

Domande di teoria: Meccanica quantistica - H0001**Testo** [H0001] [2★ 19🕒 5a📖]

Rispondi alle seguenti domande.

1. Cos'è un corpo nero?
2. Nomina alcuni fenomeni fisici che hanno condotto alla quantizzazione delle onde elettromagnetiche
3. Quale idea innovativa è stata introdotta da Max Plank per spiegare lo spettro di radiazione di corpo nero?
4. Cosa accomuna la descrizione della radiazione di corpo nero e dell'effetto fotoelettrico?
5. Nell'effetto fotoelettrico troviamo l'equazione $E = h\nu - \phi$. Indica il significato di ognuno dei quattro termini presenti.
6. Ipotizziamo di far incidere un'onda elettromagnetica di determinata intensità e frequenza, sulla superficie di un metallo, e di non vedere alcun elettrone in uscita dal metallo. Cosa devo fare, e perchè, al fine di riuscire ad estrarre un elettrone dal metallo?
7. Descrivi sinteticamente quali problematiche presenta il modello atomico di Rutherford.
8. Quale idea di base permette di spiegare gli spettri a righe di emissione e assorbimento degli atomi?
9. Come si giustifica il fatto che, ipotizzando orbite circolari, il raggio dell'orbita di un elettrone intorno al nucleo è proporzionale a n^2 con $n \in \mathbb{N}$?
10. Quale semplice equazione mostra un legame tra il comportamento corpuscolare ed ondulatorio di una particella?
11. Perchè nell'esperimento delle due fessure misurare da quale fessura passa l'elettrone fa sparire la figura di interferenza sullo schermo?
12. Nell'esperimento delle due fessure si vede che gli elettroni che attraversano la coppia di fessure formano sullo schermo di rivelazione una figura di interferenza. Esattamente quali sono le due cose che hanno interferito tra loro?
13. In quale modo la meccanica quantistica descrive un sistema fisico?
14. Considera un sistema fisico formato da una particella che si muove verso uno schermo dotato di quattro differenti fessure e lo attraversa. Cosa posso affermare sullo stato fisico della particella, riguardo alla fessura che ha attraversato?
15. Considera un sistema fisico formato da una particella che si muove verso uno schermo dotato di quattro differenti fessure e lo attraversa. Se misuro la posizione della particella per sapere da quale fessura effettivamente passa, cosa succede allo stato fisico della particella?
16. Considera una particella che attraversa una fessura di larghezza L . Il fatto che la particella abbia attraversato la fessura è una misura della sua posizione?
17. Considera una particella che attraversa una fessura di larghezza L , ed immagina di stringere tale fessura. cosa succede alla componente dell'impulso lungo tale fessura?
18. In meccanica quantistica si parla di *sovrapposizione di stati*. E' corretto affermare che se uno stato fisico è rappresentato dalla sovrapposizione dello stato A e dello stato B , con funzione d'onda $\phi = \phi_A + \phi_B$ allora significa che noi non sappiamo in quale stato si trova il sistema, e solo dopo aver fatto una misura possiamo sapere in quale dei due stati si trovava effettivamente il sistema prima della misura?
19. Cosa afferma il principio di indeterminazione di Heisenberg?

Spiegazione Queste sono domande di teoria... l'unico modo per rispondere correttamente è aver studiato.

Svolgimento

1. Definisco *corpo nero* un qualunque sistema fisico in grado di assorbire ogni radiazione elettromagnetica incidente.
2. Lo spettro di emissione del corpo nero, l'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton
3. L'idea di Plank consiste nell'ipotizzare che la radiazione elettromagnetica scambi energia solo in quantità discrete in funzione della frequenza della radiazione. L'energia dei singoli pacchetti energetici è data da $E = h\nu$
4. La descrizione della radiazione di corpo nero e dell'effetto fotoelettrico sono accomunate dal descrivere l'energia del fotone come $E = h\nu$
5. Nell'equazione

$$E = h\nu - \phi$$

E rappresenta l'energia cinetica dell'elettrone emesso, h è la costante di plank, ν è la frequenza della radiazione incidente, ϕ è l'energia di estrazione dell'elettrone dal metallo.

6. Se non vedo elettroni estratti dalla superficie del metallo significa che l'energia dei singoli fotoni legati alla radiazione elettromagnetica non è sufficientemente elevata. Aumentare l'intensità dell'onda non risolve il problema in quanto significherebbe aumentare il numero di fotoni. Ciò che bisogna fare è aumentare la frequenza della radiazione in modo che aumenti l'energia del singolo fotone $E = h\nu$
7. Nel modello atomico di Rutherford gli elettroni ruotano intorno ad un nucleo centrale e non ci sono vincoli sull'energia, e di conseguenza sul raggio dell'orbita, che tale elettrone può avere. Le problematiche di tale modello sono principalmente due:
 - (a) L'elettrone intorno al nucleo si muove di moto accelerato e quindi deve emettere radiazione di sincrotrone; l'elettrone perderebbe in tal caso energia e diminuirebbe il raggio dell'orbita fino a collassare sul nucleo. Ovvia-

mente questo non accade in quanto la materia, per come la conosciamo, esiste.

- (b) Potendo, nel modello di Rutherford, assumere valori di energia in modo continuo, l'elettrone può assorbire ed emettere radiazione elettromagnetica di qualunque energia. L'analisi degli spettri di emissione ed assorbimento mostrano invece che la radiazione viene assorbita ed emessa in valori discreti. Ogni elemento assorbe ed emette fotoni solo in determinate frequenze.
8. Gli spettri di emissione ed assorbimento a righe sono giustificati dal fatto che gli elettroni in un atomo si trovano su livelli energetici discreti e ben determinati. Gli elettroni emettono/assorbono energia passando da un'orbita ad un'altra e quindi da un'energia ben determinata ad un'altra. L'energia della radiazione emessa/assorbita è pari alla differenza di energia tra le orbite dell'elettrone prima e dopo l'assorbimento/emissione della radiazione.
 9. Il raggio dell'orbita è quantizzato in quanto l'elettrone può trovarsi solo su orbite la cui circonferenza sia pari ad un numero intero di volte la lunghezza d'onda¹

$$2\pi r_n = n\lambda$$

con $n \in \mathbb{N}$

10. Ad ogni particella è associabile una lunghezza d'onda λ , detta lunghezza d'onda di De Broglie, dipendente dall'impulso p della particella

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

11. Nell'esperimento delle due fessure, la figura di interferenza si forma grazie alla presenza contemporanea di due stati fisici, ognuno dei quali rappresentante l'elettrone che passa in una determinata fessura, che interferiscono tra loro. Nel misurare in quale fessura passa l'elettrone, noi lo facciamo transire in uno stato fisico in cui è presente solo uno dei due stati, quindi non è più possibile alcun fenomeno di interferenza.

¹Qui la domanda va completata indicando tutti i passaggi matematici utilizzati.

