

# Università degli Studi dell'Aquila

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Materiali

Corso di Fisica della Materia

Prof. L. Lozzi

Testi degli esercizi svolti in aula

## Corpo Nero

1. Il corpo umano si trova a  $36^{\circ}\text{C}$ . Supponendo che sia assimilabile ad un corpo nero, determinare:
  - a. la lunghezza d'onda alla quale si ha il massimo di emissione di onde e.m.;
  - b. la potenza emessa da una superficie del corpo umano di  $4\text{ cm}^2$  entro  $1\text{ nm}$  intorno alla lunghezza d'onda del massimo di emissione;
  - c. il numero dei fotoni emessi al secondo dalla superficie di sopra;
  - d. ripetere il calcolo dei punti 2 e 3 per l'emissione a  $\lambda=500\text{ nm}$ .
2. Una stella emette una potenza di  $5 \times 10^{30}\text{ W}$  ed ha il massimo di emissione a  $\lambda=600\text{ nm}$ . Supponendo che sia assimilabile ad un corpo nero, determinare:
  - a. la temperatura della superficie della stella;
  - b. il raggio della stella.
3. Quando il sole illumina la terra l'intensità media della radiazione solare è di  $1400\text{ W/m}^2$ . Se il diametro del sole è di  $1.4 \times 10^9\text{ m}$  e la distanza media terra-sole è di  $150 \times 10^6\text{ km}$ , determinare la temperatura del sole, considerandolo un corpo nero.
4. Considerando il sole come un corpo nero a temperatura  $T=6000\text{ K}$ , qual è la lunghezza d'onda alla quale si osserva il massimo dell'emissione di onde elettromagnetiche ?

## Effetto fotoelettrico

1. In un esperimento si inviano fotoni di lunghezza d'onda pari a  $300\text{ nm}$  su una lastra metallica. Se il potenziale massimo di arresto è di  $1.2\text{ V}$  determinare la funzione lavoro del metallo e la lunghezza d'onda minima per osservare l'emissione di elettroni.
2. Fotoni di lunghezza d'onda  $550\text{ nm}$  emessi da una sorgente monocromatica da  $100\text{ W}$  che emette fotoni in maniera isotropa su tutto l'angolo solido colpiscono una lastra di superficie di  $20 \times 30\text{ cm}^2$  a distanza  $1\text{ m}$  dalla sorgente. Quanti fotoni al secondo colpiscono la lastra ?

## Scattering Compton

1. Un fotone X con energia  $E=0.3$  MeV urta frontalmente un elettrone fermo e viene retrodiffuso ( $\theta=\pi$ ). Determinare la velocità dell'elettrone dopo l'urto.

## Modello di Bohr

1. Quali sono le 2 lunghezze d'onda più grandi che un fotone può avere per eccitare un atomo di  $\text{Li}^{2+}$  dallo stato fondamentale ?
2. Determinare l'energia cinetica dell'elettrone in un atomo di idrogeno che si trova nello stato fondamentale e che è eccitato da fotoni con  $\lambda=59$  nm. Rifare il problema nel caso l'elettrone si trovi nel 3° stato eccitato.
3. L'elettrone in un atomo di idrogeno si trova nel 1° stato eccitato. Determinare la frequenza del fotone emesso per eccitare l'elettrone nel 2° stato eccitato. Determinare la variazione del momento angolare.
4. In un atomo di idrogeno l'elettrone transisce, emettendo un fotone di lunghezza d'onda pari a 489 nm, verso uno stato la cui energia di eccitazione dallo stato fondamentale è di 10.19 eV. Determinare l'energia dello stato di partenza dell'elettrone e i numeri quantici dei 2 livelli coinvolti.
5. Determinare la lunghezza d'onda di un elettrone che, colpendo un atomo di  $\text{Li}^{2+}$  nello stato fondamentale determina l'emissione dell'elettrone legato con energia cinetica di 10 eV.

## Dualismo onda-particella

1. Nell'esperimento di Davisson – Germer inviando elettroni con  $E_k=54$  eV su un cristallo di nichel si osserva un picco di diffrazione a  $50^\circ$ . Cambiando l'energia degli elettroni si osserva un picco al secondo ordine a  $54^\circ$ . Determinare l'energia cinetica degli elettroni incidenti in questo secondo esperimento.
2. Una superficie di un cristallo presenta un reticolo con una distanza tra i punti reticolari pari a 0.3 nm. Se si inviano, perpendicolarmente alla superficie, elettroni accelerati mediante una differenza di potenziale di 160 V, determinare l'angolo massimo al quale si può osservare, in riflessione, un processo di interferenza costruttiva.

## Principio di Indeterminazione

1. Supponiamo che per una particella la quantità di moto possa essere misurata con una indeterminazione percentuale di  $10^{-3}$ . Calcolare l'indeterminazione sulla posizione se
  - a.  $m=5 \times 10^{-3}$  kg,  $v=2$  m/s
  - b.  $m=9.1 \times 10^{-31}$  kg,  $v=1.6 \times 10^6$  m/s
2. La velocità di un elettrone ha una incertezza di  $2 \times 10^4$  m/s. Determinare l'incertezza sulla posizione.
3. Viene emesso un fotone  $\gamma$  da  $E=1$  MeV attraverso la de-eccitazione di uno stato con tempo di vita  $\Delta T=1.2$  ns. Determinare la larghezza della energia del fotone  $\gamma$  ?
4. I nuclei, la cui dimensione è circa  $10^{-12}$  cm, a volte emettono elettroni con energie 1-10 MeV. Utilizzando il principio di indeterminazione mostrare che gli elettroni emessi non potevano essere contenuti nel nucleo prima dell'emissione.

