

## REPORTAGENS

**Max Planck e o início da Teoria Quântica**

Jean-Jacques de Groot

[O salto cômico da Física:](#)

[Carlos Vogt](#)

[Física Quântica, o que é e para que serve:](#)

[Almir Caldeira](#)

[Ondas estacionárias circulares:](#)

[Luís Ferraz Netto](#)

[A interpretação da Mecânica Quântica:](#)

[Silvio Seno Chibeni](#)

[A Física no final do séc. XIX:](#)

[Roberto Martins](#)

Max Planck e o início da teoria quântica:

[Jean-Jacques de Groot](#)

[Teoria Quântica:](#)

[Jean-Jacques de Groot](#)

[A descoberta da estrutura atômica:](#)

[Afonso de Aquino](#)

[Caos e Mecânica Quântica:](#)

[Ozorio de Almeida e Raúl Vallejos](#)



*Tradução para o português dos dois trabalhos onde Planck apresentou sua teoria da radiação do corpo negro (1900):*

- Planck, Max, [Sobre um Aperfeiçoamento da Equação de Wien para o Espectro](#), Revista Brasileira de Ensino de Física **22**, 536 (2000) (Arquivo PDF)
- Planck, Max, [Sobre a Lei de Distribuição de Energia no Espectro Normal](#), Revista Brasileira de Ensino de Física **22**, 538 (2000) (Arquivo PDF)

Ao final do século XIX a física parecia ter atingido seu clímax. As leis de Newton para a mecânica e gravitação vinham sendo aperfeiçoadas desde o Século XVII, e descreviam com grande precisão o comportamento dos corpos celestes e terrestres. Por outro lado as propriedades elétricas e magnéticas haviam sido unificadas em uma teoria eletromagnética por James Maxwell. Esta teoria provou que a luz é uma forma de onda eletromagnética que se propaga pelo espaço, assim como o são o raio X ou o ultravioleta. Com as regras para o comportamento da matéria e das ondas definidas, restaria aos físicos apenas o trabalho de aplicá-las. Não haveria fenômenos que não pudessem ser explicados; haveria apenas o trabalho de desenvolver as técnicas existentes para sistemas complexos.

Lorde Kelvin, respeitado por suas importantes contribuições a Física, chegou a sugerir que a Física havia atingido seu limite. No entanto, como ele mesmo

[Digressões sobre a importância da Ciência Básica:](#)

[Peter Schulz e Marcelo Knobel](#)

[Dos transistores aos computadores:](#)

[Anna Paula Sotero](#)

[Quântica e a ciência dos materiais:](#)

[Alexandre Barros](#)

[O laser e a pesquisa básica:](#)

[Elza Vasconcellos](#)

[Consciência quântica ou consciência crítica?:](#)

[Roberto Covolan](#)

[Mecânica quântica e interpretação na mídia:](#)

[Ulisses Capozoli](#)

[Einstein e a Mecânica Quântica:](#)

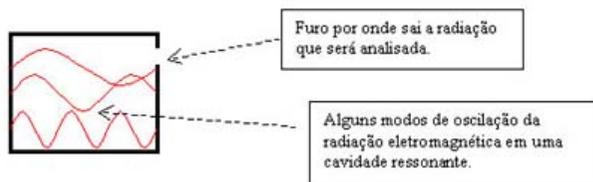
[David Martinez](#)

[Poema](#)

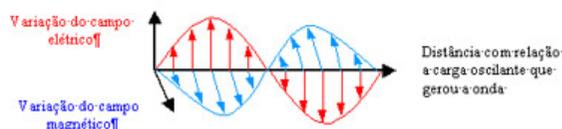
observou, havia um porém. Dois fenômenos ainda estavam sem explicação: o experimento de Michelson e Morley, que procuravam determinar a velocidade da luz que incidia na Terra vinda de diferentes direções, e o estudo da distribuição de energia da luz emitida por sistemas conhecidos como corpos negros. E foram justamente as tentativas de explicar estes experimentos que levaram a elaboração das duas novas teorias, que alterariam radicalmente a Física como era conhecida até então: a Teoria da Relatividade e a Teoria Quântica.

O primeiro experimento indicou que a velocidade da luz que atinge a Terra é a mesma em qualquer direção, fato que levou Einstein a considerar que a velocidade da luz é a mesma para qualquer referencial o que resultou na elaboração da Teoria da Relatividade Especial. O segundo experimento refere-se a radiação eletromagnética emitida por corpos que reemitem toda a radiação que incide sobre eles. Este experimento permite então o estudo da forma como a radiação e o corpo interagem. O problema foi analisado pelo físico Max Planck, e levou a uma revolução na teoria física ao revelar que o comportamento de pequenos sistemas obedecem regras que não podem ser explicadas pelas leis das teorias clássicas. O mundo atômico e sub-atômico não obedeceriam as regras do nosso mundo do dia-a-dia, sendo necessária novas interpretações as quais nossa intuição não se aplicava mais.

