

Física III - 2000

15ª aula = 1ª aula depois da 1ª prova
OK! em 9/10/2000

Além da Teoria da Relatividade, a outra revolução ocorreu na física entre 1900 e 1930, a Mecânica Quântica → se aduz à física clássica p/ sistemas microscópicos. Tal como a relatividade, a teoria quântica exige uma modificação das ideias intuitivas sobre o mundo físico.

As ideias básicas foram introduzidas por Max Planck, nos desenvolvimentos matemáticos e as respectivas interpretações para obra de Einstein, Bohr, Schrödinger, de Broglie, Heisenberg, Born, Dirac. Apesar do grande sucesso da Teoria Q., Einstein frequentemente exerceu o papel crítico. Em particular, não aceitava o "princípio de incerteza" de Heisenberg, que afirma ser impossível ter redições simultâneas e precisas de posições e da velocidade de 1 partícula. De acordo c/ este princípio, só se pode prever a "probabilidade" do futuro de 1 sistema, ao contrário da visão determinista da mecânica por Einstein: "Deus não joga dados com o universo."

Gerena

40.3 - A radiação do corpo negro e as hipóteses de Planck (75)

Um corpo, em T temperatura, emite radiação, alguns vezes denominada, radiação térmica. As características desta radiação dependem da temperatura e das propriedades do corpo. Em temperaturas baixas, os corp. de onde de radiação térmica são, principalmente, na região do infra-vermelho e, por isso, não são percebidos pela vista humana. Quando a temperatura do corpo se eleva, ele principia a brilhar e/ou coloração vermelha. Em temperatura suficientemente elevada, o corpo parece de cor branca, como o filamento brilhante de tungstênio de λ lâmpada de incandescência. O estudo minucioso da radiação térmica mostra que ela consiste em λ distribuição ^(10⁻⁵m) contínua de corp. de onda, que vai do infra-vermelho, ^(10⁻⁶ a 10⁻²m) passa pelo visível e chega à parte ultra violeta do espectro (10⁻⁸m).

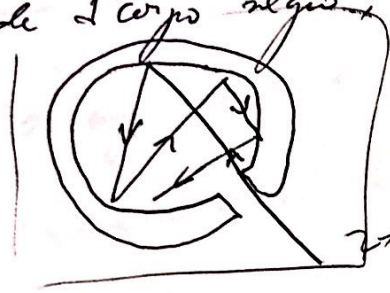
No ponto de vista clássico, a radiação térmica se origina de partículas carregadas, aceleradas nas vizinhanças da superfície do corpo; estas cargas emitem radiação de maneira muito parecida a λ antena. As cargas e agitação térmica podem ter λ distribuição de acelerações, o que explicaria o espectro contínuo de radiação. No final do século XIX tornou-se evidente que a teoria clássica da radiação térmica

de uma lei quadrada. O problema fundamental era o enten-
dimento de distribuições de comprimentos de ondas observa-
da na radiação emitida por corpo negro.

Por definição, um corpo negro é o sistema ideal que absorve toda a radiação incidente sobre ele. Uma boa

aproximação de um corpo negro é o interior de um corpo oco,

Fig 40.1
p. 36



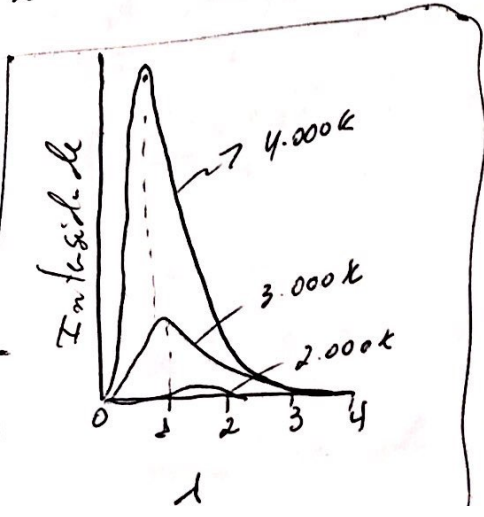
onde de fato: Depois de muitas reflexões praticamente toda a energia incidente foi absorvida.