12. Nell'esperimento delle due fessure gli elettroni coinvolti si trovano in uno stato fisico di sovrapposizione dello stato di elettrone che attraversa la prima fessura e dello stato di elettrone che attraversa la seconda fessura. I due stati sono contemporaneamente presenti e possono interferire tra loro.
13. In meccanica quantistica un sistema fisico è descritto da una funzione d'onda. Eseguendo una misura su tale stato fisico, con la funzione d'onda possiamo ricavare la probabilità di ottenere per tale misura un determinato risultato. L'evoluzione nel tempo di tale stato fisico è descritta dall'equazione di Schrodinger applicata alla funzione d'onda di tale stato fisico.
14. Non avendo eseguito alcuna misura di posizione, la particella si trova in uno stato fisico dato dalla sovrapposizione di quattro differenti stati fisici, ognuno che descrive la particella che passa da una determinata fessura. Indichiamo con a, b, c, d le quattro fessure. Assumendo che la probabilità di passare da ogni fessura sia equivalente, la funzione d'onda della particella sarà

$$\psi = \frac{1}{2}\psi_a + \frac{1}{2}\psi_b + \frac{1}{2}\psi_c + \frac{1}{2}\psi_d$$

15. Prima della misura lo stato fisico della particella è la sovrapposizione di quattro stati, ognuno che descrive la particella passante per una determinata fessura

$$\psi = \frac{1}{2}\psi_a + \frac{1}{2}\psi_b + \frac{1}{2}\psi_c + \frac{1}{2}\psi_d$$

Misurare la posizione della particella fa transire lo stato fisico in uno degli stati che descrivono la particella che passa da una determinata fessura. Ipotizzando che il risultato della misura sia che la particella è passata dalla fessura a , la funzione d'onda della particella sarà ora

$$\psi = \psi_a$$

16. Se affermo che in un certo istante una particella ha attraversato una determinata fessura, di fatto sto dicendo che sapevo dove si trovava, quindi di fatto ho effettuato una misura della sua posizione. Visto che la fessura ha una lunghezza L , allora la misura presenta un'incertezza sulla posizione pari a

$$\Delta x = \frac{L}{2}$$

17. Far passare una particella attraverso una fessura equivale a misurarne la posizione con una certa incertezza proporzionale alla larghezza della fessura. Stringendo la fessura, diminuisce l'incertezza sulla misura della posizione, e di conseguenza, per il principio di indeterminazione di Heisenberg, aumenta l'incertezza sulla misura contemporanea della componente dell'impulso lungo il piano della fessura.
18. No, quanto affermato nella domanda non è corretto. Per come è posta la domanda, infatti, sembra che la particella si trovi sempre o nello stato A o nello stato B , e sembra che il concetto di sovrapposizione sia legato alla nostra ignoranza (non-conoscenza) sull'effettivo stato della particella. In realtà se uno stato fisico è descritto dalla sovrapposizione di due stati, entrambi gli stati sono effettivamente contemporaneamente presenti in determinate proporzioni; è solo a seguito di una nostra misura che lo stato compie una transizione verso uno solo dei due stati che prima si sovrapponevano, con probabilità che dipende dalle proporzioni con cui sono presenti i due stati.
19. Il principio di indeterminazione di Heisenberg afferma che esistono coppie di grandezze fisiche tali per cui non è possibile misurarle contemporaneamente con arbitraria precisione. Se per esempio consideriamo la posizione e l'impulso di una particella, il prodotto delle loro incertezze di misura sarà sempre

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Domande di Teoria: Meccanica quantistica - H0002**Testo** [H0002] [4★ 12🕒 5a📖]

Rispondi alle seguenti domande.

1. Quali fenomeni fisici hanno portato alla comprensione della natura corpuscolare della radiazione elettromagnetica, e cosa si intende esattamente per “natura corpuscolare” della radiazione elettromagnetica.
2. La natura ondulatoria delle particelle permette di superare le problematiche insite nel modello atomico di Rutherford e di arrivare al modello di Bohr. Spiega quali siano tali problematiche e descrivi come esse vengano superate.
3. Utilizzando come esempio l’esperimento delle due fessure di cui devi dare breve descrizione, indica come nella meccanica quantistica venga descritto lo stato di un certo sistema fisico e cosa significhi fare una misura su di esso.
4. Enuncia il principio di indeterminazione di Heisenberg

Spiegazione Queste sono domande di teoria... l’unico modo per rispondere correttamente è aver studiato.

Svolgimento

1. Due fenomeni fisici che hanno portato alla comprensione della natura corpuscolare della luce sono la radiazione di corpo nero e l’effetto fotoelettrico. Lo spettro di radiazione di corpo nero, misurato sperimentalmente, ha un andamento completamente differente da quanto previsto dalla teoria classica dell’elettromagnetismo. Solo assumendo che la luce possa scambiare energia con la materia in pacchetti di energia

$$E_\gamma = h\nu$$

le discrepanze tra dati sperimentali e previsioni teoriche si annullano. L’effetto fotoelettrico descrive il modo in cui la radiazione elettromagnetica è in grado di estrarre un elettrone da un metallo; l’energia dell’elettrone estratto dipende

dalla frequenza della radiazione incidente e non dalla sua intensità secondo la formula

$$E_c = h\nu - \phi$$

Come per lo spettro di corpo nero, anche in questo caso l’energia della radiazione elettromagnetica è scambiata soltanto per pacchetti discreti.

2. Il modello atomico di Rutherford non funziona per due principali motivi. In primo luogo una carica elettrica accelerata emette radiazione di sincrotrone e quindi perde energia. La sua orbita dovrebbe quindi ridurre gradualmente il raggio fino a collassare sul nucleo, cosa che ovviamente non avviene. In secondo luogo, potendo l’elettrone ruotare a qualunque distanza dal nucleo, esso può scambiare energia in modo continuo; lo spettro di assorbimento risulterebbe uno spettro continuo e non uno spettro a righe come mostrato dai dati sperimentali. Uno spettro a righe è giustificabile solo ipotizzando orbite, e conseguenti livelli energetici, discreti. La presenza di livelli energetici discreti implicherebbe inoltre l’esistenza di un livello energetico di minima energia sotto il quale l’elettrone non può andare, impedendo che l’elettrone possa collassare sul nucleo. Per giustificare la presenza di livelli energetici discreti basta considerare che ad ogni elettrone è associabile una lunghezza d’onda

$$\lambda = \frac{h}{mV}$$

Questo implica che la lunghezza dell’orbita dell’elettrone intorno al nucleo debba essere un multiplo intero della lunghezza d’onda dell’elettrone.

$$2\pi r = n\lambda$$

con $n \in \mathbb{N}$. I raggi delle orbite, e di conseguenza le loro energie, risultano quindi quantizzate.

