Física no devido tempo”: a vida e obra de grandes físicos e “Você pode fazer”: experimentos fáceis e bastante significativos.

Os exercícios são em bom número, mas na maioria dos capítulos se referem apenas à aplicação de formulas, havendo poucos exercícios conceituais.

Em relação à Física Moderna, a obra apresenta poucos tópicos ao longo dos volumes. No volume 1, ao tratar das Leis de Newton no Capítulo 10, em um apêndice o livro faz referência às limitações dessas leis quando corpos se aproximam da velocidade da luz. No mesmo volume, igualmente em um apêndice, cita os fótons, indicando que a luz também tem quantidade de movimento (Capítulo 17). Enquanto no volume 2 não há referências à Física Moderna, o volume 3 tem dois capítulos voltados ao assunto. Novamente, há o problema de serem os últimos capítulos do livro além de não apresentar nada sobre radioatividade. Contudo, a relatividade é bem descrita e a abordagem à Mecânica Quântica é satisfatória.

#### **4.1.2.4 “Física”, de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada, editora Atual, volume único.**

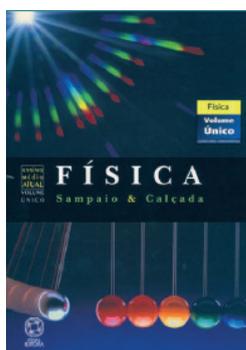


Figura 4 - "Física", de Sampaio e Calçada (volume único)

Uma obra mais sintetizada dos mesmos autores da obra “Universo da Física”, contudo essa em volume único. Apresenta as mesmas características da obra em três volumes, entretanto, em Rondônia as coleções de volumes únicos não foram bem aceitas, em virtude da deterioração que os livros sofrem de um ano para outro. Logo, até a próxima escolha nacional, os livros não teriam condições de uso.

#### 4.1.2.5 “Física”, de Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano, editora Scipione, volume único.

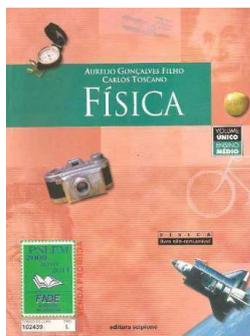


Figura 5 - "Física", de Gonçalves Filho e Toscano (volume único)

O livro apresenta boa contextualização, prioriza a problematização e situa as descobertas científicas no contexto histórico. Há exercícios em boa quantidade e bem distribuídos por grau de dificuldade. Há ainda propostas de experimentos simples que podem ser feitos pelos próprios alunos. A obra apresenta uma proposta metodológica diferenciada ao apresentar a cinemática vetorial e escalar em “Capítulos Complementares”.

No que diz respeito à Física Moderna, o livro apresenta uma rápida introdução ressaltando que a Física é uma “ciência em transformação” (entretanto sem muitos detalhes), um apêndice sobre energia relativística ao final do capítulo “Energia”, um breve tratado sobre a dualidade onda-partícula da luz no capítulo sobre Óptica e alguns breves comentários em outros capítulos. Em alguns pontos, intenção dos autores se assemelha com a proposta deste estudo, pois a obra apresenta algumas inserções da Física Moderna no decorrer dos capítulos, ainda que de forma sucinta.

#### 4.1.2.6 “Física”, de Alberto Gaspar, editora Ática, volume único.

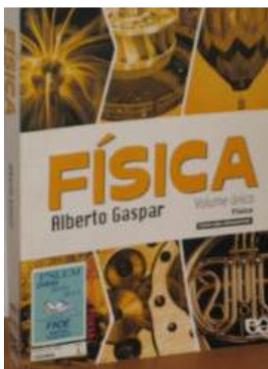


Figura 6 - “Física”, de Gaspar (volume único)

Tem boa contextualização, geralmente iniciando os conteúdos com exemplos práticos. Apresenta exercícios em boa quantidade e possui pontos onde há interdisciplinaridade. Um ponto negativo é referente às dimensões do livro, principalmente a espessura, pois se trata de uma obra de 552 páginas, inapropriado para adolescentes que provavelmente reclamariam de sua massa.

Quanto à Física Moderna, a exemplo dos outros livros, há no último capítulo alguns itens sobre o tema, tudo de forma muito resumida. Não foram verificadas inserções do tema no decorrer do livro.

#### 4.1.2.7 “Física Completa”, Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno, Valter Bonjorno e Clinton Marcico Ramos, editora FTD, volume único.



Figura 7 - "Física Completa, de Bonjorno (volume único)

Apesar de não ter participado do PNLEM/2007, o livro é muito utilizado por professores de Física em Ariquemes. Em parte da obra é possível notar o padrão

tradicional “conceito-fórmula-exercícios”, onde os conceitos são definidos de forma direta, geralmente no início de cada unidade, sendo seguido por fórmulas, em sua maioria sem demonstração ou dedução, como por exemplo, na Unidade XII – reflexão da luz, no item 4, apresenta um esquema do espelho plano, define o objeto e no próximo item já apresenta as Leis da reflexão. Tal característica também fica evidente na Unidade X – Termodinâmica, que mesmo sendo um tema com grande aplicabilidade, tem seu início marcado pela definição do termo, seguido de conceitos sobre energia interna, algumas fórmulas e gráficos de trabalho de um sistema.

O ponto forte são os exercícios em grande número e em diversos níveis de dificuldade, fator que provavelmente alavancou a predileção do livro para uma grande parcela da docência.

Não há nenhuma referência relevante à Física Moderna na obra.

#### **4.1.3 Proposta para inserção da Física Moderna no Ensino Médio**

Foram escolhidos os seguintes pares de temas para inserção da Física Moderna no Ensino Médio de forma concomitante à Física Clássica: Velocidade Relativa e Teoria da Relatividade, Choques Mecânicos e Efeito Fotoelétrico, Escalas Termométricas (Kelvin) e Nível de Fermi, Transmissão de Calor e Radioatividade.

##### **4.1.3.1. Velocidade Relativa e Teoria da Relatividade**

###### **a) Velocidade Relativa**

O conceito de velocidade relativa é ensinado na 1ª série do Ensino Médio, dentro do conteúdo de Cinemática, um ramo da Mecânica que se ocupa de estudar o movimento dos corpos, sem referência às suas causas. A velocidade relativa é baseada no princípio de que o estado de movimento de um corpo depende do referencial no qual um observador se encontra em relação aos corpos em movimento e é muitas vezes ensinada como uma alternativa para a resolução de problemas que envolvem encontro de móveis e ultrapassagem no Movimento Uniforme.

Considerando dois móveis A e B deslocando-se em uma mesma trajetória com velocidades escalares constantes respectivamente iguais a  $v_A$  e  $v_B$ , a velocidade relativa de A em relação a B ( $v_{rel}$ ) é dada pela diferença entre as velocidades escalares, de modo que um deles é tomado como referência e comporta-se como se estivesse em repouso, enquanto o outro se aproxima ou se afasta com a velocidade relativa em questão.

Para fins de cálculo, existem duas regras práticas:

1ª) Móveis na mesma direção e sentido e sendo  $V_A > V_B$ : A velocidade relativa será igual à diferença entre os módulos das duas velocidades.

$$v_{rel} = |v_A| - |v_B| \quad \text{Equação 1 - Velocidade relativa mesmo sentido}$$

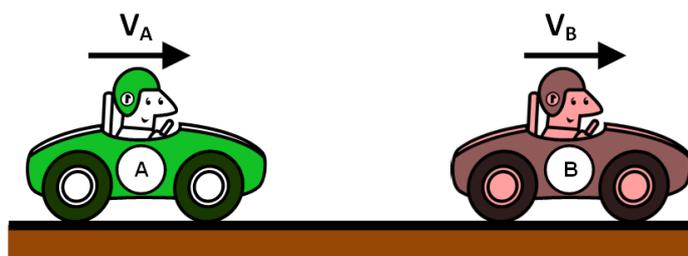


Figura 8 - Velocidade relativa mesmo sentido

2ª) Móveis em sentidos opostos: A velocidade relativa será igual à soma entre os módulos das duas velocidades.

$$v_{rel} = |v_A| + |v_B| \quad \text{Equação 2 - Velocidade relativa sentido oposto}$$

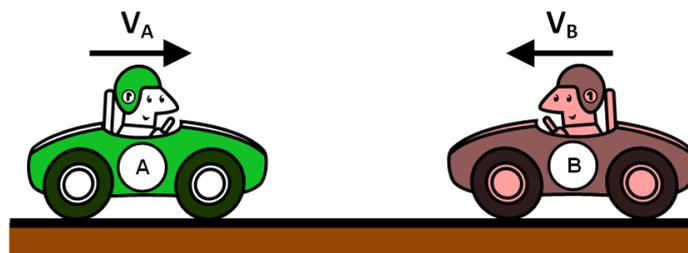


Figura 9 - Velocidade relativa sentido oposto

Considere as velocidades A e B constantes, a velocidade relativa e o espaço entre os móveis A e B serão igualmente relativos:

$$v_{rel} = \frac{\Delta S_{rel}}{\Delta t}$$

Equação 3 - Velocidade Relativa

É relevante ressaltar que tanto a velocidade quanto o espaço são abordados como conceitos relativos enquanto o tempo é tido como absoluto nesses movimentos. É exatamente nesse ponto que seria interessante abordar a Teoria da Relatividade de Einstein e a dilatação do tempo.

### **b) Teoria da Relatividade**

Albert Einstein (1879 – 1955) foi um físico alemão considerado por muitos o maior gênio da humanidade de todos os tempos e reconhecidamente o cientista mais célebre do século XX.

Ele se tornou um mito sem similar – o Einstein das roupas amarrotadas, da cabeça grande, do cabelo desgrenhado; o Einstein ingênuo e distraído, e, no entanto obviamente dotado de uma mente superior.[...] Para compreender Einstein verdadeiramente temos fazer uma tentativa de compreender sua ciência.  
(BRENNAN, 2003, p. 59)

Einstein foi o principal responsável por dois grandes feitos que revolucionaram o mundo científico e conseqüentemente a sociedade: o Efeito Fotoelétrico e a Teoria da Relatividade, que se divide em Relatividade Geral e Relatividade Restrita. Para a finalidade a qual o presente estudo se destina, será abordada somente a Relatividade restrita.

A Teoria da Relatividade Restrita está baseada em dois importantes postulados:

- 1º) As leis da Física são as mesmas para todos os referenciais inerciais.
- 2º) O módulo da velocidade da luz no vácuo é sempre o mesmo, independente do referencial inercial adotado.

Apesar de o primeiro postulado enfatizar as leis de Newton, o “pai” da Mecânica Clássica errou ao considerar o tempo como absoluto e independente de referencial, ou seja, a simultaneidade de Isaac Newton fora suplantada pela relatividade de Einstein.

O instante do tempo de um evento é definido como o resultado da leitura do mostrador do relógio coincidente com o evento e em repouso em relação a esse evento. Não precisamos discutir simultaneidade de eventos que ocorrem na mesma localização física. Entretanto, eventos simultâneos em um sistema de referência não o são em outros. Nas palavras de Einstein: não é possível atribuir um significado absoluto ao conceito de simultaneidade. (PIRES, 2008, p. 309)

Tal consideração a respeito da relatividade temporal está condicionada ao fato de que a velocidade da luz no vácuo ser constante.

Partindo de uma situação hipotética, pretende-se demonstrar matematicamente essa teoria, representada na figura 10.

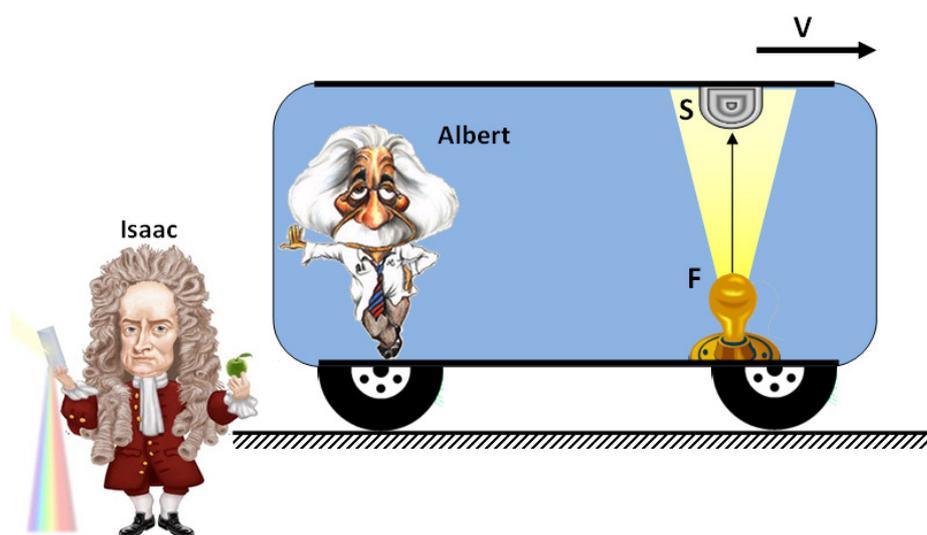


Figura 10 – Relatividade: o trem e os dois observadores (montagem com caricaturas de Gogue e Alex Pereira)

Considere um trem viajando a uma velocidade constante em relação ao solo. Nesse trem, há um passageiro que será chamado de “Albert”, apenas para fins de comparação. No assoalho do trem há uma fonte luminosa  $F$  que emite um feixe vertical detectado por um sensor  $S$  no teto do trem. A luz percorre uma distância  $\overline{FS}_A$  até o teto em um intervalo de tempo  $\Delta t_A$ . Sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo, é obtida a seguinte relação:

$$\Delta t_A = \frac{\overline{FS}_A}{c} \quad (1)$$

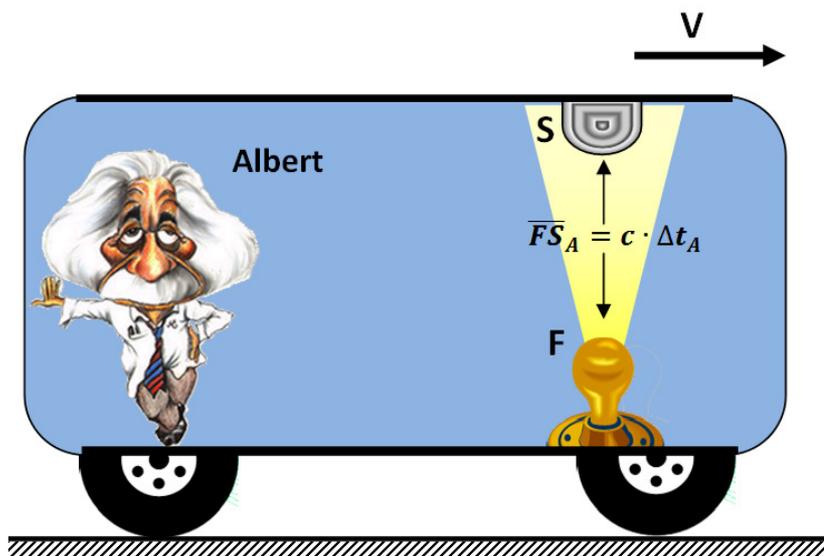


Figura 11 – Relatividade: o observador “Albert” dentro do trem (montagem com caricatura de Gogue)

Para outro observador identificado como “Isaac”, parado em relação ao solo, a luz faz o seguinte percurso:

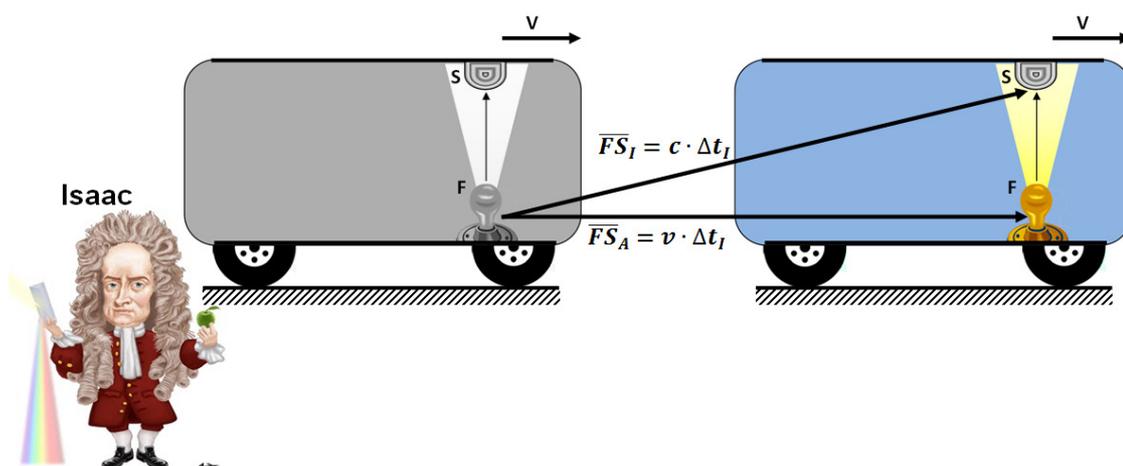


Figura 12 – Relatividade: o observador “Isaac” fora do trem (montagem com caricatura Alex Pereira)

De acordo com o Segundo Postulado de Einstein, a luz percorreu a distância  $FS$  com a velocidade constante  $c$ , em um intervalo de tempo  $\Delta t_I$ , cuja relação é:

$$\Delta t_I = \frac{\overline{FS}_I}{c} \quad (2)$$

O deslocamento do trem em relação ao solo é dado por:

$$\Delta S_I = v \cdot \Delta t_I \quad (3)$$

Contudo, o mais espantoso é a constatação de que a distância  $\overline{FS}_I$  (referencial do solo) é maior que a distância  $\overline{FS}_A$  (em relação ao trem) e como a velocidade da luz é constante, o intervalo de tempo  $\Delta t_I$  é maior que  $\Delta t_A$ . Portanto, o intervalo de tempo não é absoluto, mas relativo ao referencial em que se encontra.