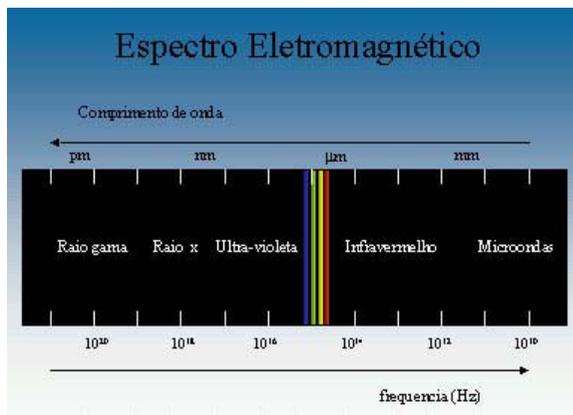
Max Planck, nascido na Alemanha em 1858, foi um excelente aluno, obtendo o grau de doutor com apenas 21 anos. Sua decisão de seguir a carreira de físico teórico pode ser compreendida em sua frase, "O mundo externo é algo independente do homem, algo absoluto, e a procura pelas leis que se aplicam a este absoluto mostram-se como a mais sublime busca científica na vida". O estudo sobre radiação de corpos negros, que levou a origem da teoria quântica, tinha algo de absoluto, pois segundo a definição de Kirchhoff, professor de Planck, a característica de um corpo negro perfeito é sua capacidade de reemitir toda radiação que incide sobre ele; é um emissor e absorvedor perfeito. A radiação emitida é estudada para diferentes temperaturas do sistema. Quando um corpo é aquecido, emite radiação cuja natureza muda com a temperatura. Um metal por exemplo, quando aquecido pode emitir radiação visível, na forma de luz vermelha, ou invisível a nossos olhos, como o infravermelho.



**Radiação de Corpo Negro** - Corpos Negros são corpos que reemitem toda a radiação eletromagnética que incide sobre eles. Na prática, estuda-se a radiação formada em uma cavidade, que pode ter a forma de um cubo, no interior de um corpo negro. Assim evitava-se a influência externa, e a geometria da cavidade pode ser escolhida para facilitar os cálculos teóricos. A radiação estudada é então emitida por um pequeno furo, produzido no material



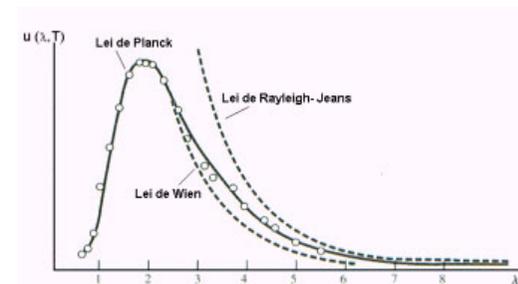
**Radiação eletromagnética** - A luz, como verificou Maxwell, é formada por ondas eletromagnéticas, que são campos elétricos e magnéticos paralelos se propagando no espaço. As ondas eletromagnéticas tem velocidade  $c = \lambda f$ , onde  $c$  é a velocidade da luz,  $\lambda$  o comprimento de onda, que é a distância entre os picos, e  $f$  é a frequência (o inverso do período de uma oscilação).



**Esquematização do espectro eletromagnético para vários comprimentos de onda e frequência** - A velocidade das radiações eletromagnéticas é a mesma, mas a frequência pode mudar, desde que o comprimento de onda compense esta mudança. Assim, por exemplo, as ondas de rádio tem comprimentos de onda longos, mas pequenas frequências. O raio x, tem um comprimento de onda tão pequeno que pode afetar os átomos de nossas moléculas.

Vários resultados experimentais estavam disponíveis em

torno de 1890 mostrando, a diferentes temperaturas, como a energia radiante é emitida para diferentes frequências. As tentativas de explicar o comportamento da radiação não foram bem sucedidas. Os trabalhos teóricos realizados utilizando os conhecimentos da mecânica clássica e da termodinâmica não podiam explicar os resultados obtidos (ver figura abaixo).



**Comparação entre os dados experimentais e as previsões clássicas e de Planck** - A partir das observações experimentais, Wien obteve uma fórmula que se aproximava da curva da densidade de radiação em função do comprimento de onda  $\lambda$ , mas era acurada apenas para pequenos comprimento de onda. Rayleigh e Jeans partiram das fórmulas da mecânica clássica para um oscilador e obtiveram uma fórmula que funcionava para grandes valores de  $\lambda$ . A fórmula de Planck, utilizando o novo conceito de quantização da energia dos osciladores descreveu exatamente os resultados experimentais e, nos casos limites, as fórmulas de Wien e Rayleigh-Jeans.

Planck verificou que uma nova forma de encarar o modo como as partículas da caixa geravam a radiação eletromagnética seria necessária para explicar o comportamento da radiação emitida por corpos negros. Classicamente espera-se que as partículas da caixa oscilem com qualquer energia (permitida para uma dada temperatura), e assim emitissem radiação a qualquer comprimento de onda ou frequência. No entanto, para que Planck obtivesse sua fórmula, as partículas oscilando só poderiam emitir a radiação por pacotes, e a energia destes seria proporcional à frequência na forma  $E = h f$ . A constante  $h$  ficou conhecida como constante de Planck. Assim, a energia emitida seria discretizada, ou, quantizada.

A hipótese da discretização das energias de partículas vibrando, por parte de Planck, não encontrava nenhum análogo na época. Era tão radical que, mesmo reproduzindo exatamente uma observação experimental, não foi aceita até que viesse a ser adotada por Einstein em 1905. Também é uma primeira indicação de que as regras

que valem para nosso mundo macroscópico não valem para o nível atômico. É inclusive um exemplo de como a natureza mostra surpresas que fogem a nossa previsão conforme a investigamos em maiores detalhes.

Levaria ainda cerca de 20 anos para que uma teoria quântica consistente fosse elaborada, e que sua incrível capacidade de explicar e prever fenômenos físicos a levasse a ser aceita pela comunidade científica.

*Jean-Jacques de Groote é pesquisador da Fapesp no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara, SP.*

Esta reportagem tem  
[1](#), [2](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#), [8](#), [9](#), [10](#),  
[11](#), [12](#), [13](#), [14](#), [15](#), [16](#), [17](#)  
documentos  
[Bibliografia](#) | [Créditos](#)



Atualizado em 10/05/2001

<http://www.comciencia.br>  
[contato@comciencia.br](mailto:contato@comciencia.br)

© 2001  
SBPC/Labjor  
Brasil