## Equazione di Schroedinger

1. Un elettrone si trova in una buca di potenziale monodimensionale a pareti infinite, con lunghezza pari a  $1 \times 10^{-10}$  m. Determinare:
  - a. La differenza di energia tra lo stato fondamentale e il primo stato eccitato;
  - b. La probabilità di trovare l'elettrone nello stato fondamentale nell'intervallo  $0.09 \times 10^{-10} < x < 0.11 \times 10^{-10}$  m;
  - c. La probabilità di trovare l'elettrone ne primo stato eccitato nell'intervallo  $0 < x < 0.25 \times 10^{-10}$  m.
2. Un elettrone, con energia  $E_e=E_a$ , ed un protone, con energia  $E_p=E_a/20$ , sono liberi tra due pareti infinitamente lontane. Ad un tratto le due pareti si avvicinano fino ad una distanza  $L$ . Determinare il rapporto tra i numeri quantici delle 2 particelle e il rapporto tra le loro lunghezze d'onda (supporre che il rapporto tra le masse delle particelle sia 2000).
3. Un protone si trova in una scatola, di larghezza  $L = 0.3$  nm e con pareti di energia potenziale infinitamente alte, nello stato fondamentale. Determinare:
  - i. L'energia dell'elettrone
  - ii. La probabilità di trovarlo tra:
    - a. 0-0.1 nm
    - b. 0.1-0.2 nm
    - c. 0.2-0.3 nm
4. Un oscillatore armonico nello stato fondamentale ha energia  $E=1.24$  eV. Quanta energia deve essere fornita per farlo passare nel 2 stato eccitato ? E quanta per andare nel 4° stato eccitato ?

5. Un elettrone si trova in una buca di potenziale a pareti infinite di larghezza  $L$  nello stato fondamentale. Improvvisamente la larghezza della buca raddoppia. Determinare la lunghezza d'onda dell'elettrone nella nuova buca supponendo che la sua energia non cambi.
6. Una particella è descritta dalla funzione d'onda  $\psi(x) = A\sqrt{x}$ . Determinare il coefficiente di normalizzazione  $A$  affinché la funzione d'onda sia normalizzata nell'intervallo  $0-L$ . Trovare la probabilità che la particella sia nell'intervallo  $0-L/4$  e  $L/4-L$ .
7. Un oscillatore armonico quantistico si trova nello stato fondamentale. È colpito da onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda  $\lambda = 100$  nm e passa nel primo stato eccitato. Determinare la frequenza dell'oscillatore armonico.
8. Un elettrone con energia  $E_k = 5$  eV incontra un gradino di potenziale di altezza  $U = 10$  eV. Determinare a quale distanza dall'inizio del gradino (posto a  $x=0$ ) la funzione d'onda dell'elettrone si riduce di ad un valore  $1/e$  del valore iniziale.
9. Determinare, per una particella in una buca di potenziale a pareti infinite, la variazione percentuale di energia tra due stati caratterizzati da  $n$  ed  $n+1$ . Cosa accade nel limite classico ?
10. Una particella, con energia cinetica  $5$  eV, incontra una barriera di potenziale di altezza  $U = 10$  eV. Determinare il rapporto tra i coefficienti di trasmissione quando l'ampiezza della barriera è di  $1$  nm e quando questa ampiezza si dimezza.
11. Un elettrone si trova in una buca di potenziale a pareti infinitamente profonde di ampiezza  $2$  cm. A quale valore di  $n$  corrisponde un'energia di  $1.5$  eV ? Qual è la differenza di energia tra lo stato  $n$  e  $n+1$  intorno a quella energia ?
12. Un protone, con velocità  $v = 10^6$  m/s (non relativistica) colpisce un oscillatore armonico (con massa molto superiore a quella del protone) che si trova nel 1° stato eccitato e, cedendogli tutta la sua energia, lo fa transire al terzo stato eccitato. Determinare la frequenza dell'oscillatore.
13. Una particella è descritta dalla funzione d'onda  $\psi(x) = Ax^2$  nell'intervallo  $0-L$ . Determinare la probabilità di trovare la particella nell'intervallo  $0-L/3$ .
14. Una particella in una buca di potenziale a pareti infinitamente alte si trova nello stato fondamentale con una energia pari a  $1.26$  eV. Che energia serve per portarlo al 2° e 3° stato eccitato ?
15. Una massa di  $1$  g è appesa per un filo di lunghezza  $1$  m. Se si sposta di 1° dalla posizione di equilibrio e il sistema inizia ad oscillare, determinare il numero quantico  $n$  tale che l'energia del sistema calcolata mediante la meccanica quantistica corrisponda all'energia classica. Qual è la minima energia che potrebbe essere scambiata ?
16. Molti elettroni non interagenti si trovano in una buca di potenziale di profondità infinita e di larghezza  $a$ . Nella transizione tra stati permessi gli elettroni emettono fotoni con energia diversa. Se la massima lunghezza d'onda osservata nei fotoni

emessi è di  $4.5 \times 10^{-7}$  cm determinare la larghezza  $a$  della buca.

17. Considerando una buca di potenziale a pareti infinitamente alte e di ampiezza  $a$ , si confronti l'energia dello stato fondamentale con l'energia minima ottenuta dal principio di indeterminazione e confrontarle.

### **Atomo di idrogeno quantistico**

1. Determinare la posizione del massimo della distribuzione di probabilità dello stato  $1s$  nell'atomo di idrogeno.
2. Determinare l'energia, la lunghezza d'onda e la frequenza di un fotone che, colpendo l'elettrone in un atomo di idrogeno nello stato  $1s$  lo ecciti nello stato  $3p$ .
3. Un atomo di idrogeno, inizialmente in quiete, passa dallo stato eccitato  $2p$  allo stato fondamentale emettendo un fotone. Determinare la velocità finale dell'atomo.