

Evidências Experimentais da Natureza Quântica da Radiação e da Matéria

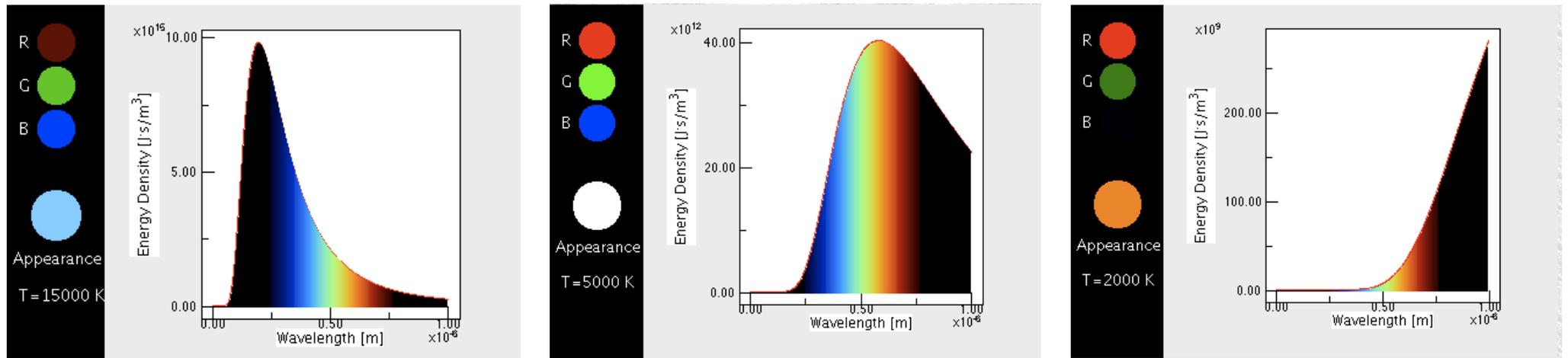
Aula 03

Marcelo G Munhoz
Edifício HEPIC, sala 202, ramal 916940
munhoz@if.usp.br

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
- Animação : <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/colortemperature/index.html>

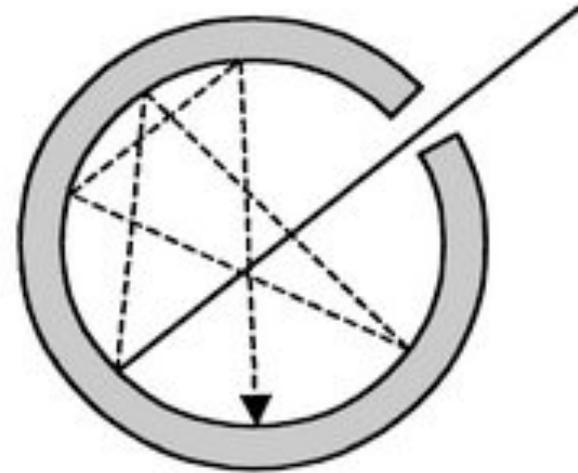
Espectro de frequência da radiação



- A “quantidade” de radiação emitida com cada valor de frequência é medida em energia por unidade de tempo (potência) por unidade de área, chamada de radiância espectral $R_T(\nu)$
- Animação : <http://cref.if.ufrgs.br/~leila/cor.htm>