Os deslocamentos da luz em relação ao solo e ao trem, bem como o deslocamento do trem em relação ao solo, formam o triângulo retângulo representado abaixo:

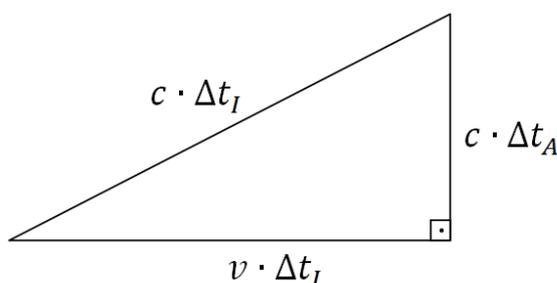


Figura 13 - Triângulo dos deslocamentos

Utilizando o Teorema de Pitágoras:

$$(c \cdot \Delta t_I)^2 = (v \cdot \Delta t_I)^2 + (c \cdot \Delta t_A)^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t_I^2 = v^2 \cdot \Delta t_I^2 + c^2 \cdot \Delta t_A^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t_I^2 - v^2 \cdot \Delta t_I^2 = c^2 \cdot \Delta t_A^2$$

$$(c^2 - v^2) \cdot \Delta t_I^2 = c^2 \cdot \Delta t_A^2$$

Dividindo ambos os membros por  $\frac{1}{c^2}$

$$\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \Delta t_I^2 = \Delta t_A^2$$

$$\Delta t_I^2 = \frac{\Delta t_A^2}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Extraindo a raiz quadrada dos dois membros:

$$\Delta t_I = \frac{\Delta t_A}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Para facilitar a representação, a expressão abaixo é utilizada:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \text{Equação 4: Fator de Lorentz}$$

Onde (4) é chamado Fator de Lorentz, que é uma das bases matemáticas para o estudo da relatividade. Como o fator de Lorentz é sempre maior que 1 ( $\gamma > 1$ ), tem-se a garantia de que  $\Delta t_I > \Delta t_A$ , logo, o intervalo de tempo dentro do trem é menor que o intervalo de tempo fora. Esse fenômeno conhecido como dilatação do tempo, só é possível para corpos que se movimentam à velocidades próximas a da luz. O intervalo de tempo dentro do trem, aqui representado por  $\Delta t_A$  é chamado de intervalo de tempo próprio e doravante será representado pelo símbolo  $\Delta t_0$ .

Quando dois eventos ocorrem no mesmo ponto de um referencial inercial o intervalo de tempo entre os eventos, medido nesse referencial, é chamado de intervalo de tempo próprio ou tempo próprio. Quando esse intervalo de tempo é medido em outro referencial o resultado é sempre maior que o intervalo de tempo próprio.

(HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009 p.153)

Portanto, o cálculo da equação da dilatação do tempo é dado por:

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0 \quad \text{Equação 5 - Dilatação do tempo}$$

Como exemplo de aplicação, pode ser abordado o clássico *Paradoxo dos Irmãos Gêmeos*, proposto pelo físico francês Paul Langevin (1872-1946), sendo este uma adaptação:

O paradoxo consiste no seguinte: dois irmãos gêmeos, José e Carlos, crescem juntos até a idade de 25 anos, quando Carlos é escolhido para realizar uma viagem a uma estrela [...]. Para realizar a viagem será utilizado um foguete que atinge a velocidade de 99% da velocidade da luz (0,99.c). Para José, na Terra, o tempo de viagem de Carlos será de 30,30 anos [...]. Para Carlos, que viajou, o tempo transcorrido (tempo próprio) será menor. (WOLF e MORS, 2005, p.45)

No exemplo supracitado é possível calcular o tempo próprio de Carlos (irmão que está na nave), adotando José como referencial inercial e usando as equações 4 e 5.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,99c}{c}\right)^2}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,9801}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{0,0199}}$$

$$\gamma = 7,08881205$$

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

$$30,30 = 7,08881205 \cdot \Delta t_0$$

$$\Delta t_0 = 4,27 \text{ anos}$$

Portanto, para Carlos, o viajante, o tempo transcorrido será de apenas 4,27 anos, de modo que ao retornar a Terra com uma idade de 29,27 anos encontrará seu irmão com 55,30 anos, ou seja, mais velho que ele. Contudo, se o referencial for invertido, agora adotando Carlos (dentro da nave), este verá seu irmão José se afastando da nave e isso implica em que o tempo próprio será registrado por José. É nesse ponto que ocorre o paradoxo: apenas mudando o referencial a idade dos irmãos varia? A resposta ao paradoxo está no fato de que o irmão que permaneceu em Terra é que deve ser tomado como referencial inercial e não o foguete, visto que este sofre processos de aceleração.

Tal exemplo também pode ser apresentado aos alunos do Ensino Médio para que façam considerações e compreendam que a relatividade temporal só é perceptível a velocidades próximas a da luz.

#### 4.1.3.2 Choques Mecânicos e Efeito Fotoelétrico

##### a) Choques Mecânicos

Esse conteúdo também é estudado na 1ª série do Ensino Médio dentro da Dinâmica, como aplicação dos conceitos de Conservação de Energia e Conservação da Quantidade de Movimento. É um conceito físico muito importante e de grande aplicabilidade no cotidiano, visto que pode proporcionar uma melhor compreensão

dos efeitos em colisões de veículos, estudo de balística, explosões e outros fenômenos que envolvam choques entre corpos.

Como pré-requisito para a compreensão de choques mecânicos é necessário entender o que é Energia, suas características e suas diversas manifestações. Contudo, é importante ressaltar que em muitos livros, o conceito de Energia é às vezes inconclusivo, dado a complexidade do tema e, segundo Talavera (2004, p.6), “energia não é um conceito que se encaixa perfeitamente em uma única sentença. Ela só pode ser percebida pelos efeitos que a acompanham”. É por essas indefinições que a energia é mais conhecida por sua máxima: A energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada.

Como exemplo de transformação de energia, vale analisar o movimento de uma bola lançada do solo verticalmente para cima e que depois desce em queda livre. Desprezando a resistência do ar, a bola é lançada com certa velocidade inicial que vai diminuindo à medida que o objeto se aproxima da altura máxima, onde a velocidade se anula, a bola passa a descer em queda livre e chega ao solo com velocidade máxima.

Nessa situação, é possível verificar dois tipos de energia, uma baseada no movimento, denominada Energia Cinética ( $E_c$ ) e outra que é fruto da atração gravitacional entre a bola e a Terra, conhecida como Energia Potencial ( $E_p$ ). Essa última energia baseia-se na interação bola-Terra, de modo que quando a bola se encontra a certa altura, o sistema bola-Terra possui uma energia armazenada que potencialmente pode ser convertida em  $E_c$  na queda livre. Outro fator relevante é que durante a subida a  $E_c$  da bola vai diminuindo ao passo que a  $E_p$  vai aumentando, enquanto que na queda ocorre o inverso. Assim, as duas formas de energia sofrem transformações mútuas ao longo do percurso, mas sua soma permanece constante, o que representa uma das bases da Física: o princípio da conservação de energia. De modo geral, em um sistema mecânico a energia encontra-se sob a forma de Energia Mecânica ( $E_m$ ), que corresponde à soma de  $E_c$  com  $E_p$ :

$$E_m = E_c + E_p \quad \text{Equação 6 - Energia Mecânica}$$

Vale ressaltar que  $E_p$  pode ser qualquer tipo de energia armazenada que depois pode ser convertida em  $E_c$ , como por exemplo, a energia potencial elástica e a energia potencial elétrica.

Outro princípio muito importante é o da conservação da quantidade de movimento, sistematizado pelo cientista e filósofo francês René Descartes (1596-1650) que em seu empenho em determinar o motivo pelo qual o movimento do Universo permanecia constante apesar da interação entre os corpos, chegou a uma grandeza que denominou de quantidade de movimento ( $p$ ), mais tarde conhecida como momento linear. A quantidade de movimento corresponde ao produto da massa de um corpo ( $m$ ) por sua velocidade ( $v$ ):

$$p = m \cdot v \quad \text{Equação 7 - Momento Linear}$$

Em um sistema mecanicamente isolado, ou seja, sem nenhuma ação de forças externas (ou que a resultante dessas forças seja nula ou que as mesmas sejam de intensidades desprezíveis em relação às forças do sistema) a quantidade de movimento é conservada, como por exemplo, na colisão entre duas esferas. A quantidade de movimento do sistema imediatamente antes da colisão ( $p_{\text{antes}}$ ) é igual à quantidade de movimento imediatamente após a colisão ( $p_{\text{depois}}$ ):

$$p_{\text{antes}} = p_{\text{depois}}$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$\text{Equação 8 - Momentos após uma colisão}$$

Entretanto movimento das esferas após a colisão depende do material que as compõe e da relação entre as velocidades de aproximação (antes da colisão:  $v_1$  e  $v_2$ ) e afastamento (após a colisão:  $v_1'$  e  $v_2'$ ). A relação entre a velocidade relativa de aproximação ( $V_{\text{aprox}}$ ) e a velocidade relativa de afastamento ( $V_{\text{afast}}$ ) recebe o nome de Coeficiente de Restituição ( $e$ ):

$$e = \frac{V_{\text{afast}}}{V_{\text{aprox}}} \quad \text{Equação 9 - Coeficiente de Restituição}$$

Se o coeficiente de restituição for igual a 1 ( $e = 1$ ) significa que ocorreu 100% de restituição do módulo de velocidade e toda a energia mecânica foi conservada,

ou seja, não foi transformada em outro tipo de energia. Esse tipo de choque é conhecido como choque perfeitamente elástico e pode ser exemplificado na figura abaixo:

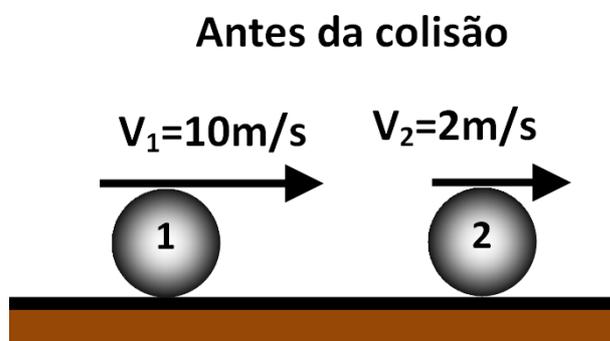


Figura 14 - Antes da colisão

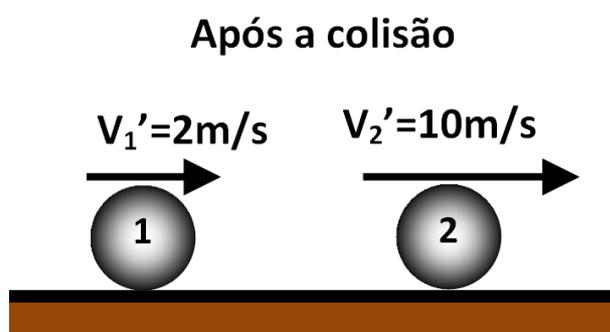


Figura 15 - Choque perfeitamente elástico após a colisão

Outro tipo de choque é o que ocorre com mais frequência no cotidiano, o parcialmente elástico, onde parte da energia cinética é preservada enquanto outra parte é convertida em outro tipo de energia, como calor e som. Nesse tipo de choque, o coeficiente de restituição é um valor entre zero e 1 ( $0 < e < 1$ ). É dado como exemplo, a situação representada na figura abaixo, onde, desprezando a resistência do ar, uma bola de borracha de massa 0,2 kg é abandonada de uma altura de 1,6 m, bate no solo e retorna a uma altura de 0,4 m.

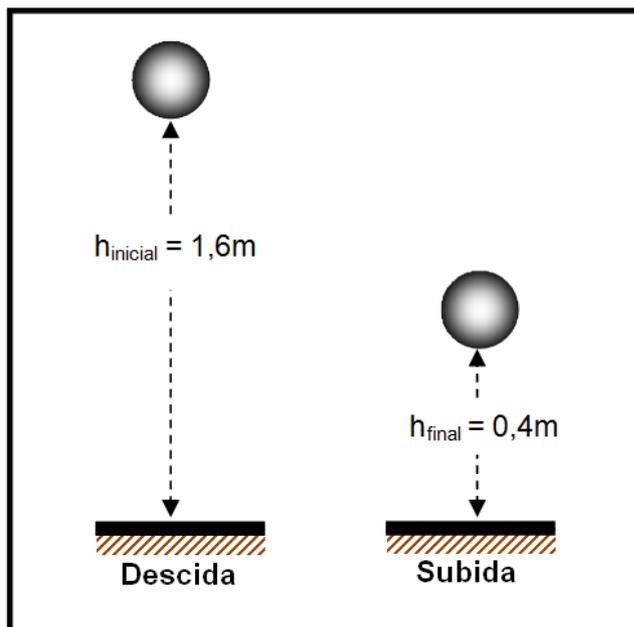


Figura 16 - Choque parcialmente elástico

É possível verificar que a bola de borracha perde Energia Mecânica em virtude da perda de Energia Potencial Gravitacional e realizando os devidos cálculos com as equações da queda livre, verifica-se que a velocidade de aproximação é igual  $\sqrt{1,6}$  enquanto a velocidade de afastamento vale  $\sqrt{0,4}$ . Portanto, o coeficiente de restituição é igual a 0,5 (meio), o que caracteriza um choque parcialmente elástico. Outro detalhe é que a Energia Mecânica na descida vale 3,2 joules, enquanto na subida é de 0,8 joules, o que denota uma perda de energia, que se dissipou em forma de som ou calor, por exemplo.

Por fim há um tipo de choque denominado perfeitamente inelástico quando não há restituição ( $e = 0$ ), ou seja, toda a energia mecânica é transformada em outro tipo de energia após o impacto, os corpos seguem unidos e conseqüentemente na mesma velocidade ou podem permanecer ambos em repouso.

Semelhante ao fenômeno em escala macroscópica são as interações de partículas, como as presentes no efeito fotoelétrico, que será exposto a seguir.

## b) Efeito Fotoelétrico

Novamente as atenções são voltadas para Albert Einstein e dessa vez para o estudo que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1921, o efeito fotoelétrico. A seleção desse tema se deve primeiramente a sua relevância para a ciência e para a sociedade de um modo geral e também por ter uma relação com os choques mecânicos, o que proporciona uma interação entre a Física estudada no Ensino Médio e a Física Quântica.

Existem algumas grandezas físicas que só podem ser representadas por números inteiros e por isso são chamadas de grandezas quantizadas e o *quantum* é a quantidade elementar para essa grandeza.

Em 1905, Albert Einstein propôs que a luz é quantizada e sua menor unidade é o fóton, cuja energia é emitida em pacotes discretos de energia  $E$  igual a:

$$E = h.f \quad \text{Equação 10 - Energia Quantizada}$$

Sendo  $h$  a constante de Planck ( $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s) e é o fator primordial na divisão entre a Física Clássica e a Quântica.

Essa foi uma época de convulsão e transformação no mundo da física. Não apenas Einstein e Planck como Rutherford, Bohr e Heisenberg estavam levantando questões e sugerindo novas respostas. Para por toda essa atividade em alguma perspectiva, cabe observar que a física anterior à teoria quântica é chamada de física clássica e a posterior é chamada de física moderna. Max Planck, portanto, marca efetivamente a transição. (BRENNAN, 2003, p. 59)

Einstein identificou que o processo de emissão ou absorção da luz ocorre no interior do átomo e que a absorção implicava na aniquilação do fóton, enquanto na emissão ocorria a sua criação. Entretanto, a mais notável constatação a respeito da luz foi determinar que a luz com comprimento de onda suficientemente pequena incidindo em um determinado metal pode provocar a emissão de elétrons desse metal, o que caracteriza o efeito fotoelétrico.

As figuras abaixo representam uma montagem experimental do efeito fotoelétrico e a emissão fotoelétrica, respectivamente:

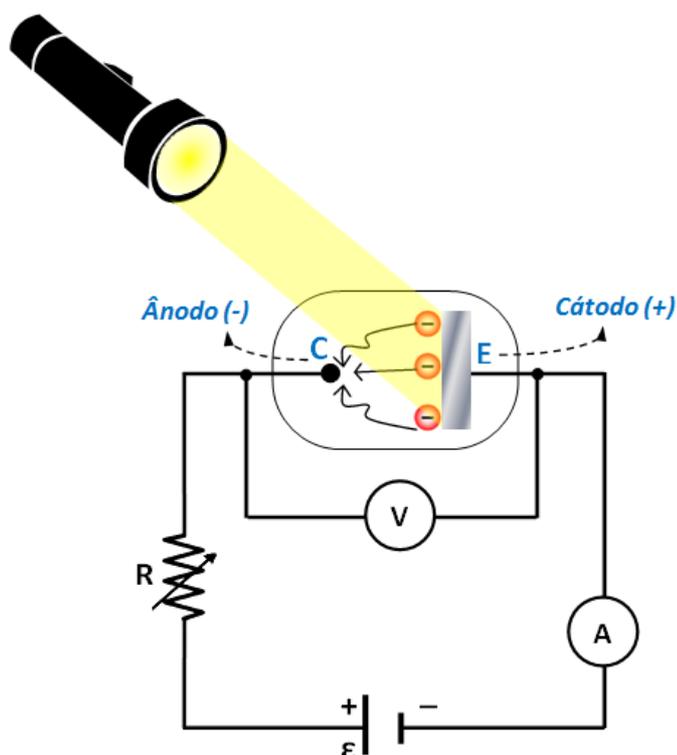


Figura 17 – Montagem experimental do Efeito Fotoelétrico

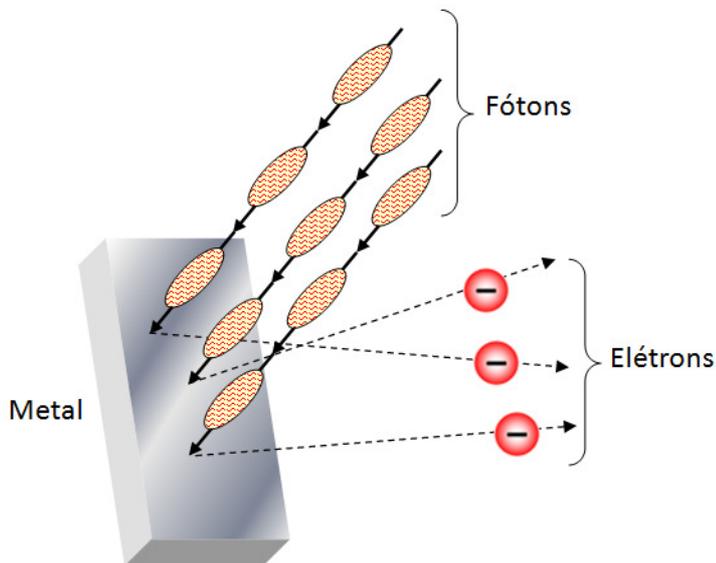


Figura 18 - Representação da emissão fotoelétrica

Trata-se de um tubo de vidro fechado a vácuo e uma placa de metal fotossensível. Em  $E$  há um eletrodo positivo (cátodo), denominado emissor, enquanto em  $C$ , o coletor, o eletrodo é negativo (ânodo). Quando não há luz incidindo na placa de metal, o amperímetro  $A$  não registra corrente elétrica. Mas, na presença de uma luz com determinado comprimento de onda é detectado uma

corrente elétrica entre  $E$  e  $C$ , em virtude do fluxo de elétrons saindo do emissor e indo para o coletor. Usando o reostato  $R$  é possível variar a diferença de potencial entre  $C$  e  $E$ , de modo a gerar uma corrente elétrica de intensidade máxima. Entretanto, se a polaridade da fonte elétrica  $\varepsilon$  for invertida, a intensidade da corrente elétrica é reduzida até se tornar nula. O potencial elétrico nessa etapa é chamado de potencial de corte ( $V_{\text{corte}}$ ) e os elétrons de maior energia são freados antes de chegarem a  $C$ , de modo que sua energia cinética máxima ( $K_{\text{max}}$ ) depende desse potencial de corte e da carga elementar do elétron ( $e$ ), é dada por:

$$K_{\text{max}} = e \cdot V_{\text{corte}} \quad \text{Equação 11- Energia Cinética Máxima}$$