3. Nell’esperimento delle due fessure un elettrone viene mandato attraverso due fessure e, sullo schermo di rivelazione posto oltre le fessure, si vede una figura di interferenza. Questo viene spiegato dal fatto che la funzione d’onda dell’elettrone è la sovrapposizione di due differenti stati, quello in cui l’elettrone

passa nella fessura di sinistra e quello in cui passa nella fessura di destra. I due stati, oltre le fessure, interferiscono tra loro per formare la figura di interferenza. Se misuriamo attraverso quale fessura l'elettrone effettivamente passa, facciamo transire la funzione d'onda da sovrapposizione di due stati differenti in uno solo dei due stati. L'elettrone quindi passa da una sola delle due fessure e dopo di essa non sono più presenti due stati che possono interferire tra loro, quindi non è più presente sullo schermo la figura di interferenza.

4. Il principio di indeterminazione afferma che esistono coppie di grandezze fisiche che non possono essere misurate contemporaneamente con arbitraria precisione, per cui

$$\Delta x \Delta p \leq \frac{h}{4\pi}$$

Domande di teoria sulla fisica moderna - H0012

Testo [H0012] [3★ 4🕒 5a📖]

Descrivi nel dettaglio cosa sia l'effetto fotoelettrico e perché l'esperimento contraddice la descrizione classica delle onde elettromagnetiche.

Spiegazione Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale. Il livello di approfondimento richiesto è legato a quanto tempo avete a disposizione per rispondere.

Concetti da sviluppare

- Descrizione dell'effetto
- Previsioni classiche e risultati sperimentali
- Ipotesi risolutiva del problema

Svolgimento L'effetto fotoelettrico consiste nell'emissione di elettroni da un materiale a seguito dell'interazione con la radiazione elettromagnetica. L'energia dell'onda elettromagnetica è assorbita dall'elettrone; una parte di essa utilizzata per uscire dal materiale, ed il rimanente rimane sottoforma di energia cinetica dell'elettrone emesso.

Classicamente la radiazione elettromagnetica è in grado di trasferire energia all'elettrone in quantità arbitraria in funzione dell'intensità dell'onda ed indipendentemente dalla frequenza dell'onda. Questo implica che tutte le onde elettromagnetiche, indipendentemente dalla loro frequenza sono in grado di estrarre elettroni da un materiale; inoltre, regolando l'intensità dell'onda, l'energia cinetica dell'elettrone emesso può essere arbitrariamente scelta.

L'esperimento dimostra però che, in base al materiale, solo onde elettromagnetiche di frequenza superiore ad una certa soglia sono in grado di estrarre elettroni dal materiale; inoltre l'elettrone estratto ha un'energia cinetica fissa indipendente dall'intensità dell'onda ma dipendente dalla sua frequenza.

Le discrepanze tra previsione teorica ed esperienza vengono superate con l'introduzione della quantizzazione della radiazione. Assumendo che la luce si formata da particelle (i fotoni) di energia $E = h\nu$ ne segue che ogni elettrone può assorbire al massimo l'energia di un singolo fotone. La soglia di emissione è quindi fissata a quella frequenza della radiazione incidente tale per cui l'energia del fotone è pari al lavoro di estrazione ϕ degli elettroni dal materiale. Risulta quindi fissata anche l'energia cinetica degli elettroni emessi

$$E_c = h\nu - \phi$$

L'intensità dell'onda risulta perciò un parametro irrilevante, in quanto determina solo il numero di fotoni ma non le caratteristiche del singolo fotone

Domande di teoria sulla fisica nucleare - N0015

Testo [N0015] [3★ 4🕒 5a📖]

Illustra la legge del decadimento radioattivo ed i tipi di radiazione che possono essere emessi dai vari elementi.

Spiegazione Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale.

Concetti da sviluppare

- Equazione differenziale ed interpretazione probabilistica; legge del decadimento, vita media e periodo di dimezzamento.
- Tipi di radiazione: cosa sono, a quale forza sono legate, potere penetrante e dose assorbita.

Svolgimento Un decadimento radioattivo avviene in quanto un nucleo passa da uno stato meno stabile in uno stato più stabile, tramite l'emissione di una radiazione α , β o γ . Tale transizione ha una certa probabilità p di accadere ogni definito intervallo di tempo. Di conseguenza, dato un certo numero di atomi $N(t)$ all'istante generico t , il numero dN di atomi che emettono una radiazione in un certo intervallo di tempo dt sarà

$$\frac{dN}{dt} = -pN$$

Risolvendo questa equazione differenziale a variabili separabili si ottiene

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

dove N_0 è il numero di nuclei radioattivi presenti all'istante $t = 0$, e τ è la vita media del nucleo.

Il numero di atomi radioattivi diminuisce quindi nel tempo secondo una funzione esponenziale. Tale funzione può anche essere scritta come esponenziale in base 2

$$N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

dove T assume il significato di tempo di dimezzamento, cioè l'intervallo di tempo che deve mediamente passare affinché decada la metà dei nuclei inizialmente presenti.

Le radiazioni α sono nuclei di elio, dotati di molta massa, carica elettrica pari a $+2e$ e con scarso potere penetrante. Basta uno spessore molto piccolo di materia per fermarle, quindi sono innocue se fuori dal corpo umano, ma estremamente dannose se ingerite. La loro emissione è legata alla forza forte secondo un meccanismo di effetto tunnel quantistico.

Le particelle β sono elettroni o positroni, di maggior potere penetrante. Sono meno dannose per gli esseri viventi a parità di energia rilasciata, ma più pericolose in quanto il maggior potere penetrante fa sì che rilascino una gran quantità di energia nel corpo.

Le particelle γ sono fotoni con potere ionizzante dalla frequenza degli ultravioletti in su. hanno alto potere penetrante e possono facilmente attraversare tutto il corpo umano, rilasciando in esso energia lungo tutto il tragitto.

8.2 Energia e impulso del fotone

Problema di: Pressione di radiazione - H0026**Testo** [H0026] [3★ 2🕒 5a📖]

L'intensità luminosa sulla superficie terrestre è di circa $I = 1 \frac{W}{m^2}$. Immaginando un pannello solare della superficie $S = 2 m^2$ posto perpendicolarmente alla direzione della luce, in grado di assorbire il 100% della radiazione incidente. Quale forza esercita la luce sul pannello solare? Quanto sarebbe tale forza se invece del pannello solare la luce incidesse su di uno specchio al 100% riflettente?

Spiegazione La luce ha quantità di moto. Assorbita o riflessa abbiamo una variazione di quantità di moto nel tempo, e quindi una forza.

Svolgimento I singoli fotoni hanno energia

$$E = pc$$

$$p = \frac{E}{c}$$

Consideriamo il caso in cui la luce è completamente assorbita. L'Intensità luminosa è

$$I = \frac{\Delta E}{S \Delta t} = \frac{\Delta P \cdot c}{S \Delta t}$$

$$\frac{I \cdot S}{c} = \frac{\Delta P}{\Delta t} = F$$

Nel caso di completa riflessione, nell'ipotesi che lo specchio possa rimanere fermo, la variazione di quantità di moto è doppia rispetto al caso precedente, quindi

$$F = \frac{2\Delta P}{\Delta t} = 2 \frac{I \cdot S}{c}$$

In realtà lo specchio, a causa della riflessione, acquista una piccola quantità di energia cinetica; il fotone riflesso ha quindi meno energia di quello incidente e meno quantità di moto. Questo fenomeno è l'effetto doppler relativistico.

