

# Laboratório de Física Moderna

## Radiação de Corpo Negro

### Aula 01 - Parte 01

Marcelo Gameiro Munhoz

[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

[Rosangela Itri](mailto:itri@if.usp.br)

[itri@if.usp.br](mailto:itri@if.usp.br)

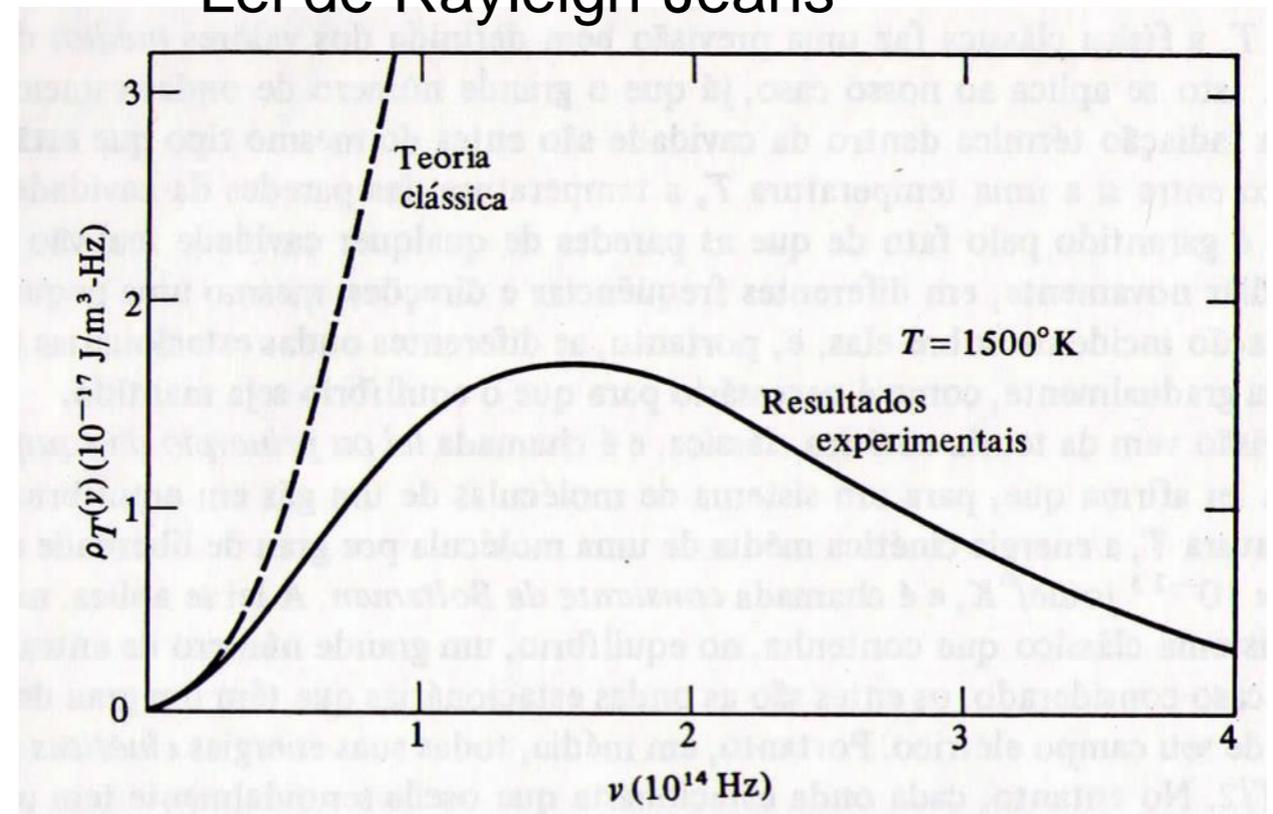
# Contextualização

- Para iniciar nosso experimento, vamos compreender o contexto que o cerca
- Qual o tipo de fenômeno queremos estudar e por que ele é interessante?