Corpo Negro

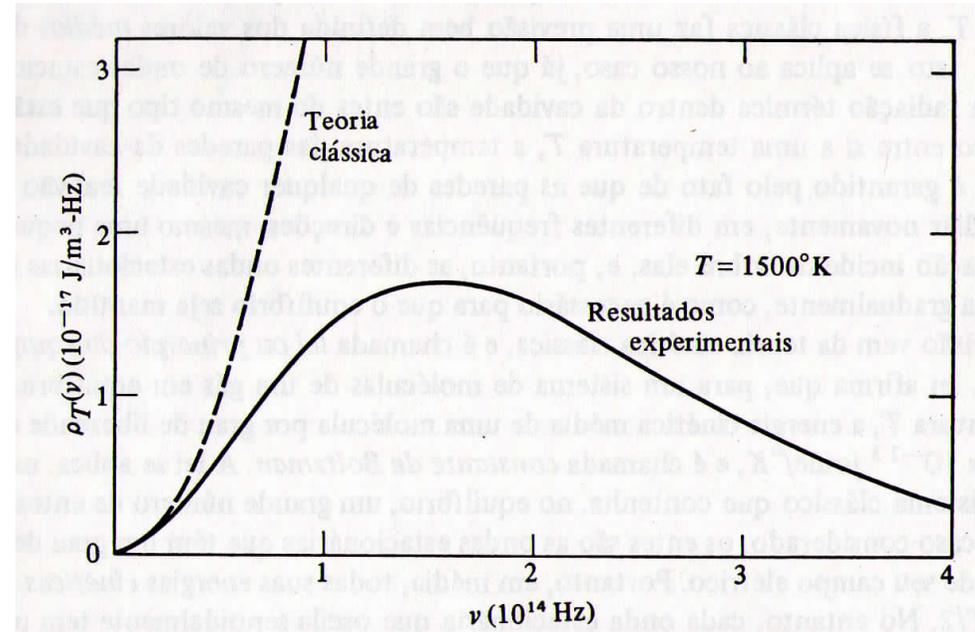
- Objetos cuja superfície absorve toda a radiação incidente
- **Importância:** Todos os objetos que se comportam como um corpo negro emitem a mesma radiância espectral (universalidade) que depende da temperatura e não do material de que é feito



Nós compreendemos esses espectros?

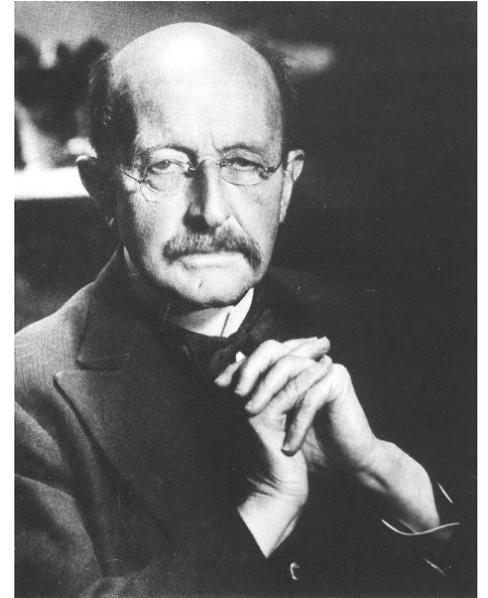
- Através da física clássica não é possível descrever esses espectros !
- Lei de Rayleigh-Jeans:

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



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...