Problema di: Effetto fotoelettrico - H0022**Testo** [H0022] [2★ 4🕒 5a📖]

Da una lastra di zinco irradiata con luce ultravioletta, vengono estratti degli elettroni. Il lavoro di estrazione degli elettroni dallo zinco è $L = 6,84 \cdot 10^{-19} J$. Calcolare il valore della frequenza di soglia della radiazione incidente sullo zinco. Calcolare inoltre la velocità degli elettroni estratti da una radiazione incidente di lunghezza d'onda $\lambda = 271 nm$

Spiegazione Un elettrone all'interno di un metallo riceve energia da un quanto di radiazione elettromagnetica. Uscito dal metallo, l'elettrone avrà un'energia cinetica pari all'energia ricevuta meno l'energia utilizzata nel processo di estrazione.

Svolgimento L'energia minima del fotone che è in grado di estrarre un elettrone è esprimibile con la formula

$$h\nu_{min} = L$$

e quindi

$$\nu_{min} = \frac{L}{h} = \frac{6,84 \cdot 10^{-19} J}{6,626 \cdot 10^{-34} Js} = 1,03 \cdot 10^{15} Hz$$

L'energia dell'elettrone estratto da una radiazione di lunghezza d'onda $\lambda = 271 nm$ sarà

$$E_c = \frac{hc}{\lambda} - L = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js \cdot 299792458 \frac{m}{s}}{271 \cdot 10^{-9} m} - 6,84 \cdot 10^{-19} J = 0,49 \cdot 10^{-19} J$$

Utilizzando per l'energia cinetica la formula $E = \frac{1}{2} m v^2$, la sua velocità sarà quindi

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,49 \cdot 10^{-19} J}{9,1 \cdot 10^{-31} kg}} = 328159 \frac{m}{s}$$

E' bene verificare che l'utilizzo della formula classica per l'energia cinetica sia corretto. Nel caso di velocità troppo elevate potrebbe essere infatti necessario utilizzare le equazioni della relatività ristretta.

Il fattore γ relativistico corrispondente a questa velocità risulta essere

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1,0000006$$

che possiamo sicuramente approssimare ad 1 senza compiere un errore rilevante.

Problema di: Pressione di radiazione - H0027

Testo [H0027] [2★ 2🕒 5a📖]

Utilizzando una radiazione luminosa di frequenza $\nu = 7,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ si cerca di estrarre elettroni da tre differenti piastre metalliche rispettivamente di argento, cesio e platino. Il lavoro di estrazione per tali metalli è $L_{Ag} = 4,8 \text{ eV}$, $L_{Cs} = 1,8 \text{ eV}$, $L_{Pt} = 5,3 \text{ eV}$. Quali metalli emetteranno elettroni? Quale energia avranno gli elettroni emessi?

Spiegazione Questo è un esercizio sull'effetto fotoelettrico.

Svolgimento Per prima cosa calcoliamo l'energia dei singoli fotoni

$$E = h\nu = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 7,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 51,68 \cdot 10^{-20} \text{ J} = 3,2 \text{ eV}$$

Sarà quindi possibile estrarre elettroni soltanto dal Cesio, e tali elettroni avranno energia cinetica pari a

$$E_c = 1,4 \text{ eV}$$

Problema di: Meccanica quantistica - H0003**Testo** [H0003] [2 ★ 2 ⏰ 4a 📖]

Un fascio laser verde, di potenza $P = 0,4 \text{ W}$, generato da una sorgente ad argon, ha lunghezza d'onda $\lambda = 514,5 \text{ nm}$. Quanti fotoni emette ogni secondo?

Spiegazione Un fotone è un oggetto di energia $E = h\nu$ dipendente dalla sua frequenza. Conoscendo la potenza del laser e l'energia del singolo fotone, possiamo trovare quanti fotoni sono emessi dalla sorgente.

Svolgimento Il numero di fotoni per unità di tempo è dato dall'energia per unità di tempo diviso l'energia del singolo fotone. Quindi

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{h\nu} = \frac{P\lambda}{hc} = \frac{0,4 \text{ W} \cdot 514,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 10^{18}$$

8.3 Atomo di Bohr

Problema di: Atomo di Bohr - H0023**Testo** [H0023] [2★ 4👍 5a📖]

Dopo aver brevemente illustrato le caratteristiche del modello atomico di Bohr, calcolare la frequenza della radiazione emessa da un atomo di idrogeno corrispondente alla terza riga della serie di Balmer ($n_f = 2$). Qual'è la massima frequenza associabile a questa serie? [La costante di Rydberg vale $R_H = 1.0974 \cdot 10^7 \frac{1}{m}$]

Spiegazione In questo problema si chiede di descrivere brevemente il modello atomico di Bohr in modo da giustificare la struttura della formula utilizzata per risolvere l'esercizio.

Svolgimento Il modello atomico di Bohr prevede l'esistenza di orbite circolari quantizzate per gli elettroni intorno al nucleo. Le variazioni di energia degli elettroni all'interno del nucleo corrispondono a salti degli elettroni da un'orbita all'altra. Di qui si giustifica sia la stabilità degli atomi, sia gli spettri a righe dei vari elementi.

Utilizzando la costante di Rydberg il problema si svolge nel seguente modo.+

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right)$$

$$\lambda = 434 \text{ nm}$$

La frequenza è data da

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = 691 \text{ THz}$$

La massima frequenza associata a questa serie è ottenibile impostando $n_i = \infty$, corrispondente ad un elettrone slegato dal nucleo che da esso viene catturato, e vale

$$\nu_{\infty} = \frac{c}{\lambda} = cR_H \left(\frac{1}{4} \right) = 822 \text{ THz}$$

Problema di: Fisica Moderna - H0031**Testo** [H0031] [2★ 2👤 5a📖]

Data la formula che descrive lo spettro di emissione/assorbimento dell'atomo di idrogeno,

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

con $(R = 1,0972 \times 10^7 \frac{1}{m})$, quanto vale la minima frequenza della luce che un atomo di idrogeno nello stato fondamentale può assorbire? Rappresenta con un disegno od uno schema i possibili salti energetici dell'elettrone dallo stato fondamentale evidenziando quello richiesto dal problema.

Spiegazione In questo problema sull'emissione/assorbimento di un fotone da parte di un atomo è sufficiente avere ben chiaro il significato dei termini nella formula indicata, ed il fenomeno fisico in questione.