Nota: quando o eq. de Wien é atingido, as taxas de emissão e absorção de energia são iguais.
Uma prova de Eistein se prova.

A natureza da radiação emitida através do pequeno orifício na parede da cavidade depende somente da temperatura das paredes da cavidade.

A fig. 40.2 mostra o resultado das experiências de distribuições de energia na radiação do corpo negro, em 3 temperaturas diferentes.

Fig 40.2
p. 36



A energia irradiada varia com a temperatura e com o comp. de onda. Quando a temperatura do corpo negro se eleva, a quantidade total de energia emitida (área sob a curva) aumenta. Também

e a elevação da temperatura, o pico da distribuição se desloca p/ comp. de onda menores. Este deslocamento obedece à seguinte relação, conhecida com "Lei de Deslocamento de Wien":

$$\lambda_{\text{máx}} T = 0,2897 \times 10^{-2} \text{ m.K} \quad (40.1)$$

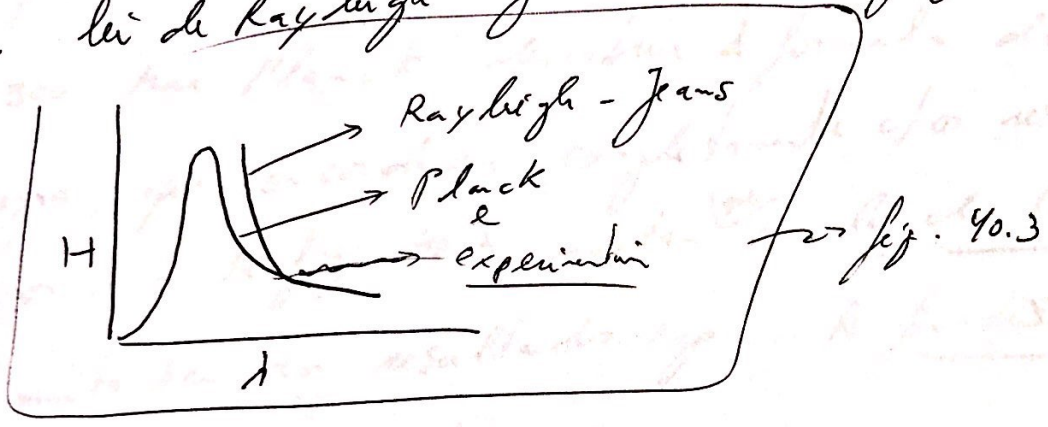
Onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o comp. de onda em que a curva tem o pico, e T é a temperatura absoluta do corpo que emite radiação.

Todas as tentativas mais antigas de explicar estes resultados, com base nas teorias clássicas falharam. Para descrever o espectro de radiação é útil definir $J(\lambda, T) d\lambda$ como a potência por unidade de área, emitida no intervalo de comp. de onda $d\lambda$. O resultado de J calculado baseado no modelo clássico da radiação de corpo negro, conhecido com a "Lei de Rayleigh - Jeans" é:

$$J(\lambda, T) = \frac{2\pi^5 c^2 k_B^3 T^4}{15 h^3 \lambda^4} \quad (40.2)$$

onde k_B é a constante de Boltzmann. Neste modelo clássico da radiação do corpo negro, os átomos de parede são tratados como J conjunto

de osciladores que emitem ondas e.m. em todos os corp. de onda. Este modelo leva a uma energia cinética média, por oscilador, proporcional a T. O gráfico do espectro de radiação do corpo negro, levantado exp. e o da previsão teórica de lei de Rayleigh - Jeans está na fig. 40.3.