Por meio desse experimento foi possível determinar que a energia cinética máxima não depende da intensidade da luz e sim de sua frequência, que se for maior que um valor específico de cada material, chamado frequência de corte ( $f_0$ ) poderá emitir um fóton:

Este resultado constitui outro mistério para a física clássica. Se a luz se comportasse apenas como uma onda eletromagnética teria energia suficiente para ejetar elétrons, qualquer que fosse a frequência, contanto que fosse suficientemente intensa. Entretanto, não é isso que acontece. Quando a frequência da luz é menor que a frequência de corte  $f_0$ , não são ejetados elétrons, por mais intensa que seja a luz.  
(HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 189)

Todavia, como já fora citado, para Einstein os fótons são pacotes de energia transportados por um energia definida pela equação (11) e cada fóton cede toda essa energia a um único elétron. Parte dessa energia é transformada em energia cinética da partícula, enquanto outra parte realiza a Função Trabalho ( $\Phi$ ), que é a energia mínima para que um elétron possa se desprender do metal ao qual está preso por forças elétricas. Dessa forma, a energia cinética do elétron é o que sobra após a função trabalho ser realizada:

$$K_{\text{max}} = hf - \Phi \quad \text{Equação 12 - Energia Cinética restante}$$

Einstein propôs ainda que os fótons possuem momento linear, matematicamente obtido pela equação que será demonstrada a seguir:

Conforme a equação 8

$$p = m \cdot v$$

Considerando as equações 11 e a equação de Einstein  $E = mc^2$  (reescrita, isolando-se a massa  $m$ ) e que a velocidade em questão é a da luz, a equação do momento linear se torna:

$$p = \frac{hf}{c^2} \cdot c$$

$$p = \frac{hf}{c} \quad \text{Equação 13 - Momento Linear em função da frequência}$$

Como  $c = \lambda \cdot f$ , a equação acima também pode ser escrita da seguinte forma:

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad \text{Equação 14 - Momento Linear em função do comprimento de onda}$$

Em 1935, o físico norte-americano Arthur Compton (1892-1962) realizou um experimento em que constatou que o espalhamento de raios X com elétrons é fruto de uma colisão entre um fóton e um elétron, de modo que há transferência de parte da energia do primeiro para o segundo, o que caracteriza uma colisão parcialmente elástica, semelhante à da Física Clássica. Todavia, por processos quânticos que para este estudo não há a necessidade de serem abordados, os raios X espalhados têm comprimento de onda maior que o comprimento de onda dos raios incidentes, o que caracteriza o espalhamento Compton.

Por fim, tais informações podem ser compartilhadas com alunos do Ensino Médio, sobretudo com duas intenções que se destacam: a primeira é deixá-los a par desse universo da Física que eles infelizmente só ouvem falar fora da escola e cujos detalhes lhes são omitidos ou deturpados. A segunda intenção é levá-los a reconhecer a importância dessas descobertas para a sociedade como um todo e para isso podem ser solicitadas pesquisas sobre o funcionamento das baterias solares, dos controles remotos, das portas automáticas, dos óculos de visão noturna e dos sensores de movimento em sistemas de segurança, por exemplo.

A interdisciplinaridade também pode ser contemplada no que diz respeito ao impacto ambiental na geração de energia elétrica. Em conjunto com professores de

geografia e biologia pode ser feito um levantamento sobre os pontos favoráveis e as desvantagens da energia solar como fonte de geração de energia elétrica.

#### 4.1.3.3 Escalas Termométricas (Kelvin) e Nível de Fermi

##### a) Escala Termométrica Kelvin

Por seus importantes feitos e invenções, sobretudo no ramo da telegrafia, o físico britânico *Sir William Thompson* (1824-1907) recebeu um importante título de nobreza, passando a ser chamado de Lorde Kelvin. Através de seus estudos sobre a Termodinâmica, Kelvin aperfeiçoou os estudos de Nicolas Carnot e James Joule, além de desenvolver uma interpretação matemática para a segunda lei da termodinâmica. Desenvolveu ainda uma escala termométrica que tinha como base a expansão de um gás ideal e como principal característica a hipótese do Zero Absoluto, uma temperatura equivalente a  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  onde supostamente a energia cinética das partículas seria nula. Mais tarde essa escala foi denominada Kelvin e tornou-se a medida oficial de temperatura no Sistema Internacional de Unidades, paralelamente às outras duas principais escalas termométricas, Celsius e Fahrenheit cuja relação entre elas está definida na imagem e na equação abaixo:

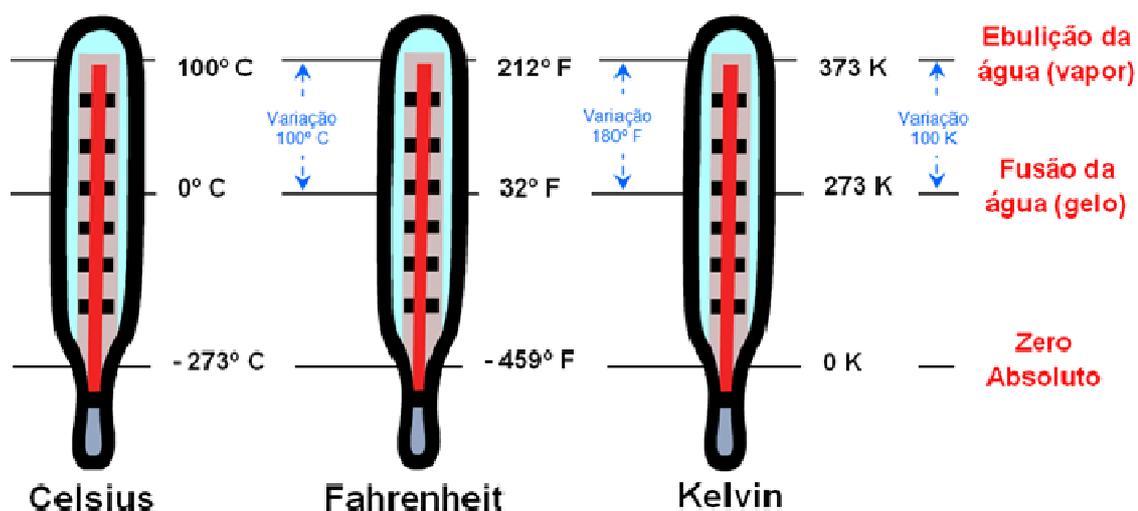


Figura 19 - Comparação entre as escalas

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5} \quad \text{Equação 15 - Relação entre as escalas termométricas}$$

Sendo  $T_C$ ,  $T_F$  e  $T_K$  as temperaturas nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin, respectivamente.

Todavia, a deturpação no conceito do Zero Absoluto está ligada à corriqueira informação de que ao atingir tal temperatura não haveria mais agitação das partículas. Até mesmo livros didáticos voltados para o Ensino Médio de autores muito conhecidos no meio educacional fazem alusão ao Zero Absoluto de maneira incompleta, como por exemplo, Paraná (1999, p. 258): “Como a temperatura está relacionada à agitação das moléculas, o corpo com zero absoluto de temperatura não possui agitação molecular”. Tal informação poderia ser complementada com uma breve referência sobre o movimento das partículas elementares a 0 K.

É justamente para corrigir esse viés que a Física Moderna precisa ser considerada no estudo da Escala Kelvin de modo que a associação entre a Física Clássica e Moderna nesse ponto baseia-se na importância e aplicação dos conceitos de sólidos cristalinos e suas principais características quânticas, incluindo o Nível de Fermi.

## **b) Nível de Fermi**

Um corpo sólido está em um estado da matéria que apresenta forma e volume bem definidos e cujos átomos que o compõem estão próximos uns dos outros e dispostos de maneira regular no espaço. Um tipo especial desse estado é o sólido cristalino, que apresenta uma disposição tridimensional e periódica de seus átomos, denominada rede cristalina e definida por uma estrutura elementar chamada célula unitária. Na rede cristalina, cada átomo possui níveis individuais de energia, que são divididos em bandas de energia separadas por níveis que não podem ser ocupados por elétrons, denominados bandas proibidas.

Essa divisão depende do tipo de ligação e da separação da estrutura. A banda de energia mais alta que contém elétrons é chamada banda de valência. Em um condutor, a banda de valência é apenas parcialmente preenchida, assim, existem muitos estados vazios de energia disponíveis para elétrons excitados.  
(TIPPLER e MOSCA, 2009 p. 160)

Portanto, um condutor é um tipo de sólido cristalino cujas bandas de energia apresentam peculiaridades que o diferenciam de outros sólidos, como os isolantes, por exemplo. Observando a figura abaixo, que representa as bandas de energia em um condutor e considerando a temperatura igual ao Zero Absoluto (0 K):

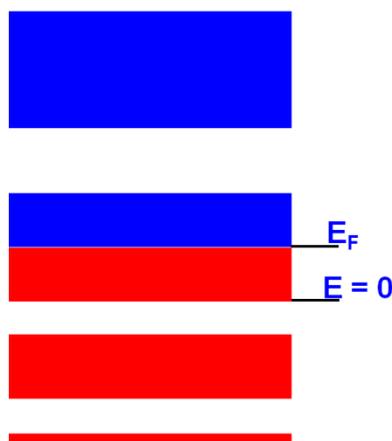


Figura 20 - Bandas de Energia (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 282)

O nível mais alto ocupado por um elétron é conhecido como Nível de Fermi e está próximo ao meio de bandas de energia permitida (que podem ser ocupadas por elétrons). A energia nesse nível é denominada Energia de Fermi, e na figura está representada por  $E_F$ . Contudo, na parte inferior dessa banda, a energia é nula e representada por  $E = 0$  e, a velocidade de um elétron com Energia de Fermi é chamada de Velocidade de Fermi.

Feitas essas considerações, pode ser tomado como exemplo o cobre, cuja Velocidade de Fermi no Zero Absoluto (0 K) é igual a  $1,6 \times 10^6$  m/s. Tal constatação refuta completamente a errônea afirmação de que nessa temperatura não há movimento das partículas e que a energia cinética é nula, visto que na verdade os elétrons se deslocam na referida banda com energia compreendida entre o zero e a Energia de Fermi.

Obviamente que, para o nível de alunos do Ensino Médio uma abordagem aprofundada no universo quântico não seria muito viável, entretanto uma complementação do que fora ensinado classicamente durante o estudo da escala Kelvin é de extrema importância para sua compreensão como um todo. Portanto, a idéia é mostrar que a um nível subatômico as partículas não estão em repouso no Zero Absoluto e sim num movimento restrito a certa banda de energia.

Tal informação, mais do que complementar um conceito falho, poderá despertar o interesse pela Física Quântica e seu reconhecimento como a ciência do futuro. Como complemento do assunto, poderá ser solicitado uma pesquisa sobre condutores, semicondutores e supercondutores, enfatizando as principais características e as diferenças entre eles.

#### 4.1.3.4 Transmissão de Calor e Radioatividade

##### a) Transmissão de Calor

O calor é uma forma de energia que é transmitida de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura por três processos diferentes: a condução, a convecção e a radiação. Para que ocorra o processo de condução é necessário o contato entre os corpos. Quando o corpo de menor temperatura recebe energia térmica de um corpo de maior temperatura faz com que seus átomos comecem a vibrar com maior intensidade e essa vibração passa a ser transmitida de um átomo a outro, propagando essa energia por todo o corpo. É o que ocorre, por exemplo, ao levar uma panela de alumínio ao fogo. Inicialmente o fundo da panela se aquece, o calor se espalha por todo o objeto e depois de algum tempo exposta à chama, toda a panela fica aquecida devido ao contato direto com o fogo.

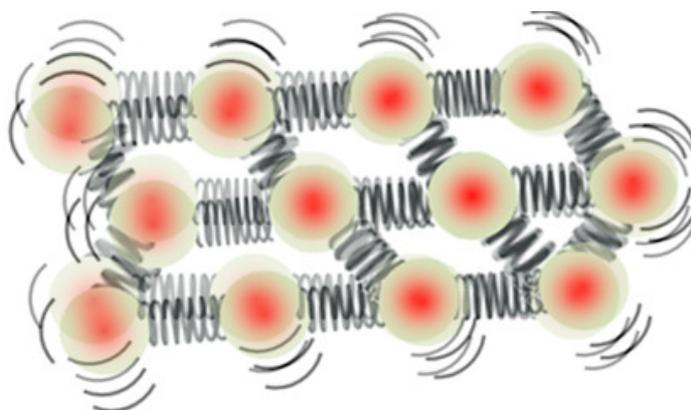


Figura 21 - Representação da agitação das partículas

A convecção ocorre somente em fluídos (líquidos e gases) e a energia térmica se propaga pelos movimentos das camadas dos fluídos ao serem aquecidas

ou resfriadas. Supondo um líquido contido em um recipiente e aquecido por uma chama posicionada abaixo do recipiente. Uma massa do líquido ao ser aquecida sofre expansão, diminui sua densidade e sobe, enquanto uma massa fria (mais densa que a primeira) desce para ocupar o lugar deixado pela massa quente. Ao descer, essa última é igualmente aquecida e também sobe, obrigando outra massa do líquido a descer, gerando um ciclo denominado corrente de convecção. Para aproveitar corretamente as correntes de convecção em um cômodo de uma casa, os aparelhos condicionadores de ar devem ser instalados no alto, enquanto os aquecedores devem ser instalados próximos ao chão.

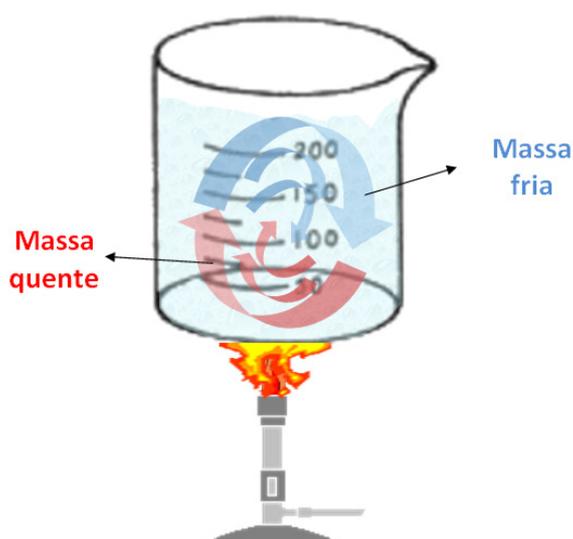


Figura 22 - Ciclo da convecção

Por fim, a terceira forma de transmissão de calor é aquela que receberá uma atenção especial nesse estudo em virtude de sua correspondência com a Física Moderna: a radiação. O calor, por se tratar de uma onda eletromagnética (o infravermelho, cuja frequência se encontra entre  $10^{11}$  e  $4 \times 10^{14}$  hertz), não precisa de um meio material para se propagar, o que explica como a radiação solar chega até a Terra, viajando através do vácuo. Na radiação, uma fonte emite calor a um corpo que reflete parte da energia térmica e absorve a outra parte dessa energia, ocasionando o aumento da agitação das partículas do corpo e, conseqüentemente elevando a sua temperatura.



Figura 23 - Lâmpada incandescente: exemplo de radiação térmica

Da mesma forma que o calor, outras formas de energia podem se propagar de uma fonte emissora para um receptor seja por meio de ondas ou por meio de partículas. A fonte emissora pode ser natural como o Sol ou artificial como tubos de imagem de aparelhos televisores, contudo, em ambos os casos, tal emissão se dá devido a fenômenos nucleares. A ocorrência de desintegração espontânea do núcleo do átomo de um determinado elemento e conseqüentemente a emissão de partículas ou ondas eletromagnéticas decorrentes desse processo caracteriza o fenômeno da radioatividade. Tal informação leva a mais uma possibilidade de integração entre o modelo clássico e a Física Moderna.

## **b) Radioatividade**

No final do século XIX alguns cientistas descobriram que alguns materiais liberavam espontaneamente partículas ou ondas eletromagnéticas, sem que fossem perceptíveis as alterações em suas estruturas.

Tal constatação começou a ser sistematizada durante um experiência com um tubo de raios catódicos, que é um dispositivo basicamente composto de um tubo de vidro fechado à vácuo, em cujo interior há dois condutores metálicos; o primeiro, ao ser aquecido emite elétrons denominados raios catódicos e o segundo condutor capta os elétrons e os direciona para uma tela luminescente (o mesmo ocorre em tubos de imagem de televisores). Em 1895, o físico alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923) estava realizando um estudo com um tubo de raios catódicos e cobriu o dispositivo de modo que o mesmo não podia emitir nenhuma luminosidade. Ao acionar o tubo notou que uma placa coberta de platinocianeto de bário (detalhe: a

barra não fazia parte do experimento) emitiu uma luz fluorescente que se manteve enquanto o tubo esteve ligado. Acidentalmente, Röntgen descobriu um tipo de radiação invisível, com uma grande capacidade de atravessar a matéria e capaz de ionizar o ar. Usando sua esposa Bertha como “cobaia”, o cientista pôs a mão da mesma sobre uma chapa fotográfica e incidiu a radiação nela, de modo que na chapa foi possível visualizar os ossos da mão de Bertha e até mesmo o anel que ela usava. Estava criada a radiografia e a essa radiação Röntgen deu o nome de Raios-X por não saber do que se tratava, mas rendeu-lhe o Prêmio Nobel de Física em 1901.

Um fato curioso chama a atenção dos historiadores da ciência. Por que, outros cientistas mais renomados da época, que trabalhavam com raios catódicos, não descobriram os raios X? Alguns historiadores admitem que foi um ato de muita sorte, um pesquisador desconhecido ter feito uma descoberta tão importante.

(CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO, 2004, p. 49)

Em 1896, o físico francês Henri Becquerel (1852-1908) realizou um experimento com sulfato duplo de urânio, cujos cristais emitiram radiação detectada por placas de filmes fotográficos. Entretanto, diferente do experimento de Röntgen, os cristais de Becquerel não eram luminescentes nem precisavam ser excitados por um emissor de radiação, o que o levou a concluir que o urânio, assim como outros elementos, possui radiação espontânea. Seus feitos lhe proporcionaram a honra de dividir o Prêmio Nobel de Física de 1903 com o famoso casal Curie.

Os célebres Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934), expoentes da Física no estudo da radiação, descobriram em 1898 o polônio e o rádio, dois outros elementos que são espontaneamente radioativos. Como já fora citado, dividiram Prêmio Nobel de Física de 1903 com Becquerel, mas após a morte de Pierre, Marie prosseguiu com as pesquisas e em 1911, foi laureada com o Prêmio Nobel de Química:

O Prêmio Nobel de Química de 1911 foi atribuído a Marie Curie, “em reconhecimento pelos seus serviços para o avanço da Química pela descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio eo estudo da natureza dos compostos deste elemento”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Texto da entrega do Prêmio Nobel de Química de 1911. Fonte [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1911/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/) acesso em 19/04/2011

O físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) em 1899 realizou um estudo do urânio radioativo e detectou dois tipos de radiação: as partículas alfa ( $\alpha$ ), constituídas de núcleos de hélio e as partículas beta ( $\beta$ ), formadas por feixes de elétrons ou pósitrons, sendo ambas dotadas de massa e carga elétrica e emitidas para que o átomo se torne estável. Um ano depois, Rutherford descobriu os raios gama ( $\gamma$ ), um tipo de radiação sem massa ou carga elétrica, mas cujo poder de penetração na matéria é tão intenso que é necessária uma grossa camada de chumbo para contê-la. Por sua vez, as partículas alfa mal atravessam uma folha de papel, enquanto as partículas beta podem ser contidas por uma folha de alumínio, por exemplo.

O trabalho pioneiro de Rutherford mostrou que a radiação era de três tipos, que ele denominou de raios alfa, beta e gama. Experiências posteriores mostraram que os raios alfa eram núcleos de hélio, os raios beta eram elétrons ou partículas relacionadas chamadas pósitrons e os raios gama eram fótons de alta energia.  
(SERWAY e JEWETT JR, 2009, p. 1179)

Contudo, em cada emissão de partículas alfa e beta de um elemento ocorre uma variação no número de prótons do núcleo atômico e isso implica na transformação (também conhecida como transmutação) desse elemento em outro, com características químicas distintas. O processo pelo qual esse elemento tem sua massa e atividade nucleares reduzidas em virtude de ter “perdido” partículas dotadas de massa é conhecido como decaimento radioativo.

O decaimento radioativo de um átomo pode inclusive revelar a idade de um determinado objeto, de rochas, artefatos ou outras descobertas arqueológicas, geológicas e antropológicas. Ao tempo necessário para que uma substância tenha a sua quantidade de átomos radioativos reduzida pela metade, é dado o nome de meia-vida. Conhecendo o decaimento de um isótopo do carbono, o carbono-14 e sua meia-vida, é possível estimar a idade do objeto da pesquisa.

Entretanto, o decaimento radioativo pode ser extremamente perigoso à saúde, visto que pode causar mutações celulares, câncer e outras enfermidades, podendo ser mortal se a exposição for prolongada ou se o nível de radiação for muito intenso.

Quando um corpo é exposto a uma radiação, ele absorve uma certa quantidade de energia dessa radiação. A quantidade de energia absorvida pelos tecidos é chamada dose absorvida. Quanto maior for a dose

absorvida, maiores serão as chances para que apareçam os danos provocados pela radiação.  
(GARCIA, 1998, p. 324)

Novamente partindo de um conteúdo comumente trabalhado na 2ª série do Ensino Médio é possível fazer referência a elementos importantes da Física Moderna sem a necessidade de entrar em detalhes geralmente contemplados em cursos específicos, como graduação ou técnicos, mas sim proporcionando uma noção para que o aluno possa compreender como o fenômeno nuclear ocorre e quais as vantagens e desvantagens das atividades radioativas. Acima de tudo, o professor pode incitá-lo à pesquisa sobre procedimentos e eventos que envolvam radioatividade, como por exemplo, uma pesquisa sobre radioterapia no tratamento de câncer ou o que ocorreu na catástrofe de Chernobyl (na Ucrânia, em 1986) e os perigos do vazamento radioativo na usina de Fukushima (no Japão, em 2011).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após um considerável levantamento bibliográfico, que possibilitou detectar como a Física Moderna é tratada no Ensino Médio, a necessidade de buscar um instrumento para o ensino dessa ciência mostrou-se evidente. Alguns dos atuais livros didáticos, apesar de bem elaborados, privilegiam excessivamente a Física Clássica, enquanto a ciência atual é deixada à margem, reservada como apêndices ou nos finais dos últimos volumes das coleções.

Diante dessa situação e com base em pesquisas que proporcionaram um conhecimento mais aprofundado do tema e identificaram outras tentativas de inserção da ciência nas escolas secundaristas, foi iniciado o processo de confecção dos fascículos que foram produzidos priorizando os conceitos quânticos a um nível que pudesse ser compreensível a alunos do Ensino Médio, mas buscando não perder qualidade conceitual. Os resultados desse estudo estão no apêndice, onde os quatro fascículos podem ser observados.

Portanto, este estudo culmina com uma produção didática que não tem em nenhum momento o presunçoso objetivo de substituir um livro didático que passou pelo crivo do Ministério da Educação e pela avaliação de vários professores. Esses fascículos visam servir de material de apoio para professores e alunos do Ensino Médio para complementar as informações de seus livros a respeito da Física Moderna e viabilizar um contato com a fantástica ciência do século XXI.

## REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, Maria José. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 224 p.
- BONJORNO, Regina Azenha, et al. **Física Completa**. 2. ed. São Paulo: FTD, 2001. 551 p.
- BIEZUNSKI, Michel. **História da Física Moderna**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993, 267 p.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - Física**. Brasília, DF, 2000. 40 p.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Divulga o resultado das avaliações dos Livros Didáticos dos Componentes Curriculares de Física e Química, realizadas no âmbito do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio - PNLEM/2007. **Portaria nº 366**, DF, 31 jan. 2006.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio**: PNLEM/2007, Brasília, DF, 2007, 66 p.
- BRENNAN, Richard P. **Gigantes da Física**: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003. 290 p.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Física Moderna Experimental**. 2. ed. Barueri: Manole, 2007. 132 p.
- CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto. **Física Moderna Experimental e aplicada**. São Paulo: Livraria da Física, 2004. 291 p.
- FAGUNDES, Helio V. **Teoria da Relatividade**: no nível matemático de alunos do ensino médio. São Paulo: Livraria da Física, 2009. 95 p.

GARCIA, Eduardo A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 1998. 387 p.

GASPAR, Alberto. **Física** volume único. São Paulo: Ática, 2005. 552 p.

GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. **Física**: volume único. São Paulo: Scipione, 2008. 472 p.

HALLIDAY, David; RESNICK Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009. v. 4.

KNIGHT, Randall D. **Física**: uma abordagem estratégica. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 4 v.

KÖHNLEIN, Janete F. Klein; PEDUZZI, Luiz O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 36 – 70, abril 2005.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2005. v. 3.

MEDEIROS, Damascynclito. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. 263 p.

NUSSENZVEIG, Moysés H. **Curso de Física Básica**: Mecânica. São Paulo: Livraria da Física, 2002. 328 p.

\_\_\_\_\_. **Curso de Física Básica**: Ótica, Relatividade, Física Quântica. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2002. 437 p.

OLIVEIRA, Ivan S. **Física Moderna**: para iniciados, interessados e aficionados. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010. 304 p.

OSTERMANN, Fernanda. Um Texto para Professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 415 – 436, Dezembro 1998.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marcos Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, vol. 5, n. 1, p. 23-48, Janeiro 2000.

PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. **Física para o Ensino Médio**. 2. ed. São Paulo: Ática, 1999. 664 p.

PENTEADO, Paulo César M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2005. v. 3.

PERFETTI, Maria Esther Mendes; SCORTECCI, João. **Informações importantes para quem quer escrever e publicar um livro**. 10. ed. São Paulo: Scortecci, 2007. 250 p.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7 – 34, abril 1999.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das idéias da Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008. 478 p.

RODITI, Itzhak. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248 p.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da Física**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005. v. 3.

\_\_\_\_\_. **Física**: volume único. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005. 472 p.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR, John W. **Princípios da Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 1256 p.

TALAVERA, Alvaro Csapo. **Física**. 2. ed. São Paulo: Nova Geração, 2004. v. 4

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 3.

WOLF, Jeferson Fernando de Souza; MORS, Paulo Machado. Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. **Textos de apoio ao professor de Física**. Porto Alegre, v. 16, n. 5, p. 1 – 68, novembro 2005.

**ANEXO – FICHA DE AVALIAÇÃO DO PNLEM/2007**

# FICHA DE AVALIAÇÃO / PNLEM 2007

## F Í S I C A

Código da Obra

Código do(s) livro(s)

Código dos Avaliadores

### A. PEQUENA DESCRIÇÃO

Estrutura da obra (indicar as partes componentes do Livro do Aluno e do Livro do Professor)  
Sumário do conteúdo para cada série

### B. CRITÉRIOS ELIMINATÓRIOS

#### B.1. ASPECTOS SOBRE CORREÇÃO CONCEITUAL

1

A obra contém:

- a) Conceitos formulados erroneamente.
  - b) Informações básicas erradas e/ou desatualizadas.
  - c) Conceitos e informações mobilizadas de modo inadequado.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não

Observações:

2

A obra contém ilustrações que veiculam:

- a) idéias incorretas sobre conceitos.
  - b) idéias incorretas sobre as dimensões ou cores do que é representado, sem indicação apropriada de escalas ou cores-fantasia.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não

Observações:

#### B.2. ASPECTOS PEDAGÓGICO-METODOLÓGICOS

3

No livro do professor:

- a) As bases teórico-metodológicas são apresentadas de maneira pouco clara.
- b) Diferentes opções metodológicas são apresentadas de maneira desarticulada.

No livro do aluno:

- c) Há incoerência entre as bases teórico-metodológicas e a proposta concretizada.

( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não

Observações:

4

O livro do aluno e/ou do professor propõe atividades que:

- a) trazem riscos para alunos e professores de tal ordem que não devem ser realizadas.
- b) podem trazer riscos para alunos e professores que não impedem sua realização, mas observa-se insuficiência de alertas sobre riscos e também de recomendações de cuidados e procedimentos de segurança para preveni-los, no livro do aluno e/ou no livro do professor.

( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não

Observações:

5

A metodologia empregada:

- a) tem como característica principal a memorização de conteúdos e termos técnicos, deixando de contribuir para promover o desenvolvimento de capacidades básicas de pensamento autônomo e crítico e negligenciando as relações entre conhecimento e vida prática.

( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não

Observações:

- a) São propostos experimentos e demonstrações cuja realização dificilmente é possível, que apresentam resultados implausíveis e/ou veiculam idéias equivocadas sobre fenômenos, processos e modelos explicativos.
- b) Os experimentos e as demonstrações têm função meramente ilustrativa, sem conexão com as teorias e os modelos explicativos.
- c) Os experimentos e as demonstrações desconsideram o impacto ambiental proveniente do descarte dos resíduos gerados, quando existentes.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não
- Observações:

6

**B.3. ASPECTOS SOBRE A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO**

- a) A obra apresenta a ciência como sendo a única forma de conhecimento, sem reconhecer a diversidade de formas do conhecimento humano e as diferenças entre elas.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não
- Observações:

7

A obra apresenta:

- a) o conhecimento científico como verdade absoluta ou retrato da realidade.
- b) a ciência como neutra, sem reconhecer a influência de valores e interesses sobre a prática científica.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não
- Observações:

8

- a) As analogias e as metáforas presentes na obra são utilizadas de forma inadequada, sem a devida explicitação das semelhanças e diferenças em relação aos fenômenos estudados.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não
- Observações:

9

- a) Na obra, são negligenciadas a abrangência teórica e a pertinência educacional no tratamento dos assuntos, priorizando conceitos e teorias secundárias, que não se encontram claramente estabelecidas, ou mesmo pseudocientíficas, em detrimento dos conceitos e das teorias centrais, estruturadoras do pensamento físico.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não
- Observações:

10

- a) Na obra, os conceitos centrais da área são apresentados de forma compartimentada e linear, sem a preocupação de abordá-los de forma recorrente, em diferentes contextos explicativos e situações concretas, dificultando, assim, a construção de sistemas conceituais mais integrados.
- ( ) Sim (Apresentar argumentos abaixo, exemplificando) ( ) Não
- Observações:

11

**B.4. ASPECTOS SOBRE A CONSTRUÇÃO DA CIDADANIA**

Na obra, é perceptível/são perceptíveis:

- a) o privilégio a determinados grupos sociais ou regiões particulares do país.
- b) preconceitos ou estereótipos relacionados a cor, origem, condição econômico-social, etnia, gênero, orientação sexual, linguagem ou qualquer outra forma de discriminação.
- ( ) Sim (Apresentar, abaixo, os argumentos, exemplificando-os) ( ) Não
- Observações:

12

A obra veicula:

- a) matéria contrária à legislação vigente para a criança e o adolescente, no que diz respeito a fumo, bebidas alcoólicas, medicamentos, drogas, armamentos etc.
- b) publicidade de artigos, serviços ou organizações comerciais, incentivando o consumo de produtos comerciais específicos.
- ( ) Sim (Apresentar, abaixo, os argumentos, exemplificando-os) ( ) Não
- Observações:

13

14	a) Na obra, é feita doutrinação religiosa. ( ) Sim (Apresentar, abaixo, os argumentos, exemplificando-os) ( ) Não Observações:
15	a) Na obra, são veiculadas idéias que promovem desrespeito ao meio ambiente. ( ) Sim (Apresentar, abaixo, os argumentos, exemplificando-os) ( ) Não Observações:
<h3>C. CRITÉRIOS DE QUALIFICAÇÃO</h3> <p>Para cada um dos itens abaixo, preencher a menção e justificar as razões. No final do processo de avaliação, será feita uma ponderação dos itens, para se obter maior clareza comparativa entre as obras.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Nos itens a seguir, utilize os seguintes conceitos:  <b>O = Ótimo    B = Bom    R = Regular    I = Insatisfatório</b>            Caso o aspecto não se aplique, escreva N/A (não se aplica)</p> </div>	
<b>C.1. ASPECTOS SOBRE CORREÇÃO CONCEITUAL E COMPREENSÃO</b>	
16	Tratamento conceitual apropriado, atualizado e correto predomina na obra Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
17	Uso apropriado de analogias, com explicitação clara da diferença entre significado literal e metafórico, favorecendo a compreensão correta de conceitos, teorias, fenômenos etc. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
18	Redação clara e objetiva dos textos, com informações suficientes para a compreensão dos temas abordados, estimulando a leitura e a exploração crítica dos assuntos. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
19	Vocabulário específico claramente explicado no texto ou glossário Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
20	Utilização de linguagem gramaticalmente correta nos textos. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
<b>C.2. ASPECTOS PEDAGÓGICO-METODOLÓGICOS</b>	
21	Apresentação do conhecimento científico de forma contextualizada, fazendo uso adequado dos conhecimentos prévios e das experiências culturais dos alunos, sem tratá-los de maneira pejorativa ou desrespeitosa. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
22	Uso dos conhecimentos prévios e das experiências culturais dos alunos como ponto de partida para a aprendizagem. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: O ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.

Estímulo ao desenvolvimento de habilidades de comunicação oral e de comunicação científica, propiciando leitura e produção de textos diversificados, como artigos científicos, textos jornalísticos, gráficos, tabelas, mapas, cartazes etc. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	23
Apresentação de conteúdos relacionados a contextos próprios da realidade brasileira. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	24
Estímulo a diferentes formas de abordagem do conteúdo em sala de aula apresentando, sempre que viável, possibilidades de adaptação da prática pedagógica às condições locais e regionais. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	25
Incentivo a atividades que exigem trabalho cooperativo, estimulando-se a valorização e o respeito às opiniões do outro. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	26
Viabilidade de execução dos experimentos/ demonstrações propostos, com base nas instruções fornecidas. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	27
Viabilidade de execução dos experimentos/ demonstrações, em termos da obtenção dos materiais necessários e da indicação de materiais alternativos para a execução dos experimentos, quando justificada. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	28
Incentivo à realização das atividades propostas, não apresentando, em particular, o resultado final esperado antes da realização das atividades. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	29
<b>C.3. ASPECTOS SOBRE A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO</b>	
Construção de uma compreensão integrada da Química, caso seja disciplinar, ou das várias disciplinas abordadas, caso a obra seja interdisciplinar. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	30
Criação de condições para aprendizagem de ciências, particularmente da Física, como processo de produção cultural do conhecimento, valorizando a história e a filosofia das ciências. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	31
Tratamento da história da ciência integrado à construção dos conceitos desenvolvidos, evitando resumir a biografias de cientistas ou a descobertas isoladas. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	32
Abordagem adequada de modelos científicos, evitando confundir os com a realidade. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.	33

34	Abordagem adequada da metodologia científica, evitando apresentar um suposto Método Científico como uma seqüência rígida de etapas a serem seguidas. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
35	Proposição de atividades que favoreçam formação de espírito investigativo, como atividades em que os alunos levantem hipóteses sobre fenômenos naturais e desenvolvam maneiras de testá-las, ou em que utilizem evidências para julgar a plausibilidade de modelos e explicações. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
36	Estímulo ao uso do conhecimento científico como elemento para a compreensão dos problemas contemporâneos, para a tomada de decisões e a inserção dos alunos em sua realidade social. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
37	Proposição de discussões sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, dando elementos para a formação de um cidadão capaz de apreciar criticamente e posicionar-se diante das contribuições e dos impactos da Ciência e da Tecnologia sobre a vida social e individual. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
<b>C.4. ASPECTOS SOBRE A CONSTRUÇÃO DA CIDADANIA</b>	
38	Abordagem crítica das questões de gênero, de relações étnico-raciais e de classes sociais. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
39	Promoção positiva das minorias sociais. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
40	Incentivo de postura de respeito ao ambiente. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
41	Apresentação das questões ambientais de forma realista e equilibrada, evitando posturas alarmistas e catastróficas. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
<b>C.5. ASPECTOS SOBRE O LIVRO DO PROFESSOR</b>	
42	Descrição da estrutura geral da obra no livro do professor, explicitando a articulação pretendida entre suas partes e/ou unidades e os objetivos específicos de cada uma delas. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
43	Apresentação, no livro do professor, de orientações claras e precisas para a abordagem do conteúdo em sala de aula. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
44	Presença, no livro do professor, de sugestões de atividades complementares. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.
45	Presença, no livro do professor, de subsídios conceitualmente consistentes para correção e discussão das atividades e dos exercícios propostos. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: <input type="radio"/> ( ) <input type="radio"/> B ( ) <input type="radio"/> R ( ) <input type="radio"/> I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.