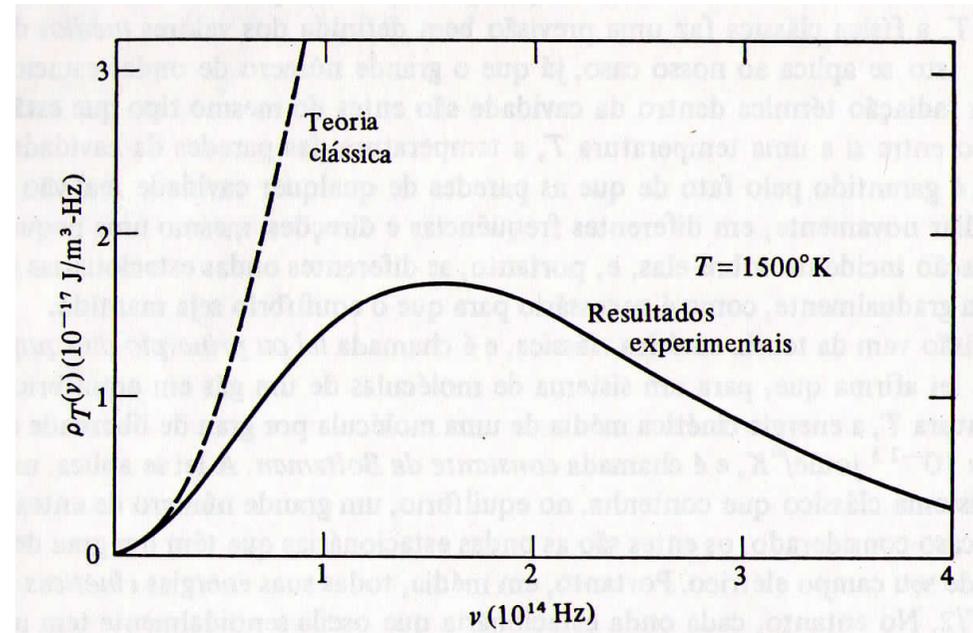
Como resolver essa discrepância?

- Planck notou que para $\nu \rightarrow 0$, a solução clássica é admissível:

$$\langle E \rangle = kT$$

- Porém, para $\nu \rightarrow \infty$, deve-se ter:

$$\langle E \rangle \rightarrow 0$$



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

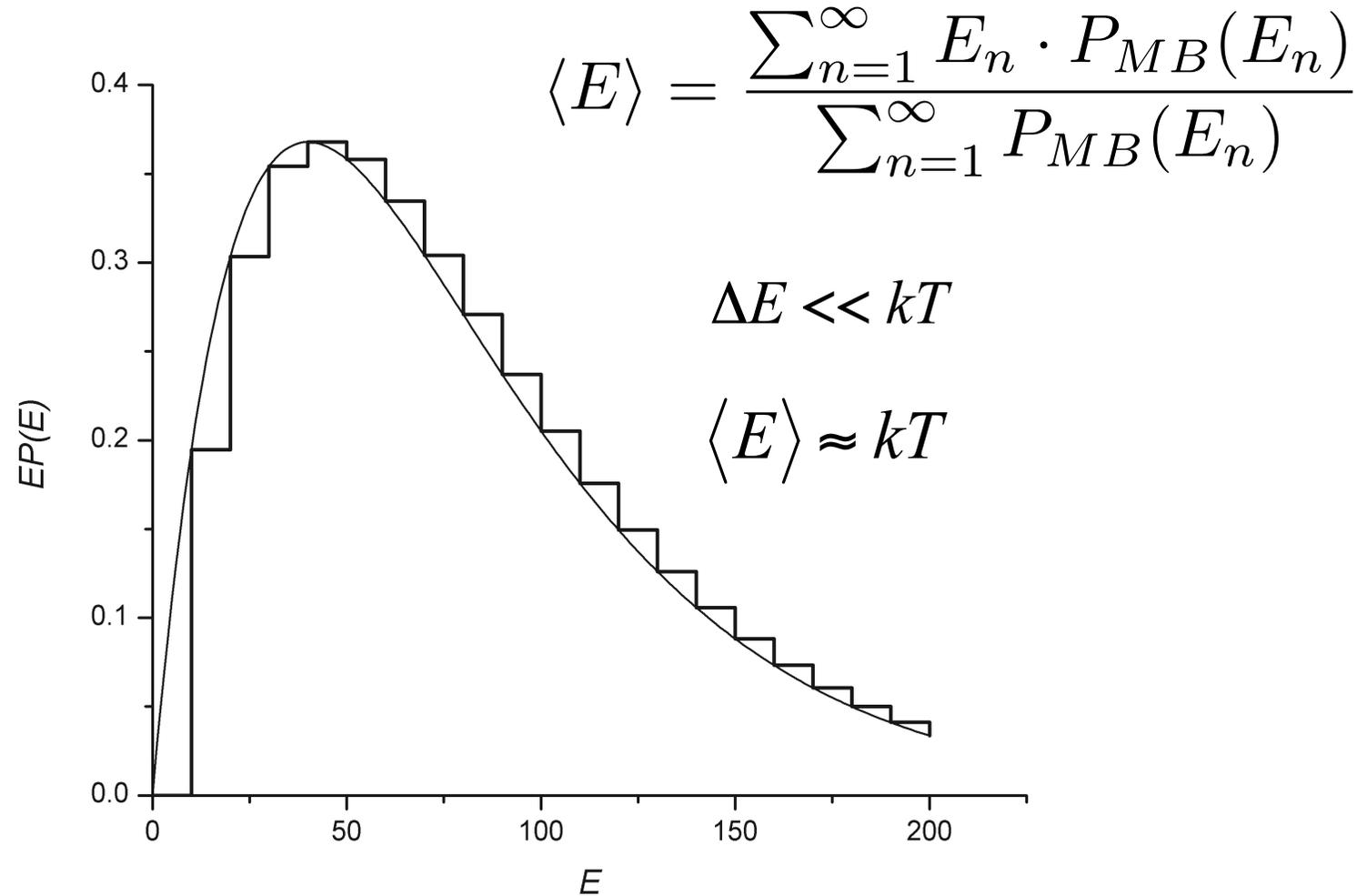
Proposta de Planck

- 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

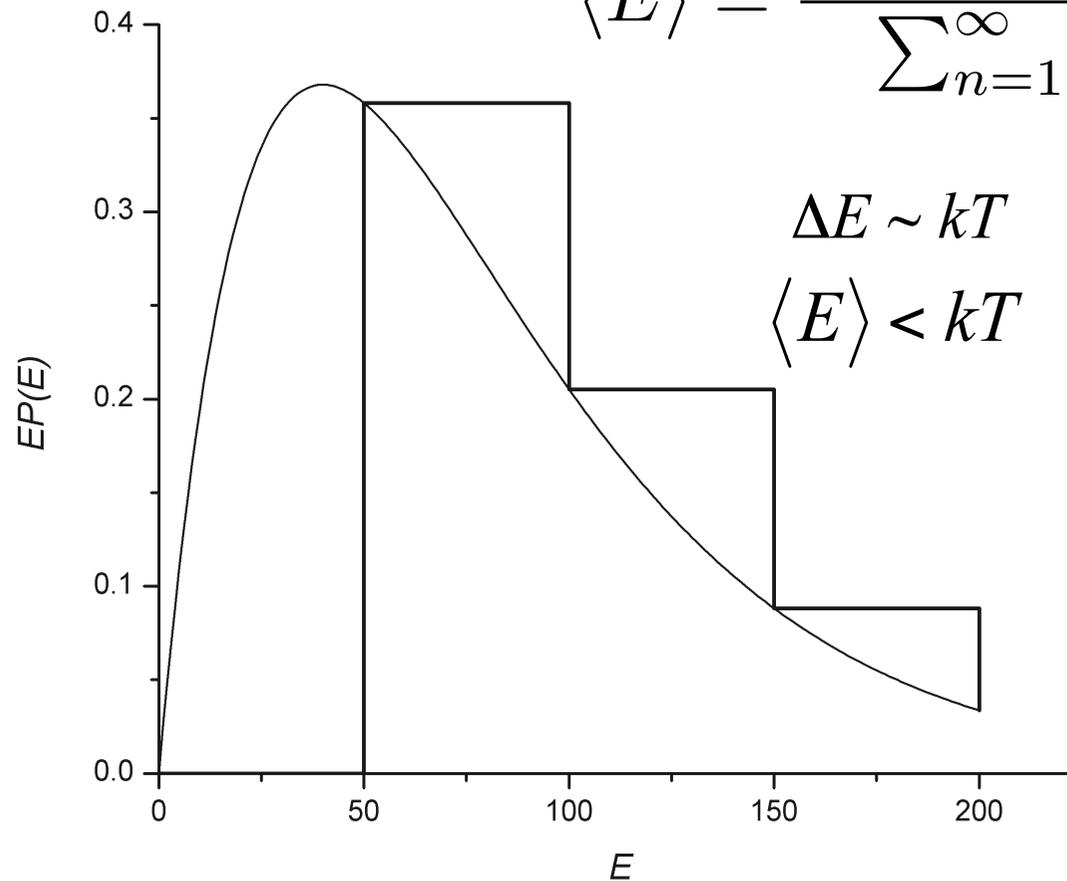
Proposta de Planck