Nos corp. de onda grandes, a lei de Rayleigh - Jeans tem concordância razoável c/ dados experimentais. Nos corp. de onda curtos, no entanto, há discordância muito grande. O que se pode perceber é que, quando $\lambda \rightarrow 0$, $J(\lambda, T) \rightarrow \infty$ (eq. 40.2)

isto é, a radiação de λ curtos deveria ser predominante. Ora, este resultado é negado pelos dados experimentais da figura 40.3, que demonstram que $\rho \propto \lambda^{-5}$, $J(\lambda, T) \rightarrow 0$. Esta contradição foi denominada "catástrofe do ultravioleta". Um outro problema grave c/ a teoria clássica é a previsão de densidade de energia total infinita,

pois todos os comp. de onda são possíveis. [A potência total/unidade de área = $\mathcal{J} = \int_0^{\infty} \mathcal{J}(\lambda, T) d\lambda$ diverge p/oo quando se faz a integração sobre todos os comp. de onda.] ou, a campo e.m. c/d dens. de energia infinita e' situação fisicamente impossível! }

Em 1900, Max Planck descobriu a fórmula de radiação do corpo negro, que concordava completamente c/os resultados exp. em todos os λ . A fig. 40.3 mostra a lei de Planck ajusta-se muito bem aos resultados exp.. A função empírica proposta por Planck é dada por:

$$\mathcal{J}(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (40.3)$$

onde h é a cte que pode ser calculada de para ajustar-se aos dados exp.. O valor aceito de $h =$ cte de Planck

é: $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \quad (40.4)$

Pode-se mostrar, que p/ λ grandes, a exp. de Planck (40.3) se reduz à (40.2) de Rayleigh-Jans; Além disso, p/ λ muito a lei de Planck prevê a diminuição exponencial de $\mathcal{J}(\lambda, T)$ c/a diminuição do comp. de onda, o que concorda também c/ experiência.

Na sua teoria, Planck admitiu 2 hipóteses audaciosas (80)
e disantivas sobre a natureza dos moléculas oscilantes nas
paredes da cavidade:

1- As moléculas oscilantes que emitem radiaçõs só podem
ter valores discretos da energia E_n , dados por:

$$E_n = n h f \quad (40.5)$$

onde $n =$ inteiro positivo = um número quântico

$f =$ frequência de vibraçõs das moléculas

As energias das moléculas estão quantizadas e os estados
de energia permitidos são denominados estados quânticos.

2) As moléculas emitem ou absorvem energia em unidades
discretas de energia luminosa, os quanta ou fótons
como se diz hoje. Se o n ^{quântico} se altera por 1 unidade,
a eq. (40.5) mostra que a quantidade de energia irra-
diada ou absorvida pela molécula é igual a $h f$.
Então, a energia de 1 fóton correspondente à diferença
de energia entre 2 estados quânticos adjacentes é dada
por: $E = h f \quad (40.6)$

A molécula só irradia, ou absorve, energia quando (81) o seu estado quântico se altera. Se a molécula permanece em determinado estado quântico, não há nem absorção nem emissão de energia. A fig. 40.4 mostra os níveis quânticos de energia e as transições permitidas por Planck.

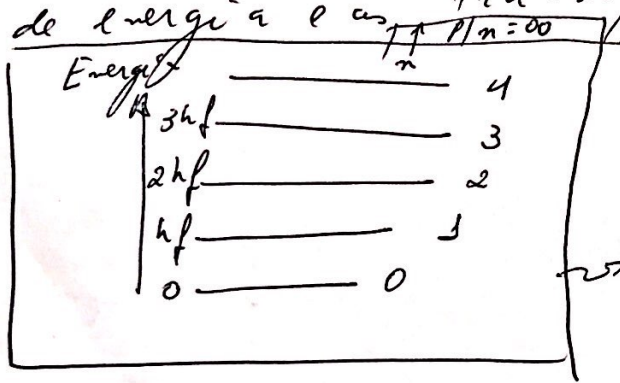


fig. 40.4

O ponto chave da teoria de Planck é a hipótese radical dos estados de energia quantizados. Esta hipótese marcou o nascimento da teoria quântica. Planck passou + de 6 anos tentando reduzir a curva de dist. de energia do corpo negro, nas suas próprias palavras o problema da emissão "representava alguma coisa absoluta...".

→ ex. resolvido pg 37 e 38
oscilador quântico! → aviso
 ok!