# Radiação Térmica

- Ondas eletromagnéticas emitidas por todos os objetos com temperatura acima do zero absoluto
- **Importância:** um dos grandes problemas em aberto da física clássica no final do século XIX

Lei de Rayleigh-Jeans



$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

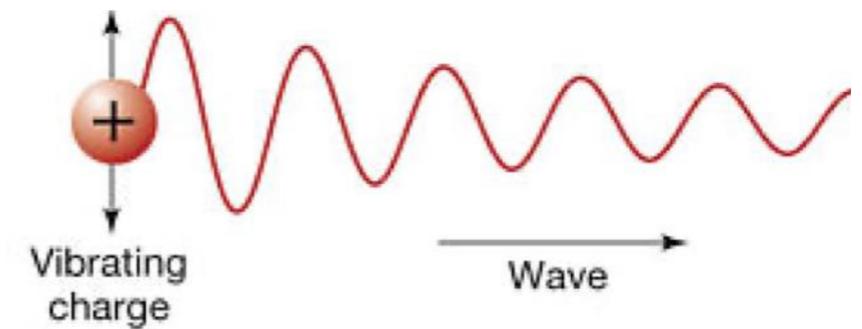
$$\nu = 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda = 0,3 \times 10^{-6} \text{ m}$$

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_certeleso&l=en](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_certeleso&l=en)

# Radiação Térmica

- Isso ocorre devido ao movimento acelerado (oscilatório) de origem térmica de cargas elétricas que existem no interior dos corpos

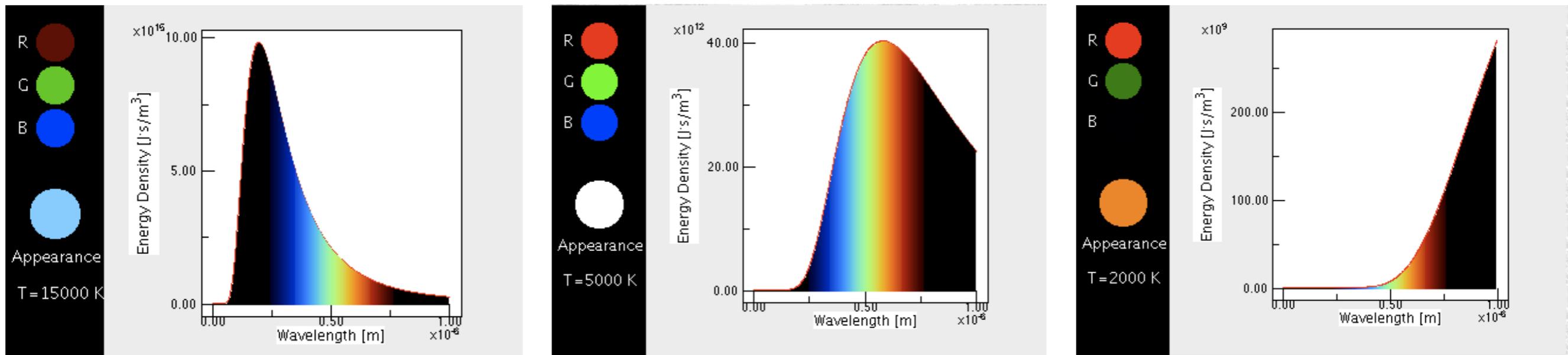


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

# Espectro de frequência da radiação térmica

- A radiação emitida por um objeto com temperatura  $T > 0 \text{ K}$  não apresenta apenas uma frequência (lembre-se das ondas eletromagnéticas), mas uma **distribuição** de frequências
- A “quantidade” de radiação emitida com cada valor de frequência é medida em energia por unidade de tempo (potência) por unidade de área da superfície do objeto, chamada de radiância espectral  $R_T(\nu)$

