

*Instituto de Física*  
*USP*

*Física V - Aula 18*

*Professora: Mazé Bechara*

# *Aula 28 – Discussão da 1ª prova e Apresentação do Tópico III*

- 1. Soluções das questões da prova com comentários. Critérios de correção.**
- 2. Apresentação do tópico III.**

# Questão 1 da 1ª prova (5,25) - critério

**(0,75)** (a) **0,20** constituintes do gás  $N_2$  são moléculas diatômicas; constituintes da grafite são átomos de carbono em arranjos simétricos. **(0,15)** A distância média entre os constituintes do gás é muito maior (10 vezes ou mais) do que a distância média entre os átomos no grafite (da ordem de 5 a 10 vezes o diâmetro atômico. **(0,20)** As moléculas do gás tem necessariamente o movimento de translação tridimensional do seu centro de massa, e rotação em torno de dois eixos perpendiculares à direção que une os dois átomos. Moléculas diatômicas podem ter também um movimento relativo dos dois átomos, vibracional harmônica unidimensional. Já os átomos do sólido terão vibrações harmônicas tridimensionais em torno de suas posições de equilíbrio (o que necessariamente faz com que haja um movimento translacional do átomo – não é um “moviemento a mais”). **(0,20)** No gás a “fraquíssima” interação entre os constituintes são representadas pelas poucas colisões elásticas entre as moléculas. A interação “forte” entre os constituintes da grafite são elásticas tridimensionais entre os vizinhos mais próximos. (Muito mais fortes do que a interação entre constituintes no gás, ou mesmo nos líquidos, daí serem mais próximos os constituintes.); **tudo devidamente justificado.**

# Questão 1 da 1ª prova (5,25) - critério

**(0,75)** (b) **(0,15)** A mecânica estatística se presta para descrever ambos os sistemas pois se trata de sistemas físicos de muitos constituintes idênticos com dinâmica de Física Clássica e **(0,10)** em equilíbrio termodinâmico. **(0,50)** É determinística porque nela cada constituinte tem uma dinâmica descrita pela física clássica newtoniana, que é desde sua origem determinística, ou seja, cada constituinte tem um movimento, em princípio, perfeitamente determinado pelas condições da mecânica clássica ; **tudo devidamente justificado.**

**(1,0)** (c) **(0,25)** expressão geral da distribuição de Boltzmann + argumento do porque são iguais as distribuições de velocidades para os dois sistemas + transformação da distribuição de coordenadas para esféricas + **(0,35)** argumento físico + matemático para a partir da distribuição de velocidades em coordenadas esféricas chegar na distribuição de módulos + **(0,40)** normalização dela. Quem normalizou a distribuição de velocidades e não chegou na correta distribuição de módulos, ganhou menos do que 0,40 pela normalização ; **tudo devidamente justificado.**

**(0,75)** (d) **(0,25)** pela expressão correta da integral que calcula a média do módulo de velocidade, com os limites de integração corretos; **(0,5)** pela integral corretamente realizada ; **tudo devidamente justificado.**

# Questão 1 da 1ª prova (5,25) - critério

**(0,5)** (e) **(0,30)** pelas distribuições com formas corretas e com a devida proporcionalidade de áreas. **(0,20)** pelas médias dos módulos de velocidade, devidamente colocadas um pouco acima dos valores mais prováveis dos módulos de velocidades e com os valores das duas distribuições colocados no gráfico de forma qualitativamente correta na escala; **tudo devidamente justificado.**

**(0,75)** (f) **(0,20)** pela relação correta  $dN/N=f(\langle v \rangle)dv$ ; **(0,15)** pelo cálculo de  $f(\langle v \rangle)$  **(0,20)** pela representação no gráfico do item anterior para cada uma das distribuições; **tudo devidamente justificado.**

**(0,75)** (g) **(0,25)** pela expressão correta do calor específico desde sua definição, como solicitado; **(0,25)** por enunciar corretamente a equipartição de energia e **(0,25)** pelo uso correto da equipartição da energia no caso da molécula do gás; **tudo devidamente justificado.** O argumento de porque usou a rotação e não a vibração, indispensável na solução correta, foi deixado barato na correção DESTA vez .

## Questão 2 da 1ª prova (2,75) - critério

**(0,25)** (a)  $T = 0,002898 \text{ mK} / 1061,5 \times 10^{-6} \text{ m} = 2,73 \text{ K}$

**(1,0)** (b) **(0,20)** por cada gráfico qualitativamente correto experimental coincidente com Planck, ou seja, com a devida proporcionalidade das áreas; **(0,10)** pelo cálculo do comprimento de onda mais provável no caso de  $2T$ ; **(0,10)** por cada valor correto de comprimento de onda máximo na escala; **(0,15)** por cada curva do cálculo de Rayleigh-Jeans; **tudo devidamente justificado.**

**(0,75)** (c) **(0,15)** por cada cálculo da intensidade total com unidade correta; **(0,15)** pela representação do valor no gráfico do item anterior no caso do corpo negro; **(0,30)** pela representação no gráfico da aradiança total do forno 50% eficiente; **tudo devidamente justificado.**