$$E_1 = 0, E_2 = \Delta E, E_3 = 2 \cdot \Delta E, E_4 = 3 \cdot \Delta E, \dots$$

Proposta de Planck

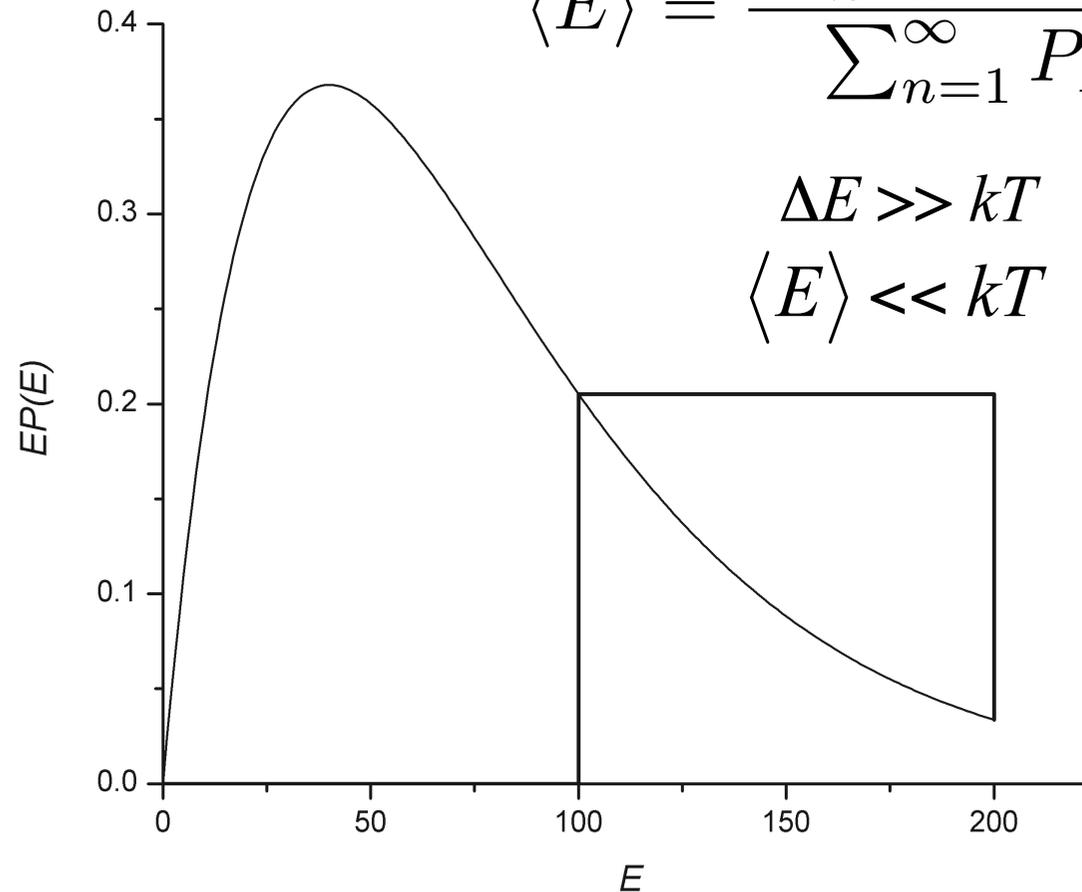
$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} E_n \cdot P_{MB}(E_n)}{\sum_{n=1}^{\infty} P_{MB}(E_n)}$$



$$E_1 = 0, E_2 = \Delta E, E_3 = 2 \cdot \Delta E, E_4 = 3 \cdot \Delta E, \dots$$