<p>Presença, no livro do professor, de tratamento do processo de avaliação da aprendizagem. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	46
<p>Presença, no livro do professor, de sugestões de instrumentos diversificados de avaliação. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	47
<p>Contribuição para formação e atualização do professor, oferecendo conhecimentos atualizados, necessários para compreensão adequada de aspectos específicos das atividades ou mesmo de toda a proposta pedagógica da obra. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	48
<p>Clareza e adequação da linguagem utilizada no livro do professor. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	49
<p>Presença, no livro do professor, de referências bibliográficas e leituras complementares. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	50
<b>C.6. ASPECTOS GRÁFICO-EDITORIAIS.</b>	
<p>Utilização de recursos gráficos para mostrar hierarquização da estrutura (títulos, subtítulos e outros). Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	51
<p>Distribuição dos textos e ilustrações de modo a constituir uma unidade visual. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	52
<p>Adequação do projeto gráfico ao conteúdo, com uma função não meramente ilustrativa. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	53
<p>Utilização de formato e tamanho de letra, bem como de espaço entre as letras, palavras e linhas, atendendo a critérios de legibilidade. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	54
<p>Adequação das ilustrações à finalidade para a qual foram elaboradas, mostrando-se claras, precisas, coerentes com o texto, e necessárias para a aprendizagem do aluno. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	55
<p>Presença de créditos, legendas, fontes e datas nas ilustrações, nas tabelas e nos gráficos, quando pertinente. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção (quando pertinente apresentar exemplos).</p>	56
<p>Presença de referências bibliográficas, indicação de leituras complementares e glossário no livro do aluno de maneira adequada. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	57
<p>Apresentação de sumário de modo a refletir organização interna da obra e permitir rápida localização das informações. Quanto ao aspecto acima, a obra é avaliada como: D ( ) B ( ) R ( ) I ( ) Justificar a menção. Exemplificar.</p>	58

# Velocidade Relativa



Imagine dois pilotos de corrida de automóveis disputando o primeiro lugar do pódio. Na reta dos boxes, o piloto **A** está em primeiro lugar, se deslocando com uma velocidade constante de 230 km/h. Em um determinado instante o piloto **B**, que estava em segundo lugar, ultrapassa o piloto **A** com velocidade constante de 250 km/h, assumindo a “ponta” da corrida.

A velocidade do carro **B** é um caso a parte: Para o fiscal de prova, ele ultrapassou o carro **A** com velocidade de 250 km/h. Mas em relação ao carro **A**, será que o carro **B** também estava a essa velocidade? Será que ele se distancia de seu rival na corrida com uma

proporção de 250 km a cada hora? A resposta é **NÃO**. Para o carro **A** é como se o carro **B** se afastasse a uma proporção de 20 km a cada hora. Isso porque o primeiro carro também apresenta movimento, então é um referencial diferente do o fiscal de prova. Daí recordamos um famoso princípio da Cinemática:

**O estado de movimento de um corpo depende do referencial no qual um observador se encontra em relação aos corpos em movimento.**

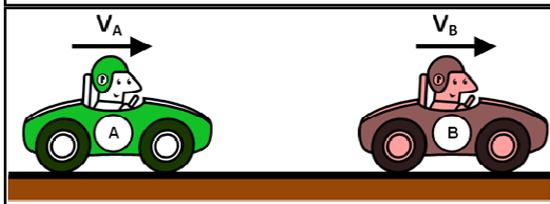
Para os casos como o citado acima temos um tipo de velocidade denominada **velocidade relativa**.

Dados dois móveis A e B deslocando-se em uma mesma trajetória com velocidades escalares constantes respectivamente iguais a  $V_A$  e  $V_B$ , a velocidade relativa de A em relação a B ( $V_{rel}$ ) é dada pela diferença entre as velocidades escalares, de modo que um deles é tomado como referência e comporta-se como se estivesse em repouso, enquanto o outro se aproxima ou se afasta com a velocidade relativa em questão.

Para fins de cálculo, existem duas regras práticas:

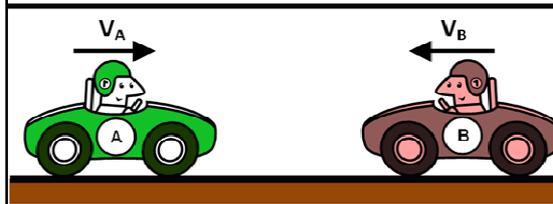
1ª) Móveis na mesma direção e sentido e sendo  $V_A > V_B$ : A velocidade relativa será igual à diferença entre os módulos das duas velocidades.

$$V_{rel} = |V_A| - |V_B|$$



2ª) Móveis em sentidos opostos: A velocidade relativa será igual à soma entre os módulos das duas velocidades.

$$V_{rel} = |V_A| + |V_B|$$

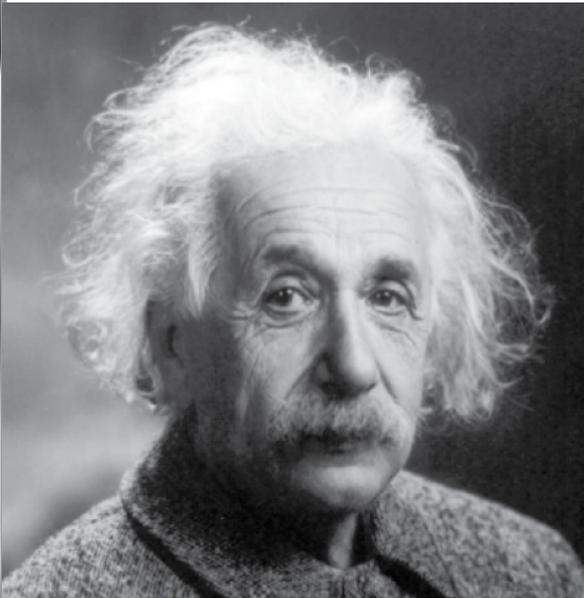


Considerando as velocidades A e B constantes, a velocidade relativa e o espaço entre os móveis A e B serão igualmente relativos:

$$V_{rel} = \frac{\Delta S_{rel}}{\Delta t}$$

Ah, então quer dizer que somente o tempo pode ser considerado absoluto? **NÃO!** Nem o tempo escapou da relatividade... Leia na próxima página a **Teoria da Relatividade de Einstein** e veja que o tempo também depende de um referencial.





## A TEORIA DA RELATIVIDADE

### ELE É O CARA!!!

Albert Einstein (1879 – 1955), um físico alemão considerado por muitos o maior gênio da humanidade de todos os tempos e reconhecidamente o cientista mais célebre do século XX, foi o principal responsável por duas descobertas que revolucionaram o mundo científico e conseqüentemente a sociedade: o Efeito Fotoelétrico e a Teoria da Relatividade, que se divide em Relatividade Geral e Relatividade Restrita. Vamos abordar aqui apenas a Relatividade Restrita.

**Como a velocidade da luz no vácuo é constante, o tempo necessariamente precisa ser relativo ao referencial.**

Einstein ficou popularmente famoso pela Teoria da Relatividade e sobretudo pela famosa equação  $E = m.c^2$ , entretanto o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1921 foi seu notável trabalho sobre o efeito fotoelétrico.



Efígie de Alfred Nobel

### A Relatividade Restrita

A Teoria da Relatividade Restrita está baseada em dois importantes postulados:

1º Postulado:

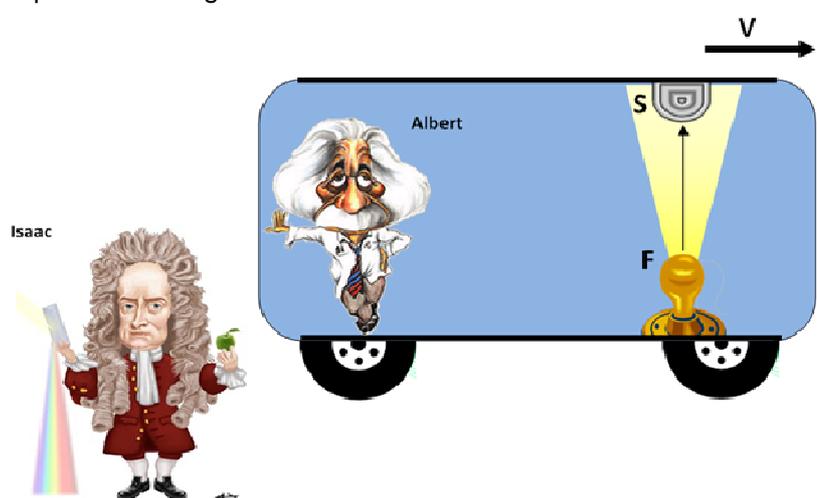
**“As leis da Física são as mesmas para todos os referenciais inerciais “**

2º Postulado:

**“O módulo da velocidade da luz no vácuo é sempre o mesmo, independente do referencial inercial adotado. “**

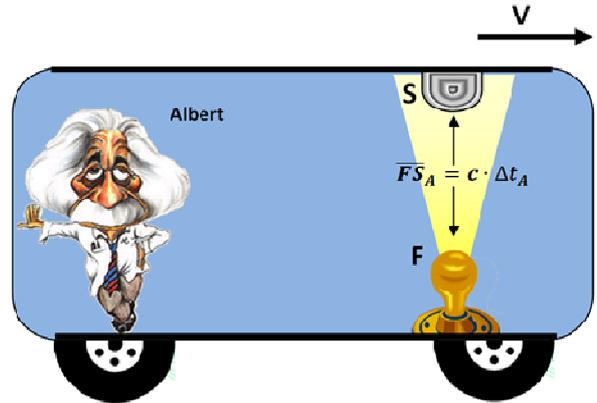
Apesar de o primeiro postulado enfatizar as leis de Newton, o “pai” da Mecânica Clássica errou ao considerar o tempo como absoluto e independente de referencial, ou seja, a **simultaneidade** de Isaac Newton foi suplantada pela relatividade de Einstein. Tal consideração a respeito da relatividade temporal está condicionada ao fato de que a velocidade da luz no vácuo ser constante.

Partindo de uma situação hipotética, vamos demonstrar matematicamente essa teoria, representada na figura abaixo:

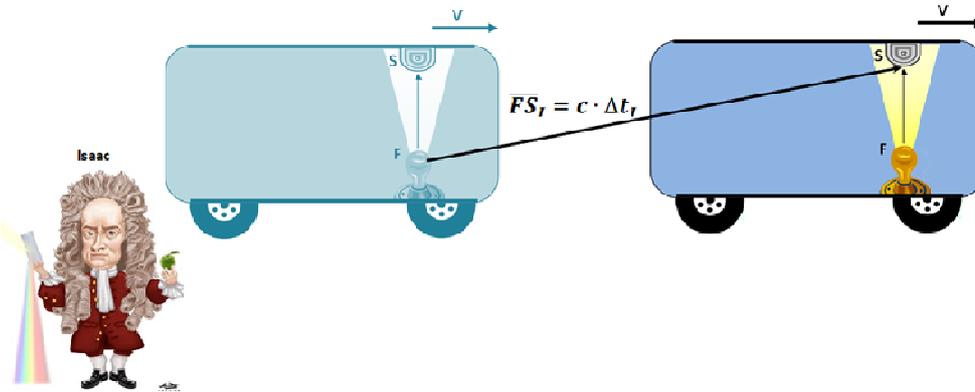


Considerando um trem viajando a uma velocidade constante em relação ao solo. Nesse trem, há um passageiro que será chamado de "Albert", apenas para fins de comparação. No assoalho do trem há uma fonte de luminosa  $F$  que emite um feixe vertical detectado por um sensor  $S$  no teto do trem. A luz percorre uma distância  $\overline{FS}_A$  até o teto em um intervalo de tempo  $\Delta t_A$ . Sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo, é obtida a seguinte relação:

$$\Delta t_A = \frac{\overline{FS}_A}{c}$$



Para outro observador identificado como "Isaac", parado em relação ao solo, a luz faz o seguinte percurso:



De acordo com o Segundo Postulado de Einstein, a luz percorreu a distância  $\overline{FS}$  com a velocidade constante  $c$ , em um intervalo de tempo  $\Delta t_I$ , cuja relação é:

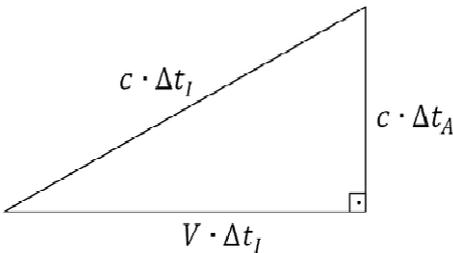
$$\Delta t_I = \frac{\overline{FS}_I}{c}$$

O deslocamento do trem em relação ao solo é dado por:

$$\Delta S_I = V \cdot \Delta t_I$$

Contudo o mais espantoso é a constatação de que a distância  $\overline{FS}_I$  (referencial do solo) é maior que a distância  $\overline{FS}_A$  (em relação ao trem) e como a velocidade da luz é constante, o intervalo de tempo  $\Delta t_I$  é maior que  $\Delta t_A$ . Portanto, o intervalo de tempo não é absoluto, mas relativo ao referencial em que se encontra.

Os deslocamentos da luz em relação ao solo e ao trem, bem como o deslocamento do trem em relação ao solo, formam o triângulo retângulo representado abaixo:



Utilizando o Teorema de Pitágoras:

$$\begin{aligned} (c \cdot \Delta t_I)^2 &= (V \cdot \Delta t_I)^2 + (c \cdot \Delta t_A)^2 \\ c^2 \cdot \Delta t_I^2 &= V^2 \cdot \Delta t_I^2 + c^2 \cdot \Delta t_A^2 \\ c^2 \cdot \Delta t_I^2 - V^2 \cdot \Delta t_I^2 &= c^2 \cdot \Delta t_A^2 \\ (c^2 - V^2) \cdot \Delta t_I^2 &= c^2 \cdot \Delta t_A^2 \end{aligned}$$

Dividindo ambos os membros por

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right) \cdot \Delta t_I^2 &= \Delta t_A^2 \\ \Delta t_I^2 &= \frac{\Delta t_A^2}{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} \end{aligned}$$

$\frac{1}{c^2}$

Extraindo a raiz quadrada dos dois membros:

$$\Delta t_I = \frac{\Delta t_A}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Para facilitar a representação, a expressão abaixo é utilizada:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Onde  $\gamma$  é chamado Fator de Lorentz, que é uma das bases matemáticas para o estudo da relatividade. Como o fator de Lorentz é sempre maior que 1 ( $\gamma > 1$ ), tem-se a garantia de que  $\Delta t_I > \Delta t_A$ , logo, o intervalo de tempo dentro do trem é menor que o intervalo de tempo fora. Esse fenômeno recebe o nome de dilatação do tempo e só ocorre em velocidades próximas a da luz.

O intervalo de tempo dentro do trem, aqui representado por  $\Delta t_A$  é chamado de intervalo de tempo próprio e doravante será representado pelo símbolo  $\Delta t_0$ .

Portanto, o cálculo da equação da dilatação do tempo é dado por:

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Como exemplo, veremos uma adaptação do clássico problema do **Paradoxo dos Irmãos Gêmeos**, proposto pelo físico francês Paul Langevin (1872-1946)

“Dois irmãos gêmeos, Isaac e Albert, crescem juntos até a idade de 25 anos, quando Albert é escolhido para realizar uma viagem a uma estrela a bordo de um foguete que atinge a velocidade de 99% da velocidade da luz ( $0,99c$ ). Para Isaac, na Terra, o tempo de viagem de Albert será de 30,30 anos. Para Albert, que viajou, o tempo transcorrido (tempo próprio) será menor.”

É possível calcular o tempo próprio de Albert (irmão que está na nave), adotando Isaac como referencial inercial.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,99c}{c}\right)^2}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,9801}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{0,0199}}$$

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0 \Rightarrow 30,30 = 7,08881205 \cdot \Delta t_0$$

$$\Delta t_0 = 4,27 \text{ anos}$$



Portanto, para Albert o tempo transcorrido será de apenas 4,27 anos, de modo que ao retornar a Terra com uma idade de 29,27 anos encontrará seu irmão com 55,30 anos, ou seja, mais velho que ele.

Se invertermos o referencial, agora adotando Albert, este verá seu irmão Isaac se afastando da nave e isso implica em que o tempo próprio será registrado por Isaac. É nesse ponto que ocorre o paradoxo: apenas mudando o referencial a idade dos irmãos varia? A resposta ao paradoxo está no fato de que o **irmão que permaneceu em Terra é que deve ser tomado como referencial inercial** e não o foguete, visto que este sofre processos de aceleração.

#### Essa ele ficou devendo:

Einstein dedicou seus últimos anos de vida em busca da unificação entre a gravidade e o eletromagnetismo, o que compõe a sua **Teoria de Campo Unificado** (ou simplesmente Teoria do Tudo). Não obteve sucesso, mas seus estudos nessas tentativas lançaram uma luz sobre o tema que até hoje é pesquisado.

#### Everybody loves Einstein

A série de TV norte-americana **The Big Bang Theory** é um dos maiores sucessos da emissora CBS e tem cativado fãs no mundo inteiro. É uma série cômica ambientada no dia-a-dia de quatro brilhantes cientistas (Sheldon, Leonard, Raj e Howard) e uma garçonete (Penny). Os roteiristas da série dispõem do físico David Saltzberg para inserir diálogos sobre ciências. Em um desses diálogos, o anti-social Sheldon critica a falta de atenção de Leonard em um jogo de xadrez especial que ele havia inventado. E até

Einstein entra na história...

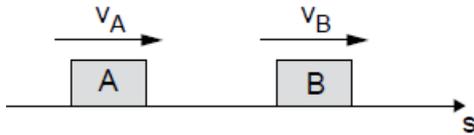
**Sheldon:** Desde que começou a namorar regularmente, perdeu a perspicácia.

**Leonard:** Perdão, mas Einstein também teve muitas namoradas.

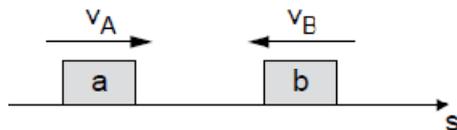
**Sheldon:** Teve e nunca unificou a gravidade com as demais forças. Se ele não tivesse sido tão pegador, hoje teríamos máquinas do tempo.



