

21/12/2000 : compito (parte atomo di Bohr)

Un atomo ha carica nucleare Ze con elettroni di carica $-e$ e massa m orbitanti su orbite circolari di raggio r per effetto della forza coulombiana. Supponendo di avere già dimostrato (attraverso l'uso della II legge della

dinamica) che $m v^2 = \frac{k_e Z e^2}{r}$ illustrare le conseguenze della ipotesi di Bohr sulla quantizzazione del momento angolare secondo cui $m v r = n \hbar$ ricavando la espressioni di r al variare di n .

(Si consiglia di calcolare $v^2 r^2$ e da lì ricavare la quantità $m v r$ cui si può applicare la quantizzazione). Al termine del calcolo determinare il raggio dell'orbita fondamentale dell'atomo di idrogeno.

13/5/2000 III prova magnetismo tipologia b

Fisica: il moto di una particella elettricamente carica in un campo magnetico uniforme.

- 1) In un sincrotrone di ultima generazione tra i componenti essenziali compaiono 3 tipi di magneti quelli di focalizzazione, quelli di curvatura e quelli di strizione. Rispondere alle seguenti domande: a) in cosa differiscono e a cosa servono (risposta schematica di 5 righe) b) dopo aver scritto la relazione tra raggio di curvatura, campo magnetico e quantità di moto e quella tra energia e quantità di moto spiegare come avviene la fase di accelerazione e perché bisogna disporre di più acceleratori in serie.
- 2) Una particella α (non relativistica) si muove in un campo magnetico uniforme B con raggio di curvatura r . Determinare la velocità e l'energia cinetica della particella (indicare la carica con $2e$ e la massa con $4m$, e carica dell'elettrone, m massa del protone). Assumere come dati numerici $B = 1.3 \text{ T}$ e $r = 45 \text{ cm}$ e verificare a posteriori attraverso il confronto tra l'energia cinetica e l'energia di riposo che la particella data è effettivamente non relativistica.

9/2/2002: 5E particelle e relazioni relativistiche

1. Data una particella di massa di riposo m_0 come è noto, in base alla teoria della relatività la sua energia di riposo $\mathcal{E}_0 = k m_0$ dove k dipende dal sistema di unità di misura scelto. Determinare k quando la energia viene misurata in MeV e la massa in a.m.u. Con il valore di k così determinato scrivere i valori di energia di riposo per l'elettrone, il protone e il neutrone

Se si opera in unità del SI si ha $\mathcal{E}_0 = m_0 c^2$ e dunque la costante k è il quadrato della velocità della luce. Ma se si opera con m in amu e con \mathcal{E} in MeV invece che in J bisogna operare le necessarie conversioni.

$$\mathcal{E}_{\text{MeV}} = \frac{\mathcal{E}_J \cdot 10^{-6}}{1.6021892 \cdot 10^{-19}} = \frac{m_{\text{kg}} c^2}{1.6021892 \cdot 10^{-13}} = \frac{m_{\text{amu}} \cdot 1.6605655 \cdot 10^{-27} \cdot c^2}{1.6021892 \cdot 10^{-13}} \text{ e dunque il valore } k \text{ richiesto è } k = \frac{1.6605655 \cdot 10^{-27} \cdot 299792458^2}{1.6021892 \cdot 10^{-13}} = 931.5016 \text{ MeV/amu.}$$

Il risultato è stato espresso con 7 cifre significative tenendo conto dei numerosi conti e della precisione con 8 cifre usata per massa e carica.

Utilizzando i dati forniti in tabella si ha:

$$\mathcal{E}_{0e} = 931.5016 \cdot 5.4858026 \cdot 10^{-4} = 0.5110034 \text{ MeV}$$

$$\mathcal{E}_{0p} = 931.5016 \cdot 1.007276470 = 938.2796 \text{ MeV}$$

$$\mathcal{E}_{0n} = 931.5016 \cdot 1.008665012 = 939.5731 \text{ MeV}$$

Osservazioni: è fondamentale partire dalla relazione del sistema internazionale; cioè non dimenticarsi di c^2 ; bisogna saper se dividere o moltiplicare; bisogna usare il numero di cifre significative fornito; bisogna ricordarsi che l'elettrone è circa mezzo MeV e il protone 900 MeV e se non vengono questi ordini di grandezza si è fatto qualche errore.

Errori: di ogni tipo rispetto alle osservazioni; il peggiore e più penalizzato è stato il dimenticare la dipendenza dalla velocità della luce.

2. Esprimere in funzione della energia cinetica \mathcal{E}_k il modulo della quantità di moto p per una particella di energia di riposo \mathcal{E}_0 . Si trovi poi in kg m/s la quantità di moto di un elettrone con $\mathcal{E}_k = 0.200 \text{ MeV}$ e dopo aver trovato anche il valore previsto dalla relazione classica $\mathcal{E}_k = \frac{p^2}{2m}$ si esprima l'errore relativo che si commette se si usa la relazione classica.

Si parte dall'invariante relativistico $\mathcal{E}^2 = \mathcal{E}_0^2 + (pc)^2$ e dalla definizione di energia cinetica $\mathcal{E}_k = \mathcal{E} - \mathcal{E}_0$. Pertanto $p = \frac{\sqrt{\mathcal{E}^2 - \mathcal{E}_0^2}}{c} =$

$$\frac{\sqrt{(\mathcal{E} - \mathcal{E}_0)(\mathcal{E} + \mathcal{E}_0)}}{c} = \frac{\sqrt{\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k + 2\mathcal{E}_0)}}{c}$$

I calcoli vengono eseguiti con almeno 5 cifre significative dovendosi determinare un effetto relativistico ad un energia che è circa la metà della energia di riposo.

Per determinare la quantità di moto bisogna ricordarsi di convertire la energia cinetica in J (si moltiplica per $1.6022 \cdot 10^{-13}$) e lo stesso si deve fare per la energia di riposo.

$$\mathcal{E}_k = 0.200 \cdot 1.6022 \cdot 10^{-13} = 0.32044 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\mathcal{E}_0 = m_{0e} c^2 = 9.109534 \cdot 10^{-31} \cdot 299792458^2 = 0.81872 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$p = \frac{\sqrt{\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k + 2\mathcal{E}_0)}}{c} = \frac{\sqrt{0.32044 \cdot 10^{-13}(0.32044 \cdot 10^{-13} + 2 \cdot 0.81872 \cdot 10^{-13})}}{299792458} = 2.642 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

Se si usa la relazione classica $p' = \sqrt{2m \mathcal{E}_k} = \sqrt{2 \cdot 9.109534 \cdot 10^{-31} \cdot 0.32044 \cdot 10^{-13}} = 2.416 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$

L'errore relativo che si commette a trascurare gli effetti relativistici è dato da:

$$\varepsilon_r \% = 100 \frac{p - p'}{p} = 100 \frac{2.642 \cdot 10^{-22} - 2.416 \cdot 10^{-22}}{2.642 \cdot 10^{-22}} = 8.55\%$$

Osservazioni: bisognava determinare la relazione generale e non quella per particelle ultrarelativistiche. Quasi nessuno si ricordava che $\mathcal{E}_k = \mathcal{E} - \mathcal{E}_0$. Aberranti alcune risposte assolutamente fuori scala senza nessuna riflessione sui risultati trovati.

3. In un ciclotrone vengono accelerati ioni di Neon ($A_{\text{Ne}} = 20.18 \text{ a.m.u.}$) ad una energia di 0.100 GeV. Stabilire preliminarmente come mai ci si trova in ambito classico e quindi rispondere alle seguenti domande tenendo conto che le D del ciclotrone hanno un diametro $d = 3.10 \text{ m}$, che il valore di B con cui si opera è $B = 1.04 \text{ T}$ e che il potenziale di accelerazione che agisce sul fascio ad ogni mezzo giro è $\Delta V = 300 \text{ kV}$:

- quanto vale la carica dello ione che si sta usando? Da essa inferire lo stato di ionizzazione del Neon
- il numero di rivoluzioni necessarie a garantire il processo di accelerazione previsto
- il periodo di rivoluzione del fascio

Ci si trova in ambito classico perché la energia di riposo del Neon è 20 volte la energia di riposo della unità di massa atomica che è circa 900 MeV. In queste stime si possono tranquillamente svolgere calcoli approssimati e $18\text{GeV} \gg 0.100\text{ GeV}$. Siamo dunque pienamente in ambito classico e il ciclotrone funziona.

Per determinare la carica dello ione basta utilizzare la ben nota relazione valida per il moto di particelle ortogonalmente ad un

campo uniforme: $r = \frac{p}{qB}$. Da qui si ha: $q = \frac{p}{rB} = \frac{\sqrt{2m \mathcal{E}_k}}{rB} = \frac{\sqrt{2 \cdot 20 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \cdot 0.100 \cdot 10^9 \cdot 1.60^{-19}}}{1.55 \cdot 1.04} = 6.42 \cdot 10^{-19}\text{C}$

Per conoscere il grado di ionizzazione basta dividere per la carica elementare: $N = \frac{q}{e} = 4.01$ cariche elementari; lo ione risulta ionizzato 4 volte.

Poiché lo ione acquista una energia di 2-300-4 keV al giro per la accelerazione sono necessarie $1.00 \cdot 10^8 / (2.40 \cdot 10^6) \approx 42$ rivoluzioni

Il periodo di rivoluzione, come è noto è lo stesso in tutto il processo:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi \frac{m}{qB} = 2\pi \frac{20 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}}{6.42 \cdot 10^{-19} \cdot 1.55} = 2.12 \cdot 10^{-7}\text{s}$$

Osservazioni: le uniche cose cui prestare attenzione erano il fatto che il fascio acquista l'energia 2 volte per giro e la indipendenza del periodo di rivoluzione.

c	299'792'458 m/s	m_e	$9.109534 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$ $5.4858026 \cdot 10^{-4}\text{ amu}$	m_n	$1.6749543 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ 1.008665012 amu
e	$1.6021892 \cdot 10^{-19}\text{ C}$	m_p	$1.6726485 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ 1.007276470 amu	a.m.u.	$1.6605655 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$

21/2/2002: 5E PNI particelle e relazioni relativistiche (recupero)

1. La particella λ ha una energia di riposo $\mathcal{E}_0 = 1.116$ GeV. Determinare la sua massa m_λ in kg con 4 cifre significative tenendo presente che $c = 299'792'458$ m/s e che $e = 1.6022 \cdot 10^{-19}$ C.

$$\mathcal{E}_0 = 1.6022 \cdot 10^{-19} \cdot 10^9 \cdot \mathcal{E}_{0\text{GeV}} = m_\lambda c^2 \text{ Pertanto } m_\lambda = \frac{1.6022 \cdot 10^{-10} \mathcal{E}_{0\text{GeV}}}{c^2} = \frac{1.6022 \cdot 10^{-10} \cdot 1.116}{299'792'458^2} = 1.989 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Osservazioni: si continua in molti casi a moltiplicare invece di dividere e via di questo passo; si continua a non svolgere piccoli controlli fisici (se $1 \text{ amu} \approx 930 \text{ MeV}$ allora il valore richiesto non sarà molto più grande di 1 amu)

2. Un elettrone viene accelerato in un acceleratore lineare con una $\Delta V = 2.47$ kV. Ricordando che $\mathcal{E}_0 = 0.511$ MeV dopo aver stabilito in quale ambito (classico, relativistico o ultrarelativistico) ci si trova, determinare la quantità di moto p .

Per una distrazione di battitura ho scritto 2.47 invece di 247. Svolgo pertanto l'esercizio anche con il dato corretto. D'altra parte che razza di acceleratore è un acceleratore di elettroni da 2470 V ? Con un tale potenziale di accelerazione eravamo ovviamente in pieno ambito classico.

Se $\Delta V = 2.47$ kV la $\mathcal{E}_k = 2.47$ keV e poiché $\mathcal{E}_0 = 511$ keV siamo in pieno ambito classico. Dunque: $\mathcal{E}_k = \frac{p^2}{2m}$ e $p = \sqrt{2\mathcal{E}_k m_e} =$

$$\sqrt{2 \cdot 2.47 \cdot 10^3 \cdot 1.6022 \cdot 10^{-19} \cdot 9.109 \cdot 10^{-31}} = 2.685 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$$

Se $\Delta V = 247$ kV la $\mathcal{E}_k = 247$ keV e poiché $\mathcal{E}_0 = 511$ keV siamo in pieno ambito relativistico. Dunque bisogna riferirsi alla relazione deducibile dall'invariante relativistico $\mathcal{E}^2 = \mathcal{E}_0^2 + (pc)^2$ e alla definizione di energia cinetica $\mathcal{E}_k = \mathcal{E} - \mathcal{E}_0$. Pertanto $p =$

$$\frac{\sqrt{\mathcal{E}^2 - \mathcal{E}_0^2}}{c} = \frac{\sqrt{(\mathcal{E} - \mathcal{E}_0)(\mathcal{E} + \mathcal{E}_0)}}{c} = \frac{\sqrt{\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k + 2\mathcal{E}_0)}}{c}. \text{ Le energie in eV si trasformano in J moltiplicandole per la carica dell'elettrone}$$

$$\text{e pertanto (tenuto conto della radice)} p = 1.6022 \cdot 10^{-19} \frac{\sqrt{2.47 \cdot 10^5 (2.47 + 2 \cdot 5.11) \cdot 10^5}}{299'792'458} = 2.99 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

Osservazioni: in un esercizio del genere si deve partire dalla relazione generale dell'invariante relativistico e ricavare quello che serve.

3. Un collimatore di velocità a campi incrociati funziona con $E = 3.06 \cdot 10^5$ V/m e $B = 0.125$ T e focalizza degli ioni di C_{12} doppiamente ionizzati che vengono inviati ad uno spettrografo di massa con $B' = 0.725$ T ($1 \text{ amu} = 1.66057 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_{12} = 12.00000$ amu). Determinare r_{12} in funzione dei dati ricavando la relazione. Supponendo che $\varepsilon_E = 0.4$ %, $\varepsilon_B = 0.3$ %, $\varepsilon_{B'} = 0.3$ % stabilire se lo strumento è in grado di discriminare ioni di C_{14} ($m_{14} = 14.00307$ amu) attraverso il calcolo di r_{14} e dell'errore assoluto ε_r .

Il raggio di curvatura di una particella iniettata ortogonalmente ad un campo uniforme è notoriamente $r = \frac{p}{qB}$ mentre il collimatore di velocità seleziona particelle per le quali $qE = qvB$ e pertanto $v = \frac{E}{B}$.

Calcoliamo v per controllare in che ambito siamo: $v = \frac{E}{B} = \frac{3.06 \cdot 10^5}{0.125} = 2.45 \cdot 10^6$ m/s ambito classico. Possiamo usare le masse di riposo nei calcoli.

$$\text{Dunque: } r = \frac{mv}{qB'} = \frac{mE}{qBB'}$$

Nel caso del carbonio 12 si ha:

$$r_{12} = \frac{m_{12} E}{2eBB'} = \frac{12.0000 \cdot 1.66057 \cdot 10^{-27} \cdot 3.06 \cdot 10^5}{2 \cdot 1.6022 \cdot 10^{-19} \cdot 0.125 \cdot 0.725} = 0.20997 \text{ m}$$

Ho ecceduto sulle cifre significative perché non ho ancora determinato l'errore e in questo esercizio l'errore va calcolato esplicitamente.

Poiché il raggio di curvatura è proporzionale alla massa:

$$r_{14} = r_{12} \frac{m_{14}}{m_{12}} = 0.20997 \frac{14.00307}{12.00000} = 0.2450 \text{ m}$$

Per quanto riguarda l'errore si ricordi che nei prodotti e nei rapporti si sommano gli errori relativi pertanto $\varepsilon_r = \varepsilon_E + \varepsilon_B + \varepsilon_{B'} = 0.4 + 0.3 + 0.3 = 1.0$ %

L'errore assoluto $e_r = \varepsilon_r \cdot r = 0.01 \cdot 0.20997 = 0.002$ m

Dunque le particelle di carbonio 12 hanno un raggio di curvatura di 0.210 ± 0.002 m e sono perfettamente discriminate da quelle di C_{14} con raggio 0.245 m

Osservazioni: mi sarebbe piaciuto un maggiore impegno su questo esercizio un po' più fisico di quello di calcolo vettoriale su cui vi siete buttati tutti, per altro con alterne fortune.