## Questão 2 da 1ª prova (2,75) - critério

**(0,75)** (d) **(0,20)** pela informação de que há em comum a expressão da radiança em termos de densidade volumétrica de ondas estacionárias por unidade de frequência vezes a média da energia da onda estacionária, com o argumento de que no equilíbrio térmico a onda tem que ser estacionária para não transitar energia entre cavidade e matéria; ainda em comum **(0,10)** que este número de ondas é calculado com uso do eletromagnetismo clássico de Maxwell; ainda em comum **(0,10)** que é usada a média da energia da onda igual à média das energias das oscilações unidimensionais das cargas na matéria, que a geram, na mecânica estatística de Boltzmann; e que a diferença está no fato que **(0,10)** RJ consideram as oscilações clássicas que dá média de energia  $kT$ , independente da frequência, e que **(0,25)** Planck supôs que as cargas no interior da matéria oscilam com energias quantizadas  $nh\nu$ , com  $n=0,1,2,3\dots$  o que resulta, usando Boltzmann, em uma média de energia dependente da frequência, corrigindo a catástrofe do ultra-violeta dos cálculos de RJ ; **tudo devidamente justificado.**

# Questão 3 da 1ª da prova (3,0) - critério

- (1,0) (a) (0,30) pelo cálculo da intensidade; (0,15) por cada um dos esboços da placa com energia contínua e homogênea na região do feixe, segundo Maxwell; e (0,20) por cada uma das representações da energia na placa segundo Einstein, energia discreta e homogênea, com número de fótons inversamente proporcional à frequência da radiação, ou diretamente proporcional ao comprimento de onda; **tudo devidamente justificado.**
- (0,5) (b) (0,10) pelo cálculo correto da energia dos fótons de cada um dos dois feixes, e (0,30) pelo argumento correto de porque só haveria efeito fotoelétrico com o feixe azul no sódio: energia de um fóton maior do que a mínima energia de ligação do material, que é igual ao valor negativo da função trabalho; ); **tudo devidamente justificado.**
- (0,75) (c) (0,30) pelo gráfico qualitativamente correto; (0,25) pelo cálculo correto do potencial de corte em Volts, e (0,20) pelo valor correto colocado no gráfico (-0,82V); **tudo devidamente justificado.**
- (0,75) (d) (0,15) pela energia cinética máxima; ( $3,10 - 2,28 = 0,82\text{eV}$ ); (0,20) pela energia cinética mínima (zero); (0,20) pela energia de ligação mínima do elétron no sódio que é a função trabalho com o sinal trocado (-2,28eV); (0,20) pela energia de ligação máxima, que é o valor negativo da energia de um fóton (-3,10eV); **tudo devidamente justificado.**

# 1ª prova - distribuição de notas – *situe-se*

- **Nota → # alunos**
- 0,0 – 0,99 → 1
- 1,0 – 1,99 → 1
- 2,0 – 2,99 → 5
- 3,0 – 3,99 → 9
- 4,0 – 4,99 → 8
- 5,0 – 5,99 → 8
- 6,0 – 6,99 → 3
- 7,0 – 7,99 → 3
- 8,0 – 8,99 → 1
- 9,0 – 9,99 → 0
- **Média = 4,4 do total de 39 alunos**
- **acima de 5: 38,5%; acima de 4,0: 60,0%**

# *Tópico III*

## **III. Modelos atômicos, as primeiras “regras” de quantização e o caráter dual da matéria: partícula-onda.**

- tempo previsto: **~11 aulas**
- **III.1 modelos atômicos e as primeiras regras de quantização**
- **III.2 O caráter dual das partículas materiais**

# *Como o átomo revela que não é átomo (indivisível) como seu nome sugere*

1. Átomos podem “emitir” partículas com carga  $-e$  e massa 2000 vezes menor que a massa do H – os elétrons - quando interagem com radiação eletromagnética. Também é possível ionizar positivamente os elementos químicos.
2. O espectro de emissão de raios X por matéria (sólida) quando bombardeada por elétrons livres com energias cinéticas da ordem ou maiores do que keV tem uma estrutura fina, praticamente monocromática, que mostra regularidade com o número atômico  $Z$ . E mais...os espectros dos raios-X indicam que a energia dos átomos devem ser quantizadas...frequências bem definidas correspondem a transições entre estados atômicos

**Moral da história: se há cargas diferentes que fazem dos átomos neutros, os átomos são compostos de outras partículas. Não é indivisível. É “constituente fundamental” da matéria, mas não é exatamente uma “partícula elementar”, ou seja, sem estrutura interna.**

# Como os átomos revelam sua estrutura - Espectros de emissão e de absorção de átomos

As interações entre átomos são desprezíveis nos gases, diferentemente da matéria líquido e a sólida. Assim, o vapor dos elementos químicos é o melhor sistema para se “extrair” informações sobre os átomos dos elementos.

Gases que não interagem com outras partículas nem com radiação eletromagnética, só **emitem** radiação por efeito de temperatura.

Assim, para melhor se observar os átomos, seria interessante conhecer as características da radiação absorvida e emitida pela matéria gasosa monoatômica.