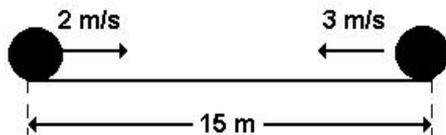
- Dois corpos, A e B, movimentam-se segundo a trajetória descrita pela figura abaixo, com velocidades escalares de módulos  $v_A = 15 \text{ m/s}$  e  $v_B = 10 \text{ m/s}$ . Determine:
  - a velocidade relativa do corpo A em relação ao corpo B;
  - a velocidade relativa do corpo B em relação ao corpo A.



- Dois corpos, A e B, movimentam-se segundo a trajetória descrita pela figura abaixo, com velocidades escalares de módulos  $v_A = 25 \text{ m/s}$  e  $v_B = 15 \text{ m/s}$ . Determine:
  - a velocidade relativa do corpo A em relação ao corpo B;
  - a velocidade relativa do corpo B em relação ao corpo A.



- Um automóvel parte de Ariquemes, com velocidade constante de  $80 \text{ km/h}$  e se dirige a Porto Velho, distante  $200 \text{ km}$  de Ariquemes. Nesse mesmo instante, outro automóvel parte de Porto Velho com destino à Ariquemes, desenvolvendo velocidade constante de  $100 \text{ km/h}$ . Calcule o instante e o espaço de encontro dos móveis.
- Um trem de  $200 \text{ m}$  de comprimento se movimenta com velocidade constante de  $20 \text{ m/s}$ . Calcule o intervalo de tempo necessário para que esse trem faça a travessia de um túnel de  $300 \text{ m}$  de comprimento.
- Duas bolas de dimensões desprezíveis se aproximam uma da outra, executando movimentos retilíneos e uniformes (veja a figura). Sabendo-se que as bolas possuem velocidades de  $2 \text{ m/s}$  e  $3 \text{ m/s}$  e que, no instante  $t=0$ , a distância entre elas é de  $15 \text{ m}$ , podemos afirmar que o instante da colisão é:
  - $1 \text{ s}$
  - $2 \text{ s}$
  - $3 \text{ s}$
  - $4 \text{ s}$
  - $5 \text{ s}$



- Uma nave espacial se desloca afastando-se de seu planeta natal com velocidade igual a  $70\%$  da velocidade da luz no vácuo. Um tripulante envia um sinal de rádio para sua base de comando comunicando que o reparo de um sistema da nave demorará  $10 \text{ horas}$ . Para a base de comando, qual será o tempo de duração do reparo?
  - $7,14 \text{ horas}$
  - $14 \text{ horas}$
  - $70 \text{ horas}$
  - $11,5 \text{ horas}$
  - $16,7 \text{ horas}$

- A respeito da teoria da relatividade restrita, julgue as afirmações abaixo em corretas ou incorretas.
  - O tempo flui de maneira absoluta e invariável para qualquer referencial.
  - Observados por referenciais inerciais, para objetos que se deslocam em velocidades próximas à da luz, ocorre a contração dos tempos.
  - Observados por referenciais inerciais, para objetos que se deslocam em velocidades próximas à da luz, ocorre a dilatação dos tempos.
  - Dois eventos que ocorrerem simultaneamente para um referencial inercial qualquer serão sempre simultâneos para quaisquer outros referenciais inerciais.

**EXTRA: Analise a história do astronauta Cornolino e interprete o que ocorreu sob o ponto de vista da dilatação do tempo de Einstein.**

“Cornolino é um astronauta que viaja muito. Como ele tem apenas uma semana de folga entre uma viagem e outra e as naves que ele geralmente usa são muito lentas, sua bela esposa Lucrécia fica a maior parte do tempo sozinha, envolvida em seu trabalho de fotografia de modelos masculinos.

Em uma dessas semanas de folga Cornolino foi muito romântico, levou Lucrécia para jantar fora, tratou-a com carinho e dedicou a ela toda atenção. Mas, uma semana depois ele teve que viajar novamente para uma estação espacial levar peças e alimentos. Só que dessa vez ele foi a bordo de uma super nave espacial que trafega a  $87\%$  da velocidade da luz.

Já no espaço, Cornolino recebe uma mensagem de seu médico dizendo que tudo vai bem com a gravidez de Lucrécia.

- *Grávida?! Eu vou ser pai! Que alegria!*

Mandou uma mensagem para Lucrecia e ela respondeu dizendo que estava no início da gestação. Mais que depressa, Cornolino solicitou férias e licença especial assim que retornasse à Terra.

Cornolino foi e voltou da estação espacial registrando dia a dia sua viagem, sendo que realizou o percurso em **6 meses**. Quando chegou à Terra pensou:

- *Oba! Minha querida esposa estará grávida de 6 meses e eu poderei usufruir da minha licença e férias até meu filho nascer...*

Mas nosso herói ficou espantado ao chegar em casa: Lucrecia não estava grávida e sim segurando no colo uma criança de **1 ano** de idade ( $12 \text{ meses}$ ). Cornolino coçou a cabeça, tentando encontrar uma explicação para o ocorrido.”

Será que Cornolino fez jus ao nome e foi enganado pela esposa ou será que ele apenas sofreu algum efeito físico da viagem espacial? Justifique sua resposta através de cálculos, considerando o tempo próprio (o de Cornolino na nave) igual a  $6 \text{ meses}$ , a velocidade da nave como  $0,87c$ . Verifique se o cálculo resulta no tempo do referencial inercial (esposa na Terra) correspondente a  $12 \text{ meses}$ .

## BIBLIOGRAFIA

ARAGÃO, Maria José. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 224 p.

BIEZUNSKI, Michel. **História da Física Moderna**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993, 267 p.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da Física** uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003. 290 p.

FAGUNDES, Helio V. **Teoria da Relatividade** no nível matemático de alunos do ensino médio. São Paulo: Livraria da Física, 2009. 95 p.

HALLIDAY, David; RESNICK Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**, 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 4v.

KNIGHT, Randall D. **Física** uma abordagem estratégica. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 4 v.

OLIVEIRA, Ivan S. **Física Moderna**: para iniciados, interessados e aficionados. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010. 304 p.

RODITI, Itzhak. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248 p.

TALAVERA, Alvaro Csapo. **Física**. 2. ed. São Paulo: Nova Geração, 2004. 4v

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 3v.



# Choques Mecânicos

**D**urante os anos 80 e início dos anos 90, um brasileiro encantou um mundo com jogadas fantásticas e tornou-se sinônimo de bom jogador de sinuca (ou snooker) em nosso país. Seu nome: **Rui Chapéu**. Em um jogo memorável contra o inglês Steve Davis, então campeão do mundo, Rui Chapéu mostrou toda a sua categoria vencendo seu oponente e entrando definitivamente para o rol dos maiores atletas mundiais de todos os tempos.

Com jogadas específicas para cada situação, o “craque do taco” podia fazer com que o bolão acompanhasse até a caçapa a bola ser matada, bem como conseguia matar uma bola fazendo com que o bolão ocupasse o espaço deixado pela bola encaçapada.

Talvez sem saber, o grande Rui Chapéu nos deu aulas e mais aulas de Física, principalmente sobre conservação da quantidade de movimento e sobre choques mecânicos. Vamos estudar as características físicas de choques mecânicos, seja em colisões de veículos, jogos de sinuca e até partículas subatômicas.



Rui Chapéu em ação contra Steve Davis, em 1981

O cientista e filósofo francês **René Descartes** (1596-1650), tentando determinar o motivo pelo qual o movimento do Universo permanecia constante apesar da interação entre os corpos, chegou a uma grandeza que denominou de **Quantidade de Movimento** ( $p$ ), mais tarde conhecida como momento linear.

A quantidade de movimento corresponde ao produto da massa de um corpo ( $m$ ) por sua velocidade ( $v$ ):

$$p = m \cdot v$$

Um sistema mecanicamente isolado é um sistema que não sofre nenhuma ação de forças externas ou a resultante dessas forças é nula ou ainda as mesmas têm intensidades desprezíveis em relação às forças do sistema. Nesse tipo de sistema a quantidade de movimento é conservada, como por exemplo, na colisão entre duas bolas de sinuca. A quantidade de movimento do sistema imediatamente antes da colisão ( $p_{antes}$ ) é igual à quantidade de movimento imediatamente após a colisão ( $p_{depois}$ ):

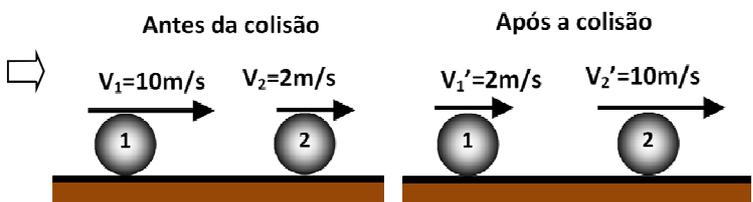
$$p_{antes} = p_{depois}$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

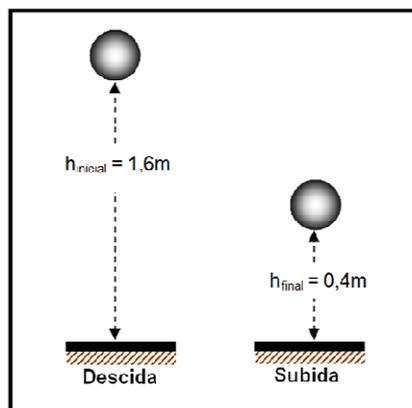
Entretanto movimento das esferas após a colisão depende do material que as compõe e da relação entre as velocidades de aproximação (antes da colisão:  $v_1$  e  $v_2$ ) e afastamento (após a colisão:  $v_1'$  e  $v_2'$ ). A relação entre a velocidade relativa de aproximação ( $V_{aprox}$ ) e a velocidade relativa de afastamento ( $V_{afast}$ ) recebe o nome de **Coefficiente de Restituição** ( $e$ ):

$$e = \frac{V_{afast}}{V_{aprox}}$$

Se o coeficiente de restituição for igual a 1 ( $e = 1$ ) significa que ocorreu 100% de restituição do módulo de velocidade, ou seja, toda a energia mecânica foi conservada, ou seja, não foi transformada em outro tipo de energia. Esse tipo de choque é conhecido como **choque perfeitamente elástico**.



Outro tipo de choque é o que ocorre com mais frequência no cotidiano, o **parcialmente elástico**, onde parte da energia cinética é preservada enquanto outra parte é convertida em outro tipo de energia, como calor e som. Nesse tipo de choque, o coeficiente de restituição é um valor entre zero e 1 ( $0 < e < 1$ ).



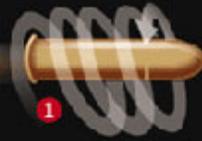
Na situação representada na figura ao lado, uma bola de borracha de massa 0,2 kg é abandonada de uma altura de 1,6 m, bate no solo e retorna a uma altura de 0,4 m. É possível verificar que a bola de borracha perde Energia Mecânica em virtude da perda de Energia Potencial Gravitacional

Por fim há um tipo de choque denominado **perfeitamente inelástico** quando não há restituição ( $e = 0$ ), ou seja, toda a energia mecânica é transformada em outro tipo de energia após o impacto. Nesse caso, após o impacto os corpos seguem unidos, unidos e conseqüentemente na mesma velocidade ou ocorre absorção

Semelhante ao fenômeno em escala macroscópica são as interações de partículas, como as presentes no efeito fotoelétrico, que será exposto a seguir.

## Choque inelástico

**1** Além da translação, a bala possui movimento de rotação

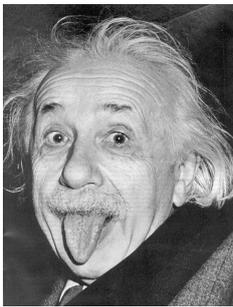


**2** Ao chocar-se contra o vidro, ela o penetra como a broca de uma furadeira



**3** O vidro blindado absorve a bala. Neste caso, o coeficiente de restituição é zero

Fonte: <http://revistaescola.abril.com.br/ensino-medio/blindagem-aproveite-essa-mania-falar-colisao-430964.shtml>



## EFEITO FOTOELÉTRICO

Novamente as atenções são voltadas para Albert Einstein e dessa vez para o estudo que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1921, o **efeito fotoelétrico**.

Existem algumas grandezas físicas que só podem ser representadas por números inteiros e por isso são chamadas de **grandezas quantizadas** e o *quantum* é a quantidade elementar para essa grandeza.

Um exemplo de quantização é o nosso sistema monetário, cuja menor unidade é o centavo. Um produto pode custar 10 centavos de real ou até 100 centavos (que corresponde ao real), mas não é possível pagar com as moedas correntes um produto que custa 0,5 centavos. Como os centavos de real só podem ser representados por números inteiros, dizemos que é

uma unidade quantizada



Entretanto, note que nos postos de combustível é possível ver preços como esses da imagem ao lado.

O mesmo ocorre com a cotação de moedas, como o dólar.

Por que esses preços são registrados dessa forma?

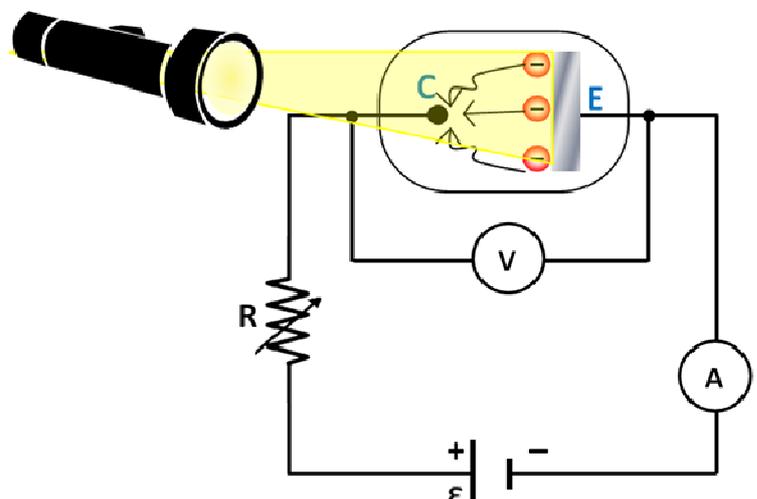
O termo latino *quantum*, cujo plural é *quanta*, deu origem a uma parte da Física Moderna que estuda a interação de partículas atômicas e subatômicas, a **Mecânica Quântica** (ou Física Quântica).

Em 1905, Albert Einstein propôs que a luz é quantizada e sua menor unidade é o fóton, cuja energia é emitida em pacotes discretos de energia  $E$  igual a:

$$E = h \cdot f$$

Sendo  $h$  a constante de Planck ( $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ) e é o fator primordial na divisão entre a Física Clássica e a Quântica.

Einstein identificou que o processo de emissão ou absorção da luz ocorre no interior do átomo que a absorção implicava na aniquilação do fóton, enquanto na emissão ocorria a criação do fóton. Entretanto, a mais notável constatação a respeito da luz foi determinar que a luz com comprimento de onda suficientemente pequena incidindo em um determinado metal pode provocar a emissão de elétrons desse metal, o que caracteriza o efeito fotoelétrico. A figura ao lado representa uma montagem experimental que comprova o efeito fotoelétrico:



## Página 3

Trata-se de um tubo de vidro fechado a vácuo e uma placa de metal fotossensível. Em **E** há um eletrodo positivo, denominado emissor, enquanto em **C**, o coletor, o eletrodo é positivo. Quando não há luz incidindo na placa de metal, o amperímetro **A** não registra corrente elétrica. Mas, na presença de uma luz com determinado comprimento de onda é detectado uma corrente elétrica entre **E** e **C**, em virtude do fluxo de elétrons saindo do emissor e indo para o coletor. Usando o reostato **R** é possível variar a diferença de potencial entre **C** e **E**, de modo a gerar uma corrente elétrica de intensidade máxima. Entretanto, se a polaridade da fonte elétrica  $\epsilon$  for invertida, a intensidade da corrente elétrica é reduzida até se tornar nula. O potencial elétrico nessa etapa é chamado de **potencial de corte ( $V_{\text{corte}}$ )** e os elétrons de maior energia são freados antes de chegarem a **C**, de modo que sua energia cinética máxima ( $K_{\text{max}}$ ) depende desse potencial de corte e da carga elementar do elétron ( $e$ ) é dada por:

$$K_{\text{max}} = e \cdot V_{\text{corte}}$$

Por meio desse experimento foi possível determinar que a energia cinética máxima não depende da intensidade da luz e sim de sua frequência, que se for maior que um valor específico de cada material, chamado **frequência de corte ( $f_0$ )** poderá emitir um fóton.

Para Einstein os fótons são pacotes de energia transportados por um energia  $E = hf$  e cada fóton cede toda essa energia a um único elétron. Parte dessa energia é transformada em energia cinética da partícula, enquanto outra parte realiza a **Função Trabalho ( $\Phi$ )**, que é a energia mínima para que um elétron possa se desprender do metal ao qual está preso por forças elétricas. Dessa forma, a energia cinética do elétron é o que sobra após a função trabalho ser realizada:

$$K_{\text{max}} = hf - \Phi$$

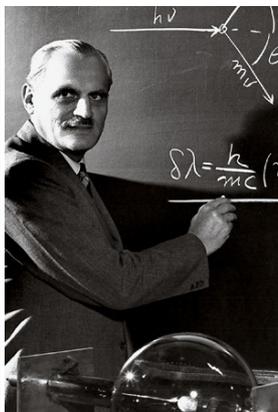
**A energia  
cinética máxima  
não depende da  
intensidade da  
luz e sim de sua  
frequência.**

Einstein propôs ainda que os fótons possuem **momento linear**, matematicamente obtido pela equação

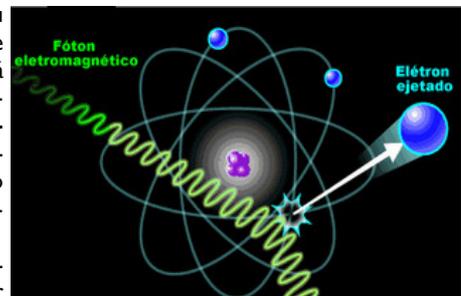
$$p = \frac{hf}{c}$$

Como  $c = \lambda \cdot f$ , a equação acima também pode ser escrita da seguinte forma:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$



Em 1935, o físico norte-americano **Arthur Compton** (1892-1962) realizou um experimento em que constatou que o espalhamento de raios X com elétrons é fruto de uma colisão entre um fóton e um elétron, de modo que há transferência de parte da energia do primeiro para o segundo, o que caracteriza uma **colisão parcialmente elástica**, semelhante à da Física Clássica. Todavia, por processos quânticos, os raios X espalhados têm comprimento de onda maior que o comprimento de onda dos raios incidentes, o que caracteriza o **Espalhamento Compton**. O espalhamento Compton tem diversas aplicações, sobretudo na área da saúde, como no diagnóstico de câncer, por exemplo.