Svolgimento Cominciamo con il considerare che l'atomo di idrogeno si trova nello stato fondamentale, per cui

$$n_i = 1$$

La frequenza della luce emessa è direttamente proporzionale all'energia del fotone emesso, quindi chiedere la minima frequenza equivale a chiedere la minima energia, e quindi il minimo salto energetico. Quindi

$$n_f = n_i + 1 = 2$$

La frequenza richiesta è quindi

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = 1,0972 \cdot 10^7 \frac{1}{m} \cdot 299792458 \frac{m}{s} \cdot \left(1 - \frac{1}{4} \right)$$

$$\nu = 2,4 \cdot 10^{15} Hz$$

- 50% - Disegnare correttamente l'atomo e le transizioni possibili
- 50% - Calcolare la frequenza minima della luce emessa e mostrare tale transizione nel disegno

Problema di: Fisica Moderna - H0031a**Testo** [H0031a] [2★ 2🕒 5a📖]

Disegna un atomo di idrogeno, i suoi primi quattro livelli energetici e tutte le possibili transizioni di un elettrone tra i livelli energetici disegnati, corrispondenti all'emissione di un fotone. Data la formula che descrive lo spettro di emissione/assorbimento dell'atomo di idrogeno,

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

con $(R = 1,0972 \times 10^7 \frac{1}{m})$, determina quanto vale la minima frequenza della luce emessa da un atomo di idrogeno il cui elettrone si trova nella terza orbita. Mostra tale transizione nel disegno.

Spiegazione La minima frequenza di emissione corrisponde al salto energetico di minore energia.

Svolgimento Dal testo dell'esercizio il livello di partenza da considerare è identificato da $n_i = 3$ e di conseguenza il livello di energia minore più vicino è identificato da $n_f = 2$

Quindi La minima frequenza risulta

$$\nu_{min} = R_H c \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right)$$

Griglia di valutazione

- 50% - Disegnare correttamente l'atomo e le transizioni possibili
- 50% - Calcolare la frequenza minima della luce emessa e mostrare tale transizione nel disegno

Problema di: Meccanica quantistica - H0004a**Testo** [H0004a] [2★ 2🕒 5a📖]

Un atomo di idrogeno si trova in uno stato eccitato dopo aver assorbito un fotone ultravioletto di lunghezza d'onda $\lambda = 93,77 \text{ nm}$. Questo atomo può riportarsi allo stato fondamentale seguendo diverse transizioni a ognuna delle quali corrisponde l'emissione di luce di una particolare lunghezza d'onda. Calcola il numero del livello energetico raggiunto dall'elettrone. Illustra in un diagramma tutte le transizioni possibili che provocano l'emissione di fotoni a partire dallo stato eccitato raggiunto. [La costante di Rydberg vale $R_H = 1,0974 \cdot 10^7 m^{-1}$]

Spiegazione Un problema sugli spettri di emissione ed assorbimento dell'atomo di idrogeno

Svolgimento La legge che descrive il fenomeno dell'emissione ed assorbimento di un fotone da parte di un elettrone in un atomo è

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Osservando questa equazione, è evidente che $n < m$ altrimenti il termine di destra dell'equazione verrebbe negativo, mentre quello a sinistra è positivo.

Sappiamo che l'atomo di idrogeno, prima di assorbire la radiazione, si trovava nello stato fondamentale. Quindi $n = 1$.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(1 - \frac{1}{m^2} \right)$$

da cui

$$\frac{1}{\lambda \cdot R_H} = \left(1 - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda \cdot R_H} - 1 = -\frac{1}{m^2}$$

$$1 - \frac{1}{\lambda \cdot R_H} = \frac{1}{m^2}$$

Dai dati del problema

$$1 - \frac{1}{93,77 \cdot 10^{-9} m \cdot 1,0974 \cdot 10^7 \frac{1}{m}} = \frac{1}{m^2}$$

$$1 - \frac{1}{93,77 \cdot 10^{-9} m \cdot 1,0974 \cdot 10^7 \frac{1}{m}} = \frac{1}{m^2}$$

$$1 - \frac{1}{1,029} = \frac{1}{m^2}$$

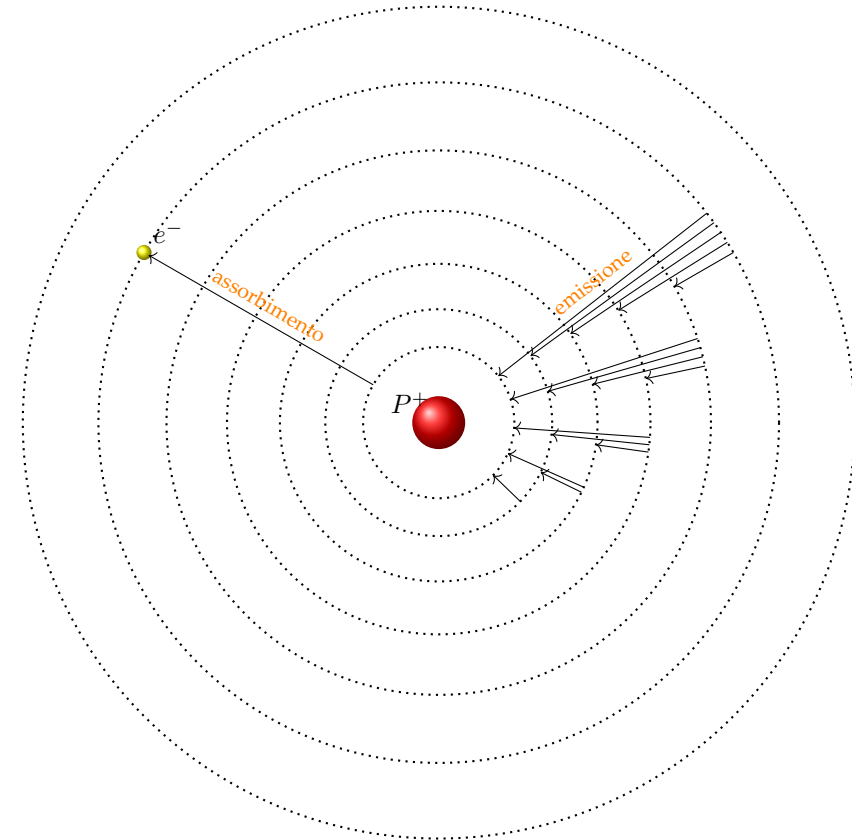
$$1 - 0,972 = \frac{1}{m^2}$$

$$0,028 = \frac{1}{m^2}$$

$$35,5 = m^2$$

Sappiamo che $m \in \mathbb{N}$ e quindi otteniamo $m = 6$

Adesso dobbiamo fare un diagramma che mostri la transizione di partenza e tutte le possibili transizioni che portano nuovamente l'atomo nello stato fondamentale. Il diagramma che disegniamo non rispecchia le reali distanze tra le orbite, ma serve solo come schema per elencare tutte le possibili transizioni.