17/5/2002: 5E PNI radioattività

1. Il rapporto tra atomi di C^{14} radioattivo e atomi di C^{12} è costante nel tempo su scala multisecolare e vale $\alpha = 1.3 \cdot 10^{-12}$. Un reperto archeologico osseo contiene una massa $m = 656$ g di $CaCO_3$ a) Determinare la massa m_c di carbonio presente nel campione e il numero di nuclei N_c ad essa corrispondenti (in questa fase, dato il basso valore di α trascurare il ruolo svolto dal C_{14} b) La attività radioattiva del campione misurata con un contatore di Geiger risulta essere di 5.83 Bq. Tenuto conto che il tempo di dimezzamento del C_{14} è $T_{1/2} = 5730$ anni calcolare la costante di decadimento λ e il numero N di nuclei radioattivi presenti. c) Tenuto conto del valore di α fornito calcolare il valore N_0 di nuclei radioattivi al momento della morte biologica del reperto. d) Attraverso N e N_0 stabilire l'età t del campione.

a) Il peso molecolare del $CaCO_3$ è $40+12+3 \cdot 16 = 100$ pertanto $m = 656 \cdot \frac{12}{100} = 78.7$ g. Pertanto $N_c = \frac{m_c}{\mu_c} \cdot N_A = \frac{78.7}{12} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 3.95 \cdot 10^{24}$ atomi.

b) $\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 3.84 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ poiché la attività $A = -\frac{\delta N}{\delta t} = \lambda N$ si ha $N = \frac{A}{\lambda} = 1.52 \cdot 10^{12}$ atomi

c) $N_0 = \alpha N_c = 5.14 \cdot 10^{12}$ atomi

d) $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ e pertanto $\lambda t = -\ln \frac{N}{N_0} = -\ln 0.296 = 1.22$ pertanto $t = \frac{1.22}{3.84 \cdot 10^{-12}} = 3.18 \cdot 10^{11} \text{ s} = 10'100$ anni

2. L'uranio naturale contiene il 99.28% di U^{238} e lo 0.72% di U^{235} . Calcolare l'età della terra supponendo che all'atto della sua nascita i due isotopi fossero presenti in eguale misura cioè che fosse $N_{0,235} = N_{0,238}$. Dati: $T_{1/2,238} = 4.47 \cdot 10^9$ anni; $T_{1/2,235} = 7.04 \cdot 10^8$ anni. Si consiglia di determinare la relazione che dà la risposta in forma simbolica per evitare calcoli inutili.

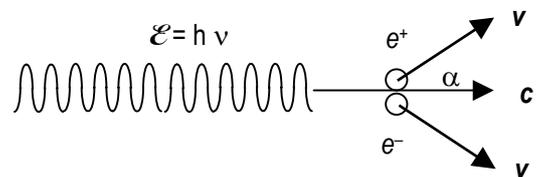
Se applichiamo la legge del decadimento radioattivo avremo che $N = N_0 e^{-\lambda t}$ e pertanto facendo il rapporto e sfruttando il fatto che inizialmente le due popolazioni sono uguali si ha: $N_{238}/N_{235} = e^{-(\lambda_{238} - \lambda_{235})t}$ da cui $(\lambda_{235} - \lambda_{238})t = \ln(N_{238}/N_{235})$ e infine $t = \frac{\ln(N_{238}/N_{235})}{\lambda_{235} - \lambda_{238}} = \frac{\ln(N_{238}/N_{235})}{\ln 2(1/T_{1/2,235} - 1/T_{1/2,238})} = \frac{\ln(99.28/0.72)}{\ln 2(1/(7.04 \cdot 10^8) - 1/(4.47 \cdot 10^9))} = 5.94 \cdot 10^9$ anni

3. Un nucleo di ${}_{14}Si^{31}$ ($A = 30.97535$ amu) decade in ${}_{15}P^{31}$ ($A = 30.97376$ amu) a) che particelle vengono emesse b) quanta energia \mathcal{E} si libera nella reazione. (1 amu = 931.5016 MeV).

a) Il decadimento è di tipo β^- visto che il numero atomico aumenta di una unità e pertanto $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

b) $\mathcal{E} = \Delta A \mathcal{E}_{amu} = (30.97535 - 30.97376) 931.5016 = 1.481$ MeV

4. Il processo di creazione di coppie corrisponde alla trasformazione di un raggio γ di energia $\mathcal{E}_\gamma = h\nu$ e quantità di moto $p_\gamma = \mathcal{E}_\gamma / c$ in una coppia di particelle elettrone positrone. Questo processo può avvenire solo se il γ interagisce con un nucleo pesante che rincula per effetto della interazione. Applicare la conservazione della quantità di moto e della energia al caso della trasformazione senza la presenza del nucleo. Supporre cioè che si verifichi quanto indicato in figura e dimostrare che ciò non è possibile perché porterebbe alla violazione del carattere limite della velocità della luce. Dimostrare in particolare che applicando le leggi di conservazione (dell'energia e della quantità di moto) si avrebbe $v > c$.

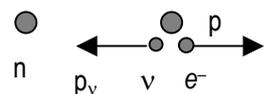


Applicando la conservazione della energia si ha $h\nu = 2mc^2$ dove m rappresenta la massa relativistica dell'elettrone e del positrone.

Applicando la conservazione della quantità di moto lungo la direzione di movimento del fotone si ha: $p = \frac{\mathcal{E}}{c} = \frac{h\nu}{c} = 2mv \cos \alpha$

e dal confronto delle due equazioni si ottiene $mc = mv \cos \alpha$ da cui $c = v \cos \alpha$ e poiché $\cos \alpha < 1$ si ha che $v > c$ contro il postulato del carattere limite della velocità della luce nel vuoto.

5. Nel decadimento β si ha la reazione $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ dove $\bar{\nu}_e$ rappresenta l'antineutrino elettronico un leptone che viaggia alla velocità della luce con massa a riposo assimilabile a zero. Sapendo che $m_n = 1.008665012$ amu, che $m_p = 1.007276470$ amu, che $m_e = 5.4858026 \cdot 10^{-4}$ amu, che 1 amu = 931.5016 MeV si consideri un decadimento nel



corso del quale sia il protone sia il neutrone risultino a riposo. a) Si determini l'energia $\Delta\mathcal{E}$ dovuta al difetto di massa tra protone e neutrone. b) Questa energia si trasforma in energia relativistica dell'elettrone \mathcal{E}_e ed energia del neutrino \mathcal{E}_ν . Il neutrino si comporta come una particella ultrarelativistica mentre l'elettrone è relativistico. Applicando la conservazione della quantità di moto e della energia si dimostri

che $\mathcal{E}_e = \frac{\mathcal{E}_{0e}^2 + \Delta\mathcal{E}^2}{2 \Delta\mathcal{E}}$ e si trovino \mathcal{E}_e e \mathcal{E}_ν .

- a) $\Delta\mathcal{E} = (m_n - m_p) \mathcal{E}_{amu} = 0.001388542 \cdot 931.5016 = 1.2934 \text{ MeV}$
- b) Per la conservazione dell'energia $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_e + \mathcal{E}_\nu$ mentre per la conservazione della quantità di moto le due quantità di moto sono opposte e pertanto in modulo $p_e = p_\nu$

$\mathcal{E}_\nu = p_\nu c$ mentre per l'elettrone relativistico $\mathcal{E}_e^2 = \mathcal{E}_0^2 + (p_e c)^2$ si ottiene così: $\mathcal{E}_e^2 = \mathcal{E}_0^2 + \mathcal{E}_\nu^2$. Abbiamo ora due equazioni nelle variabili \mathcal{E}_e ed \mathcal{E}_ν il che ci consente di risolvere il problema.

$$\mathcal{E}_e^2 = \mathcal{E}_0^2 + \mathcal{E}_\nu^2 = \mathcal{E}_0^2 + (\Delta\mathcal{E} - \mathcal{E}_e)^2 \Leftrightarrow \mathcal{E}_0^2 + \Delta\mathcal{E}^2 - 2\mathcal{E}_e\Delta\mathcal{E} = \Leftrightarrow \mathcal{E}_e = \frac{\mathcal{E}_{0e}^2 + \Delta\mathcal{E}^2}{2 \Delta\mathcal{E}} = \frac{(5.4858026 \cdot 10^{-4} \cdot 931.5016)^2 + 1.2934^2}{2 \cdot 1.2934} =$$

0.748 MeV. Per differenza si ha $\mathcal{E}_\nu = 0.5457 \text{ MeV}$

In caso di esercizi completi e ben articolati 10 punti corrispondono a valutazione di 10/10

1a	1b	1c	1d	1	2	3a	3b	3	4	5a	5b	5	•	•-	•½	x-
1.5	1	0.5	2	5	3	0.5	1	1.5	3	1	3	4				

Esame di stato conclusivo commissione 5E 2001/2002: III prova tipologia b

1. Acceleratori circolari di particelle e raggio di curvatura della traiettoria.

Si consideri la relazione $r = \frac{m v}{q B}$

- da quali leggi deriva e dove la si applica? (4 righe)
 - perché nei moderni acceleratori si usano anche i magneti quadripolari? (3 righe)
 - quando si dà energia totale \mathcal{E} alle particelle relativistiche come cambia la quantità di moto e perché r non cambia nel caso dei sincrotroni? (3 righe)
- a) Dalla seconda legge della dinamica applicata al caso delle forze costanti e ortogonali e dalla relazione sulla forza di Lorentz per il caso di campi uniformi e particelle ortogonali alla linea di forza; $F = m a = m \frac{v^2}{r} = q v B$ da cui si ha la relazione
- Per evitare lo sparpagliamento del fascio dovuto alla interazione elettrostatica tra le particelle. I magneti quadripolari danno forze magnetiche che agevolano la focalizzazione.
 - Secondo la relazione relativistica $\mathcal{E}^2 = \mathcal{E}_0^2 + p^2 c^2$. Per evitare che l'aumento di p faccia crescere r si aumenta sincronicamente agli incrementi di energia il valore del campo magnetico.

2. Radioattività e famiglie radioattive

- Il capostipite di una famiglia radioattiva ha rispetto a tutti i nuclei figlio una proprietà. Quale? Ciò cosa implica su scala secolare? (4 righe)
 - La legge del decadimento radioattivo espressa in forma differenziale ed in forma integrale si scrive così: (definire i simboli usati) (3 righe)
 - I decadimenti radioattivi non dipendono da condizioni sia fisiche sia chimiche che influenzano invece tutti gli altri fenomeni naturali. Da cosa non dipendono? (1 riga)
- a) Ha un tempo di dimezzamento molto più elevato cioè (praticamente) non si consuma e ciò consente di mandare in equilibrio secolare l'intera famiglia (identica attività) con abbondanza inversamente proporzionale alla costante di decadimento.
- $\delta N = -\lambda N \delta t$ dove N rappresenta la popolazione esistente al tempo t , δN la sua variazione nell'intervallo elementare δt e λ una costante tipica del nuclide considerato. Se la si integra si ottiene $N = N_0 e^{-\lambda t}$.
 - Dal legame chimico, dalla pressione e dalla temperatura.
- ### 3. Radioattività: la curva della energia di legame per nucleone al variare del numero di massa
- Qual è il significato del punto di massimo e dove si trova tale massimo? (3 righe)
 - La curva ha una brusca crescita iniziale con un evidente massimo relativo in corrispondenza di ${}^4_2\text{He}$. Cosa ne consegue? (3 righe)
 - Come si sono ottenuti i valori delle energie di legame per nucleone? (3 righe)
- Il punto di massimo è un punto di stabilità. Si può liberare energia sia per fissione di materiali pesanti sia per fusione di materiali leggeri. Il massimo corrisponde al ferro.
 - Che si possono liberare elevate energie per fusione degli elementi leggeri e che l'elio rappresenta un elemento particolarmente stabile e livello nucleare.
 - Attraverso la misura delle masse nucleari ottenibili con lo spettrografo di massa e utilizzando la relazione di Einstein sul legame tra massa ed energia di riposo.

III prova tipologia A: gruppo di lavoro prove strutturate: radioattività

I fenomeni radioattivi riguardano alcuni particolari nuclidi e presentano alcune regolarità di comportamento nei processi di decadimento. Citare in cosa consista il decadimento e discutere tali regolarità soffermandosi sulle grandezze fisiche che influenzano e non influenzano il processo. (30÷40 righe)

Il decadimento radioattivo riguarda nuclei instabili che devono la loro instabilità alla particolare composizione del nucleo stesso (per esempio eccesso di neutroni). Nel corso del decadimento avvengono (spesso in sequenza) i seguenti tipi di conversione:

- decadimento alfa secondo la reazione $X_A^Z \rightarrow X_{A-4}^{Z-2} + \text{He}_2^4$
- decadimento beta meno secondo la reazione $X_A^Z \rightarrow X_A^{Z+1} + 1e^-$ che corrisponde alla trasformazione di un neutrone in un protone
- decadimento beta più secondo la reazione $X_A^Z \rightarrow X_A^{Z-1} + 1e^+$ che corrisponde alla trasformazione di un protone in un neutrone
- decadimento gamma secondo la reazione $X_A^Z \rightarrow X_A^Z + 1\gamma$

Il fenomeno del decadimento presenta natura essenzialmente statistica ed avviene con una legge governata solo dal caso che in forma differenziale si scrive

$$\delta N = -\lambda N \delta t$$

ovvero il numero di nuclei che decadono in un tempo breve δt è proporzionale a tale intervallo e al numero di nuclei presenti; la costante di proporzionalità tipica del nuclide considerato non dipende da null'altro (legame chimico, temperatura, pressione, campi elettrici e o magnetici, stato di aggregazione, ...)

La relazione scritta in forma integrale diventa:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

La costante λ ha le dimensioni dell'inverso di un tempo e il suo inverso τ rappresenta la vita media di un campione qualsiasi del materiale considerato. La quantità $T_{1/2} = \ln 2 \tau$ è detto tempo di dimezzamento e rappresenta il tempo che un materiale impiega per ridursi alla sua metà.

I diversi materiali radioattivi hanno tempi di dimezzamento molto diversi (dal miliardo di anni al microsecondo) e ciò influenza la loro abbondanza relativa.

Infatti nei processi in cui i decadimenti avvengono a cascata partendo da un nucleo padre (di tempo di dimezzamento molto lungo) l'intera famiglia (capostipite e nuclei figli) si pone in equilibrio radioattivo, cioè tutti gli elementi presentano lo stesso numero di disintegrazioni al secondo; si dice che presentano la stessa attività radioattiva $\delta N / \delta t$.

Ciò comporta che la abbondanza sia inversamente proporzionale alla costante di decadimento e dunque proporzionale al tempo di dimezzamento.

3 novembre 2004 5F Pni: fotoni e relazioni di indeterminazione

- 1) Un fotone di energia $\mathcal{E} = 0.380$ MeV viene diffuso alla Compton da un elettrone e il fotone diffuso presenta una energia $\mathcal{E}' = 0.140$ MeV. Determinare:
 - a) l'angolo ϕ del fotone diffuso
 - b) la quantità di moto del fotone diffuso (teorema del coseno)
 - c) l'angolo θ formato dall'elettrone diffuso.
- 2) In un tubo a raggi X i raggi catodici viaggiano alla velocità $v = 0.850 c$. Quanto vale il λ minimo della radiazione X che viene generata?
- 3) La superficie di un metallo viene illuminata con radiazioni di lunghezze d'onda λ_1 e λ_2 e si osserva che la velocità massima dei fotoelettroni emessi cambia di un fattore η (cioè $v_{\max 2} = \eta v_{\max 1}$). Determinare il lavoro di estrazione per quel metallo.
- 4) Betelgeuse ha uno spettro con il massimo a $\nu = 3.09 \cdot 10^{14}$ Hz.
 - a) Quanto vale la sua temperatura superficiale?
 - b) Quanto vale il suo potere emissivo totale?
 - c) Quanto vale il rapporto tra i poteri emissivi alle due frequenze ν e $\nu' = 0.25 \nu$?

Costanti e relazioni fisiche note:

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad b = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m} \quad \varepsilon_{\nu T} = \frac{2\pi b}{c^2} \nu^3 \frac{1}{e^{b\nu/kT} - 1}$$

8 novembre 2004 5F Pni

Onde elettromagnetiche (4)

1. Elementi caratteristici di un'onda: precisare la differenza tra velocità di fase e di gruppo
2. Elementi caratteristici di un'onda: definire la intensità
3. Fenomeni caratteristici di un'onda: la diffrazione è...
4. Nella teoria di Maxwell la nascita delle onde elettromagnetiche è legata ad una particolare simmetria tra campo elettrico e magnetico che generalizza le ordinarie leggi dell'elettromagnetismo. Di cosa si tratta?
5. Propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto: la velocità vale..., l'intensità vale ..., il legame tra E e B è ...
6. Le relazioni caratteristiche di un fotone sono ...
7. Come mai i raggi X e i raggi γ vengono distinti anche quando hanno la stessa frequenza?
8. Perché un fotone presenta una estensione spaziale limitata? Come mai presenta una indeterminazione in frequenza?

Principio di indeterminazione (2)

9. Che ruolo gioca H. Poincaré nel dibattito sul determinismo?
10. Il principio di indeterminazione di Heisenberg afferma che ...
11. Le particelle di un gas di particelle con concentrazione n presentano una indeterminazione sulla quantità di moto pari a ... (motivare)
12. La temperatura di degenerazione è ...