Fonte: <http://fisicasimples2.blogspot.com/2011/04/importancia-do-efeito-compton.html>

**As aplicações do efeito fotoelétrico** em nosso cotidiano são inúmeras. Escolha dois dos itens abaixo e pesquise sobre seu funcionamento e sua importância para a nossa vida:



Placas solares



Controle remoto



Óculos de visão noturna

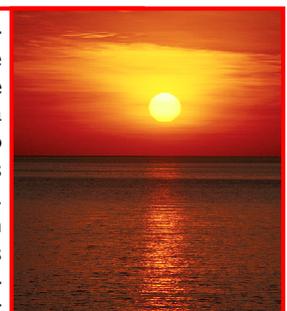


portas automáticas



Sensores de Movimento

Muito se tem comentado e discutido sobre formas eficientes de geração de energia elétrica e sobretudo que causem menos degradação ambiental. Pesquise e produza um texto sobre os pontos favoráveis e as desvantagens da energia solar ser utilizada para a geração de energia elétrica. Se necessário, peça aos seus professores de Biologia e Geografia para auxiliá-lo nessa pesquisa, pois certamente eles enriquecerão ainda mais seu trabalho.



1. (Ufc) A função trabalho de um dado metal é 2,5 eV.

- a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda  $\lambda = 6,0 \times 10^{-7} \text{m}$ . A constante de Planck é  $h \approx 4,2 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$  e a velocidade da luz no vácuo é  $c = 3,0 \times 10^8 \text{m/s}$ .
- b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?

2. (Ufsm) A história da maioria dos municípios gaúchos coincide com a chegada dos primeiros portugueses, alemães, italianos e de outros povos. No entanto, através dos vestígios materiais encontrados nas pesquisas arqueológicas, sabemos que outros povos, anteriores aos citados, protagonizaram a nossa história.

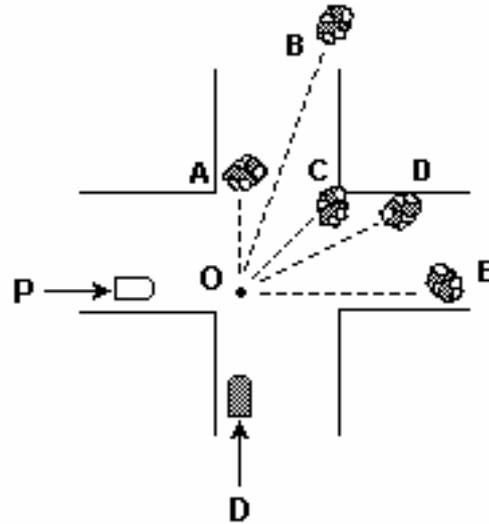
Diante da relevância do contexto e da vontade de valorizar o nosso povo nativo, "o índio", foi selecionada a área temática CULTURA e as questões foram construídas com base na obra "Os Primeiros Habitantes do Rio Grande do Sul" (Custódio, L. A. B., organizador. Santa Cruz do Sul: EDUNISC; IPHAN, 2004).

"Os habitantes dos campos cobertos por gramíneas construíam abrigos, utilizavam rochas e cavernas, trabalhavam a pedra e caçavam através de flechas."

Uma flecha de massa 100g, a uma velocidade de 24m/s encontra uma ave, com massa de 900g, livre, em repouso sobre um galho. A ave ferida mais a flecha passam a ser um único corpo, com velocidade final, em m/s, de

- a) zero.
- b) 0,6.
- c) 1,2.
- d) 2,4.
- e) 6.

3. (Fuvest) Perto de uma esquina, um pipoqueiro, P, e um "dogueiro", D, empurram distraidamente seus carrinhos, com a mesma velocidade (em módulo), sendo que o carrinho do "dogueiro" tem o triplo da massa do carrinho do pipoqueiro. Na esquina, eles colidem (em O) e os carrinhos se engancham, em um choque totalmente inelástico.



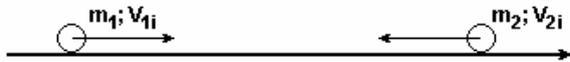
Uma trajetória possível dos dois carrinhos, após a colisão, é compatível com a indicada por

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

4. (Puc-rio) Podemos afirmar, com relação a uma colisão elástica, que:

- a) temos uma colisão onde há conservação de energia, mas não há conservação de momento linear.
- b) temos uma colisão onde não há conservação de energia, mas há conservação de momento linear.
- c) temos uma colisão onde há conservação de energia.
- d) temos uma colisão onde não há conservação de energia e de momento linear.
- e) nenhuma das afirmativas acima é verdadeira.

5. (Uepg) Duas pequenas esferas de massas  $m_1$  e  $m_2$  se aproximam uma da outra com velocidades  $V_{1i}$  e  $V_{2i}$  e experimentam um choque frontal, como se observa na figura a seguir. Sobre este evento, assinale o que for correto.



(01) Se o choque for perfeitamente elástico, a energia cinética é conservada, porém a quantidade de movimento não é conservada.

(02) Se o choque for inelástico, a energia cinética não é conservada, porém a quantidade de movimento é conservada.

(04) Se o choque for perfeitamente elástico, e  $m_1 = m_2$  e  $V_{2i} = 0$ , então  $V_{1f} = 0$  e  $V_{2f} = V_{1i}$

(08) Se o choque for perfeitamente inelástico, com  $m_1 = m_2$  e  $V_{2i} = 0$ , então  $V_f = 1/2V_{1i}$

(16) Se o choque for perfeitamente elástico, com  $m_2$  muito maior que  $m_1$  e  $V_{2i} = 0$ , então  $V_{1f} \approx -V_{1i}$  e  $V_{2f} \approx 0$

6. (Ufpe) Uma bala de massa  $m = 20$  g e velocidade  $v = 500$  m/s atinge um bloco de massa  $M = 480$  g e velocidade  $V = 10$  m/s, que se move em sentido contrário sobre uma superfície horizontal sem atrito. A bala fica alojada no bloco. Calcule o módulo da velocidade do conjunto (bloco + bala), em m/s, após colisão.

- a) 10,4            b) 14,1            c) 18,3
- d) 22,0           e) 26,5

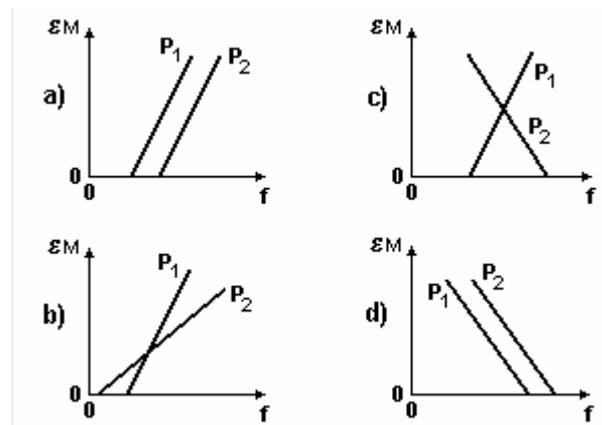
7. (Pucmg) O efeito fotoelétrico consiste:

- a) na existência de elétrons em uma onda eletromagnética que se propaga em um meio uniforme e contínuo.
- b) na possibilidade de se obter uma foto do campo elétrico quando esse campo interage com a matéria.
- c) na emissão de elétrons quando uma onda eletromagnética incide em certas superfícies.
- d) no fato de que a corrente elétrica em metais é formada por fótons de determinada energia.
- e) na idéia de que a matéria é uma forma de energia, podendo transformar-se em fótons ou em calor.

8. (Ufrn) Quando a luz incide sobre a superfície de uma placa metálica, é possível que elétrons sejam arrancados dessa placa, processo conhecido como efeito fotoelétrico. Para que um elétron escape da superfície do metal, devido a esse efeito, a energia do fóton incidente deve ser, pelo menos, igual a uma energia mínima, chamada função trabalho ( $W_0$ ), uma grandeza característica de cada material. A energia de cada fóton da luz incidente é igual ao produto  $hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da luz incidente. Quando a energia do fóton incidente é maior que  $W_0$ , a energia restante é transformada em energia cinética do elétron. Dessa forma, a energia cinética máxima ( $\epsilon M$ ) do elétron arrancado é dada por:

$$\epsilon M = hf - W_0.$$

Considere o experimento no qual um feixe de luz que contém fótons com energias associadas a um grande intervalo de frequências incide sobre duas placas,  $P_1$  e  $P_2$ , constituídas de metais diferentes. Para esse experimento pode-se afirmar que o gráfico representando a energia cinética máxima dos elétrons emitidos, em função das frequências que compõem a luz incidente, é:



**BIBLIOGRAFIA**

ARAGÃO, Maria José. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 224 p.

BIEZUNSKI, Michel. **História da Física Moderna**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993, 267 p.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da Física** uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003. 290 p.

GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. **Física**: volume único. São Paulo : Scipione, 2008. 472 p.

HALLIDAY, David; RESNICK Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 4v.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2005. 3v.

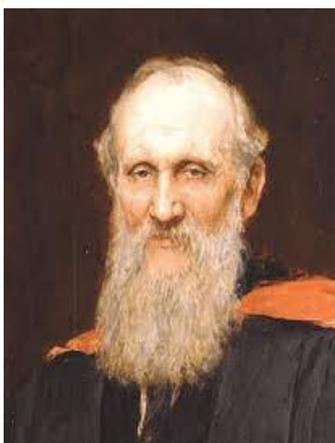
PENTEADO, Paulo César M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física Ciência e Tecnologia**. 1.ed. São Paulo: Moderna, 2005. 3v.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7 – 34, abril 1999.

RODITI, Itzhak. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248 p.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 3v.

# Kelvin: a Escala Absoluta

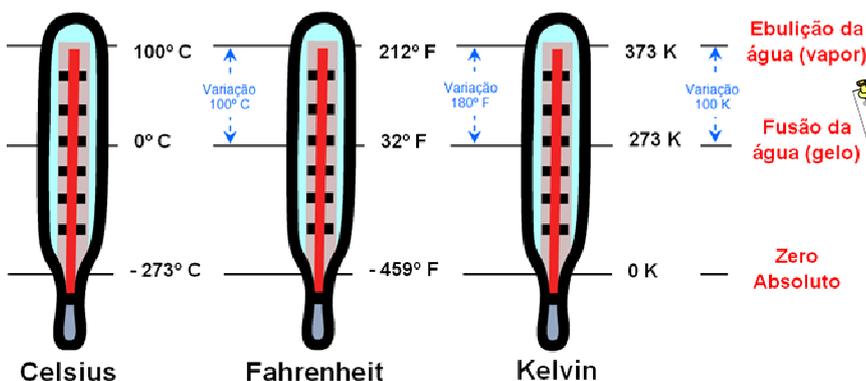


Por seus importantes feitos e invenções, sobretudo no ramo da telegrafia, o grande físico britânico William Thomson (1824-1907) recebeu um importante título de nobreza, passando a ser chamado de **Lorde Kelvin**, gozando assim de grande prestígio junto à realeza. No que tange a Termodinâmica, Kelvin aperfeiçoou os estudos de Nicolas Carnot e James Joule, além de desenvolver uma interpretação matemática para a segunda lei da termodinâmica. Desenvolveu ainda uma escala termométrica que tinha como base a expansão de um gás ideal e como principal característica a hipótese do **Zero Absoluto**, uma temperatura equivalente a  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  onde supostamente a energia cinética das partículas seria nula.

Mais tarde essa escala foi denominada Kelvin e tornou-se a medida oficial de temperatura no Sistema Internacional

de Unidades.

Como já vimos anteriormente, as duas outras escala termométricas, Celsius e Fahrenheit, podem ser relacionadas entre si, baseadas nos pontos de fusão e ebulição da água. Da mesma forma, podemos relacionar a escala absoluta com as duas anteriores:



Comparação entre as principais escalas termométricas

Estabelecendo uma razão entre os pontos de fusão e ebulição das escalas, chegamos às seguintes igualdades:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

onde  $T_C$ ,  $T_F$  e  $T_K$  são as temperaturas nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin, respectivamente.

Dessa forma, para convertermos uma determinada temperatura de uma escala para outra, podemos usar as relações:

$$\begin{array}{l} \text{Celsius} \longleftrightarrow \text{Fahrenheit} \\ \frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Fahrenheit} \longleftrightarrow \text{Kelvin} \\ \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Celsius} \longleftrightarrow \text{Kelvin} \\ \frac{T_C}{5} = \frac{T_K - 273}{5} \Rightarrow T_C = T_K - 273 \end{array}$$



Será que na temperatura de 0 K a **energia cinética das partículas é nula?**  
Leia o texto na página seguinte e verá como a fantástica **Física Moderna** trata esse tema.

**Exemplo de Aplicação**

Um jovem ariquemense estudante de Física estava analisando uma liga metálica e descobriu que a mesma ao atingir a temperatura de  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  passava a se comportar como um isolante. Resolveu publicar sua experiência em uma revista internacional de Física, mas antes resolveu enviar os dados para um amigo que morava nos Estados Unidos para que ele também analisasse. O amigo, usando um termômetro graduado em Fahrenheit, chegou a uma temperatura em que o fenômeno se repetia equivalente à temperatura registrada pelo ariquemense.

Pergunta-se:

a) Qual a temperatura, em Fahrenheit, que o amigo do ariquemense registrou?

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \rightarrow \frac{240}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \Rightarrow 48 = \frac{T_F - 32}{9}$$

$$T_F = 432 + 32 \Rightarrow T_F = 464\text{ }^{\circ}\text{F}$$

b) Para publicar sua experiência na revista internacional, o estudante ariquemense teve que converter a temperatura para a escala absoluta Kelvin. Que valor obteve?

$$T_C = T_K - 273 \rightarrow T_K = 240 + 273$$

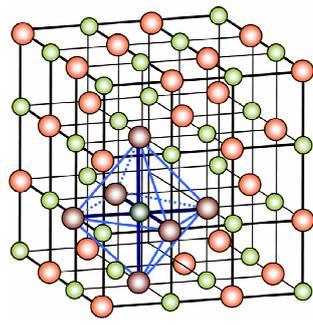
$$T_K = 513\text{ K}$$

Note que a escala Kelvin não possui o símbolo “°K” (grau kelvin), pois não é um escala graduada.

## A QUESTÃO DO ZERO ABSOLUTO

Este texto responde a pergunta da página anterior:

“Será que na temperatura de 0 K a energia cinética das partículas é nula?”



Rede cristalina

Como já vimos, a escala termométrica Kelvin se baseia no fato de existir uma temperatura (0 K) em que a energia cinética das partículas de um corpo **supostamente** seria nula, ou seja, o Zero Absoluto.

Mas não é bem assim... Em um universo bem pequeno, a nível subatômico, encontraremos indícios de que mesmo no Zero Absoluto existe movimento. Para isso, vamos considerar um corpo sólido. Você já deve saber que um corpo sólido tem como característica apresentar forma e volume bem definidos e que os átomos estão próximos um do outro.

Porém, há um tipo especial de sólido chamado **sólido cristalino**, que apresenta uma disposição tridimensional e periódica de seus átomos, denominada rede cristalina e definida por uma estrutura elementar chamada célula unitária.

Certamente você deve ter estudado em Química sobre os níveis de energia. Então, na rede cristalina, cada átomo possui níveis individuais de energia, que são divididos em bandas de energia separadas por níveis que não podem ser ocupados por elétrons, denominados bandas proibidas.

**RECORDANDO:** Faça uma revisão de Química sobre o tema **distribuição eletrônica**. Com isso você além de compreender melhor o assunto que estamos tratando, ainda revê um importantíssimo conceito

Portanto, um condutor é um tipo de sólido cristalino cujas **bandas de energia** apresentam peculiaridades que o diferenciam de outros sólidos, como os isolantes, por exemplo. Observando a figura abaixo, que representa as bandas de energia em um condutor e considerando a temperatura igual ao Zero Absoluto (0 K):

- O nível mais alto ocupado por um elétron é conhecido como Nível de Fermi e está próximo ao meio de bandas de energia permitida (que podem ser ocupadas por elétrons);
- A energia nesse nível é denominada Energia de Fermi, e na figura está representada por  $E_f$ ;
- Na parte inferior dessa banda, a energia é nula e representada por  $E = 0$ ;
- A velocidade de um elétron com Energia de Fermi é a Velocidade de Fermi.



Bandas de Energia

Mesmo no Zero Absoluto há velocidade. Podemos tomar como exemplo o cobre, cuja Velocidade de Fermi no Zero Absoluto (0 K) é igual a  $1,6 \times 10^6$  m/s. Se há velocidade, há energia cinética.

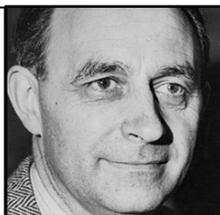
Portanto, a um nível subatômico as partículas estão em movimento restrito a certa banda de energia.

Ou seja:

**As partículas não estão em repouso no Zero Absoluto**

**PESQUISA:**

1) Pesquise sobre a vida e as descobertas do físico italiano **Enrico Fermi**, um dos maiores cientistas do século XX



2) Às bandas de energia estão mais presentes em nosso cotidiano do que você imagina. Seja na informática, em outros dispositivos eletrônicos e até na medicina. Pesquise sobre **condutores, semicondutores e supercondutores**, destacando as principais diferenças entre eles e suas aplicações.



3) Peça orientação ao seu professor de Geografia e pesquise sobre alguns países do mundo que utilizam a escala Fahrenheit para medir temperatura.





**BIBLIOGRAFIA**

ARAGÃO, Maria José. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 224 p.

BIEZUNSKI, Michel. **História da Física Moderna**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993, 267 p.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da Física** uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003. 290 p.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Física Moderna Experimental**. 2. ed. Barueri : Manole, 2007. 132 p.

GASPAR, Alberto. **Física** volume único. São Paulo: Ática, 2005. 552 p.

HALLIDAY, David; RESNICK Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**, 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 4v.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2005. 3v.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7 – 34, abril 1999.

RODITI, Itzhak. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248 p.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 3v

# Transmissão de Calor

**C**omo já vimos anteriormente, calor é uma forma de energia associada ao estado de agitação das partículas que compõem um determinado corpo e pode ser transmitida de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura por três processos diferentes: a **condução**, a **convecção** e a **radiação**.