Problema di: Meccanica quantistica - H0004**Testo** [H0004] [3★ 2🕒 5a📖]

[Simulazione maturità scientifica - 25 Ottobre 2016 - Quesito 3]

Un atomo di idrogeno si trova in uno stato eccitato dopo aver assorbito un fotone ultravioletto di lunghezza d'onda $\lambda = 97,2 \text{ nm}$. Questo atomo può riportarsi allo stato fondamentale seguendo diverse transizioni a ognuna delle quali corrisponde l'emissione di luce di una particolare lunghezza d'onda. Quante sono le transizioni possibili che provocano l'emissione di fotoni con lunghezza d'onda diversa da quella del fotone assorbito? Quali tra queste transizioni provocano emissione nel visibile ($400 \text{ nm} < \lambda_{vis} < 700 \text{ nm}$)? [La costante di Rydberg vale $R_H = 1,0974 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$]

Spiegazione Per calcolare tutte le possibili lunghezze d'onda della luce emessa dall'atomo eccitato di idrogeno ci serviamo dell'opportuna equazione che descrive le transizioni dell'elettrone.

Svolgimento L'equazione che descrive la lunghezza d'onda dei fotoni che cerchiamo è data da

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Cominciamo con il calcolare il numero quantico n_0 del livello energetico raggiunto dall'elettrone nel momento dell'assorbimento del fotone di lunghezza d'onda λ_0 .

$$1 - \frac{1}{\lambda \cdot R_H} = \frac{1}{n_0^2}$$

$$1 - \frac{1}{1,0974 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \cdot 97,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = \frac{1}{n_0^2}$$

$$\frac{1}{n_0^2} = 0,06667$$

$$n_0 \simeq 4$$

Tutte le possibili transizioni che dallo stato eccitato portano nello stato fondamentale sono indicate nella seguente tabella con la lunghezza d'onda corrispondente ottenuta dalla formula

$$\lambda = \frac{1}{R_H} \cdot \frac{n_i^2 n_f^2}{n_i^2 - n_f^2}$$

Le lunghezze d'onda della radiazione visibile sono

$$380 \text{ nm} < \lambda_{vis} < 750 \text{ nm}$$

$n_i \rightarrow n_f$	λ	
$4 \rightarrow 1$	$97,2 \text{ nm}$	UV
$4 \rightarrow 2$	$486,0 \text{ nm}$	Vis
$2 \rightarrow 1$	$129,6 \text{ nm}$	UV
$4 \rightarrow 3$	$1874,6 \text{ nm}$	IR
$3 \rightarrow 1$	$102,5 \text{ nm}$	UV
$4 \rightarrow 3$	$1874,6 \text{ nm}$	IR
$3 \rightarrow 2$	$656,1 \text{ nm}$	Vis
$2 \rightarrow 1$	$129,6 \text{ nm}$	UV

Ci sono quindi cinque transizioni distinte. solo due delle quali emettono un fotone nel campo della luce visibile.

Domande di teoria sulla fisica moderna - H0008**Testo** [H0008] [3★ 4👤 5a📖]

Spiega con quale meccanismo gli atomi assorbono ed emettono energia, dando quindi giustificazione agli spettri di emissione e assorbimento misurati in laboratorio.

Spiegazione Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale. Nello svolgere le domande concettualmente uguali si richiede la trattazione degli stessi argomenti dando maggiore risalto a parti differenti. I concetti da sviluppare indicano la griglia di valutazione della domanda che determina in quale percentuale di correttezza avete risposto alla domanda.

Concetti da sviluppare

- L'interazione avviene tramite scambio di un fotone da parte di un elettrone che compie quindi un salto energetico. Le energie del fotone e del salto energetico sono uguali.
- L'energia delle orbite degli elettroni è quantizzata ed identificata dall'inverso del quadrato di un numero intero.
- Il modello atomico di Bohr, introducendo la quantizzazione dei livelli energetici, spiega gli spettri atomici di emissione ed assorbimento misurati sperimentalmente.

Svolgimento Gli atomi emettono ed assorbono energia tramite l'emissione o l'assorbimento, da parte di un elettrone, di un fotone di energia $E = h\nu$ dipendente dalla frequenza. Nel modello atomico di Bohr, le energie delle orbite degli elettroni sono quantizzate e dipendono dall'inverso del quadrato di un numero intero

$$E \propto \frac{1}{n^2}$$

L'elettrone assorbe o cede energia a seguito di un salto tra un livello energetico ed uno differente; l'energia del fotone emesso è pari alla differenza di energia tra i livelli energetici di partenza ed arrivo dell'elettrone. Quindi l'equazione che lega la

lunghezza d'onda del fotone emesso/assorbito con i numeri interi che identificano i livelli energetici sarà

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Tale equazione descrive in modo corretto gli spettri di emissione e assorbimento a righe degli atomi.

Esercizi concettualmente identici

- Dopo aver spiegato le caratteristiche degli spettri di emissione ed assorbimento degli atomi, illustra il motivo per cui hanno tali caratteristiche.

– Concetti da sviluppare

- * Definire cosa siano gli spettri di emissione e di assorbimento ed indicare che sono spettri a righe
- * Definire che sperimentalmente si è trovata una legge che descrive il fenomeno ed indicare le varie serie.
- * Mettere in relazione la legge sperimentale con l'esistenza dei livelli energetici nel modello di Bohr dipendenti da $\frac{1}{n^2}$

Domande di teoria sulla fisica moderna - H0009**Testo** [H0009] [3★ 4👍 5a📖]

Il modello atomico di Rutherford entra in crisi e viene sostituito dal modello atomico di Bohr. Descrivi i due modelli, illustrando cosa non funzionava nel primo modello e come il problema sia stato superato. Descrivi poi quale evidenza sperimentale dà credito al modello di Bohr.

Spiegazione Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale.

Concetti da sviluppare

- L'elettrone dovrebbe collassare per radiazione di sincrotrone; inoltre gli elettroni sono liberi di assorbire ed emettere radiazione di ogni energia in contrasto con gli spettri di emissione e assorbimento a righe.
- La quantizzazione del momento angolare e/o l'elettrone come onda che forma un'onda stazionaria su di un anello, ha come conseguenza la corretta interpretazione delle serie spettrali e delle serie di righe misurate in laboratorio.

Svolgimento Il modello atomico di Rutherford prevede un nucleo carico positivamente nel quale è contenuta quasi tutta la massa dell'atomo, ed un certo numero di elettroni che ruotano intorno a tale nucleo grazie alla forza elettrostatica. L'energia dell'elettrone in orbita dipende dal raggio dell'orbita, e gli elettroni sono liberi di ruotare ad ogni distanza del nucleo. Questo significa che tali elettroni sono in grado di emettere ed assorbire ogni energia. Questo contrasta con l'evidenza sperimentale che vede gli spettri di emissione ed assorbimento fatti a righe secondo un'equazione caratterizzata dalla presenza di due numeri interi

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Inoltre, sapendo che cariche elettriche accelerate devono emettere radiazione (detta luce di sincrotrone), gli elettroni dovrebbero regolarmente perdere energia e gradualmente collassare sul nucleo, impedendo alla materia di esistere.

Il problema viene risolto da Bohr, il quale nel suo modello introduce la quantizzazione del momento angolare dell'elettrone.

$$L = n \frac{h}{2\pi}$$

Questo equivale ad affermare che l'elettrone, nella sua orbita, si comporta come un'onda di lunghezza d'onda

$$\lambda = \frac{h}{mU}$$

e forma onde stazionarie tali per cui

$$n\lambda = 2\pi r$$

Si apre così in modo definitivo il concetto di dualismo onda-corpuscolo valido sia per la radiazione che per le particelle.