Proposta de Planck

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} E_n \cdot P_{MB}(E_n)}{\sum_{n=1}^{\infty} P_{MB}(E_n)}$$



$$E_1 = 0, E_2 = \Delta E, E_3 = 2 \cdot \Delta E, E_4 = 3 \cdot \Delta E, \dots$$

Proposta de Planck

- Portanto, para se reproduzir os dados é preciso que

$$\Delta E \propto \nu$$

- ou seja,

$$\Delta E = h\nu$$

- onde h é a chamada constante de Planck

Fórmula de Planck

- Calculando-se a energia média a partir dessa hipótese, tem-se que:

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} E_n \cdot P_{MB}(E_n)}{\sum_{n=1}^{\infty} P_{MB}(E_n)} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

- E substituindo em

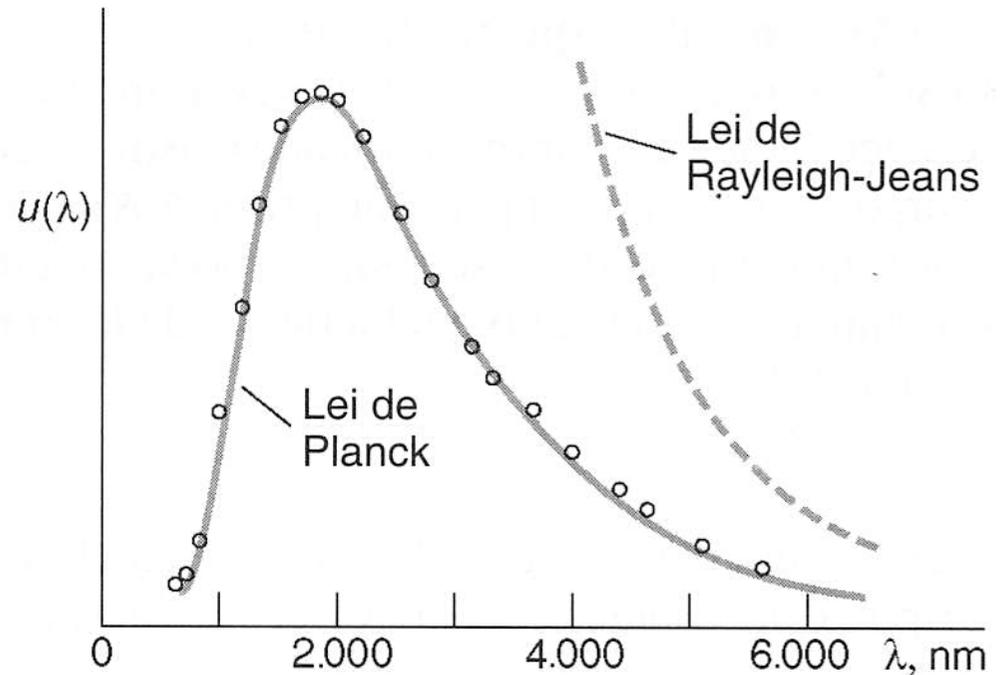
$$\rho_T(\nu)d\nu = \langle E \rangle \frac{N(\nu)d\nu}{V}$$

- tem-se que:

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

Fórmula de Planck

- Que reproduz os dados com grande precisão quando:
 $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$



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

Implicações do resultado de Planck

- Qual o significado físico da hipótese de Planck?
- Ela impõem 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:

$$E = nh\nu$$