Dalle onde elettromagnetiche ai raggi X (4)

13. I problemi aperti nella fisica di fine 800 sono ...
14. I due strumenti che rendono possibili le indagini di struttura della materia sono ... (spiegare a cosa servono)
15. La grande novità nella concezione della fisica del 900 è ...
16. Le differenze osservate da Röntgen tra raggi X e raggi catodici sono ...
17. I miglioramenti apportati a inizio 900 nei tubi a raggi X riguardano ...
18. I contributi di Barkla agli studi sui raggi X riguardano ...
19. In un tubo a raggi X quali parametri vengono influenzati dalla tensione e dalla corrente
20. Spiegare l'origine delle righe nello spettro dei raggi X
21. In cosa consistono i contributi di Moseley?

I fotoni (8)

22. Cosa afferma la legge di Kirchoff?
23. Perché si studia il corpo nero in fisica?
24. Enunciare la legge di Stefan – Boltzmann evidenziandone l'utilità.
25. Ricavare la relazione tra ϵ_{vT} e $\epsilon_{\lambda T}$
26. Su cosa si basa la deduzione da parte di Planck della relazione sul potere emissivo del corpo nero? Scrivere la relazione
27. La costante h nella formula di Planck viene espressa attraverso altre costanti. Quali?
28. Quali sono le singolarità sperimentali che portano allo studio dell'effetto fotoelettrico?
29. Quali difficoltà sperimentali vanno risolte per studiare l'effetto fotoelettrico?
30. Perché la corrente anodica cambia con la tensione anodica? Quando si annulla? Quando si satura?
31. Qual è il significato del potenziale di arresto? Spiegare
32. Perché la relazione tra frequenza e potenziale di arresto è lineare? Chi è il coefficiente angolare della retta?
33. Perché i metalli alcalini sono preferiti nella costruzione dei catodi delle celle fotoelettriche?
34. L'effetto fotoelettrico e quello Compton segnano due conferme nella teoria del fotone. Quali?
35. Scrivere le equazioni che consentono di dedurre la variazione Compton su λ

III prova 5F PNI 4 dicembre 2004

Consegne per i due quesiti: è consentito l'uso della calcolatrice scientifica; è vietata la consultazione di manuali, quaderni o appunti di alcun genere; attenersi nelle risposte agli spazi forniti che, scrivendo a mano, consentono di fornire la risposta esaustiva; eccezionalmente utilizzare qualche rigo sottostante attraverso opportuni richiami numerati. (in rosso le risposte possibili)

Quesito n. 1 raggi X

I raggi X vennero scoperti nel 1895 da W. Röntgen il quale osservò che se si scherma un tubo a raggi catodici è possibile osservare della fluorescenza su di uno schermo al platinocianuro di bario sino a 2 metri di distanza dal tubo

Lo scopritore decise di indagare il nuovo fenomeno e scoprì che: a) impressionava le lastre fotografiche
 b) era fortemente penetrante nella materia c) era insensibile ai campi magnetici d) non subiva la rifrazione

In un tubo di fine 800 era importante che il tubo contenesse del gas a bassissima pressione perché i raggi catodici necessari a produrre i raggi X erano emessi dal catodo a causa del riscaldamento dovuto agli urti con il catodo degli ioni generati dalla ionizzazione per urto del gas residuo con i raggi catodici

Se si indica con ΔV la d.d.p. tra anodo e catodo e con λ_m il minimo della lunghezza d'onda nello spettro di

emissione dei raggi X misurato in \AA si ha $\lambda_m = \frac{12'398}{\Delta V}$ infatti: $\lambda_m = \frac{c}{\nu_{\max}} = \frac{c}{e \mathcal{E}_{\max}} = \frac{c}{e \Delta V} = \frac{h c}{e \Delta V} = \frac{12'398}{\Delta V} \text{\AA}$ dunque

$$\nu_{\max} = \frac{e \Delta V}{h} \quad e \quad \lambda_m = \frac{c h}{e \Delta V} = \frac{2.998 \cdot 10^8 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34}}{1.602 \cdot 10^{-19} \Delta V} = \frac{1.2398 \cdot 10^{-6}}{\Delta V} \text{ m} = \frac{12'398}{\Delta V} \text{\AA}$$

La parte continua dello spettro presenta valori di λ diversi perché un singolo elettrone emette un singolo fotone quando viene decelerato passando in vicinanza del nucleo con una accelerazione così elevata da perdere tutta la sua energia o una sua parte rilevante e la sua λ è diversa a seconda della distanza dal nucleo a cui avviene l'interazione

Quesito n. 2 spettri

Lo spettro di assorbimento di un dato materiale è ___ caratterizzato ___ da una serie di righe nere sovrapposte allo spettro continuo della luce bianca ___ e si genera quando ___ essa attraversa un gas a temperatura più bassa di quella corrispondente alla luce stessa (legge di Boltzmann) ___

L'unità di lunghezza utilizzata in fisica atomica $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ porta il cognome di ___ Ångstrom ___ perché fu lui a ___ classificare lo spettro di assorbimento della luce solare (oltre mille righe) con λ espresso tramite multipli di 10^{-10} ___

La prima regolarità nello spettro di emissione dell'idrogeno scoperta da Balmer nel ___ 1884 ___ riguardava le prime 4 righe. Le lunghezze d'onda risultavano proporzionali ai numeri 1.8; 1.33; 1.19; 1.125 che corrispondono alle frazioni $9/5$, $4/3$, $25/21$, $9/8$ ma questi frazioni scritte come ___ $9/5$, $16/12$, $25/21$, $36/32$ ___ portano alla legge ___ $\lambda = \text{cost} \frac{m^2}{m^2 - n^2}$ ___ con $m =$ ___ 3,4,5,6 ___ e $n =$ ___ 2 ___

Rydberg nel ___ 1890 ___ propose una formula simile ma più precisa ___ $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ ___ perché veniva fornito il valore sperimentale della ___ costante R ___ e questa formula poté successivamente essere interpretata per spiegare le righe spettrali dell'idrogeno come fotoni di energia $\mathcal{E} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} =$ ___ $hcR \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ ___ e i due termini presenti nella differenza poterono essere interpretati come ___ energie dei livelli energetici dell'elettrone nell'atomo ___

Se si dà a n valore 1 si ottiene ___ la serie di Lyman ___ che si trova ___ nell'ultravioletto ___

Se si dà a n valore 3, 4 o 5 si ottengono ___ le serie di Paschen, Brackett e Pfund ___ che si trovano ___ nell'infrarosso ___

4/2/2005 5F Pni Modelli e struttura degli atomi

Scegli 6 domande tra le prime 12 e 4 domande tra le restanti 8 e rispondi. Indica nella prima riga della griglia i numeri scelti.

1. Per quale ragione i modelli atomici, a partire dai primi, si basano sulla interazione elettrica e chi è il protagonista di tale interazione?

Perché a fine 800 è stata scoperta la prima particella elementare (elettrone) e si è visto che essa è presente in tutti gli atomi (raggi catodici, radioattività, effetto Compton, effetto fotoelettrico). Si suppone dunque che l'elettrone sia il primo mattone dell'atomo.

Nota di correzione: si è ignorato se non in modo formale il ruolo e l'importanza dell'elettrone

2. Perché fino al 1910 è dominante un modello atomico non planetario?

Perché non si ha evidenza di una particella elementare di carica positiva che svolga il ruolo del Sole e perché tramite modelli più complicati si cerca di creare un tipo di atomo in cui le onde elettromagnetiche emesse dal moto accelerato degli elettroni risultino stazionarie. Ciò non è possibile in un modello planetario.

Nota di correzione: citazioni del positivismo tutte in negativo mentre la posizione era ed è metodologicamente corretta; ignorato il problema radiativo

3. Nel modello di Thomson gli elettroni si muovono. Come mai? Come mai non irradiano?

Perché tramite il teorema di Gauss si può dimostrare che non si può avere un sistema di cariche interagenti statiche in equilibrio e dunque il modello deve essere dinamico. La questione dell'irraggiamento viene aggirata tramite modelli complicati con molti elettroni in cui si cerca la produzione di onde stazionarie.

Nota di correzione: ignorato il fatto che un sistema elettrostatico non può essere in equilibrio.

4. Dopo il 1908 iniziano gli studi sullo scattering delle particelle α con la materia. Cosa si è scoperto di loro tra il 1900 e il 1908? (q/m , energia o velocità, origine, natura).

Le ricerche sono tutte di Rutherford e della sua scuola e per esse Rutherford avrà il premio Nobel nel 1908. Il rapporto q/m è circa $\frac{1}{2}$ di quello dello ione idrogeno; la velocità è circa $\frac{1}{12}$ della velocità della luce; si originano in quasi tutti i decadimenti radioattivi e la sorgente primaria diventa il radio; risultano sempre associate all'elio e alla fine si dimostra che si tratta di atomi di elio doppiamente ionizzati.

5. Come mai si passa dalla concomitanza tra α ed elio alla identificazione delle alfa come ioni di elio?

Le ricerche sono numerose ma il momento decisivo si ha quando si fanno diffondere le α in un recipiente separato dalla sorgente e si analizza poi lo spettro del gas osservando che se invece di usare una sorgente radioattiva si mette direttamente dell'elio esso non diffonde.

6. Come avviene il conteggio delle α emesse da una sorgente (metodo elettrico e metodo ottico) e perché è importante conteggiare le α emesse da una sorgente?

Il metodo elettrico si basa sulla scarica a valanga innescata da una singola particella in presenza di campi elettrici intensi in un gas rarefatto (contatore di Geiger) quello ottico si basa sulla osservazione diretta delle scintillazioni prodotte dalle alfa su schermi fluorescenti. Misurando l'attività di una sorgente con uno dei due metodi si può sapere quante particelle vengono emesse dalla sorgente e se si misura la carica elettrica depositata dalle alfa si può risalire alla loro carica individuale. Da qui si scopre che hanno carica 2 e dunque hanno massa 4.

Nota di correzione: l'ultima parte dava senso a tutta la domanda.

7. Rutherford come spiega il fatto che un gas nobile come l'elio si possa ionizzare?

Con le alte energie che si sviluppano nel processo radioattivo e che sono evidenziabili dalle alte velocità possedute dalle α all'atto della loro emissione.

8. Come mai Rutherford è convinto della esistenza nella materia di campi elettrici molto elevati e cosa ha a che fare ciò con il suo modello planetario?

L'elevata energia posseduta dalle α fa pensare che nel fenomeno radioattivo esse subiscano accelerazioni da parte di campi elettrici molto intensi; ciò depone a favore della esistenza di cariche elettriche positive nell'atomo che occupano spazi molto ristretti (legge di Coulomb).

Nota di correzione: è da considerazioni di questo genere che si convince della utilità di un modello nucleare da sottoporre ad indagini sperimentale (la energia elevata ha una funzione euristica nel guidarlo alla definizione del modello).

9. Secondo il modello di atomo alla Rutherford del 1911 cosa si pensa del nucleo?

Che contiene quasi tutta la massa, che occupa una dimensione tra i 10^{-14} e 10^{-15} m, che ha una carica positiva pari grosso modo alla metà della massa (in unità opportune), che l'atomo è fatto prevalentemente di spazio vuoto e che la interazione elettrica in vicinanza del nucleo sia prevalentemente quella del nucleo stesso. Non si parla di protoni.

Nota di correzione: molte risposte era del tutto fuori fase rispetto alla data (1911).

10. Nella teoria di Rutherford gioca un ruolo importante la quantità b che rappresenta la distanza dal centro dell'atomo cui arrivano le α in caso di urto centrale. Ma se b non è misurabile direttamente come mai è importante?

Perché il suo valore può essere stimato teoricamente conoscendo l'energia delle α . Esso dipende da Z e la sua espressione compare nel calcolo della probabilità di deflessione al variare dell'angolo di scattering. Pertanto esso diventa lo strumento per verificare se è vero che il numero atomico rappresenta la carica nucleare.

11. L'angolo di scattering ϕ è ... e applicando il modello di Rutherford si dimostra che $\tan(\frac{1}{2}\phi) = \frac{1}{2} b/p$.

Cos'è p ? Si può affermare che b sia la minima distanza a cui la particella arriva dal nucleo?

ϕ è l'angolo formato tra la direzione della particella incidente e la direzione della particella diffusa; p è il parametro d'urto e cioè la distanza tra la direzione della particella incidente e il nucleo a cui avviene lo scattering. p può benissimo essere inferiore a b ma nella traiettoria iperbolica la particella non arriva alla distanza p e dunque b rappresenta comunque la distanza minima come si può evidenziare ragionando in termini di energia..

12. Gli esperimenti di Geiger e Marsden consentono di confermare la validità della relazione $\frac{\delta N}{N} = \frac{1}{16} n \delta b^2$

$\frac{1}{d^2 \sin^4(\frac{1}{2}\phi)} \delta\sigma$. Cosa si conclude da tale conferma (ovvero quali erano le ipotesi di Rutherford e su cosa si basava la deduzione).

Le ipotesi di Rutherford prevedevano un atomo formato da un nucleo massiccio, quasi puntiforme e di carica positiva Ze . Applicando la conservazione dell'energia e del momento angolare ad una interazione coulombiana delle alfa con il nucleo e con gli elettroni si arrivava alla previsione delle orbite iperboliche e alla relazione citata. E' molto importante la dimostrazione della dipendenza da $b^2 \propto Z^2$

Nota di correzione: molte risposte non hanno tenuto conto della domanda (riassunta tra parentesi).

13. Dimostra che nell'atomo di Bohr si ha $r = k \frac{Z e^2}{2 \mathcal{E}_k}$ e $L = k Z e^2 \sqrt{\frac{m_e}{2 \mathcal{E}_k}}$

Applicando la II legge della dinamica al caso di orbite circolari dovute alla forza coulombiana si ha $kZe^2/r^2 = mv^2/r$ da cui $kZe^2/r = -U = mv^2 = 2\mathcal{E}_k$. Dunque $r = k \frac{Z e^2}{2 \mathcal{E}_k}$ e inoltre $mvr = kZe^2 \frac{1}{v}$

Per definizione $L = mvr$ ma per quanto visto sopra $mvr = kZe^2 \frac{1}{v} = k Z e^2 \sqrt{\frac{m_e}{2 \mathcal{E}_k}}$

14. Scrivi le due relazioni (Bohr, De Broglie) che consentono di ricavare la quantizzazione nell'atomo di Bohr e dimostra che sono equivalenti.

$L = n\hbar$ $2\pi r = n\lambda$ In effetti $L = mvr = pr$ implica che $p = n\hbar/r$. Ma secondo l'ipotesi di De Broglie sulle onde materiali si ha $p = h/\lambda$ e dunque $h/\lambda = n\hbar/r$ da cui $2\pi r = n\lambda$

15. Nell'atomo di Bohr si ha $\mathcal{E}_n \propto n^\alpha Z^\beta$ e $r_n \propto n^\gamma Z^\delta$. Quanto valgono $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ e cosa si deduce in riferimento ad energie e raggi orbitali?

Le energie sono proporzionali a Z^2 e a $1/n^2$ e dunque l'energia di legame del livello fondamentale cresce rapidamente con Z . Fissato Z al variare di n i livelli energetici vanno come $1/4, 1/9, 1/16, \dots$ del livello fondamentale.

I raggi orbitali sono proporzionali a n^2 e a Z . Infatti $r = k \frac{Z e^2}{2 \mathcal{E}_k} \propto Z/(Z^2/n^2) = n^2/Z$

16. La teoria di Bohr vale solo per ... ed è confermata da ...

Per gli atomi idrogenoidi cioè ionizzati quasi completamente. E' confermata dalla capacità di spiegare le serie spettrali dell'idrogeno con una elevatissima precisione.

17. Con la teoria di Bohr si dimostra che $\mathcal{E}_n = -\frac{1}{n^2} \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2 \hbar^2}$. Da qui si può ricavare la formula sulle serie di righe spettrali e la previsione sul valore della costante di Rydberg. Infatti ...

Quando un elettrone salta da un'orbita esterna di indice n ad una più interna di indice m si ha l'emissione di un fotone di energia

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_n - \mathcal{E}_m = \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2 \hbar^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = h \nu$$

$$\text{Poiché } \lambda \nu = c \text{ si ha } \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2c \hbar^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{4 \pi c \hbar^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

18. Cos'è la massa ridotta dell'elettrone nell'atomo di idrogeno e quanto vale?

Il sistema protone elettrone (e in generale nucleo elettrone) ruota intorno al suo centro di massa.