## CONDUÇÃO



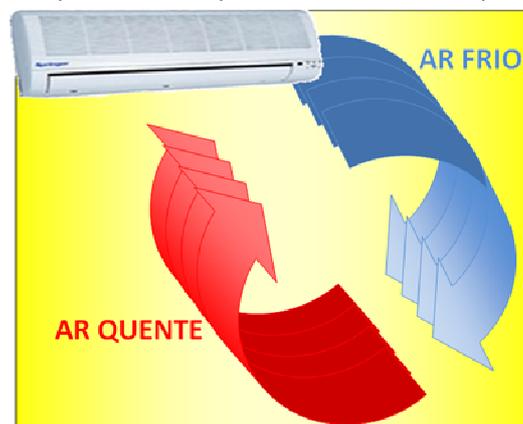
Para que ocorra o processo de condução é necessário o contato entre os corpos, quando o corpo de menor temperatura recebe energia térmica de um corpo de maior temperatura fazendo com que seus átomos vibrem com maior intensidade, passando essa energia de uma molécula para outra. É o que ocorre, por exemplo, ao levar uma panela de alumínio ao fogo. Inicialmente o fundo da panela se aquece, o calor se espalha por todo o objeto e depois de algum tempo exposta à chama, toda a panela fica aquecida devido ao contato direto com o fogo.



## CONVECÇÃO

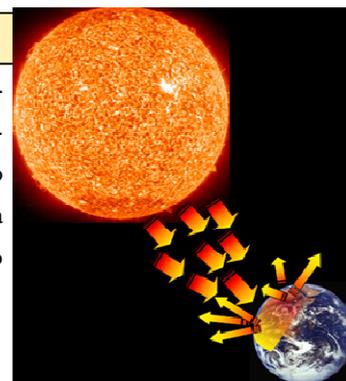


A convecção ocorre somente em **fluidos** (líquidos e gases) e a energia térmica se propaga pelos movimentos das camadas dos fluidos ao serem aquecidas ou resfriadas. Supondo um líquido contido em um recipiente e aquecido por uma chama posicionada abaixo do recipiente. Uma massa do líquido ao ser aquecida sofre expansão, diminui sua densidade e sobe, enquanto uma massa fria (mais densa que a primeira) desce para ocupar o lugar deixado pela massa quente. Ao descer, essa última é igualmente aquecida e também sobe, obrigando outra massa do líquido a descer, gerando um ciclo denominado corrente de convecção. Para aproveitar corretamente as correntes de convecção em um cômodo de uma casa, os aparelhos condicionadores de ar devem ser instalados no alto, enquanto os aquecedores devem ser instalados próximos ao chão.

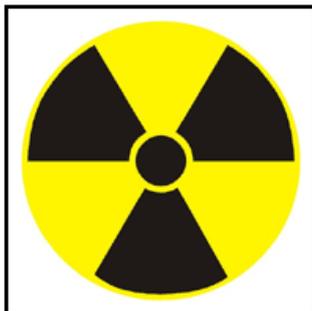


## RADIAÇÃO

O calor, é uma onda eletromagnética (o infravermelho, cuja frequência se encontra entre  $10^{11}$  e  $4 \times 10^{14}$  hertz), logo não precisa de um meio material para se propagar, o que explica como a radiação solar chega até a Terra, viajando através do vácuo. Na radiação, uma fonte emite calor a um corpo que reflete parte da energia térmica e absorve a outra parte dessa energia, ocasionando o aumento da agitação das partículas do corpo e, conseqüentemente elevando a sua temperatura.



Você provavelmente já ouviu falar em radiação, sobretudo em sua parte nociva à saúde humana. Agora você vai estudar um pouco sobre os processos de radioatividade, semelhantes aos da propagação de calor.

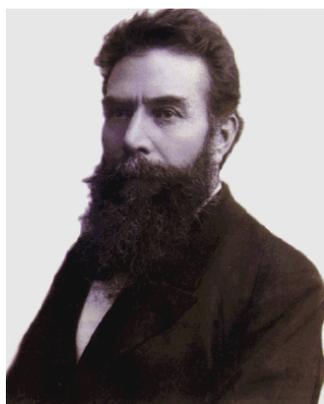
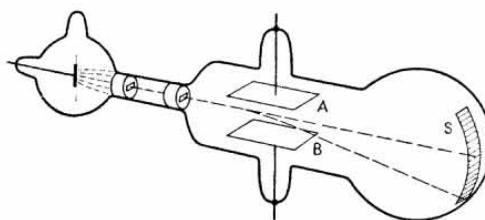


Da mesma forma que o calor, outras formas de energia podem se propagar de uma fonte emissora para um receptor seja por meio de ondas ou por meio de partículas. A fonte emissora pode ser natural como o Sol ou artificial como tubos de imagem de aparelhos televisores, contudo, em ambos os casos, tal emissão se dá devido a fenômenos nucleares. A ocorrência de desintegração espontânea do núcleo do átomo de um determinado elemento e conseqüentemente a emissão de partículas ou ondas eletromagnéticas decorrentes desse processo caracteriza o fenômeno da **radioatividade**.

## RADIOATIVIDADE

No final do século XIX alguns cientistas descobriram que havia materiais que liberavam espontaneamente partículas ou ondas eletromagnéticas, sem que fossem perceptíveis as alterações em suas estruturas.

Tal constatação começou a ser sistematizada durante um experiência com um **tubo de raios catódicos**, que é um dispositivo basicamente composto de um tubo de vidro fechado à vácuo, em cujo interior há dois condutores metálicos; o primeiro, ao ser aquecido emite elétrons denominados raios catódicos e o segundo condutor capta os elétrons e os direciona para uma tela luminescente (o mesmo ocorre em tubos de imagem de televisores).

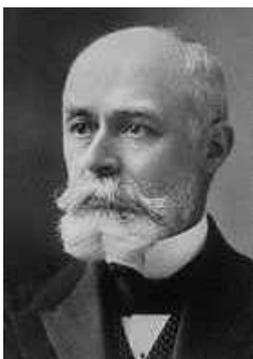


Em 1895, o físico alemão **Wilhelm Röntgen** (1845-1923) estava realizando um estudo com um tubo de raios catódicos e cobriu o dispositivo de modo que o mesmo não podia emitir nenhuma luminosidade. Ao acionar o tubo notou que uma placa coberta de platinocianeto de bário (detalhe: a barra não fazia parte do experimento) **emitiu uma luz fluorescente** que se manteve enquanto o tubo esteve ligado. Acidentalmente Röntgen descobriu um tipo de radiação invisível, com uma grande **capacidade de atravessar a matéria e capaz de ionizar o ar**. Usando sua esposa Bertha como "cobaia", o cientista pôs a mão da mesma sobre uma chapa fotográfica e incidiu a radiação nela, de modo que na chapa foi possível visualizar os ossos da mão de Bertha e até mesmo o anel que ela



usava. Estava criada a radiografia e a essa radiação Röntgen deu o nome de **Raios-X** por não saber do que se tratava, mas rendeu-lhe o Prêmio Nobel de Física em 1901.

Em 1896, o físico francês **Henri Becquerel** (1852-1908) realizou um experimento com sulfato duplo de urânio, cujos cristais emitiram radiação detectada por placas de filmes fotográficos. Entretanto, diferente do experimento de Röntgen, os cristais de Becquerel não eram luminescentes nem precisavam ser excitados por um emissor de radiação, o que o levou a concluir que o **urânio**, assim como outros elementos, **possui radiação espontânea**. Seus feitos lhe proporcionaram a honra de dividir o Prêmio Nobel de Física de 1903 com o famoso casal Curie.



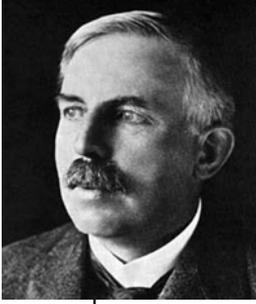
Os célebres **Pierre** (1859-1906) e **Marie Curie** (1867-1934), expoentes da Física no estudo da radiação, descobriram em 1898 o **polônio** e o **rádio**, dois outros elementos que são espontaneamente radioativos. Como já fora citado, dividiram Prêmio Nobel de Física de 1903 com Becquerel, mas após a morte de Pierre, Marie prosseguiu com as pesquisas e em 1911, foi-lhe concedido o Prêmio Nobel de Química:



"O Prêmio Nobel de Química de 1911 foi atribuído a Marie Curie, 'em reconhecimento pelos seus serviços para o avanço da Química pela descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio e o estudo da natureza dos compostos deste elemento'."

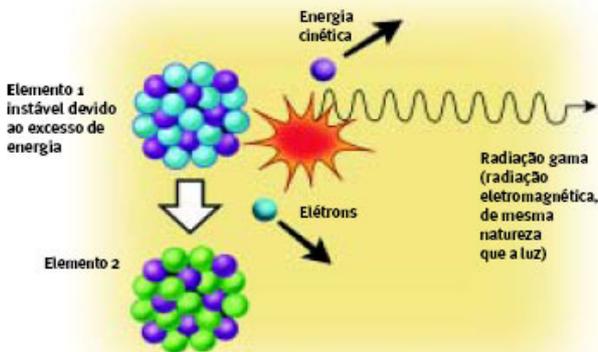
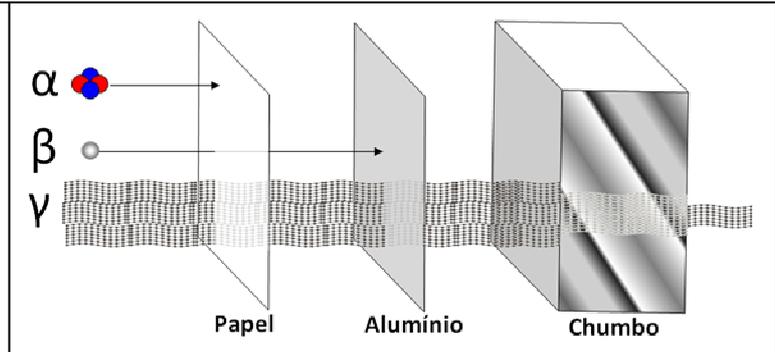
Texto da entrega do Nobel de Química de 1911





O físico neozelandês **Ernest Rutherford** (1871-1937) em 1899 realizou um estudo do urânio radioativo e detectou dois tipos de radiação: as **partículas alfa** ( $\alpha$ ), constituídas de núcleos de hélio e as **partículas beta** ( $\beta$ ), formadas por feixes de elétrons ou pósitrons, sendo ambas dotadas de massa e carga elétrica e emitidas para que o átomo se torne estável. Um ano depois, Rutherford descobriu os **raios gama** ( $\gamma$ ), um tipo de radiação sem massa ou carga elétrica, mas cujo poder de penetração na matéria é tão intenso que é necessária uma grossa camada de chumbo para contê-la. Por sua vez, as partículas alfa mal atravessam uma folha de papel, enquanto as partículas beta podem ser contidas até por uma folha de alumínio.

Contudo, em cada emissão de partículas alfa e beta de um elemento ocorre uma variação no número de prótons do núcleo atômico e isso implica na **transformação desse elemento em outro**, com características químicas distintas, também conhecida como transmutação. O processo pelo qual esse elemento tem sua massa e atividade nucleares reduzidas em virtude de ter “perdido” partículas dotadas de massa é conhecido como **decaimento radioativo**.



O decaimento radioativo de um átomo pode inclusive revelar a idade de um determinado objeto, de rochas, artefatos ou outras descobertas arqueológicas, geológicas e antropológicas. Ao tempo necessário para que uma substância tenha a sua quantidade de átomos radioativos reduzida pela metade, é dado o nome de **meia-vida**. Conhecendo o decaimento de um isótopo do carbono, o carbono-14 e sua meia-vida, é possível estimar a idade do objeto da pesquisa.



Entretanto, o decaimento radioativo pode ser extremamente perigoso à saúde, visto que pode causar mutações celulares, câncer e outras enfermidades, podendo ser mortal se a exposição for prolongada ou se o nível de radiação for muito intenso.

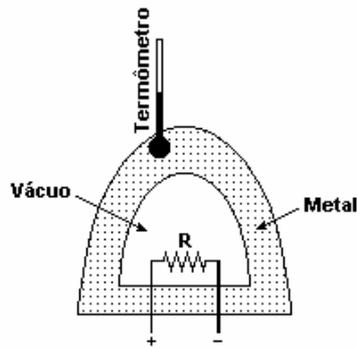


### Chernobyl X Fukushima



Faça uma pesquisa sobre dois famosos e graves acidentes radioativos, o de Chernobyl, na Ucrânia em 1986 e o de Fukushima no Japão em 2011. Compare a gravidade de dos dois, suas causas e feitos imediatos e a longo prazo.

I. (Ufv) Um resistor R é colocado dentro de um recipiente de parede metálica, no qual é feito vácuo e que possui um termômetro incrustado em sua parede externa. Para ligar o resistor a uma fonte externa ao recipiente foi utilizado um fio, com isolamento térmico que impede transferência de calor para as paredes do recipiente. Essa situação encontra-se ilustrada na figura a seguir.



Ligando o resistor, nota-se que a temperatura indicada pelo termômetro aumenta, mostrando que há transferência de calor entre o resistor e o termômetro. Pode-se afirmar que os processos responsáveis por essa transferência de calor, na ordem CORRETA, são:

- a) primeiro convecção e depois radiação.
- b) primeiro convecção e depois condução.
- c) primeiro radiação e depois convecção.
- d) primeiro radiação e depois condução.
- e) primeiro condução e depois convecção.

2. Sobre a propagação do calor, considere as seguintes afirmações:

- I) O processo de convecção do calor só pode ocorrer nos meios sólidos e líquidos.
- II) A irradiação do calor só pode ocorrer no vácuo.
- III) A condução de calor é o processo de propagação que ocorre nos corpos sólidos.
- IV) A convecção do calor só pode ocorrer nos líquidos.

Está(estão) correta(s) somente:

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

3. Sobre os conceitos de Irradiação Térmica é INCORRETO afirmar que:

- a) a irradiação térmica em uma lâmpada incandescente acesa é acompanhada de luz. A irradiação térmica num ferro de passar roupa não é acompanhada de luz.
- b) o calor do Sol chega a Terra por irradiação.
- c) todos os objetos estão irradiando calor continuamente.
- d) o corpo negro, sendo absorvedor ideal, é também emissor ideal ou perfeito.
- e) a irradiação térmica dá-se por meio das ondas eletromagnéticas, predominando os raios ultravioletas.

4. (Uepg) Calor é uma forma de energia que é transferida entre dois sistemas quando entre eles existe uma diferença de temperatura, e a transferência pode ocorrer por condução, convecção ou radiação. A respeito deste assunto, assinale o que for correto.

- (01) Na condução, a transferência de calor ocorre de partícula a partícula, dentro de um corpo ou entre dois corpos em contato.
- (02) A transferência de calor em um meio fluido ocorre por convecção.
- (04) Na radiação, a transferência de calor entre dois sistemas ocorre através de ondas eletromagnéticas.
- (08) O fluxo de calor através de um corpo é inversamente proporcional à sua espessura.
- (16) A energia irradiada por um corpo, na unidade do tempo, é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta.

5. (Ufpe) Isótopos radiativos são empregados no diagnóstico e tratamento de inúmeras doenças. Qual é a principal propriedade que caracteriza um elemento químico?

- a) número de massa
- b) número de prótons
- c) número de nêutrons
- d) energia de ionização
- e) diferença entre o número de prótons e de nêutrons

6. (Unitau) Indique a alternativa que associa corretamente o tipo predominante de transferência de calor que ocorre nos fenômenos, na seguinte seqüência:

- Aquecimento de uma barra de ferro quando sua extremidade é colocada numa chama acesa.
- Aquecimento o corpo humano quando exposto ao sol.
- Vento que sopra da terra para o mar durante a noite.

- a) convecção - condução - radiação.
- b) convecção - radiação - condução.
- c) condução - convecção - radiação.
- d) condução - radiação - convecção.
- e) radiação - condução - convecção.

7. Quando um elemento radioativo emite uma partícula alfa, seu número atômico:

- a) permanece inalterado
- b) diminui em duas unidades
- c) aumenta em duas unidades
- d) diminui em quatro unidades
- e) aumenta em quatro unidades

8. (Ufscar) Uma das aplicações nobres da energia nuclear é a síntese de radioisótopos que são aplicados na medicina, no diagnóstico e tratamento de doenças. O Brasil é um país que se destaca na pesquisa e fabricação de radioisótopos. O fósforo-32 é utilizado na medicina nuclear para tratamento de problemas vasculares. No decaimento deste radioisótopo, é formado enxofre-32, ocorrendo emissão de

- a) partículas alfa.
- b) partículas beta.
- c) raios gama.
- d) nêutrons.
- e) raios X.

ARAGÃO, Maria José. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 224 p.

BIEZUNSKI, Michel. **História da Física Moderna**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993, 267 p.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da Física** uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003. 290 p.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Física Moderna Experimental**. 2. ed. Barueri : Manole, 2007. 132 p.

GASPAR, Alberto. **Física** volume único. São Paulo: Ática, 2005. 552 p.

HALLIDAY, David; RESNICK Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**, 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 4v.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2005. 3v.

NUSSENZVEIG, Moysés H. **Curso de Física Básica**: Ótica, Relatividade, Física Quântica. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2002. 437 p.

RODITI, Itzhak. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248 p.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 3v

**FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS**

Código dos livros:

- 01: "Física: Ensino Médio", de Antônio Luz e Beatriz Álvares
- 02: "Física: Ciência e Tecnologia", de Paulo César Martins Penteado e Carlos Magno Azinaro Torres
- 03: "Universo da Física", de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada (3 volumes)
- 04: "Física", de José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada (volume único)
- 05: "Física", de Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano
- 06: "Física", de Alberto Gaspar
- 07: "Física Completa", Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno, Valter Bonjorno e Clinton Marcico Ramos

Crêterios de Avaliaçãõ
ÓTIMO
BOM
REGULAR
INSATISFATÓRIO

Códigos dos livros	Quesitos avaliados					
	Apresenta elementos da Física Moderna no decorrer dos conteúdos da Física Clássica?	Relaciona os avanços tecnológicos com a Física Moderna?	Faz referências aos grandes físicos contemporâneos, ressaltando seus feitos e descobertas?	Associa a Física Moderna a outras áreas do conhecimento humano (interdisciplinaridade)?	Ao abordar a Física Moderna, usa uma linguagem acessível a alunos do Ensino Médio?	De um modo geral, deixa claro a importância da Física Moderna?
01	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BOM	ÓTIMO	BOM
02	REGULAR	ÓTIMO	BOM	BOM	ÓTIMO	ÓTIMO
03	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BOM	BOM
04	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BOM	BOM
05	BOM	REGULAR	REGULAR	REGULAR	ÓTIMO	BOM
06	INSATISFATÓRIO	REGULAR	REGULAR	BOM	BOM	REGULAR
07	INSATISFATÓRIO	INSATISFATÓRIO	REGULAR	REGULAR	INSATISFATÓRIO	INSATISFATÓRIO