La conseguenza di tale quantizzazione è vincolare le orbite degli elettroni a distanze dal nucleo determinate ed a determinate energie (risolvendo il problema del collasso dell'elettrone) e dare spiegazione teorica delle righe degli spettri di emissione/assorbimento dovute al fatto che gli elettroni non possono assorbire quantitativi arbitrari di energia ma solo energie pari alla differenza di energia tra diversi livelli energetici.

Domande di teoria sulla fisica moderna e nucleare - HN0014**Testo** [HN0014] [3★ 4🕒 5a📖]

Descrivi la struttura di un atomo e le forze che agiscono in esso, sia dal punto di vista della struttura elettronica, sia dal punto di vista della struttura nucleare.

Spiegazione Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale.

Concetti da sviluppare

- Elementi costituenti e dimensioni; forze in gioco, caratteristiche e raggi d'azione.
- Struttura elettronica (atomo di Bohr)
- Struttura nucleare, difetto di massa e stabilità

Svolgimento Un atomo è costituito da un nucleo centrale composto da protoni e neutroni, delle dimensioni di $10^{-14} m$ e contenete la quasi totalità della massa, attorno al quale ruotano gli elettroni a distanze dell'ordine di grandezza di $10^{-10} m$.

Gli elettroni ruotano a causa della forza elettrostatica con il nucleo, attrattiva visto che gli elettroni sono negativi ed i protoni positivi. Nel modello atomico di Bohr, dal momento che l'elettrone mostra caratteristiche ondulatorie e ad esso è associata la lunghezza d'onda di De Broglie

$$\lambda = \frac{h}{m\mathcal{U}}$$

abbiamo che le energie delle orbite sono quantizzate e proporzionali all'inverso del quadrato di un numero intero

$$E \propto -\frac{1}{n^2}$$

Tale energia è negativa in quanto il sistema è un sistema legato, ed il numero quantico n è detto "numero quantico principale". Gli elettroni possono quindi occupare solo orbite ben definite intorno al nucleo e transire da un'orbita all'altra emettendo o assorbendo un fotone di energia pari all'energia di transizione. Ecco

perché gli spettri di emissione ed assorbimento degli atomi sono a righe e seguono l'equazione

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Nel nucleo la forza elettrostatica tra protoni è repulsiva, mitigata dalla presenza dei neutroni che distanziano i protoni, ma soprattutto sovrastata dalla forza nucleare forte sempre attrattiva tra i nucleoni. Nei nuclei, ogni nucleone è quindi legato all'interno del nucleo e la sua energia totale è negativa. La massa totale del nucleo è quindi data dalla somma delle masse di neutroni e protone meno la massa corrispondente all'energia di legame dei nucleoni. La massa di ogni nucleo è quindi minore della somma delle masse dei suoi costituenti (il che è chiamato *difetto di massa*). Come ogni sistema fisico può transire verso stati di energia inferiore, quindi più stabili, attraverso decadimenti radioattivi α , β o γ .

8.4 Radiazione di corpo nero

Domande di teoria sulla fisica moderna - H0011

Testo [H0011] [3★ 4🕒 5a📖]

Descrivi nel dettaglio cosa sia la radiazione di corpo nero e perché l'esperimento contraddice la descrizione classica delle onde elettromagnetiche.

Spiegazione Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale. Il livello di approfondimento richiesto è legato a quanto tempo avete a disposizione per rispondere.

Oltre che al libro di testo fai riferimento al seguente video:



Fig. 8.1: Guarda il video youtu.be/8zcbcTlSYyc

Concetti da sviluppare

- Definizione di corpo nero e caratteristica della radiazione di corpo nero
- Catastrofe ultravioletta e soluzione del problema

Svolgimento Un corpo è definito nero quando assorbe tutta la radiazione su di esso incidente. Rimanendo a temperatura costante, esso irradia tutta l'energia assorbita secondo uno spettro la cui forma è completamente determinata dalla temperatura del corpo. L'intensità della radiazione emessa si annulla per basse e per alte frequenze.

[A voi adesso arricchire la trattazione scrivendo tutte le formule del caso e mostrando i grafici opportuni]

Utilizzando la teoria classica, secondo la quale la materia interagisce con la radiazione potendo scambiare quantitativi arbitrari di energia, non solo lo spettro che si ottiene è molto differente da quello misurato in laboratorio, ma tal spettro non ha nemmeno significato fisico dal momento che l'intensità luminosa emessa ad alte frequenze risulta infinita (situazione descritta con il termine di *catastrofe ultravioletta*). Plank introduce la quantizzazione della radiazione con l'equazione $E = h\nu$ affermando che la luce scambia energia con la materia per *quanti* di energia proporzionale alla frequenza della radiazione. Questo artificio matematico, poi risultato fisicamente corretto, permette di predire uno spettro di emissione perfettamente corrispondente alle misure effettuate in laboratorio.

Radiazione di corpo nero - H0019

Testo [H0019] [1½★ 2🕒 5a📖]

Un corpo nero sferico di raggio $r = 10\text{ cm}$ è mantenuto alla temperatura costante $T = 1000\text{ K}$. Determina la potenza necessaria per farlo e la lunghezza d'onda λ_{max} di massima emissione. Se tutti i fotoni emessi avessero tale lunghezza d'onda, quanti fotoni sono emessi ogni secondo?

Spiegazione Utilizza la legge di Wien, e la legge di Stephan-Boltzmann. Il problema non richiede particolari abilità se non la piena comprensione di queste leggi.

Svolgimento Sappiamo che l'intensità emessa dal corpo nero (legge di Stephan-Boltzmann.) dipende dalla quarta potenza della temperatura, e che l'intensità è il rapporto tra la potenza emessa e la superficie di emissione. Ricordiamo che la costante di Stephan-Boltzmann. vale: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Quindi:

Calcoliamo la superficie della sfera:

$$S = 4\pi \cdot 0,01\text{ m}^2 = 0,1257\text{ m}^2$$

e quindi per la potenza avremo:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \sigma T^4$$

$$P = 4\pi \sigma r^2 T^4 = 7127\text{ W}$$

Ricordiamo che la costante di Wien vale: $\delta = 2,898 \cdot 10^{-3}\text{ m K}$

Utilizzando la legge di Wien abbiamo:

$$\lambda_{max} = \frac{\delta}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}\text{ m K}}{1000\text{ K}} = 2,898\text{ }\mu\text{m}$$

Assumendo che l'energia media del fotone corrisponda a quella del fotone con tale lunghezza d'onda, il numero di fotoni emessi al secondo si ottiene nel seguente modo.