5F Pni 11/02/2005 modelli atomici

1. Del Polonio radioattivo ${}_{84}\text{Po}^{210}$ emette particelle α di energia $\mathcal{E}_k = 5.30$ MeV. Queste particelle colpiscono un bersaglio di tungsteno ${}_{74}\text{W}^{183.85}$ di densità $\delta = 19.2$ kg/dm³ e di spessore $s = 2.5$ μm .
- Determinare la distanza b raggiunta dalle particelle nel caso di urto centrale.
 - Costruire una tabella degli angoli di scattering ϕ (in $^\circ$) per parametri d'urto p tali che p/b valga rispettivamente 0.1; 0.5; 1.0; 2.0; 5.0; 10.0.
 - Calcolare la concentrazione atomica n del bersaglio in atomi/m³ e la distanza media d tra due atomi. Confrontare d con b .
 - Quanto vale il rapporto p/b nel caso di $\phi = 90^\circ$?
 - La relazione sullo scattering angolare prevista dal modello di Rutherford prevede che $\frac{\delta N}{N} = \frac{1}{16} n s b^2 \frac{\delta\Omega}{\sin^4(\frac{1}{2}\phi)}$ dove $\delta\Omega$ rappresenta l'angolo solido sotto cui avviene l'osservazione. Se l'osservazione avviene ad una distanza $r = 12.0$ cm dal bersaglio e con una sensibilità angolare $\delta\phi = 1.0^\circ$ in un contesto di simmetria sferica quanto vale $\delta\Omega$ (ricordarsi dei radianti)?
 - Quanto vale nel precedente contesto di osservazione $\frac{\delta N}{N}$?
 - Se si vuole osservare una media $\nu = 30$ eventi/s quante particelle α al secondo ν' devono arrivare dalla sorgente?
 - Sapendo che il tempo di dimezzamento del Po è $T_{1/2} = 138.4$ giorni, che la sua densità $\delta' = 9.4$ kg/dm³ e ricordando che la legge del decadimento prevede che la attività radioattiva (disintegrazioni al secondo) = $N_0 e^{-t/\tau}$ quanti grammi Δm di polonio occorrono per garantire la attività richiesta.

- Si applica la conservazione dell'energia tra il punto all'infinito (zona tra la sorgente e il bersaglio con energia potenziale nulla) e il punto di massima energia potenziale (energia cinetica nulla).

$$\mathcal{E}_k = k \frac{2Z e^2}{b} \text{ da cui } b = k \frac{2Z e^2}{\mathcal{E}_k} = k \frac{2Z e}{\mathcal{E}_{k,\text{eV}}} = 8.99 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 74 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}}{5.30 \cdot 10^6} = 4.02 \cdot 10^{-14} \text{ m (tipica dimensione nucleare)}$$

Nota di correzione: bisogna precisare come si procede; la carica delle α è 2 e non il numero atomico del polonio; se viene un risultato aberrante (cioè non dell'ordine di 10^{-14}) bisogna chiedersi perché e cercare l'errore

- Poiché $\tan \frac{1}{2}\phi = \frac{1}{2} b/p$ si ha $\phi = \arctan \left(\frac{1}{2} \frac{1}{p/b} \right)$ si ha così:

p/b	$b/2p$	ϕ
0,1	5	157,38
0,5	1	90,00
1	0,5	53,13
2	0,25	28,07
5	0,1	11,42
10	0,05	5,72

Come si vede, al crescere del parametro d'urto le particelle vengono sempre meno deflesse (passano più lontano dal nucleo).

- Indicata la concentrazione con n si ha:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{n_m \mathcal{M}_A}{V} = \frac{m_g \mathcal{M}_A}{A V} = \frac{10^3 m \mathcal{M}_A}{A V} = \frac{10^3 \delta \mathcal{M}_A}{A} = \frac{10^3 \cdot 19.2 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{183.85} = 6.29 \cdot 10^{28} \text{ at/m}^3$$

La distanza media ha come ordine di grandezza la radice cubica dell'inverso (volume atomico)

$$d = \frac{1}{\sqrt[3]{n}} = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ m (tipica dimensione atomica)}$$

- Quando $\phi = 90^\circ$ sia ha $b/2p = \tan 45^\circ = 1$ e dunque $p/b = \frac{1}{2}$ come già trovato in tabella.

Nota di correzione: dunque p può essere minore di b . Ciò non vuol dire che la particella va più vicina di b perché p rappresenta la distanza tra la direzione della particella (che non è la traiettoria) e il nucleo.

- L'angolo solido sotto cui viene vista una superficie $\delta\sigma$ ortogonale al raggio vettore r è data per definizione da $\delta\sigma/r^2$. Nel caso di simmetria sferica la superficie $\delta\sigma$ che viene vista sotto un angolo ϕ con apertura $\delta\phi$ è una

calotta sferica di raggio $d \sin \phi$ ed estensione $d \delta \phi$. La sua area vale: $2\pi (d \sin \phi) (d \delta \phi) = 2\pi d^2 \sin \phi \delta \phi$. Dunque l'angolo solido $\delta \Omega = 2\pi \sin \phi \delta \phi$.

Se l'angolo è espresso in gradi si ha $\delta \phi = \pi/180 \delta \phi^\circ$ e pertanto con riferimento ai dati si ha:

$$\delta \Omega = 2\pi \sin 90 \pi/180 1^\circ = 2\pi^2/180 = 0.11 \text{ sterad}$$

$$f) \frac{\delta N}{N} = \frac{1}{16} n s b^2 \frac{\delta \Omega}{\sin^4(\frac{1}{2}\phi)} = \frac{1}{16} 6.29 \cdot 10^{28} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot (4.02 \cdot 10^{-14})^2 \cdot 0.11 \cdot (\sqrt{2})^4 = 6.99 \cdot 10^{-6}$$

$$g) \text{ Sarà } \frac{v}{v'} = \frac{\delta N}{N} \text{ e pertanto } v' = v / \frac{\delta N}{N} = 30 / (6.99 \cdot 10^{-6}) = 4.29 \cdot 10^6 \text{ dis/s}$$

h) In base alla legge del decadimento radioattivo in forma differenziale la attività radioattiva (disintegrazioni al secondo) è proporzionale al numero di nuclei presenti e alla costante di decadimento (inverso della vita media). Dobbiamo pertanto calcolare la vita media a partire dal tempo di dimezzamento; usiamo la legge esponenziale:

$$N/N_0 = 1/2 = e^{-T_{1/2}/\tau} \text{ e da qui } T_{1/2}/\tau = \ln 2$$

$$\lambda = 1/\tau = \ln 2/T_{1/2} = \ln 2/(138.4 \cdot 3600 \cdot 24) = 5.8 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

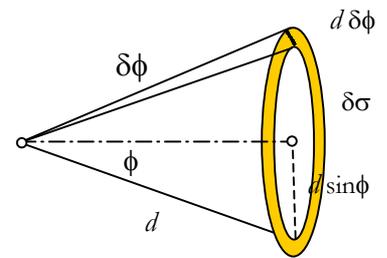
$$A = -\frac{\delta N}{\delta t} = \lambda N. \text{ Per garantire la attività necessaria servono } N \text{ nuclei di Polonio.}$$

$$N = 4.29 \cdot 10^6 / 5.8 \cdot 10^{-8} = 7.4 \cdot 10^{13} \text{ nuclei di Polonio}$$

$$\text{Il numero di moli è } n = N/N_A = 7.4 \cdot 10^{13} / (6.02 \cdot 10^{23}) = 1.2 \cdot 10^{-10}$$

$$m = A n = 210 \cdot 1.2 \cdot 10^{-10} = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ g}$$

Nota di correzione: si tratta di una quantità molto piccola al limite delle capacità di determinazione sperimentale.



2. Calcolare la frequenza angolare di un elettrone che occupi la seconda orbita di Bohr di He^+

La maggiore o minore estensione della risposta dipende da dove si debba partire. Il livello certamente noto è la quantizzazione del momento angolare $mvr = n \hbar$ e da qui partiremo.

La frequenza angolare (radianti al secondo) si indica con ω ed è pari a v/r . Si tratta dunque di arrivare ad una relazione in cui v/r dipenda solo da n .

Osserviamo che $v/r = \frac{n \hbar}{m r} \frac{1}{r} = \frac{n \hbar}{m r^2}$ e dunque il problema si riconduce al calcolo della quantizzazione dei raggi orbitali.

Dalla seconda legge della dinamica si ha:

$$k \frac{Z e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow k \frac{Z e^2}{r} = m v^2 = \frac{(mvr)^2}{mr^2} = \frac{(n\hbar)^2}{mr^2} \Rightarrow r = n^2 \frac{\hbar^2}{k Z m e^2}$$

Possiamo finalmente trovare la frequenza angolare richiesta:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{n \hbar}{m r^2} = \frac{n \hbar (k Z m e^2)^2}{\hbar^4 n^4} = \frac{k^2 Z^2 m e^4}{\hbar^3 n^3} = \frac{(8.99 \cdot 10^9)^2 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 11 \cdot 10^{-31} \cdot (1.602 \cdot 10^{-19})^4}{(1.054 \cdot 10^{-34})^3 \cdot 8} = 2.07 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$$

Nota di correzione: si poteva risparmiare qualche conto ricordando come risultato intermedio che $r_n = 0.529 \cdot 10^{-10} n^2/Z$

3. Calcolare il campo magnetico B dovuto ad un elettrone che occupi la prima orbita dell'atomo di idrogeno,

al centro dell'atomo stesso. Campo al centro della spira circolare $B = \frac{\mu_0 i}{2 r}$

Nota di correzione: L'elettrone in orbita con periodo T equivale ad una corrente $i = \frac{e}{T}$ e siamo ricondotti nuovamente al

calcolo della frequenza ma il calcolo del campo richiede anche il calcolo di r e dunque sono richiesti per una soluzione diretta conti simili a quelli dell'esercizio precedente. Sfrutteremo invece un calcolo che sfrutti la conoscenza del raggio e della energia fondamentali e cioè $0.529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ e 13.6 eV

$$B = \frac{\mu_0 i}{2 r} = \frac{\mu_0 e}{2 T r} = \frac{\mu_0 e v}{2 2\pi r^2}$$

$$\text{Ma } \mathcal{E}_k = \frac{1}{2} m v^2 \text{ e pertanto } v = \sqrt{\frac{2 \mathcal{E}_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 13.6 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}}{9.11 \cdot 10^{-31}}} = 2.19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$B = \frac{\mu_0 e v}{2 2\pi r^2} = 6.28 \cdot 10^{-7} \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 2.19 \cdot 10^6}{2\pi (0.529 \cdot 10^{-10})^2} = 12.5 \text{ T}$$

4. Trovare il numero quantico n corrispondente ad uno stato eccitato dello ione He^+ se nel processo di riassetto con passaggio allo stato fondamentale vengono emessi due fotoni di lunghezze d'onda $\lambda = 108.5 \text{ nm}$ e $\lambda' = 30.4 \text{ nm}$.

L'elettrone salta dal livello n al livello m emettendo il fotone meno energetico λ e poi da m a 1 emettendo quello di lunghezza d'onda λ' .

Basta scrivere la relazione di Bohr che spiega le serie spettrali e tener conto che nel caso degli atomi idrogenoidi si ha $R' = Z^2R$ e nel nostro caso $4R$.

$\frac{1}{\lambda} = 4R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ mentre $\frac{1}{\lambda'} = 4R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2}\right)$ Facendo la somma delle due relazioni si elimina la dipendenza da m e si ottiene:

$$\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda'} = 4R\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Il valore di R può essere calcolato dalle costanti universali note e, per chi lo ricorda, vale $1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

$$\text{Si ha dunque } \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) = \frac{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda'}}{4R} = \frac{10^9 (1/108.5 + 1/30.4)}{4 \cdot 1.097 \cdot 10^7} = 0.95969$$

$$\text{da cui } n^2 = \frac{1}{1 - 0.95969} \approx 24.8 \text{ da cui } n = 5$$

Nota di correzione: se ci si ricorda il valore della energia dello stato fondamentale si può trovare subito il valore di R .

Nome e cognome: _____ 7 aprile 2005 5F Pni III prova simulata Fisica tip. B

Consegne: 1) rispondere mantenendosi all'interno degli spazi indicati che consentono di rispondere in modo esaustivo. 2) non è consentito l'utilizzo di alcun materiale oltre quelli di scrittura e disegno.

I quesito: Il decadimento radioattivo e le sue leggi

a) da cosa dipende e da cosa non dipende (2 righe)

dipende dalla composizione del nucleo (A e Z) e dal suo eventuale stato di eccitazione
non dipende dal legame chimico e da altri parametri fisici quali temperatura e pressione

b) scrivere la reazione del decadimento β^- per un nucleo X_Z^A precisando il significato dei simboli e l'origine della energia liberata

$X_Z^A \rightarrow X_{Z+1}^A + 1e^- + 1\bar{\nu}_e$ dove e^- rappresenta un elettrone di energia cinetica variabile da 0 sino a circa 1 MeV, mentre $\bar{\nu}_e$ rappresenta l'antineutrino elettronico. L'energia proviene dalla differenza tra la massa del neutrone e la massa del protone ($m_n - m_p \approx 2 \text{ MeV}$ $m_e \approx 0.5 \text{ MeV}$)

c) perché lo spettro dei beta non è monocromatico?

perché l'energia residua viene trasportata dai neutini particelle a bassa sezione d'urto e dunque difficili da osservare

d) il decadimento β differisce da quelli α e γ per il tipo di interazione coinvolta. Cosa si vuol dire con ciò?

Nel primo caso si ha la creazione e la scomparsa di particelle non preesistenti (interazione debole) mentre nel secondo si ha una diversa aggregazione dei costituenti (interazione forte)

e) scrivere in forma differenziale ed integrale la legge del decadimento radioattivo di una popolazione N di nuclei con costante di decadimento λ . Quindi (senza svolgere il calcolo) scrivere definizione e risultato della vita media τ

$$dN = -\lambda N dt \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{+\infty} t dN = \frac{1}{N_0} \int_0^{+\infty} \lambda N t dt = \dots = \frac{1}{\lambda}$$

II quesito: Il modello atomico di Bohr

a) In cosa il modello di Bohr differisce da quello di Rutherford?

Nel modello di Bohr si occupa del problema della stabilità dell'atomo ammettendo la validità delle leggi classiche e postulando l'esistenza di stati stazionari (orbite non radiative) corrispondenti alla quantizzazione del momento angolare dell'elettrone secondo la relazione $L = m v r = n \hbar$. Nel salto di orbita si ha l'emissione di un fotone tale che $\Delta \mathcal{E} = h\nu$

b) Dedurre la relazione $\mathcal{E} = -\frac{1}{n^2} \frac{k^2 Z^2 e^4 m}{2\hbar^2}$ che fornisce la quantizzazione dei livelli energetici per l'atomo idrogenoide di carica Ze nella ipotesi di massa nucleare \gg della massa dell'elettrone e di orbita circolare

Il legge della dinamica: $K \frac{Ze^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ da cui $m v^2 = 2 \mathcal{E}_k = K \frac{Ze^2}{r} = -U$ ed $\mathcal{E} = \frac{1}{2} U$

quantizzazione di L : $m v r = n \hbar \Rightarrow$

$$k \frac{Ze^2}{r} = m v^2 = \frac{(mvr)^2}{mr^2} = \frac{(n\hbar)^2}{mr^2} \Rightarrow \frac{1}{r} = \frac{k Z m e^2}{n^2 \hbar^2} \Rightarrow U = -k Z e^2 \frac{k Z m e^2}{n^2 \hbar^2} = -\frac{1}{n^2} \frac{k^2 Z^2 e^4 m}{\hbar^2}$$

$$\text{ma } \mathcal{E} = \frac{1}{2} U = -\frac{1}{n^2} \frac{k^2 Z^2 e^4 m}{2\hbar^2}$$

c) alla luce della relazione precedente come si spiegano le serie di righe spettrali?

Secondo il modello di Bohr quando un elettrone passa da un'orbita di numero m ad una di numero n con $m > n$ viene emesso un fotone di energia $\mathcal{E} = h \nu = h \frac{c}{\lambda} = \mathcal{E}_m - \mathcal{E}_n = \frac{k^2 Z^2 e^4 m}{2\hbar^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ e dunque:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{k^2 Z^2 e^4 m}{2\hbar^2 c h} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R_\infty \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Nome e cognome: _____ 26 maggio 2005 5F modello standard tipologia B

Rispondere ad almeno 8 domande (max 10) crocettare a lato del numero (stessa casella)

1. I quark sono dei fermioni e dunque obbediscono al principio di esclusione di Pauli. Come si concilia questo fatto con la presenza in molti barioni di due quark identici accanto ad un terzo diverso (esempio $p = 1u^{2/3} + 1u^{2/3} + 1d^{-1/3}$)?

Lo stato di ogni quark è definito anche dal numero quantico *carica di colore* e in un barione, così come in un mesone la carica di colore di due quark è sempre diversa in modo di dare complessivamente il bianco. Dunque non c'è violazione del principio di esclusione.

