

Leonardo Bueno | Mayara Palmieri | Walter Mendes Leopoldo

# Fisistória

**BAZINGA!**

Berna, Suíça



# ***FISISTÓRIA***

**Leonardo Bueno**

Bacharelado em Física pela Universidade de São Paulo

**Mayara Palmieri**

Licencianda em Física pela Universidade de São Paulo

**Walter Mendes Leopoldo**

Licenciando em Física pela Universidade de São Paulo

PRIMEIRA EDIÇÃO  
São Paulo, junho de 2015





Este material consiste numa coletânea de textos para professores, resultado de um esforço coletivo de graduandos do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Alguns destes textos são de autoria deste coletivo e outros são adaptações de textos de divulgação científica disponíveis à comunidade.

O objetivo desse material é apresentar a física ao professor, de forma que este possa, por meio dos textos, tornar significativos os conhecimentos científicos para seus alunos. Pretendemos com isto, que o aluno seja inserido na cultura científica de forma independente a sua atuação futura e que ainda assim o mesmo tenha condições de reconhecer esse conhecimento para diversos fins, sejam práticos e cotidianos, sejam acadêmicos.

Observa-se bastante presente as aulas de Física do Ensino Médio, a simples “transposição linguística” dos cálculos desenvolvidos no Ensino Superior, transformando, por exemplo, a Segunda Lei de Newton ( $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ ) em algo  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Entretanto, quase nunca existe a preocupação de se estabelecer uma relação dos símbolos matemáticos e o mundo vivencial dos alunos. E não se pergunta como estando “dotado” desse conteúdo, um estudante consegue modificar as coisas que o cerca. Visando sanar esta problemática, propomos trabalhar com um enfoque pautado na história da Física buscando, deste modo, não propagar uma ideia de ciência desvinculada o mundo, procurando discutir como as diversas demandas sociais causaram diversas mudanças no “ritmo” da ciência e também, em alguns casos, como a ciência contribuiu para transformações sociais.

De forma complementar, mas completamente dialógica com os textos, apresentamos propostas de atividades experimentais e/ou de modelização das observações realizadas do mundo.

Desta forma, não se sinta obrigado a se limitar exclusivamente aos conteúdos presentes nos textos do material, exerça sua liberdade e use-o de forma integral ou adaptada à diversidade de alunos e contextos presentes em sala de aula.



# SUMÁRIO

## UNIDADE VI – FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Capítulo I – A ideia da quantização	9
Capítulo II – Uma nova visão de Mundo	??
Capítulo III – A descoberta da radioatividade	??
Capítulo IV – Transmutação dos Elementos	??
Capítulo V – Modelos Atômicos	??
Capítulo VI – Dualidade onda-partícula	??
Capítulo VII – A nova Física de Partículas	??
Capítulo VIII – Física Nuclear	??
Capítulo IX – Aceleradores de partículas	??

# ***UNIDADE VI***

## **Física Moderna e Contemporânea**



*“A Física desenvolvida até então já é completa, no entanto, temos apenas duas pequenas nuvens no horizonte”.*

Lord Kelvin

Já imaginou um mundo em que você não saiba o que é uma tela touchscreen, um smarphone, um tablet, um GPS, um computador, uma televisão à cores enfim, toda tecnologia à qual somos bombardeados diariamente? Será que esta realidade está muito distante dos dias atuais?

A frase com que iniciamos esta unidade foi uma frase defendida por Lord Kelvin no final do século XIX quando a realidade da época era muito semelhante à realidade imaginada com o auxílio das nossas perguntas. Nesta época, os conhecimentos e teorias desenvolvidos pelos cientistas (“grandes” e “pequenos”) levaram a crença de uma natureza contínua, completamente previsível e que obedeciam ou às Leis de Newton ou às equações de Maxwell. Entretanto, duas coisas não batiam: (1) Como explicar as radiações emitidas por um pequeno orifício aquecidos, ou melhor, por um “corpo negro”? (2) Seriam os fenômenos eletromagnéticos variantes, ou seja, o fenômeno observado de um referencial seria outro em outro referencial? Se não, o que teria de errado nos modelos científicos adotados até então?

