

Instituto de Física USP

Física V - Aula 21

Professora: Mazé Bechara

Aula 21 – Discussão da prova e Princípio de correspondência de Bohr

1. **Comentários sobre as soluções das questões da prova. Critérios de correção.**
2. **Princípio de correspondência de Bohr: o que é.**

Questão 1 da prova (3,5) - critério

(1,0) (a) **0,5** pelo cálculo da normalização, seja na distribuição de módulos de velocidade, seja na distribuição da energia cinética; **0,5** pela dedução da distribuição de energia cinética a partir da distribuição de módulos de velocidade. - **0,2** para qualquer erro que resulte em distribuição de energia cinética dependente de massa.

(0,75) (b) **(0,5)** pela determinação do valor mais provável, a partir do máximo da distribuição da energia cinética do item (a). **(0,25)** pelo significado físico de energia cinética mais provável, EM PALAVRAS .

Atenção: quem chegou em valor de energia errada, mas coerente com erro no item (a) levou a nota, se o resultado errado tinha dimensão de energia e independeu da massa.

(0,75) (c) **(0,15)** por cada curva: T_0 e $2T_0$, e He e H_2 . Como são iguais poderia tirar a nota se **com a justificativa** que a distribuição de energia cinética independe das massas, por isto é a mesma para qualquer material na mesma temperatura. **(0,15)** pelos valores mais prováveis nos eixos, como solicitado.

(1,0) (d) **(0,2)** pela expressão do calor específico molar em termos da energia média. **(0,4)** pelo valor da energia média do He usando a equipartição de energia e a devida derivada para chegar em c_v ; **(0,4)** idem para o H_2 .

Questão 2 da prova (1,5) - critério

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

(1,0) (b) **(0,30)** por cada gráfico qualitativamente correto: em 2,73K e 5.46K. **(0,15)** pelos valores numéricos da energia cinética mais provável (nos máximos do gráfico), **(0,25)** pela razão das áreas a T_0 e $2T_0$ que é igual a razão entre as temperaturas à quarta potência (expressão da radiança total), ou seja, a área a 2,73K é 1/16 da área a 5,46K. **-0,20** para quem misturou unidades.

Questão 3 da prova (2,75) - critério

- (0,5)** (a) **(0,25)** por cada um dos esboços: placa com energia contínua e homogênea, segundo Maxwell; e com energia discreta e homogênea segundo Einstein.
- (0,75)** (b) **(0,50)** para quem calculou o número de fótons que saem da fonte por unidade de tempo, sem perceber que não é todo fóton da fonte puntiforme que chega na placa.
- (0,5)** (c) **(0,40)** Um elétron ligado do material da placa **absorve** um fóton da fonte, saindo do material com energia cinética igual a energia do fóton menos sua energia de ligação, formando a corrente fotoelétrica. **(0,10)** Parte do momento linear do fóton é absorvida pela rede ou núcleo ao qual o elétron está ligado.
- (1,0)** (d) **(0,25)** A energia de ligação mínima do elétron no potássio é a função trabalho com o sinal trocado, ou seja, -2eV . **(0,25)** Os elétrons menos ligados saem com energia cinética máxima dentre os que formam a corrente fotoelétrica, e esta energia cinética máxima é a diferença entre a energia do fóton ($3,102\text{eV}$) e a energia de ligação, portanto, $1,102\text{eV}$. **(0,25)** A energia cinética mínima dos elétrons que interagiram com o fóton é zero, e **(0,25)** estes elétrons que saíram parados da superfície do material tinham a energia de ligação igual ao valor negativo da energia do fóton, ou seja, $-3,102\text{eV}$.