# Espectro de frequência da radiação térmica



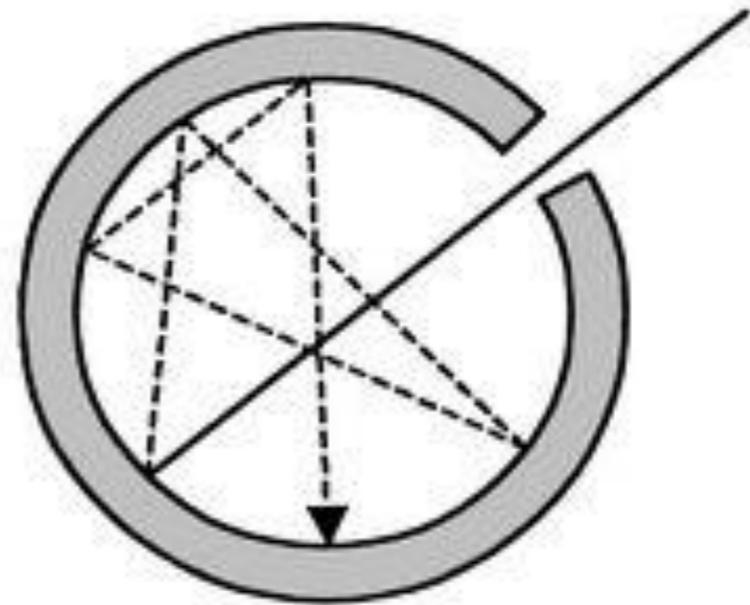
- A “quantidade” de radiação emitida com cada valor de frequência é medida em energia por unidade de tempo (potência) por unidade de área da superfície do objeto, chamada de radiância espectral  $R_{\tau}(\nu)$

# Corpo Negro

- Podemos considerar uma classe de objetos que emitem apenas a sua radiação térmica, isto é, absorve (não reflete) toda a radiação incidente e emite (não absorve) toda a radiação térmica produzida
- Este conceito é uma idealização!

# Corpo Negro

- **Importância:** Todos os objetos que se comportam como um corpo negro devem emitir a mesma radiância espectral (universalidade) pois a mesma depende **apenas da temperatura** e não da forma ou material de que é feito.
- Portanto, esse tipo de objeto permite o estudo da radiação térmica



[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatshool/template.php?s=opt\\_model&l=en](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatshool/template.php?s=opt_model&l=en)

# Leis empíricas

- Lei de Stefan (1879)