O objetivo desta unidade é trazer discussões e atividades referentes ao desenvolvimento da Física ao longo do século XX. Manteremos a sua estrutura bastante semelhante à que já trouxemos todos os demais conteúdos desta coleção: neste volume, estarão os textos de própria autoria ou de divulgação que tratem da temática abordada e no Guia de Experimentação estarão presentes atividades/experimentos que serão apresentadas no decorrer do texto e podem ser trabalhados e discutidos em classe.



# CAPÍTULO I – A ideia da Quantização

Neste capítulo conversaremos sobre a “primeira pequena nuvem” com a qual os cientistas do final do século XIX se depararam: explicar a radiação emitida por um corpo negro. Como você já deve ter percebido, uma característica bastante comum dos cientistas é a de usar as teorias que possuem “à disposição” buscando explicar questões completamente novas.

Podemos dizer que nos vemos nesta mesma situação ao trabalhar com a modelização da *Caixa Preta* (Atividade 1 do Guia de Experimentação). Ao observar as suas hastes movimentando-se para frente e para trás, buscamos em nossas experiências vivencias (ou, poderíamos chamar de nos modelos que temos à nossa disposição devido às diversas mediações que vivemos com o mundo) quais as “coisas” que mais possivelmente desempenhariam o mecanismo interno da caixa.

Provavelmente, surgiram ideias como a de fios enrolados que são desenrolados ao puxamos as hastes e voltam ao seu estado inicial ao soltamos; ou de pedaços de esponja que seriam comprimidos ao empurrarmos as hastes e ao descomprimirem, empurrariam as hastes de volta; ou ainda, que poderia ser o trabalho seria realizado por molas ou elásticos. Enfim, temos brainstorm de coisas conectadas a nossa vivência e como elas poderiam explicar o movimento das hastes. É claro que as nossas escolhas iniciais dependerão do grau de envolvimento e entendimento que possuímos sobre o funcionamento dessas coisas. Ao modelizar o mecanismo da caixa preta, procuramos prever o que aconteceria caso aquele modelo fosse o certo.

Algumas vezes percebemos que o modelo não dá conta de uma coisa ou ou-



tra e, então, nos propomos a definir modificações nos mesmos ou até mesmo um completo abandono deles e adoção de outros. Como já vimos em diversos momentos da história da Física Clássica, esse movimento nunca é imediato, sempre surgirão adendos ao modelo utilizado sendo necessários problemas-chaves para causar uma ruptura na Ciência Normal, iniciando a fase pré-paradigmática (Kuhn, 1975).

### 1 - RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

Com a radiação de Corpo Negro não foi nem um pouco diferente. Durante os séculos XVIII e XIX, a relação da sociedade europeia com o trabalho passou por uma transformação brusca. Uma população que até então vivia no campo e produzia o que consumia substituiu seu trabalho por um assalariado e pelo uso das máquinas.

Foi envolta por este contexto, como já discutimos nas unidades anteriores, que surgiram os primeiros estudos sobre a Física Térmica, buscando uma maior eficiência das máquinas utilizadas. E também, surge dentro deste contexto outra questão que trouxe implicações diretas para o desenvolvimento que conhecemos como Radiação de

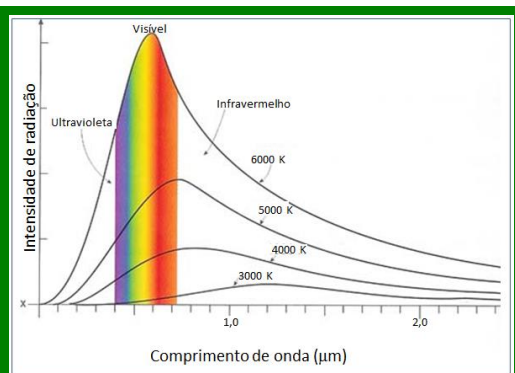
Chamamos de radiação de Corpo Negro ideal aquela que é obtida de um corpo que ao ser aquecido à determinada temperatura consegue absorver toda a radiação eletromagnética que nele incide e irradia uma curva relacionada a sua temperatura. São também conhecidos como absorvedor e emissor ideal  $\frac{\text{emitida}}{\text{absorvida}} = 1$ .