2. Cosa rappresenta questa tabella? Commentare e precisare se può essere letta in modo simmetrico.

Si tratta della tabella che fornisce le probabilità di conversione tra quark di diverso sapore nell'ambito della interazione debole. Come si nota sono favorite quelle nell'ambito di una medesima famiglia ma non sono escluse anche quelle estranee. Per quanto riguarda la simmetria la conversione spontanea (decadimento) è nel verso della diminuzione di massa di riposo, ma la conversione inversa può avvenire se si fornisce l'energia necessaria (scattering).

	d	s	b
u	1	0.2	0.004
c	0.2	1	0.03
t	0.003	0.04	1

3. Cos'è in Q.E.D. il raggio d'azione di una interazione? Spiegare da cosa dipende.

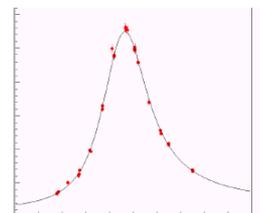
Si tratta della distanza massima a cui l'interazione può avvenire. Poiché l'interazione corrisponde allo scambio di un bosone virtuale di energia \mathcal{E} tipica dello stesso e poiché la massima distanza viene coperta viaggiando alla velocità della luce, si ha, in base al principio di indeterminazione che $R \leq c \Delta t \approx c \hbar / \mathcal{E}$.

4. Come avviene la interazione tra due particelle materia e una particella forza? Da dove viene la particella forza?

La interazione è un processo che corrisponde allo scambio di una particella forza tra le due particelle massa. Lo scambio avviene in due istanti diversi e dunque ogni interazione ha una durata tipica. La particella forza viene dal mare di particelle ed antiparticelle che si creano e distruggono nello spazio vuoto. La sua esistenza, che viola temporaneamente la conservazione della energia è consentita dalla relazione di indeterminazione.

5. Cosa rappresentano in fisica delle particelle curve come questa? Cosa c'è in ordinata? Cosa c'è in ascissa? I punti cosa rappresentano?

Si tratta delle cosiddette *risonanze*. Quando si fanno interagire fasci di particelle con energia \mathcal{E} rappresentata in ascissa, si osserva, al variare di \mathcal{E} una crescita improvvisa del numero di eventi riscontrati (nuove particelle). La moda viene assunta come energia di una nuova particella e la sua dispersione $\Delta \mathcal{E}$ esaminata alla luce del principio di indeterminazione è in grado di darci una misura della vita media della nuova particella.



6. Che differenza c'è tra una simmetria globale e una simmetria locale. Fare un esempio dell'una e dell'altra.

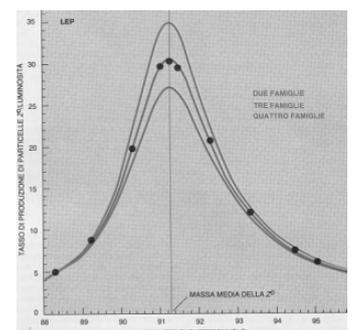
Simmetria in fisica teorica è sinonimo di invarianza e di conservazione. Una simmetria globale è una invarianza in cui la trasformazione ha le stesse caratteristiche in tutti i punti dello spazio tempo (esempio: invarianza per *traslazione spaziale* che corrisponde alla omogeneità dello spazio e genera la conservazione della quantità di moto). Una simmetria locale è una invarianza rispetto a modifiche locali (e diverse) di una determinata grandezza (esempio la conservazione della carica corrisponde alla invarianza degli stati di una particella rispetto a modifiche di fase, cioè della componente angolare che incide sulla interferenza, della funzione di stato ψ).

7. Cosa c'entrano le simmetrie con il modello standard. Cos'è una *simmetria di gauge*?

Le equazioni e le interazioni vengono fatte discendere dalla affermazione a priori di una simmetria. Le simmetrie di *gauge*, introdotte inizialmente da H. Weyl per estendere la relatività generale all'elettromagnetismo, sono diventate lo strumento per estendere la meccanica quantistica ai diversi ambiti del micromondo (teoria elettrodebole, cromodinamica quantistica). Le teorie di gauge di ogni interazione prevedono le caratteristiche del bosone mediatore della interazione

8. Da cosa sappiamo che le famiglie di leptoni (e dunque anche di quark) sono solo 3?

Si tratta del principale risultato ottenuto al LEP negli anni 90. Si è misurata con grande accuratezza la curva di risonanza del decadimento della Z_0 . La teoria prevede forme diverse a seconda del numero di decadimenti possibili (quark antiquark, leptone carico antileptone, neutrino antineutrino). Se le famiglie fossero 4 potrebbe esistere un leptone di massa superiore alle nostre capacità di indagine (e dunque non lo vedremmo), ma sarebbe visibile il

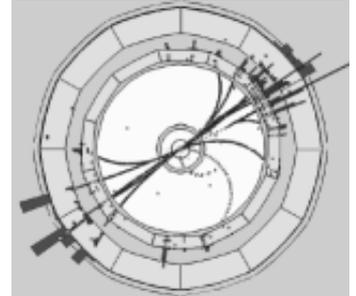


corrispondente decadimento neutrino antineutrino (a causa della bassa energia coinvolta) e tale decadimento determinerebbe una curva di risonanza diversa da quella osservata.

9. Cos'è la costante di accoppiamento di una interazione? Che ruolo gioca nel determinare il confronto tra le interazioni?

E' un indicatore della probabilità di osservare la particella materia circondata (vestita) dai bosoni che trasmettono l'interazione. Per ragionare sulla maggiore o minore incidenza di una interazione occorre tener conto della massa del bosone (che incide su raggio d'azione e vita media) e della costante di accoppiamento perché se essa è bassa sarà altrettanto bassa la possibilità di produrre la interazione descritta dai corrispondenti diagrammi di Feynman.

10. In figura si vede la simulazione di un evento dovuto ad una interazione $e^+ e^-$ al Lep. Come vengono interpretati i due getti?

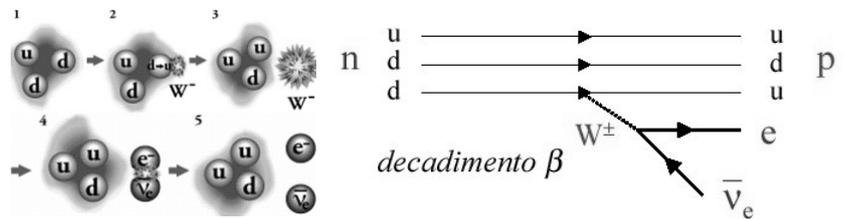


Si tratta della prova della creazione di coppie ($q\bar{q}$, $q q$) dal decadimento del bosone generato nell'urto elettrone antielettrone. Le due particelle tendono ad allontanarsi rispettando la conservazione della quantità di moto. Ciò richiede una energia molto elevata (confinamento dei quark) e le due particelle in fase di allontanamento unendosi a particelle virtuali producono uno sciame di barioni e mesoni (osservabili).

11. Descrivi il decadimento del neutrone secondo il modello standard disegnando il relativo diagramma di Feynman.

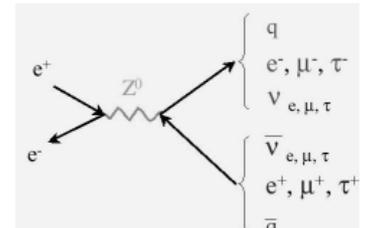
Si tratta di un processo per fasi: prima si ha la interazione debole con conversione del quark attraverso lo scambio della W^- e poi il decadimento della W^- .

Nelle due figure sono rappresentate la animazione e il diagramma di Feynman.

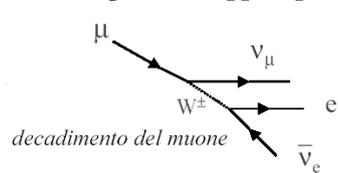


12. Dalla interazione $e^+ e^-$ ad alta energia può emergere la particella Z_0 che decade. Cosa avviene tipicamente? Disegna il tipico diagramma di Feynman.

Il decadimento della Z_0 ha come andamento tipico quello di creare particelle con carica complessiva nulla come nel seguente diagramma di Feynman riassuntivo.



13. In figura c'è un diagramma di Feynman. Precisare cosa rappresenta e completarlo aggiungendo i nomi delle particelle mancanti sulla figura.



Si tratta del decadimento del muone e come si osserva si ha dapprima la emissione di una W^- con trasformazione del muone in neutrino muonico e successivamente il decadimento della W^- .

1		2		3		4		5		6		7	
8		9		10		11		12		13			

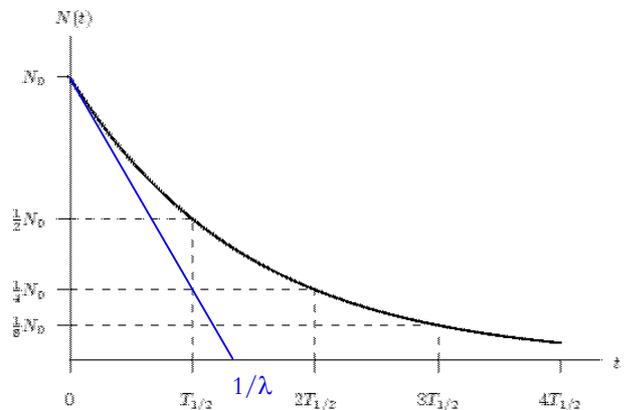
Esame di stato conclusivo anno 2004/2005 classe 5F III prova scritta tipologia B

Proposta 1

1) Parliamo di questo diagramma

Cosa rappresenta?

Il numero di nuclei presenti in un materiale radioattivo al passare del tempo usando come unità di misura il tempo di dimezzamento



Sai scrivere la legge rappresentata dal diagramma? (se usi i simboli standard non occorre definirli)

forma differenziale $\delta N = -\lambda N \delta t$ forma integrale $N = N_0 e^{-\lambda t}$ Traccia la retta tangente per N_0 . Dove vai a finire?incontra l'asse dei tempi in $t = 1/\lambda$ Chi è $T_{1/2}$ e come si correla alla vita media τ ? $T_{1/2}$ è il tempo necessario per ridurre a metà i nuclei presenti; $\frac{1}{2} = \exp(-\lambda T_{1/2}) \Rightarrow \lambda T_{1/2} = \ln 2$ inoltre si dimostra che $\tau = 1/\lambda$ Da cosa dipende e da cosa non dipende $T_{1/2}$?

dipende sola dalle caratteristiche A e Z del nuclide; non dipende dal legame chimico dalla temperatura e dalla pressione

2) Il carattere corpuscolare della radiazione

La teoria del corpo nero di Planck, l'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton quali tappe segnano?

corpo nero l'energia elettromagnetica in una cavità viene scambiata con le pareti in granuli $\Delta \mathcal{E} = h \nu$ effetto fotoelettrico l'energia elettromagnetica è fatta di granuli (fotoni) di energia $\mathcal{E} = h \nu$ effetto Compton i fotoni seguono le leggi dell'urto relativistico con quantità di moto $p = h/\lambda$ Un fotone γ da 1 MeV in cosa differisce da un fotone X da 1 MeV?solo nella origine; il fotone X viene dalla decelerazione di un elettrone; il fotone γ da un riassetto energetico nucleareQuanto vale la λ del fotone precedente e dunque nella interazione con un atomo sarà prevalente l'aspetto ondulatorio o quello corpuscolare? $\mathcal{E} = h\nu = hc/\lambda \Rightarrow \lambda = hc/\mathcal{E} \approx \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3.00 \cdot 10^8}{10^6 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 1.2 \cdot 10^{-12} \text{ m}$; nei confronti dell'atomo che ha dimensioni di 10^{-10} m sarà prevalente l'aspetto corpuscolare

Quando un fotone energetico (radiazione ionizzante) interagisce con la materia può dar luogo a tre effetti; quali? Qual è quello più rilevante a 1 MeV?

__ effetto fotoelettrico, effetto Compton, creazione di coppie elettrone positrone. A 1 MeV si ha quasi solo effetto Compton. L'energia è troppo alta per dare il fotoelettrico e troppo bassa per la creazione di coppie __

In cosa differisce fundamentalmente la interazione con la materia di un fotone da quella di una particella α ?

__ è un processo di tipo tutto niente. Se c'è interazione il fotone sparisce mentre la particella α perde circa 30 eV per ogni urto e produce ionizzazione __

Proposta 2

1) Discutiamo di questo diagramma?

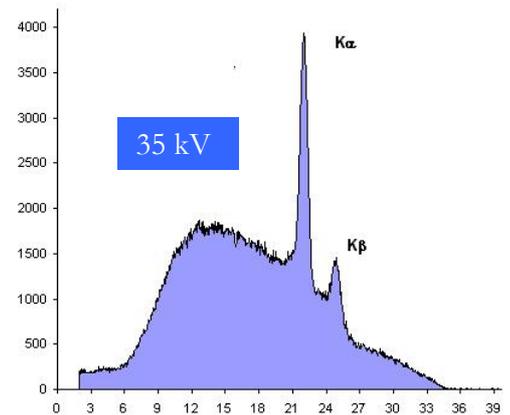
Quali possibili grandezze metteresti sugli assi?

ascissa __ energia in keV (vedi ddp fornita ed estremo superiore) __

ordinata __ intensità o meglio fotoni/s in scala arbitraria __

Cosa rappresenta il diagramma?

__ spettro di emissione dei raggi X di un catodo metallico con ddp di 35 kV __



Cosa rappresenta il picco indicato con k_{α} ?

__ i fotoni monocromatici dovuti al salto elettronico tra lo strato L e lo strato K lasciato libero per espulsione da urto dell'elettrone originario __

Chi è k_{β} e perché è più basso di k_{α} ?

__ il picco dovuto a fotoni monocromatici per transizione verso K degli elettroni degli strati più esterni (M, N, ...); è più probabile il passaggio precedente __

Storicamente la misura dei k_{α} è stata molto importante

perché? __ ha consentito di associare l'energia dello strato K al numero atomico Z (misure di Moseley) __

Il tratto continuo rappresenta il *bremsstrahlung*

cioè? __ la radiazione di frenamento: fotoni emessi per la decelerazione dei raggi catodici nell'urto con l'anticatodo __

2) Discutiamo di questo diagramma

Quali possibili grandezze metteresti sugli assi?

ascissa __ la lunghezza d'onda in nm __

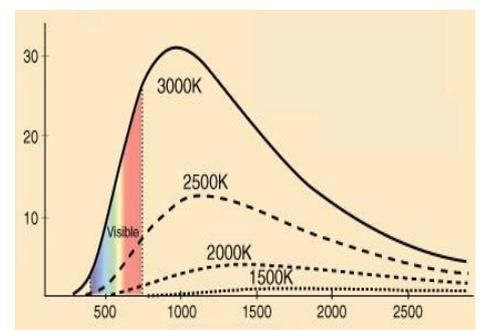
ordinata __ potere emissivo $W/(m^2 \text{ nm})$ in scala arbitraria __

Cosa rappresenta il diagramma?

__ potere emissivo di un corpo nero al variare della temperatura espressa in kelvin __

Confronta la curva a 3000 K con quella a 2000 K; cosa vedi? (2 cose)

__ al crescere della temperatura il valore modale si sposta verso sinistra mentre l'area decresce molto rapidamente __



Sotto quello che hai visto ci sono due leggi; quali (illustrale)?

I legge ___ legge di Wien $\lambda_m T = \text{cost}$ ___

II legge ___ legge di Boltzmann: il potere emissivo integrale (area sottesa) è proporzionale a T^4 _____

Perché il corpo nero si chiama così?

___ perché per definizione assorbe integralmente su tutte le frequenze e dunque appare nero visto che non riflette ___

Perché il tentativo di interpretare quel diagramma ha segnato una svolta nella storia della fisica?

_ perché per interpretarne la forma è stato necessario ammettere che la energia elettromagnetica presente nella cavità si scambiava con le pareti in equilibrio in granuli di energia $\Delta \mathcal{E} = h \nu$ (gli scambi sono quantizzati)_

5F PNI 28/10/2005 conoscenze (o.em., raggi X, fotoni)

Rispondere (scegliendo a piacere) al numero di domande indicate nel titolo di ciascun argomento

Onde elettromagnetiche (3)

- Nella teoria di Maxwell viene introdotta la corrente di spostamento $i_s = \epsilon \frac{\delta\Phi_s(\mathbf{E})}{\delta t}$. Di cosa si tratta?
Esemplificare con riferimento al campo di un condensatore in carica o scarica.
- Illustrare come la introduzione della corrente di spostamento renda simmetriche, nel vuoto, le due relazioni che forniscono la circuitazione dei due campi.
- Propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto: la velocità vale..., l'intensità vale..., il legame tra E e B è...
- Si dimostra che il valore di campo elettrico radiante associato ad una carica elettrica in moto accelerato vale: $E = \frac{\mu_0 q a \sin \theta}{4 \pi r}$ dove a è la accelerazione della carica considerata, r la distanza tra la carica ed il punto considerato, θ è l'angolo formato tra il vettore accelerazione e la direzione di propagazione considerata (vettore \hat{r}). Commentare la formula.
- La potenza di radiazione emessa, nel caso di particelle relativistiche, risulta proporzionale a $\frac{1}{(1 - \beta^2)^2}$ e questa quantità, ricordando la legge dell'incremento relativistico della massa corrisponde a $\frac{m^4}{m_0^4}$ che a sua volta è pari a $\frac{\mathcal{E}^4}{\mathcal{E}_0^4}$. Che conseguenze se ne traggono?
- Perché un fotone presenta una estensione spaziale limitata? Come mai presenta una indeterminazione in frequenza?