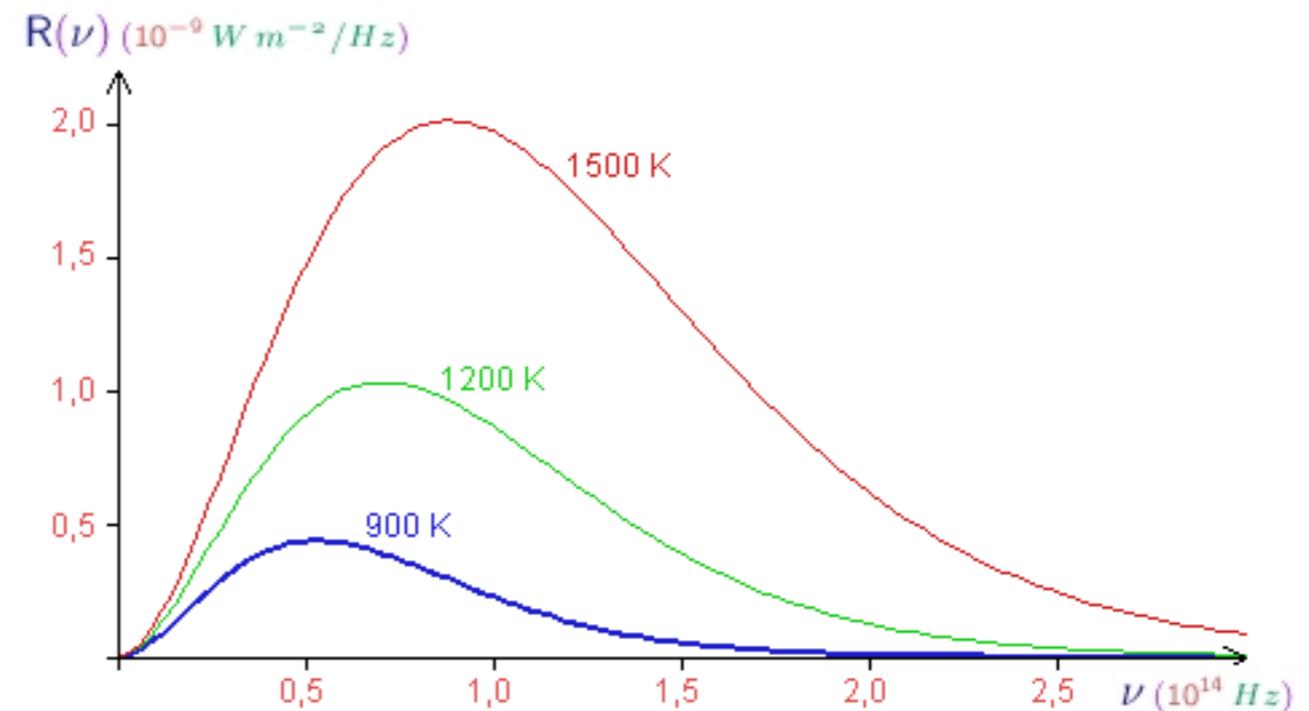
$$R_T = \sigma \cdot T^4$$

onde:  $R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu$

- Lei do deslocamento de Wien

$$\nu_{max} \propto T$$

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} m \cdot K$$

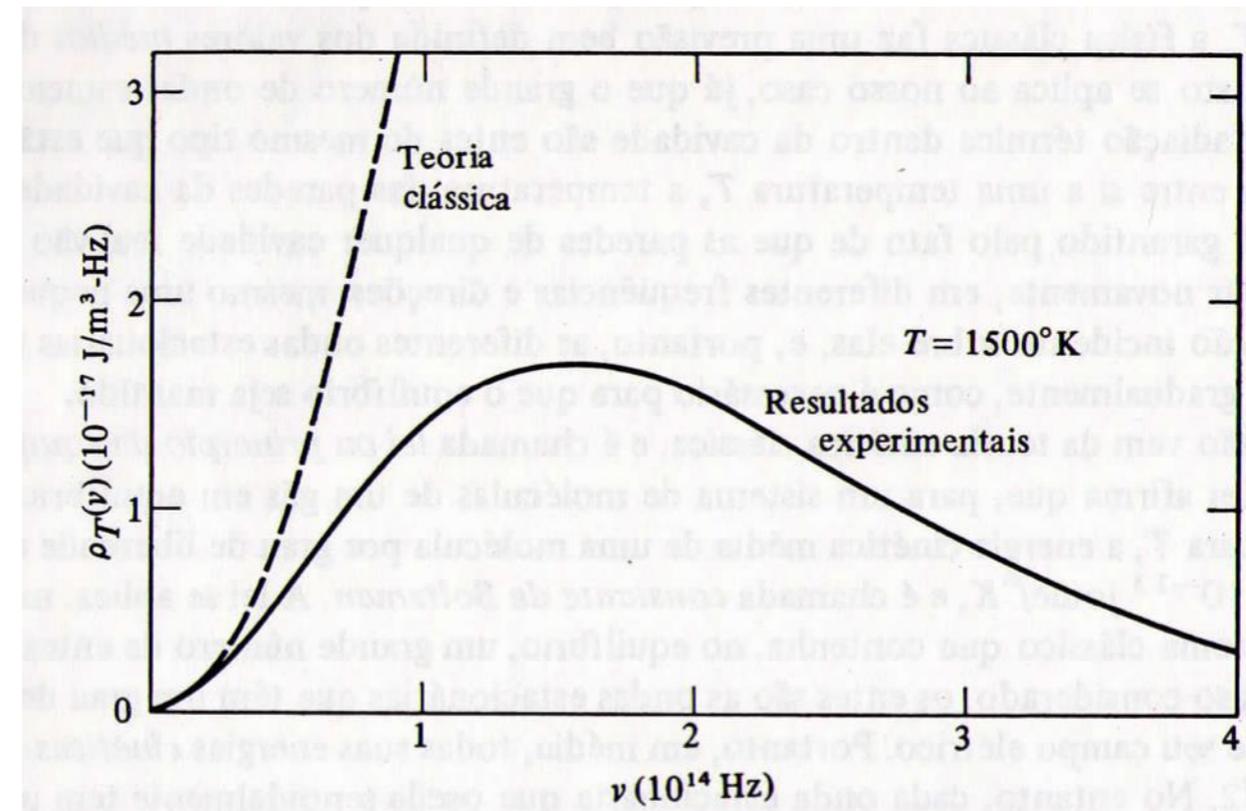


# Lei de Rayleigh-Jeans

- Segundo a física clássica a radiância espectral de um corpo negro deveria ser dada por:

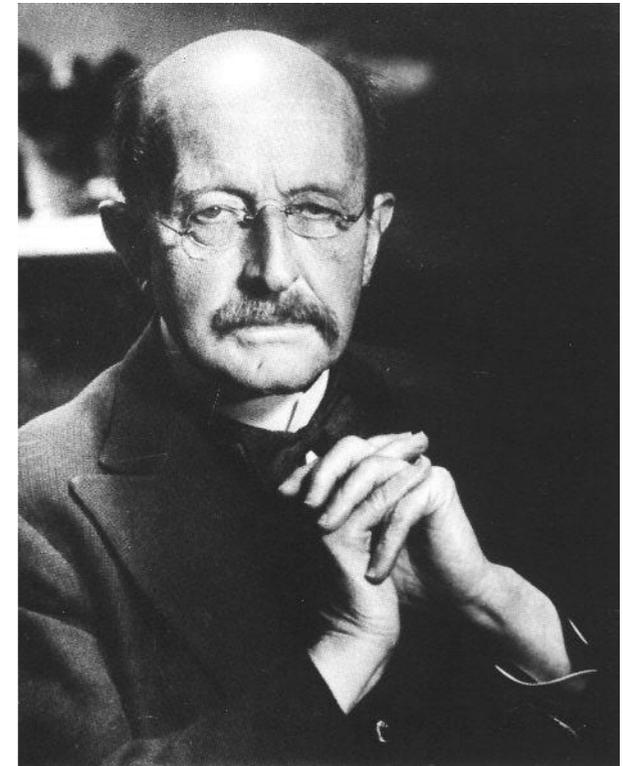
$$\rho_T(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} d\nu$$

- que, como já vimos, não descreve as medidas



# Como resolver essa discrepância?

- Em 1900, Max Planck, que tinha contato com físicos experimentais que estudavam o problema da radiação do corpo negro, propõe um equação que descreve perfeitamente os dados...



# Proposta de Planck

- Planck inicialmente supôs que as paredes da cavidade eram constituídas de “pequenos osciladores” que trocam energia com a radiação mantendo o equilíbrio térmico
- Planck fez a suposição que esses osciladores poderiam assumir apenas alguns valores específicos de energia:  
$$E_1 = 0, E_2 = \Delta E, E_3 = 2 \cdot \Delta E, E_4 = 3 \cdot \Delta E, \dots$$
- Sua intenção era fazer com que  $\Delta E \rightarrow 0$  para recuperar a distribuição contínua de energia da física clássica

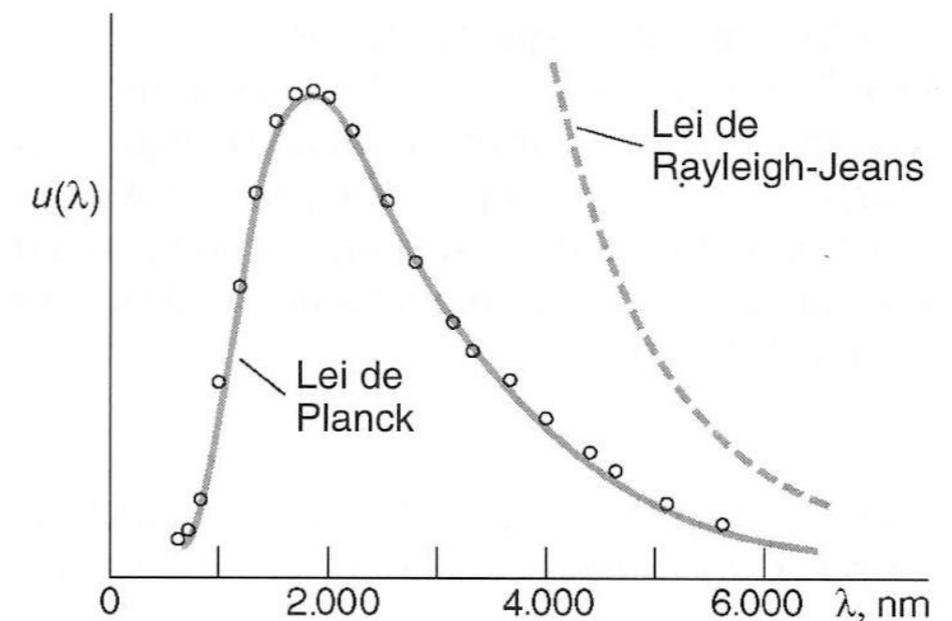
# Fórmula de Planck

- Porém, apenas mantendo essa quantização de energia que Planck consegue reproduzir os dados com a expressão:

$$\rho_T(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

$$\rho_T(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda$$

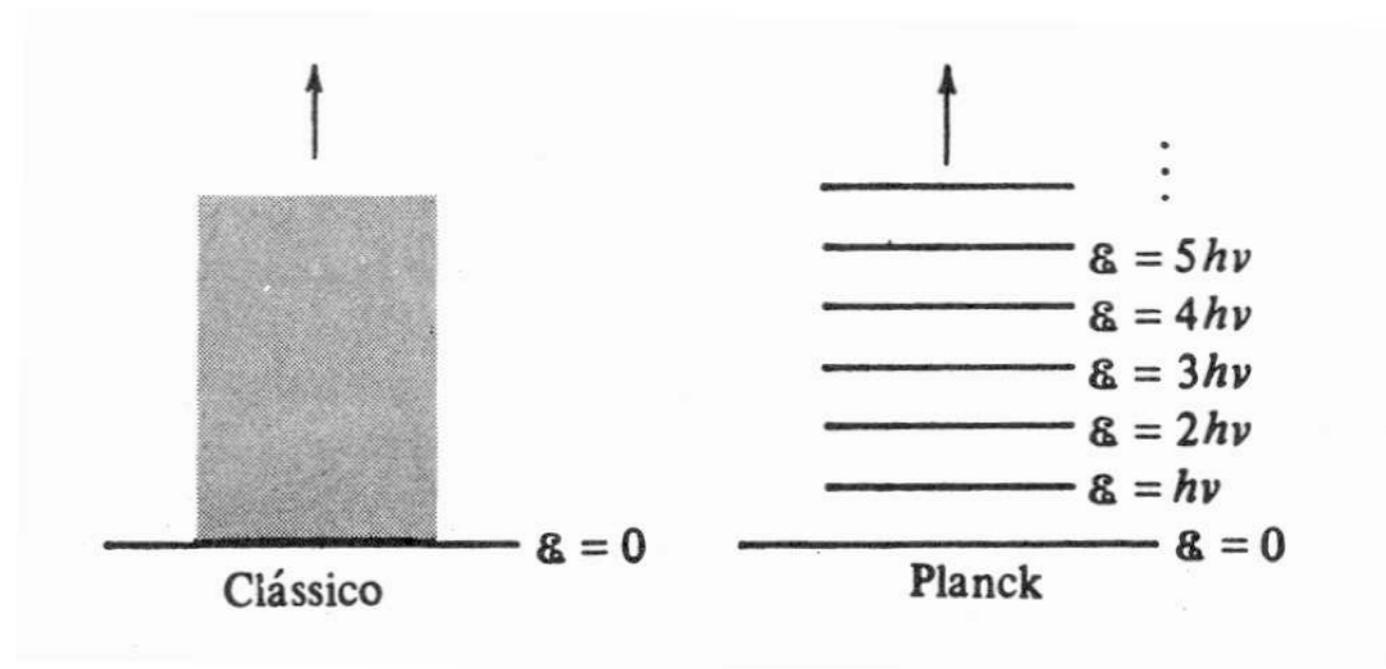
- onde:  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$



# Implicações do resultado de Planck

- Qual o significado físico da hipótese de Planck?
- Ela impõe que os pequenos osciladores que constituem as paredes da cavidade e estão em equilíbrio com a radiação, só podem assumir certos valores discretos de energia:

$$E = nh\nu$$



# Objetivo

- Verificar **se** a curva de Planck de fato descreve a radiância espectral emitida por uma lâmpada de filamento (o corpo negro que utilizaremos) e, **caso isso seja observado, em que condições isso ocorre**