Corpo Negro: Como relacionar a temperatura dos fornos com a radiação eletromagnética emitida?

Em 1879, para estudar sobre esta questão o físico esloveno Joseph Stefan ao estudar a energia radiada por corpos aquecidos, propõe que “o poder emissor de um corpo negro (energia emitida pelo corpo negro na forma de luz e calor em cada segundo) era proporcional à temperatura absoluta elevada à quarta potência.” (SERWAY e JEWETT, 2007, p.307). Em 1884, apenas cinco anos mais tarde, Ludwig Boltzmann deu uma explicação teórica, partindo da termodinâmica clássica, sendo a partir daí este resultado conhecido como *Lei de Stefan-Boltzmann*.

Anos mais tarde, o físico alemão

*Wilhelm Wien* observou que ao aumentar a temperatura do corpo negro, o comprimento de onda correspondente ao brilho máximo da luz pelo mesmo torna-se mais curto, deslocando-se a região do violeta no espectro, representado no Gráfico 1.



Gráf. 1 – Distribuição de intensidade de radiação para diferentes temperaturas

Buscando modelizar este comportamento observado, Wien definiu que  $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = b$ . A constante  $b$  deu-se o nome de constante de dispersão de Wien, cujo valor é conhecido e igual a  $2,8977685 \cdot 10^{-3} \text{ metros} \cdot \text{Kelvin}$ .

Chegamos aqui em uma situação bastante interessante. Aparecera um problema de caráter prático que de uma forma bastante pragmática fora resolvido: Para saber a temperatura do forno bastaria fazer o levantamento da curva da radiação emitida, observar em qual comprimento de onda encontra-se a maior intensidade de emissão e depois dividir a constante de Wien pelo valor desse comprimento. *Parece fácil, não é verdade?* Infelizmente não!

Até então não existia um modelo ou teoria que relacionasse a Lei de Stefan-Boltzmann e a observação de Wien sobre a distribuição da **radiância espectral**.

Munido dos “seus óculos de físicos” conhecedores da vitoriosa teoria eletromagnética, o Lord Rayleigh propõe, em 1900, que consideremos um corpo negro ideal como uma cavidade que tivesse ligada ao exterior por uma pequena abertura, de forma que, um raio que entrasse na cavidade tivesse uma baixíssima probabilidade de sair pelo furo sem antes ser absorvido pelas paredes da cavidade.

Partindo de sua proposição e utilizando-se da Teoria Eletromagnética Clássica, Lord Rayleigh, propõe que a distribuição espectral da densidade de energia é dada por  $u(\lambda) = kTn(\lambda) = 8\pi\lambda^{-4}$ , onde  $u(\lambda)$  é a distribuição espectral da densidade de energia,  $k$  é constante de Boltzmann e  $n(\lambda)$  o número de modos de oscilação por unidade de de volume.

Chamamos de radiância espectral ( $R(\lambda)$ ) é definida pela quantidade de radiação emitida pela superfície de um corpo em um intervalo de comprimentos de onda ( $\Delta\lambda$ ) a uma temperatura ( $T$ ) por unidade de tempo.