Ricordiamo che la costante di Planck vale: $h = 6,626 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$

L'energia del singolo fotone è:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda_{max}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js) \cdot 299792458 \frac{m}{s}}{2,898 \cdot 10^{-6} m} = 6,855 \cdot 10^{-20} J$$

Il numero di fotoni al secondo

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{P}{E} = \frac{7127 W}{6,855 \cdot 10^{-20} J} = 1,04 \cdot 10^{23} \frac{1}{s}$$

Radiazione di corpo nero - H0017

Testo [H0017] [2½★ 3🕒 5a📖]

La potenza totale emessa da un corpo nero sferico di raggio $r = 10 \text{ cm}$ vale $P = 10 \text{ W}$. Calcola la lunghezza d'onda λ_{max} del picco di radiazione emesso dal corpo nero. Se vogliamo mantenere costante la temperatura del corpo, possiamo utilizzare un raggio laser di lunghezza d'onda $\lambda = 1 \text{ cm}$. Quanti fotoni al secondo deve emettere il raggio laser?

La costante σ che compare nella legge di Stephan-Boltzmann vale $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$. La costante δ che compare nella legge di Wien vale $\delta = 2898 \mu m \cdot K$. La costante di Plank vale $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} Js$. La velocità della luce vale $c = 299792458 \frac{m}{s}$.

Spiegazione Utilizza la legge di Wien, la legge di Stephan-Boltzmann, e l'ipotesi di Plank. Il problema non richiede particolari abilità se non la piena comprensione di queste leggi.

Svolgimento Cominciamo con il determinare la temperatura del corpo nero

$$I = \sigma T^4$$

L'intensità è data dalla potenza per unità di superficie, che in questo caso è la superficie della sfera nera.

$$\frac{P}{4\pi r^2} = \sigma T^4$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{P}{4\pi r^2 \sigma}}$$

Il calcolo di T fornisce

$$T = 193,6 K$$

Sappiamo poi che la lunghezza d'onda del picco della radiazione è

$$\lambda_{max} = \frac{\delta}{T} = \sqrt[4]{\frac{4\pi r^2 \sigma \delta^4}{P}}$$

Il calcolo di λ_{max} fornisce

$$\lambda_{max} = 15 \mu m$$

Per poter mantenere costante la temperatura del corpo nero è necessario fargli assorbire un raggio laser della stessa potenza emessa dal corpo nero. Per cui

$$P_{emessa} = P_{laser}$$

$$4\pi r^2 I = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

L'energia è emessa sotto forma di fotoni di una determinata lunghezza d'onda, quindi

$$4\pi r^2 I = \frac{\Delta n hc}{\Delta t \lambda}$$

Otteniamo infine il numero di fotoni emessi nell'unità di tempo

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{4\pi r^2 I \lambda}{hc}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = 5 \cdot 10^{23} \frac{fotoni}{s}$$

8.5 Effetto fotoelettrico

Effetto fotoelettrico - H0016**Testo** [H0016] [2½★ 3🕒 5a📖]

Consideriamo un condensatore piano formato da due piastre di rame e caricato con una differenza di potenziale ΔV . Su una delle due piastre incide un fascio laser di intensità $I = 50 \frac{W}{m^2}$ e di lunghezza d'onda $\lambda = 234nm$. Il lavoro di estrazione degli elettroni dal rame è $\psi = 4,48 eV$. Calcola la differenza di potenziale che serve ad impedire all'elettrone di raggiungere la piastra opposta del condensatore.

Spiegazione Calcola l'energia dell'elettrone in uscita dalla piastra, e calcola poi l'energia necessaria per raggiungere l'altra piastra.

Svolgimento Il fotone in arrivo sulla piastra ha un'energia

$$E_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62607015 \cdot 10^{-34} Js \cdot 299792458 \frac{m}{s}}{234 \cdot 10^{-9}m} = 8,546 \cdot 10^{-19} J = 5,34 eV$$

L'elettrone in uscita ha un'energia pari a

$$E = h\nu - \psi$$

e possiamo scriverla in funzione della lunghezza d'onda della luce incidente

$$E = \frac{hc}{\lambda} - \psi$$

conviene scriverci tale energia in *elettronVolt*

$$E = 5,34 eV - 4,48 eV = 0,86 eV$$

La differenza di potenziale che l'elettrone è in grado di superare è data da

$$\Delta V = \frac{E}{e} = \frac{\frac{hc}{\lambda} - \psi}{e}$$

$$\Delta V = \frac{E}{e} = \frac{0,86 eV}{e} = 0,86 V$$

8.6 Effetto Compton

Domande di teoria sulla fisica moderna - H0013

Testo [H0013] [3★ 4🕒 5a📖]

Descrivi il motivo per cui l'effetto Compton non è descrivibile nei termini della fisica classica e come tale problema è stato superato.

Spiegazione Oltre che al libro di testo, fai riferimento a questo video:

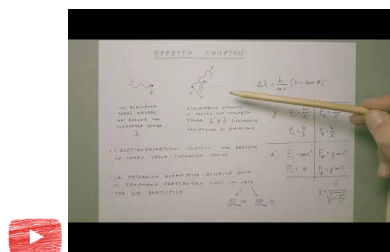


Fig. 8.2: Guarda il video youtu.be/ZKXDEn-xOYg

Una domanda di teoria. Sii conciso, scrivi l'essenziale.

Concetti da sviluppare

- Descrizione dell'effetto Compton anche attraverso l'analisi della formula sulla variazione della lunghezza d'onda della radiazione
- Spiegazione del perché un tale risultato è in contrasto con la trattazione classica del fenomeno
- Spiegazione della soluzione evidenziando i concetti chiave, con le rispettive formule, che permettono di descrivere il fenomeno.

Svolgimento L'effetto Compton descrive l'interazione di una radiazione elettromagnetica con una particella. Nell'esperimento, un elettrone inizialmente fermo. La radiazione viene deflessa dall'elettrone e si osserva una variazione della sua lunghezza d'onda dipendente dall'angolo di deflessione.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

Dal punto di vista classico, la particella avrebbe dovuto assorbire e riemettere la radiazione oscillando con la stessa frequenza della radiazione incidente. La radiazione emessa quindi dovrebbe avere la stessa frequenza e lunghezza d'onda di quella incidente.

La soluzione del problema è stata trattare tale interazione come un urto elastico tra due particelle: un elettrone ed un fotone. Il calcolo della conservazione della quantità di moto e dell'energia fornisce la corretta interpretazione, considerando l'elettrone come una particella di energia totale $E = m\gamma c^2$ ed impulso $\vec{P} = m\gamma \vec{v}$, ed il fotone come una particella di energia $E = h\nu$ e di quantità di moto $P = \frac{E}{c}$.

-  [\[youtu.be/9z7Fc-hSidE\]](https://youtu.be/9z7Fc-hSidE) Fisica Nucleare
-  [\[youtu.be/xGr1fYE1bBE\]](https://youtu.be/xGr1fYE1bBE) La scoperta del neutrone
-  [\[youtu.be/OIf6EoIKNMM\]](https://youtu.be/OIf6EoIKNMM) Chernobyl, la fisica del disastro

9.1 Energia di legame nucleare