Questão 4 da prova (2,5) - critério

- (0,75)** (a) **(0,25)** pelo cálculo do comprimento de onda do espalhamento Compton. **(0,20)** pelo gráfico do feixe transmitido com o valor numérico do comprimento de onda monocromático; **(0,30)** pelo feixe espalhado a 120° com os valores numéricos do comprimento de onda no gráfico. **Quem fez gráficos claramente não monocromáticos da intensidade versus comprimento de onda perdeu metade dos valores dos gráficos.**
- (1,0)** (b) **(0,25)** No feixe transmitido (0°): não há interação do fóton com a matéria. **(0,30)** No feixe espalhado à 120° , com o mesmo comprimento de onda que o incidente: cada fóton desviado interagiu com um núcleo ou elétron ligado ao núcleo, de forma que houve transferência de momento linear, que desvia o fóton, mas é desprezível a energia cinética transferida ao núcleo ou elétron ligado, e por isto a energia do fóton é praticamente a mesma (mesmo comprimento de onda). Neste caso não há emissão de partículas que permanecem ligadas no material. **(0,30)** No feixe espalhado à 120° , com o comprimento de onda maior do que o incidente: cada fóton desviado interagiu com elétron “livres”, entendido como energia de ligação desprezível frente à energia do fóton, de forma que houve transferência de energia e momento linear do fóton ao elétron, **(0,15)** que é ejetado do material (corrente Compton).
- (0,75)** (c) **(0,25)** O gráfico transmitido: o campo eletromagnético da onda não movimentou partículas da matéria. **(0,5)** No espectro espalhado pode ser descrito o pico com mesmo comprimento de onda que o feixe incidente: cargas da matéria oscilam com a mesma frequência dos campos, devido às forças dos campos elétrico e magnético, e emitem radiação com esta mesma frequência que oscilaram.

Questão 5 da prova - critério

- **(0,5)** (a) O elétron e o pósitron interagem **formando um estado ligado, o átomo positrônico, que é um sistema instável**. Este átomo necessariamente decaiu, e neste caso decaiu em dois fótons (poderia ser mais que dois mas não um único), com **a aniquilação das duas partículas**. As energias de repouso e cinética se transformam em energia dos dois fótons, e há conservação de momento linear no processo.

- **(0,75)** (b) **(0,40)** Da conservação de energia:

$$E_{f1} + E_{f2} = 2m_0c^2 + 2Ec = (1,022 + 0,800)\text{MeV}$$

ambas as partículas têm a mesma energia cinética: 0,40MeV

(0,35) Porém o momento linear das duas partículas é zero, pois são iguais as energias cinéticas, com movimentos na mesma direção e sentidos contrários. Assim deve ser nulo o momento linear dos dois fótons, ou seja, os módulos do momento dos dois fótons são iguais, e se movem em sentidos opostos. E como pela proposta de Einstein o momento linear é proporcional a energia, as energias devem ser iguais. **Assim a energia de cada fóton é 0,911MeV, e o momento linear 0,911MeV/c .**

Distribuição de notas – situe-se

- **Nota** → **# alunos**
- 0,0 – 0,99 → 4
- 1,0 – 1,99 → 3
- 2,0 – 2,00 → 3
- 3,0 – 3,99 → 7
- 4,0 – 4,99 → 7
- 5,0 – 5,99 → 3
- 6,0 – 6,99 → 3
- 7,0 – 7,99 → 2
- 8,0 – 8,99 → 1
- 9,0 – 9,99 → 0
- 10,0 – 10,99 → 1
- **Média = 4,12**
- **acima de 5: 29,4%; acima de 4,0: 50,0%**

Princípio de Correspondência

(Estabelecido por Bohr em 1920)

1. **A Física Quântica** para qualquer sistema e dinâmica **deve coincidir com a Física Clássica no limite no qual os números quânticos que especificam o estado do sistema, se tornam muito grandes (números quânticos $\rightarrow \infty$).**
2. **As regras de seleção são válidas para todos os números quânticos possíveis.** Assim, as regras de seleção que são necessárias para obter a coincidência de uma teoria quântica com a clássica quando os números quânticos são grandes, também se aplicam na situação quântica, ou seja, *de números quânticos pequenos.*