**Joseph Stefan**

**Nasc.:** 14 de março de 1835  
Klagenfurt

**Morte:** 7 de janeiro de 1893  
(57 anos) – Viena

**Área de atuação:** Física e matemática

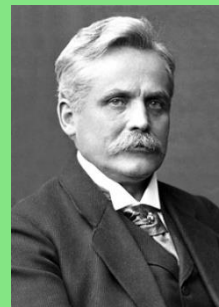


**Ludwig Boltzmann**

**Nasc.:** 20 de fevereiro de 1844 – Viena

**Morte:** 5 de setembro de 1906 (62 anos) – Duino-Aurisina

**Área de atuação:** Física.



**Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien**

**Nasc.:** 13 de janeiro de 1864 – Gaffken, Fischhausen (hoje Primorsk, Rússia)

**Morte:** 30 de agosto de 1928 (64 anos) – Munique, Baviera

**Área de atuação:** Física.



**John William Strutt (Barão de Rayleigh)**

**Nasc.:** 12 de novembro de 1842 – Langford Grove, Essex, Inglaterra

**Morte:** 30 de junho de 1919 (76 anos) – Terling Place, Witham, Essex, Inglaterra

**Área de atuação:** Física e Matemática

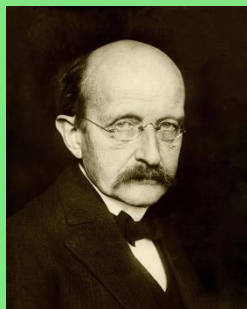


**James Hopwood Jeans**

**Nasc.:** 11 de setembro de 1877 – Ormskirk

**Morte:** 16 de setembro de 1949 (69 anos) – Dorking

**Área de atuação:** Física, Matemática e astronomia.

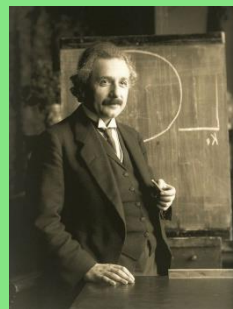


**Max Karl Ernst Ludwig Planck**

**Nasc.:** 23 de abril de 1858 – Keil, Schleswig-Holstein - Alemanha

**Morte:** 4 outubro de 1947 (89 anos) – Götting, Baixa Saxônia - Alemanha

**Área de atuação:** Física



**Albert Einstein**

**Nasc.:** 14 de março de 1879 – Ulm, Baden-Württemberg – Imp. Alemão

**Morte:** 18 de abril de 1955 (76 anos) – Princeton, Nova Jérsei

**Área de atuação:** Física.

O mesmo resultado fora obtido cinco anos depois pelo sir James Jeans, o que culminou que a equação de dispersão obtida recebesse o nome de a *Equação de Rayleigh-Jeans*.

Este resultado obtido a partir da Física Clássica, porém, não previa um máximo no brilho para um comprimento de onda finito, e sim um crescimento arbitrário do

brilho com a diminuição do comprimento de onda, observe no Gráfico 2. Esta previsão, a priori absurda, foi alcunhada por alguns físicos de “ca-

**tástrofe ultravioleta**”, por ocorrer em regiões de frequências elevadas (comprimentos de onda curtos)

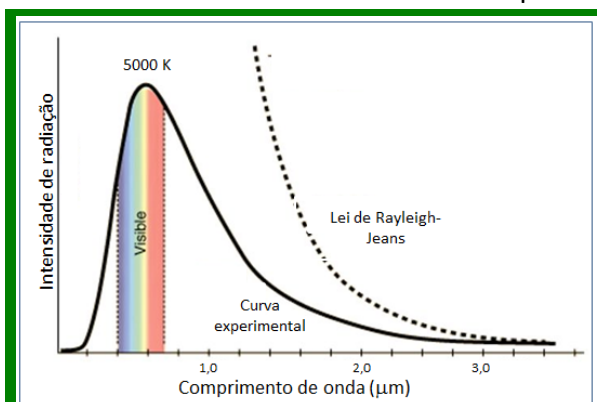
Em 1900, Planck postulou que a luz (visível ou não visível) seria formada por

“partículas” ou “pacotes de ondas”, cuja energia é proporcional à frequência da onda de luz ( $f$ ), ou seja, cada partícula de luz carrega uma energia determinada por  $E = hf$ , onde  $h$  é chamada de constante de Planck, cujo valor atualmente aceito na literatura é  $6,63 \cdot 10^{-34}$  *joule · segundo*. Não existia nenhuma razão para adotar esta hipótese que hoje considere-

mos revolucionária, até o próprio Planck admitiu ter sido um “chute de sorte”.

Chamamos esses pacotes de “**quanta**” (plural de “quantum”) de luz.

Mais tarde com as discussões que emergiram no início do séc. XX o “quanta” de luz também foi discutido por Einstein no efeito fotoelétrico, entretanto, isso é a discussão da próxima seção.