Dalle onde elettromagnetiche ai raggi X (4)

- I problemi aperti nella fisica di fine 800 sono (in termodinamica, in elettromagnetismo) ...
- La grande novità nella concezione della fisica del 900 è ... enunciare ed esemplificare
- A fine 800 c'è un boom nella tecnologia con forti ripercussioni sulla vita delle masse popolari e piccolo borghesi. Fai qualche esempio.
- Le differenze osservate da Röntgen tra raggi X e raggi catodici
- Dopo Roentgen si occupano di raggi X von Laue, i Bragg e Barkla. Descrivere i loro contributi.
- In un tubo a raggi X come si può aumentare la intensità del fascio? Come si fa ad aumentare il potere di penetrazione? Per cosa viene utilizzato lo spettro continuo e per cosa quello di righe?
- Spiegare l'origine della parte continua e delle righe nello spettro dei raggi X

I fotoni (4)

- Enunciare le leggi di Stefan – Boltzmann, di Wien e di Planck. Perché quella di Planck è la più generale? Su quale ipotesi si basa?
- Perché il potere emissivo di un corpo è minore di quello del corpo nero. Come si fa a determinarlo?
- Quali sono le singolarità sperimentali che portano allo studio dell'effetto fotoelettrico? Perché le più importanti sono difficili da verificare?
- Perché la corrente anodica cambia con la tensione anodica? Quando si annulla? Quando si satura?
- Qual è il significato del potenziale di arresto? Spiegare
- Perché la relazione tra frequenza e potenziale di arresto è lineare? Chi è il coefficiente angolare della retta? Cosa accade se si cambia il catodo?
- Descrivere l'effetto Compton e scrivere le equazioni che consentono di ricavarlo

5F PNI 28/10/2005 competenze (o.em., raggi X, fotoni)

Si tratta di esercizi molto semplici; l'unico vero problema è il numero 5. Farne (bene) il maggior numero).

1. Quanto vale la λ di De Broglie per un atomo di idrogeno alla temperatura equivalente $t = 140 \text{ }^\circ\text{C}$? N.B. si ricordi che $\langle \mathcal{E}_k \rangle = 3/2 k_B T$
2. Una particella, di carica $+e$, viene accelerata da una ddp $\Delta V = 5'030 \text{ V}$ e risulta avere una $\lambda = 4.04 \cdot 10^{-13} \text{ m}$. Di che particella si tratta?
3. Una lampada a vapori di mercurio alimentata a 130 V assorbe una corrente di 0.591 A e ha un rendimento di irraggiamento $\eta = 0.80$. Tra lo spettro si osserva una riga spettrale con $\lambda = 2.537 \text{ \AA}$ di intensità pari al 4% della energia elettromagnetica irradiata. Quanto fotoni al secondo del tipo corrispondente vengono emessi?
4. Il lavoro di estrazione del potassio K è pari a $\mathcal{L} = 2.0 \text{ eV}$. Se si illumina un catodo di potassio con una radiazione monocromatica di $\lambda = 2'800 \text{ \AA}$ quanto vale il potenziale di arresto?
5. Dei raggi X con $\lambda = 0.2 \text{ \AA}$ subiscono uno scattering Compton da parte di elettroni debolmente legati con $\phi = 90^\circ$. Determinare $\Delta\lambda$, la energia \mathcal{E}_e dell'elettrone diffuso e l'angolo θ formato con la direzione iniziale del fotone.

1	2	3	4	5	

5 F PNI simulazione di III prova 7 dicembre 2005

Scegliere due (e solo due) dei seguenti gruppi di quesiti e rispondere

1) Il diagramma qui a lato rappresenta gli esiti dell'esperimento di Franck ed Hertz.

a) Cosa contiene il tubo?

del mercurio allo stato di vapore

b) Nel tubo avvengono degli urti. Tra chi?

Tra gli elettroni catodici e gli atomi di mercurio

c) Di che tipo di urti si tratta (elastici o anelastici?)

Sono urti elastici finché l'energia degli elettroni catodici è inferiore alla energia di eccitazione del mercurio dopo di che diventano anelastici

d) Perché l'elettrodo B viene posto a un potenziale minore di A?

per fare in modo che gli elettroni che hanno subito l'urto anelastico non raggiungano l'anodo e dunque si abbia un brusco calo di corrente

e) Il vapore contenuto nel tubo viene ionizzato o eccitato? (spiega)

viene eccitato cioè l'energia dell'elettrone catodico viene ceduta all'atomo di mercurio che sposta il suo elettrone più esterno su un livello energetico più alto

f) A cosa sono dovuti gli sbalzi nella corrente i_B ?

al passaggio da urto elastico ad urto anelastico: l'elettrone perde bruscamente energia e non arriva più all'anodo

g) Perché il diagramma della corrente ha un andamento periodico e cosa si ottiene moltiplicando il ΔV tra due minimi per la carica unitaria?

Quando l'energia dell'elettrone catodico è un multiplo della differenza energetica tra i due livelli si hanno una o più eccitazioni di atomi successivi

h) Durante il funzionamento vengono emessi fotoni?

L'atomo eccitato ritorna allo stato fondamentale emettendo un fotone di energia $e\Delta V$ nella zona dell'ultravioletto (circa 4.9 eV)

i) Quando si esegue l'esperimento in modo raffinato si osserva che tra 4.9 e 9.8 V dove si ha un brusco calo, si ottiene anche un piccolo calo a 6.7 V e 8.8 V. Fai un'ipotesi che spieghi l'accaduto?

L'elettrone finisce sul terzo e quarto livello.

2) Gli esperimenti di Rutherford per capire la natura delle alfa

a) Le particelle alfa possono essere identificate come particelle materiali cariche positivamente solo dopo che:

si dispone delle prime sorgenti intense di radio e ciò consente di osservarne la deviazione in campo magnetico

b) Chi e quando scopre che le alfa sono emesse da tutte le sostanze radioattive? Cosa si scopre contemporaneamente?

Rutherford e Soddy nel 1903. Si scopre l'indipendenza da processi fisico chimici e l'elevata energia associata alla emissione

c) precisa natura e caratteristiche (energia, spettro, range) delle alfa

Sono nuclei di elio con spettro di energia monocromatico tra i 5 e gli 8 MeV hanno percorsi brevi (qualche cm in aria) e sono fortemente ionizzanti

d) Come arriva a dimostrare che le alfa sono nuclei di elio e che non si tratta di una contaminazione da elio preesistente?

Si osserva lo spettro dell'elio in un recipiente a pareti sottili inizialmente vuoto circondato da un altro contenente radon che produce particelle alfa in grado di diffondere nell'altro recipiente. Lo spettro non si osserva se il recipiente esterno viene riempito di elio invece che di radon.

e) Rutherford arriva a stabilire la legge del decadimento $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Scrivere la corrispondente legge in forma differenziale (da cui questa deriva) e precisare da cosa dipenda la costante di decadimento λ e quale sia il suo significato fisico.

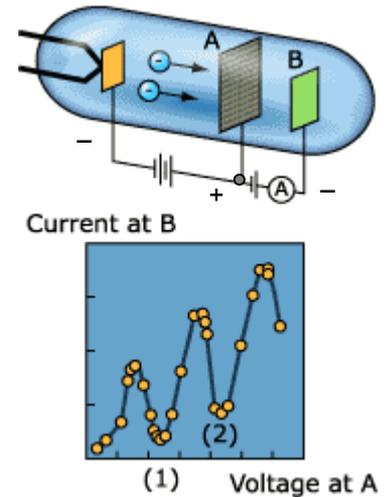
$\delta N = -\lambda N \delta t$; λ (costante di decadimento) è tipica del materiale e non dipende da altre grandezze fisico chimiche; si dimostra

attraverso un integrale che la vita media $\tau = \int_0^{\infty} -t \delta N = \dots = 1/\lambda$

f) Trascorso $t = 3\tau$ la attività radioattiva si riduce a ... (spiegare)

Poiché $A = A_0 e^{-t/\tau}$ ne segue che $A/A_0 = e^{-3} \approx 4.98 \cdot 10^{-2}$

3) Spettroscopia



a) Chi e quando scopre che le righe spettrali sono indipendenti dal legame chimico e tipiche degli elementi?

Kirchoff e Bunsen (spettroscopio e bruciatore a fiamma) negli anni 60 dell'800.

b) Quali sono i contributi di Ångström alla spettroscopia (due)

Accurata misura delle λ degli spettri di assorbimento della radiazione solare, misure dello spettro di righe dell'idrogeno

c) Nei lavori di Balmer sullo spettro dell'idrogeno compaiono le frazioni $9/5, 4/3, 25/21$ e $9/8$. Perché sono importanti?

Balmer osserva che le righe spettrali dell'idrogeno hanno delle λ proporzionali a quelle frazioni. Ma se si scrivono la II e la IV dopo aver moltiplicato per $4/4$ si ha:

$9/5, 16/12, 25/21$ e $36/32$ e cioè $3^2/(3^2 - 2^2), 4^2/(4^2 - 2^2), 5^2/(5^2 - 2^2), 6^2/(6^2 - 2^2)$ e dunque:

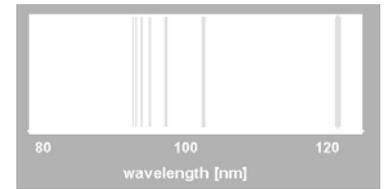
$$\lambda = \text{cost} \frac{m^2}{m^2 - 2^2} \text{ con } m = 3, 4, 5, 6$$

Balmer prevede l'esistenza della linea con $m = 7$ e che le linee si addensassero intorno al valore di tale costante.

d) Nella immagine qui a lato si osserva una delle serie spettrali dell'idrogeno. Come si fa a capire che si tratta di quella di Lyman.

Come la si scrive?

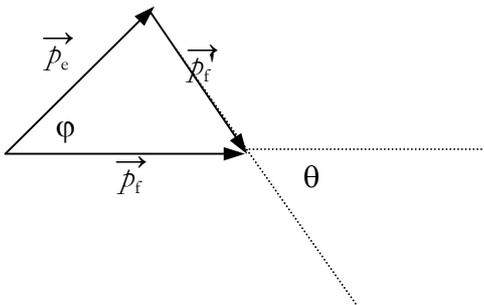
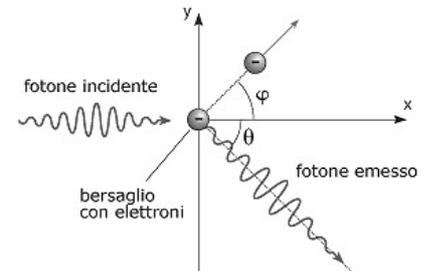
La serie tende ad addensarsi intorno ai 90 nm e poiché nella serie di Lyman si ha $n = 1$ il suo valore limite è $\lambda = 1/R \approx 1/(110'000) = 9 \cdot 10^{-6} \text{ cm} = 90 \text{ nm}$



e) Nella immagine qui a lato si osserva uno scattering Compton. Completare la figura con il diagramma vettoriale mancante e scrivere le equazioni che consentono di determinare (noti λ e θ): $\Delta\lambda, \mathcal{E}_e, \varphi$

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

$\mathcal{E}_e = h(\nu - \nu') + m_0 c^2$ con $\nu = c/\lambda, \cos \varphi$ con il teorema del coseno dopo aver trovato $p_f = h/\lambda, p'_f = h/\lambda'$ e p_e attraverso la relazione dell'invariante relativistico $\mathcal{E}_e^2 = \mathcal{E}_{e0}^2 + (p_e c)^2$



Nome e cognome: _____ 5 F PNI 20 febbraio 2006 Fisica nucleare tip. B

Scegliere 10 quesiti (ben distribuiti e possibilmente non troppo simili) e rispondere riportando in tabella il numero del quesito

- 1) Alla luce di quali considerazioni si può escludere la possibilità che il neutrone possa essere costituito da un protone e da un elettrone?
- 2) La scoperta del neutrone si origina da una precedente e paradossale scoperta (Bothe, Joliot). Di cosa si tratta?
- 3) Il contributo di Chadwick alla scoperta del neutrone (sintesi)
- 4) Qual è la funzione del neutrone nel nucleo?
- 5) Definizione di sezione d'urto e legge di attenuazione di un fascio monocromatico in un mezzo omogeneo
- 6) Condizioni energetiche per il verificarsi del decadimento α e parametri che lo influenzano
- 7) Differenza di reazione sperimentale tra decadimento β^+ e cattura K
- 8) Legame tra vita media τ e tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ (spiegare)
- 9) Quali condizioni si devono verificare per garantire l'*equilibrio secolare*. Da che relazione è caratterizzato?
- 10) Valore, limiti e fattori correttivi nell'uso della datazione con C_{14}
- 11) Il Boro in fisica del nucleo: due possibili applicazioni
- 12) A cosa serviva il primo reattore nucleare?
- 13) Moderatori di reazione e moderatori di neutroni
- 14) La cattura di risonanza
- 15) La massa critica
- 16) Pregi e difetti di un *fast breeder*
- 17) Cause fisiche nell'incidente di Chernobyl
- 18) Dalla attività radioattiva alla dose: parametri da considerare
- 19) Effetti tardivi sull'individuo irradiato

24/02/06 5f pni competenze fisica nucleare

Consegne: svolgere o il problema 1 o 3 dei rimanenti 4 esercizi.

- 1) Quando un nuclide A (padre) decade con costante di decadimento λ_A si ha $N_A = N_{0A} e^{-\lambda_A t}$. Se tale nuclide per effetto del decadimento ne genera un altro B (figlio) con costante λ_B e al tempo $t = 0$ si ha $N_B(0) = 0$, la legge che fornisce N_B nel tempo è data dalla relazione:

$$N_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \quad (1)$$

- a) Questa legge viene ricavata integrando due equazioni differenziali. La prima che riguarda il padre è $\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A$ che stabilisce la proporzionalità, per piccoli intervalli di tempo, tra numero di nuclei che decadono e popolazione. Sapresti scrivere la seconda che tiene conto del fatto che, mentre B decade, esso è continuamente rigenerato da A?

Alla solita legge del decadimento basta aggiungere il contributo (positivo) dei prodotti del decadimento di A. $\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B$

Nota di correzione: questa relazione vale anche per gli altri elementi della catena e porta ad un sistema di equazioni differenziali

- b) Cosa accade alla (1) se $\tau_A \gg \tau_B$? Scrivi la relazione semplificata, disegna il diagramma e precisa a cosa tende N_B una volta raggiunta la situazione di regime. Poiché la vita media è l'inverso della costante di decadimento da $\tau_A \gg \tau_B \Rightarrow \lambda_A \ll \lambda_B$ e dunque la (1) diventa $N_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t})$. Infatti $\lambda_A t \approx 0$ e dunque $e^{-\lambda_A t} \approx 1$

Si tratta di un esponenziale crescente che parte da 0 e presenta l'asintoto orizzontale $N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$

Nota di correzione: notevoli difficoltà nel trascurare correttamente

- c) Se $\tau_A > \tau_B$ si ha che N_B prima cresce e poi decresce e presenta un massimo per $t = \frac{\ln(\lambda_B/\lambda_A)}{\lambda_B - \lambda_A}$. Prova a dimostrarlo con le tue conoscenze di analisi.

Basta derivare la (1) rispetto al tempo e si ha $N'_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (-\lambda_A e^{-\lambda_A t} + \lambda_B e^{-\lambda_B t})$

Poiché da $\tau_A > \tau_B \Rightarrow \lambda_B > \lambda_A$ si ha $N'_B \geq 0 \Leftrightarrow -\lambda_A e^{-\lambda_A t} + \lambda_B e^{-\lambda_B t} \geq 0 \Leftrightarrow \lambda_B e^{-\lambda_B t} \geq \lambda_A e^{-\lambda_A t} \Leftrightarrow \frac{\lambda_B}{\lambda_A} \geq e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}$

$\Leftrightarrow t \leq \frac{\ln(\lambda_B/\lambda_A)}{\lambda_B - \lambda_A}$ e dunque si ha un massimo per $t = \frac{\ln(\lambda_B/\lambda_A)}{\lambda_B - \lambda_A}$

Nota di correzione: nel discutere il segno della derivata prestare attenzione alle eventuali costanti negative

- d) Sapresti spiegare fisicamente come mai $N_B(0) = N_B(\infty) = 0$? $N_B(0) = 0$ per ipotesi. Mentre $N_B(\infty) = 0$ perché il prodotto B decade e il prodotto A cessa di alimentarlo dopo che si è esaurito.