**Gráf. 2 – A “Catástrofe do Ultravioleta”**

## *E na sala de aula?*

Deves estar se perguntando: *Legal! Como posso trabalhar isso em classe!*

Chegamos ao último semestre do nosso curso de Física, no decorrer das outras unidades, desenvolvemos historicamente os conhecimentos básicos da Física Clássica, discutindo como a ciência não é algo finalizado e construído por grandes gênios.

Iniciamos agora os estudos da Física que passou a ser desenvolvida no final do séc. XIX. Defendemos que essas discussões são interessantes para o aluno, pois mais uma vez mostra a Física como ciência inacabada e, também, porque apresenta alguns dos conhecimentos físicos que embasaram as diversas tecnologias que surgiram neste último século.

Uma ótima maneira de se iniciar estas re-flexões em sala de aula é partindo das discussões sobre Corpo Negro, pois o estudo do mesmo teve gênese no contexto histórico das grandes pesquisas em Física Térmica, a **Revolução Industrial** (caso ache necessário, converse com os docentes de História e Sociologia buscando entender melhor a sociedade dessa época. E, se for possível dentro da sua realidade, tente elaborar um plano de trabalho temático com estes professores).

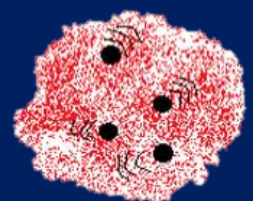
Antes de iniciar as discussões, sugerimos que separe a primeira aula do semestre para relembrar alguns dos conceitos de Física Térmica que serão bastante utilizados durante este semestre.

### *Temperatura e Calor*

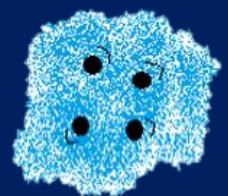
Como discutido anterior-mente, a temperatura é uma grandeza que utilizamos para determinar se um corpo está quente ou frio. Sabemos, entretanto, que essa sensação é subjetiva, e pode variar de pessoa para pessoa. Dessa forma, temperatura é atualmente definida como o estado de agitação das moléculas que compõe um corpo, sendo escrita no Sistema Internacional de Unidades na escala Kelvin.

Desa forma, dizemos que em um dia quente as moléculas que compõe o ar da atmosfera estão se movimen-tando mais do que em dias frios (possuem maior energia cinética mé-

dia). Sabemos, entretanto, que nesses dias é possível nos agasalharmos o suficiente a ponto de não sentirmos a sensação de frio. Fisicamente, o que acontece? Quando corpos de diferentes temperaturas são aproximados (seu corpo a  $36,5^{\circ}\text{C}$  e o ar atmosférico a  $10^{\circ}\text{C}$ , por exemplo) a tendência é que, pas-sado algum tempo, o sistema se encontre em equilíbrio térmico a uma temperatura intermediária. Para que este processo ocorra, deve haver transferência de energia entre os dois corpos. Assim definimos calor, como a transfe-rência de energia entre corpos em temperaturas distintas.



*Calor*



*Frio*

Na segunda aula, que desenvolva a **Atividade 1 – Inventando um Modelo** do *Guia de Experimentação*, almejando discutir como os cientistas trabalham a partir de modelos matemáticos e/ou não matemáticos. Caso queira ler mais a respeito deste assunto em específico, sugerimos que leia Pinheiro, Alves Filho e Pietrocola (2001) e Pietrocola (2002).

Os próximos momentos No próximo momentos, retiramos de Meggiolaro e Betz (2012). Nela, os autores propõem o desenvolvimento do conteúdo de radiação de corpo negro em três momentos, dos quais apresentamos um pequeno enxerto a seguir:

**“1º Momento: Introdução sobre a Física Moderna em sala de aula**

*Discussão e introdução da Física Moderna, na qual se fez referência à ruptura entre a Física Clássica e a Física Moderna, discutindo as características de cada concepção juntamente com as suas teorias envolvidas. Também nesta parte inicial, foram discutidos os conceitos relativos à Radiação Térmica, explicando o Corpo Negro, a Potência de Radiação Total, o Comprimento de Onda de máxima radiação, a Lei de Stefan, a Lei de Deslocamento de Wien e a Lei de Planck.*

**2º Momento: Atividade no Laboratório de Informática com apresentação e montagem da planilha eletrônica**

*No laboratório de informática, após a explicação sobre os conceitos envolvidos na Radiação Térmica, os alunos desenvolveram a montagem da Planilha Eletrônica destinada ao*

**Atividade 1 – Inventando um Modelo**  
Experimento da Caixa Preta

A atividade envolvendo a caixa preta pode ser aplicada de distintas formas nos mais diversos temas. O objetivo dessa atividade é instigar o aluno ao tentar propor modelos que descrevem um determinado sistema físico. Os alunos devem ser expostos a um experimento no qual possam observar o comportamento de um sistema, porém seu mecanismo de funcionamento permanece oculto (Caixa Preta) até o momento final da atividade. Um exemplo simples será apresentado no decorrer do texto, mas vale ressaltar as inúmeras aplicações de experimentos como esse.

Apesar de propor um modelo a respeito do sistema, o aluno remete àquilo que lhe foi ensinado durante a aula teórica regular, faz associação a respeito de seu conhecimento prévio e somente após estruturar seu conhecimento com sua proposta final é levado pelo docente a construção do conhecimento físico que a atividade deseja proporcionar.

**Como fazer?**

Para confeccionar sua própria caixa preta utilize:

- Uma caixa de papelão pequena;
- Elasticos;
- Dois palitos de churrasqueira sem as pontas;
- Um palito de sorvete;
- Arame ou fio grosso;
- Fita adesiva;
- Papel ou tinta preta.

Faça um furo no centro do palito de sorvete e corte suas pontas de modo que seu comprimento fique um pouco menor que a altura da caixa. Em seguida, amarre um palito de churrasqueira em cada ponta do palito de sorvete utilizando um elástico. Corte um pedaço de fio grosso, ou arame, maior que a largura da caixa e passe pelo centro do palito de sorvete.

Inventando um modelo 9

*instruções do Guia de atividades do aluno.*

**3º Momento: Desenvolvimento das atividades propostas no questionário no Laboratório de Informática e sistematização da atividade.**

*No guia de atividades do aluno constava um questionário sobre Radiação Térmica com nove questões, das quais quatro exigiram a inserção de dados na Planilha Eletrônica e a observação dos valores calculados do Comprimento de onda e da Potência Irrradiada, Uma das questões referia-se à observação de um gráfico, analisando a modificação da distribuição em comprimentos de ondas com as variações da temperatura estudada. E finalizando o questionário, eram enunciadas quatro questões dissertativas, no intuito de observar se ocorreu a aprendizagem e a apropriação dos conceitos pelos alunos. Neste momento foi sistematizado o questionário discutindo com o grande grupo, ou seja, com toda a turma.”*

Para ler o texto na íntegra acesse:

<http://goo.gl/UqLXPg>



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSALO, J. M. F.; *Sobre a Lei de Rayleigh-Jeans*. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, 1996.

MEGGIOLARO, G. P. ; BETZ, M. E. M.; *Ensino da Radiação do Corpo Negro em Sala de Aula*. In: IX Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul - IX ANPED SUL, 2012, Caxias do Sul. IX ANPED SUL Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul 2012, 2012.

PIETROCOLA, M.; *A matemática como estruturante do conhecimento físico*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n.2, p. 93-114, 2002.

PINHEIRO, T. ; ALVES FILHO, J. de P. ; PIETROCOLA, M.; *MODELIZAÇÃO DE VARIÁVEIS : Uma maneira de caracterizar o papel estruturador da matemática no conhecimento científico*. In: Pietrocola, Maurício. (Org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. 1ed. Florianópolis/Brasília: Editora da UFSC/INEP, 2001, v. 1, p. 23-45.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J.; *Princípios de Física: Óptica e Física Moderna. Volume 4*; tradução André Koch Torres Assis, Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Thomson Learning, 2007

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A.; *Física Moderna*; tradução Ronaldo Sérgio Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006

[www.wikipedia.com.br](http://www.wikipedia.com.br)