- e) Un segmento del decadimento di U_{238} avviene con il seguente schema in cui sono stati indicati i tempi di dimezzamento: $Th_{90}^{227} \xrightarrow{18.9 \text{ g}} Ra_{88}^{223} \xrightarrow{11.4 \text{ g}} Rn_{86}^{219}$. Supponiamo di avere ripulito chimicamente i prodotti di decadimento e di avere $n_A = 3$ moli di Th_{90}^{227} e $n_B = 0$ moli di Ra_{88}^{223} . Trova dopo quanto tempo si ha la massima concentrazione di Ra.

Come è noto $T_{1/2} = \tau \ln 2$ e poiché $\lambda = \frac{1}{\tau}$ si ha $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$. Inoltre $1 \text{ g} = 86'400 \text{ s}$. Possiamo trovare le due costanti di decadimento:

$$\lambda_A = \frac{\ln 2}{18.9 \cdot 86'400} = 4.24 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1} \text{ e analogamente } \lambda_B = 7.04 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Dunque } t = \frac{\ln(\lambda_B/\lambda_A)}{\lambda_B - \lambda_A} = 1.81 \cdot 10^6 \text{ s} = 21.0 \text{ g}$$

f) Quanto vale n_B massimo?

Bisogna sostituire i valori trovati nella (1) e si ottiene $n_B = 0.838$ moli

- 2) Determinare il raggio nucleare del Po_{84}^{210} e da esso dedurre in MeV l'altezza della barriera colombiana rispetto alla penetrazione nel nucleo di un protone. Sapendo che la massa atomica del polonio è $m = 209.98288$ amu determinare l'energia di legame per nucleone in MeV. Utilizzare per i calcoli le seguenti costanti sperimentali $R_0 = 1.4 \cdot 10^{-15}$ m, $m_n = 1.008668$ amu, $m_H = 1.007825$ amu, $1 \text{ amu} = 931.48$ MeV. Perché è stata fornita la massa di H_1 e non la massa del protone?

Dalla ipotesi della densità nucleare costante si ottiene $R_A = R_0 \sqrt[3]{A} = 1.4 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{210} = 8.32 \cdot 10^{-15}$ m

Per trovare l'altezza della barriera colombiana basta calcolare il valore di U in corrispondenza del valore di R trovato e tener conto che per ottenere gli eV bisogna dividere per la carica elementare; si ha così:

$$U = k \frac{Ze^2}{R_A e} = 8.99 \cdot 10^9 \frac{84 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}}{8.32 \cdot 10^{-15}} = 1.45 \cdot 10^7 \text{ eV} = 14.5 \text{ MeV}$$

Si eseguono i calcoli successivi operando sull'idrogeno perché ciò consente di non dover introdurre in entrambi i termini dell'equazione la massa degli elettroni. Si tenga presente che a causa del basso valore delle energie di legame coinvolte, il legame atomico non determina fenomeni significativi di difetto di massa.

$$\Delta \mathcal{E} = (84m_H + (210 - 84)m_n - m) \cdot 931.48 = 1.645 \cdot 10^3 \text{ MeV}$$

$$\frac{\Delta \mathcal{E}}{A} = 7.83 \text{ MeV/nucleone}$$

Nota di correzione: molte difficoltà a calcolare l'altezza della barriera; prestare attenzione alla utilità di calcolare direttamente il valore in eV. Nessuno ha risposto correttamente alla domanda sull'utilizzo della massa di H^1 al posto di quella del protone.

- 3) La fissione dell' U_{92}^{235} libera, in media, 200 MeV. Trovare l'energia liberata dalla fissione di 5.0 kg di U_{92}^{235} e determinare la massa di olio combustibile in grado di liberare la stessa energia. Il potere calorico dell'olio combustibile è $\Delta \varepsilon = 40.6$ MJ/kg.

Bisogna trovare il numero di nuclei compresi nella massa specificata e ciò richiede di determinare il numero di moli n_m

$$N = n_m \mathcal{N}_A = \frac{10^3 \text{ m}}{A} \mathcal{N}_A = 1.28 \cdot 10^{25} \text{ nuclei}$$

L'energia del legame nucleare liberata è $\Delta \mathcal{E} = N \cdot 200 = 2.56 \cdot 10^{27} \text{ MeV} = 4.11 \cdot 10^{14} \text{ J}$

A questa energia corrisponde una massa di olio combustibile pari a:

$$m_o = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta \varepsilon} = \frac{4.11 \cdot 10^{14}}{4.06 \cdot 10^7} = 1.01 \cdot 10^7 \text{ kg}$$

Nota di correzione: attenzione a simboli e unità di misura

- 4) Cosa si produce da Ra_{88}^{226} dopo 5 decadimenti α e 4 decadimenti β^- ? Il prodotto finale del decadimento dell' U_{92}^{238} è il Pb_{82}^{206} . Quanti decadimenti α e quanti decadimenti β^- avvengono nel corso della trasformazione?

Si ottiene l'elemento con $A = 226 - 4 \cdot 5 = 206$ e con $Z = 88 - 2 \cdot 5 + 4 = 82$. Si tratta del Pb_{82}^{206}

Nel caso del decadimento dell'uranio a piombo abbiamo che $\Delta A = 238 - 206 = 32$ e pertanto si hanno $32/4 = 8$ decadimenti α . Invece $\Delta Z = 92 - 82 = 10$ e poiché 8 decadimenti alfa abbassano di 16 si devono avere anche 6 decadimenti beta.

Nota di correzione: in questo esercizio si trattava di dimostrare una *decente* capacità di formalizzazione del processo

- 5) Determinare l'attenuazione di un fascio collimato di neutroni termici che attraversano uno strato di spessore $\Delta x = 8.0$ cm di acqua pesante D_2O sapendo che per i neutroni di quella energia la sezione d'urto del deuterio è $\sigma_D = 7.0$ barn e quella dell'ossigeno è 4.2 barn. La densità δ dell'acqua pesante vale 1.105 kg/dm³

Come è noto la attenuazione I/I_0 di un fascio di radiazioni ionizzanti avviene con legge esponenziale secondo la relazione $I/I_0 = e^{-n\sigma\Delta x}$ dobbiamo pertanto calcolare la sezione d'urto e la concentrazione molecolare dell'acqua pesante.

$$\sigma_{D2O} = 2\sigma_D + \sigma_O = 18.2 \text{ barn} = 18.2 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2. \text{ Il peso molecolare } A = 2 \cdot 2 + 16 = 20$$

$$\text{La concentrazione molecolare } n = \frac{N}{V} = \frac{n_m \mathcal{N}_A}{V} = \frac{n_m \mathcal{N}_A}{V} = \frac{m \cdot 10^3 \mathcal{N}_A}{A V} = \frac{\delta \cdot 10^3 \mathcal{N}_A}{A} = \frac{1.105 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{20} = 3.32 \cdot 10^{28} \text{ molecole/m}^3$$

Basta ora sostituire e si ottiene un rapporto di attenuazione pari a $8.0 \cdot 10^{-3}$.

Nota di correzione: poiché la sezione d'urto rappresenta la superficie utile alla interazione nel caso di una molecola si sommano i contributi e non si fa alcuna media ponderata.

Quando si parla di attenuazione si lavora sugli spessori (su grandezze finite e non infinitesime) e dunque bisogna usare la legge esponenziale e non la sua espressione differenziale che contiene spessori infinitesimi.

Proposte III prova esame giugno 2006

Principio di indeterminazione

Enuncia il principio di indeterminazione per una particella lungo una dimensione x precisando il valore della costante coinvolta. Indica con Δ le indeterminazioni e con \vec{p} la quantità di moto.

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi} \text{ dove } h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Come va inteso il \geq della relazione precedente; quando si usa = ?

Il prodotto delle indeterminazioni non può mai essere inferiore a $\frac{h}{2\pi}$ e tale valore si realizza in una misurazione ideale.

Cosa significa l'affermazione: "il determinismo di Laplace non era sbagliato nella conclusione, era sbagliato nella premessa"?

Secondo Laplace conoscendo le condizioni iniziali di un sistema fisico si può conoscerne attraverso la meccanica e la matematica il passato e il futuro. Ma alla luce del principio di indeterminazione le condizioni iniziali non sono determinabili con precisione piccola a piacere.

Quando si opera con elettroni è sempre obbligatorio tener conto del principio di indeterminazione?

Esemplificare

No: tutto dipende dal Δx a cui si vuol operare. In un atomo se si precisa l'orbita la quantità di moto diventa insensata, ma in un tubo a raggi catodici si riesce a precisare sia orbita sia quantità di moto in modo accettabile.

Atomo di Bohr

In cosa i postulati di Bohr sul modello di atomo di idrogeno sono in contrasto con la fisica classica? (stabilità e fotone)

Si ipotizza che esistano orbite in corrispondenza delle quali l'atomo è stazionario (l'elettrone non irradia)

Si ipotizza che quando l'elettrone passa ad un'orbita di energia inferiore venga emesso un fotone di energia $h\nu = \Delta \mathcal{E}$

Come si dimostra, a partire dalla II legge della dinamica $m v^2 = \frac{k Z e^2}{r}$, che le orbite stabili si hanno per $r = n^2 \frac{h^2}{k Z e^2 m}$

$$m v^2 r = k Z e^2 \Rightarrow (m v r)^2 = m r k Z e^2 \text{ ma } L = m v r = n \hbar \text{ e dunque } m r k Z e^2 = (n \hbar)^2 \Rightarrow r = n^2 \frac{\hbar^2}{k Z e^2 m}$$

Come si passa da $r \propto n^2$ a $\mathcal{E} \propto 1/n^2$? Trovare la relazione

$$\text{Osservando che } \mathcal{E} = \frac{1}{2} U \text{ e che } U = -\frac{k Z e^2}{r} \text{ pertanto } \mathcal{E} = -\frac{1}{2} \frac{k Z e^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{k Z e^2}{n^2 \frac{\hbar^2}{k Z e^2 m}} = -\frac{1}{n^2} \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2 \hbar^2}$$

Cosa c'entra tutto ciò con la serie spettrale di Balmer? Qual è il significato della costante di Rydberg?

La serie di Balmer (zona del visibile) corrisponde al salto di elettroni da $n \geq 3$ a $n = 2$ e pertanto $h\nu = \mathcal{E}_n - \mathcal{E}_2 =$

$$\frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2 \hbar^2} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ basta ora tener conto che } \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \text{ e si ottiene il risultato compreso il valore della costante di Rydberg: } \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{4 \pi c \hbar^3}$$

Gli esperimenti di Rutherford e della sua scuola

Negli esperimenti di Rutherford sullo *scattering* delle particelle alfa, le traiettorie sono delle iperboli; come mai?

Perché la energia del sistema è positiva (energia cinetica delle alfa provenienti dall'infinito) e si ha una interazione repulsiva di tipo coulombiano tra il nucleo di carica Ze e la particella alfa di carica $2e$

Su quali assunzioni si basa il modello di Rutherford?

Si ipotizza la esistenza di una carica nucleare pari alla metà del numero di massa, la concentrazione della stessa in una regione ristretta e la validità della interazione coulombiana anche a piccola distanza.

Dal modello di Rutherford si deduce la relazione $\frac{\delta N}{N} = \frac{1}{16} n \delta b^2 \frac{\delta \Omega}{\sin^4(\frac{1}{2}\phi)}$ su cui si basa l'esperimento di Geiger e

Marsden che lo verifica. Spiega il significato dei diversi termini $\frac{\delta N}{N}$, n , δ , b , $\delta \Omega$, ϕ nel contesto dell'esperimento.

$\frac{\delta N}{N}$ frazione di particelle alfa monocromatiche e collimate deflesse di ϕ sotto un angolo solido $\delta \Omega$ da parte di un bersaglio di spessore δ , concentrazione atomica n . L'energia cinetica \mathcal{E}_k delle particelle determina b distanza minima cui possono arrivare le particelle in caso di urto centrale calcolabile applicando la conservazione della energia $b = \frac{2k_e Z e^2}{\mathcal{E}_k}$

In cosa consistettero gli esperimenti di Moseley e che ipotesi consentirono di verificare?

La frequenza delle righe K_α nello spettro dei raggi X degli anticatodi metallici è proporzionale al quadrato del numero atomico e restò dunque confermato che l'ipotesi di Bohr e Rutherford secondo cui il nucleo ha carica Ze è corretta. Infatti in quel caso l'energia dei livelli risulta proporzionale a Z^2 e pertanto lo è anche la frequenza delle righe K_α che si generano quando un elettrone passa dallo stato L allo stato K.

Teoria cinetica e fisica molecolare: modello di Joule, Clausius, Maxwell del gas perfetto

Nel modello si suppone che le molecole non interagiscano a distanza e si trascurano gli effetti di urto reciproco. Su cosa si basano queste assunzioni?

Le molecole interagiscono elettricamente (dipoli) con forze che vanno come $1/r^7$ e sono dunque trascurabili tranne che nell'urto. Gli urti modificano direzione e velocità ma, per il principio del massimo disordine (isotropia) vengono ignorati.

Nel modello si suppone che la molecola urti elasticamente la parete e rimbalzi all'indietro senza cambiare *speed*. Ciò è lecito se $m \ll M$. Ma anche la parete è fatta di molecole. Come si risponde a questa obiezione?

In condizione di equilibrio in media non si hanno scambi di energia tra molecola e parete e dunque si può affermare che, in media, non cambi la *speed*.

Come mai la forza media esercitata dalle molecole sulla parete risulta proporzionale al quadrato della velocità?

Perché, in base al teorema dell'impulso $F_x \propto \frac{1}{\Delta t} \Delta p_x$ ed entrambi i fattori sono proporzionali a v_x

Come mai, in base al modello, era possibile stimare v_{qm} anche senza conoscere il numero di Avogadro?

$$\frac{1}{2} m v^2 = 3/2 k_B T \Leftrightarrow \frac{1}{2} m N v^2 = 3/2 N k_B T = 3/2 n_m \mathcal{N} k_B T$$

$$\text{Dunque } \frac{1}{2} M v^2 = 3/2 n_m R T$$

Modello standard e interazione forte

Cos'è un adrone e cosa distingue un barione da un mesone?

Un adrone è una particella costituita da quark e gluoni attraverso la interazione legata alla carica di colore. Tutti gli adroni sono neutri rispetto alla carica di colore e possono essere formati o da tre quark (barioni) con carica RGB o da un quark e un antiquark (mesoni) con carica colore anticolori

Qual è la funzione dei gluoni e come si esplica la loro azione?

I gluoni sono i mediatori della interazione forte; vengono scambiati tra i quark e la loro azione consiste nel cambiare colore ai quark. Se un quark red emette un gluoni antigreen red verso un quark green l'effetto è lo scambio di colore tra i due quark.

In cosa consiste il confinamento dovuto alla interazione forte e che implicazione se ne ha circa la osservabilità dei quark?

Se si tenta di separare dei quark in un barione o in un mesone (come accade nelle collisioni di alta energia) la interazione cresce con la distanza e raggiunta una distanza in grado di creare nuove coppie quark antiquark si generano getti di nuove particelle e antiparticelle e non si osserva mai il quark isolato.

Modello standard e interazione debole

Attraverso quale processo può cambiare il sapore di un quark?

Attraverso la emissione o l'assorbimento di una particella W

Quali sono gli schemi principali di decadimento delle particelle W^- ?

Si può produrre una coppia quark antiquark di carica diversa oppure una coppia leptone antineutrino

Chi è l'antiparticella della W^- ?

La W^+

Quali particelle fondamentali conosci che coincidono con la antiparticella?

Il fotone che media l'interazione elettromagnetica e la Z^0 .

Quanto vale la massa di una W e che implicazioni se ne hanno circa la osservabilità della W durante un decadimento beta?

E' di circa 80 GeV molto maggiore della differenza di massa tra protone e neutrone e dunque durante questo decadimento la particella W è virtuale (non osservabile)

Quanto vale la massa della Z^0 e come decade?

La massa è di 91 GeV e nel suo decadimento si producono o una coppia quark antiquark dello stesso sapore o una coppia leptone antileptone della stessa famiglia.

5F PNI 14 novembre 2007 raggi X e fotoni conoscenze

Rispondere, a seconda del numero di registro alle domande pari o a quelle dispari

1. Cosa significa sul piano della metodologia scientifica affermare che *le leggi fisiche hanno natura di scala*?
2. I raggi X fin dalla loro scoperta sono associati alla fluorescenza del vetro ma non sono un effetto di fluorescenza? Come lo si afferma?
3. Nei primi tubi a raggi X è indispensabile la presenza di un gas rarefatto. Come mai? Quali problemi pone tale presenza?
4. I contributi di Barkla in relazione ai raggi X
5. Spiega la componente continua nello spettro dei raggi X (a cosa è dovuta, da cosa è determinato il limite inferiore su λ ?).
6. Spiega lo spettro di righe dei raggi X (a cosa è dovuto? cosa sono K_α e K_β ? Perché K_α è più intensa di K_β ?).
7. Perché si dice che il corpo nero ha potere emissivo massimo?
8. Cos'è il potere assorbente di un dato corpo? Da cosa dipende?
9. Enunciato e genesi della legge di Stefan Boltzmann
10. Perché per una generica stella non si può ripetere il calcolo fatto sul testo per il Sole a proposito del calcolo di T?
11. Ti viene data una famiglia di curve con lo spettro di emissione del corpo nero a diverse temperature. Come stabilisci se in ascissa c'è λ o ν ?
12. Ti viene data una famiglia di curve con lo spettro di emissione del corpo nero a diverse temperature. Come stabilisci l'ordine delle temperature crescenti?
13. Per cosa viene usata e cosa dice la legge di Wien?
14. Come l'ipotesi di Planck evita la catastrofe ultravioletta?
15. I 4 fatti sperimentali dell'effetto fotoelettrico.
16. Le 4 difficoltà sperimentali connesse a misure quantitative dell'effetto fotoelettrico.
17. Cos'è il potenziale di arresto e perché è importante?
18. In cosa differiscono gli $h\nu$ di Planck da quelli di Einstein?
19. Nella sua memoria sull'effetto fotoelettrico Einstein propone un esperimento per misurare h/e . Come?
20. Perché il diagramma $\Delta V_a = f(\nu)$ è una retta? Ha senso fisico la intersezione con l'asse delle ordinate?
21. Cosa dimostra l'effetto Compton?
22. Fai uno schema e scrivi le relazioni sullo scattering di elettroni liberi da parte di fotoni che consentono di determinare la relazione di Compton.
23. Scrivi la relazione di Compton e commentala.
24. Come si arriva ad ipotizzare che per un fotone $p = h/\lambda$. Cos'è la massa equivalente del fotone?

5F PNI 16 novembre 2007 raggi X e fotoni competenze tip. C

1. Determinare l'energia, la quantità di moto e la massa di un fotone di lunghezza d'onda pari 0.016 \AA
Motivare le relazioni che si usano.

$$\mathcal{E} = 1.24 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad p = 4.14 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s} \quad m = 1.38 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Per non peggiorare la precisione delle determinazioni numeriche le costanti universali vanno espresse con il Massimo numero di cifre significative note.

Ricordo che $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ (dimensione atomica tipica).

2. Determinare la frequenza della radiazione in grado di estrarre elettroni da un metallo con un potenziale di arresto di 3 V sapendo che l'effetto fotoelettrico ha inizio con una frequenza di $6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Determinare anche il lavoro di estrazione.

La frequenza di soglia fornisce il lavoro di estrazione $\mathcal{L}_{es} = h \nu_s$ e d'altra parte il potenziale di arresto misura la energia cinetica eccedente dei fotoelettroni; pertanto:

$$\Delta V_a e = h\nu - h\nu_s$$

3. Determinare la costante di Planck sapendo che i fotoelettroni emessi dalla radiazione di $2.2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ hanno un potenziale di arresto di 6.6 V mentre quelli emessi dalla radiazione di $4.6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ hanno un potenziale di arresto di 16.5 V .

$\Delta V_a e = h\nu - \mathcal{L}_{es}$ e se si opera a due frequenze con lo stesso catodo si può eliminare il lavoro di estrazione (costante) ottenendo

$$(\Delta V_{a2} - \Delta V_{a1}) e = h(\nu_2 - \nu_1)$$

4. Raggi X di lunghezza d'onda $\lambda_0 = 0.2 \text{ \AA}$ subiscono uno scattering Compton a 90° . Determinare il cambiamento di lunghezza d'onda, l'energia dell'elettrone di rinculo, la quantità di moto dell'elettrone di rinculo, l'angolo dell'elettrone di rinculo.

Se l'angolo di scattering è di 90° la variazione di lunghezza d'onda è data dalla lunghezza Compton $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} = 2.426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Dunque $\lambda' = \Delta\lambda + \lambda = 2.24 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ mentre l'energia del fotone incidente è $\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} = 9.93 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

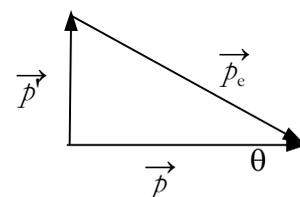
e quella del fotone diffuso risulta $\mathcal{E}' = \frac{hc}{\lambda'} = 8.87 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

L'energia dell'elettrone diffuso è $\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_0 + (\mathcal{E}' - \mathcal{E}) = 8.29 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 518 \text{ keV}$

I tre vettori quantità di moto determinano un triangolo rettangolo e dunque $p_e^2 = p^2 + p'^2$ da cui

si ottiene $p = \frac{h}{\lambda} = 3.31 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$ $p' = 2.96 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$ $p_e = 4.44 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$ e $\theta =$

41.8°



5. La superficie del Sole può essere assimilata ad un corpo nero con un massimo di emissione a $\lambda = 0.55 \text{ \mu m}$. Determinare a) La temperatura superficiale del Sole b) l'energia emessa dal Sole c) la massa perduta dal Sole nell'unità di tempo d) il tempo τ necessario per avere, a parità di condizioni una diminuzione di massa dell'1%. Raggio solare $6.95 \cdot 10^8 \text{ m}$, massa solare $1.97 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ in unità SI}$, $b = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ in unità del SI}$.

Dalla legge di Wien $T = 5.27 \cdot 10^3 \text{ K}$ mentre $\varepsilon_T = 4.37 \cdot 10^7 \text{ w/m}^2$ dalla legge di Boltzmann

La potenza del sole è dunque $P = 2.65 \cdot 10^{26} \text{ w}$.

Tenuto conto della relazione einsteiniana si ha $\Delta m / \Delta t = \frac{P}{c^2} = 2.95 \cdot 10^9 \text{ kg/s}$

Se deve essere $\Delta m = 0.01 m_s$ si ha $\Delta m / \tau = 2.95 \cdot 10^9 \text{ kg/s}$ da cui $\tau = 6.68 \cdot 10^{18} \text{ s} = 2.12 \cdot 10^{11} \text{ anni}$

12 gennaio 2008 5F PNI modelli atomici – conoscenza

Consegne: rispondere a 8 domande la prime 13 e a 3 tra a) ...e)

1. Cosa sono i corpuscoli di cui parla JJ Thomson nel suo modello? Come li definisce?
2. Cosa pensa Perrin del legame tra periodi di rotazione dei corpuscoli e spettri di emissione di righe?
3. Perché tale ipotesi non è fondata alla luce della elaborazione successiva?
4. Contrariamente a quanto affermato su molti testi scolastici il modello di Thomson non è statico ma dinamico (pur nella diversità da quello di Rutherford). Come mai nessuno prende in esame modelli statici?
5. Nei primi anni del 900 come si arriva ad affermare che le particelle alfa emesse dalle diverse sostanze sono monocromatiche?
6. Nei primi anni del 900 nell'ambito del gruppo Rutherford si riuscì a stabilire che (in opportune unità) mentre q/m per lo ione idrogeno era circa 10^4 , il q/m per le α era circa la metà. Perché si giudicò poco probabile che potesse trattarsi di molecole di idrogeno ionizzate?
7. La dimostrazione che le particelle α trasportano una doppia carica elementare comporta una doppia misura. Di quali misure si tratta?
8. In cosa consiste l'esperimento decisivo che permette di affermare che le α sono atomi di elio doppiamente ionizzato? Come si arriva ad escludere che si tratti di elio emesso insieme alle α ?
9. In base a quali considerazioni Rutherford pensa che all'interno della materia debbano esistere campi elettrici molto intensi?
10. Qual è la prima reazione di transmutazione artificiale nucleare e perché è importante?
11. Perché Bohr venuto a conoscenza della scoperta della esistenza di granuli di magnetismo pensa che ciò deponga a favore di una quantizzazione del momento angolare?
12. Come avviene la quantizzazione delle orbite nell'approccio alla De Broglie?
13. Cosa rappresentano fisicamente, dopo l'introduzione dello spin, i 4 numeri quantici

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.		

- a) Perché in un elettrone orbitante intorno ad un nucleo di carica Ze si ha $\mathcal{E}_k = -\frac{1}{2} U$?
- b) Se il momento angolare nel caso di orbita circolare uniforme vale $L = m v r$ come si arriva a dimostrare che $L = \frac{k Z e^2}{v}$?
- c) Se si ammette la quantizzazione del momento angolare secondo la relazione $L = n \hbar$ e si è dimostrato che per l'elettrone orbitante nel campo coulombiano $L = \frac{k Z e^2}{v}$ come si arriva alla quantizzazione dell'energia?
- d) Data la relazione (valida per atomi idrogenoidi) $\mathcal{E}_n = -\frac{1}{n^2} \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2 \hbar^2}$ come si arriva alle serie di righe spettrali e a cosa corrisponde la costante di Rydberg?
- e) Se $\mathcal{E}_n = -\frac{1}{n^2} \frac{(k Z e^2)^2 m_e}{2 \hbar^2}$ come si trova r_n ?

a)	b)	c)	d)	e)		

6 marzo 2008 5F PNI: fisica del nucleo: conoscenze

- 1) In base al principio di indeterminazione si può escludere che nel nucleo atomico (dimensione tipica 10^{-14} m) possano esistere degli elettroni. Come mai?

Se esistessero degli elettroni all'interno del nucleo si avrebbe una indeterminazione $\Delta p \approx \hbar/\Delta x$ e tenuto conto che Δx dovrebbe avere le dimensioni della dimensione nucleare si avrebbe $\Delta p \approx 10^{-34}/10^{-15} = 10^{-19}$ kg m/s. Assumendo che la corrispondente quantità di moto debba avere lo stesso ordine di grandezza si avrebbe una energia cinetica $\mathcal{E}_k = p^2/2m \approx 10^{-38}/10^{-30} = 10^{-8}$ J = 10^{11} eV = 10^5 MeV valore molto maggiore della energia di riposo (e dunque siamo in ambito ultrarelativistico) e molto maggiore delle energie emesse dai nuclei durante il decadimento beta.

- 2) Nei primi anni 30 del novecento le sorgenti radioattive usate per bombardare i materiali di basso numero atomico erano costituite da Po_{84}^{214} . Come mai tra tanti α emettitori si usava proprio il polonio?

Perché essendo il polonio l'ultimo elemento del decadimento dell'uranio produceva un isotopo stabile del Piombo e dunque la sorgente riusciva particolarmente pulita per l'assenza di discendenti radioattivi. Le uniche α erano quelle del Polonio.

- 3) Bombardando Be con le α e interponendo sul cammino verso il rivelatore della paraffina si ha emissione di protoni da circa 4.5 MeV. In base a quale ragionamento si può escludere che essi siano il risultato di un rinculo Compton?

Si pensava che i protoni potessero essere il risultato di uno scattering Compton tra dei fotoni di altissima energia emessi dal Berillio e l'idrogeno della paraffina. Ma poiché era misurabile la energia dei protoni si poteva risalire ad un limite inferiore nella energia dei γ tramite la relazione di Compton e ne risultava una energia molto maggiore di quella delle α . I protoni sono in realtà effetto dell'urto elastico di neutroni.

- 4) Nel suo articolo sulla *possibile esistenza del neutrone* Chadwick propone un valore della massa del neutrone intorno a $1.15 m_p$ con un errore sperimentale intorno al 10%. Vengono usate le relazioni dell'urto elastico secondo il bersaglio in quiete di massa m' colpito da x con velocità v si muove con velocità $v' = \frac{2x}{x+m'} v$. Da questa relazione come si può trovare x/m_p ?

Si eseguono due determinazioni in atmosfera gassosa diversa e si misura v' tramite il potere di ionizzazione. Facendo il rapporto si ottiene una relazione che non contiene più v (velocità dei neutroni) e che consente (noti i due valori di m') di determinare il rapporto tra x e la massa del protone.

- 5) Come mai, al crescere di Z , il numero di neutroni $A - Z$ che è inizialmente pari a Z tende a crescere più rapidamente di Z ?

Perché la repulsione coulombiana decresce solo come $1/r^2$ mentre l'interazione nucleare decresce più rapidamente e tende ad essere trascurabile tra nucleoni lontani. Dunque, man mano che cresce Z deve crescere più rapidamente A per garantire un forte effetto attrattivo tra nucleoni contigui.

- 6) Perché, con riferimento alle particelle nucleari, è meglio parlare di *dimensione tipica* invece che di *raggio* e perché tale dimensione ha un margine di oscillazione ampio (tra il 20 e il 30%)?

I confini non esistono; si tratta di campi che decrescono; inoltre si hanno effetti di interazione diversa a seconda del tipo di particelle incidenti e dunque si opta per un valore medio affetto da forte variabilità.

- 7) Per quanto riguarda la dimensione tipica r di un nucleo vale la relazione approssimativa $r \approx r_p \sqrt[3]{A}$. Su quale ipotesi si basa questa legge?

Si basa sulla ipotesi che i nucleoni siano praticamente a contatto o, il che è lo stesso, che la materia nucleare abbia densità costante. Infatti da $V \propto A$ segue $r \propto \sqrt[3]{A}$

- 8) Illustrare la legge $-\frac{\delta N}{N} = \frac{\sigma n S \delta x}{S} = \sigma n \delta x$ chiarendo il significato dei simboli coinvolti.

Si consideri un fascio monocromatico di N particelle che attraversano una sezione ortogonale S di spessore δx di materiale di densità nucleare n (nuclei per unità di volume). Indicato con $-\delta N$ il numero di particelle che si arrestano nel volume $S \delta x$ si può pensare che tale numero sia proporzionale a N , al numero di nuclei $n S \delta x$, e ad un fattore di efficacia (una sorta di superficie utile di impatto) σ/S . Si ottiene che la attenuazione relativa è proporzionale allo spessore, alla densità nucleare e alla sezione d'urto.

- 9) Da questa legge che riguarda la attenuazione di un fascio di particelle monocromatiche ed isotrope da parte della materia $\frac{\delta N}{N} = -\sigma n \delta x$, a cosa si arriva? Cos'è lo strato emivalente e in che relazione si trova con la sezione d'urto?

Si dimostra che la attenuazione avviene con andamento esponenziale decrescente; si può definire una sorta di profondità media $\bar{x} = 1 / (\sigma n)$ e uno strato emivalente (spessore che riduce a metà il fascio) pari a $\ln 2 \bar{x}$

10) Perché è sbagliato parlare di sezione d'urto pensando proprio ad una superficie in senso geometrico? Qual è l'unità di misura?

Perché la sezione d'urto, anche se la immaginiamo come una superficie efficace varia, oltre che al variare del materiale, al variare della energia delle particelle incidenti e del tipo di interazione che si realizza

11) Come è possibile conoscere l'energia di legame per nucleone?

Basta misurare la massa del nucleo con lo spettrografo di massa e confrontarla con la massa dei nucleoni componenti. Si trova un valore più basso (difetto di massa) che trasformato in energia ($\Delta m c^2$) fornisce la energia del legame cioè l'energia che si è liberata all'atto della formazione del nucleo.

12) Come si può stimare la dimensione tipica della buca di potenziale del nucleo?

Si tratta di utilizzare l'energia potenziale positiva della interazione elettrostatica (proporzionale al prodotto delle cariche e inversamente proporzionale alla distanza) trascurando l'azione attrattiva della forza nucleare. Si forma una doppia parete a iperbole con una buca dovuta alla interazione nucleare (negativa perché attrattiva). Nel caso delle α si ipotizza che la α in formazione si trovi al limite della dimensione nucleare e che ci sia una interazione elettrostatica tra $2e$ e $(Z - 2)e$. Si trovano così valori piuttosto alti tra i 20 e i 30 MeV. Nella buca i nucleoni si trovano ad energie positive o negative ma comunque minori della barriera coulombiana.

13) Come si spiega il decadimento α (perché la particella esce anche se la sua energia è molto minore della profondità della buca; cosa influenza la probabilità del decadimento?)

Si veda risposta precedente; la particella α , se è dotata di energia positiva può attraversare la barriera per effetto tunnel e va allora all'infinito con energia cinetica pari a quella che aveva. La probabilità dell'effetto tunnel è data da ψ^2 all'esterno e poiché ψ viene attenuata dalla parete con andamento esponenziale viene a dipendere fortemente dallo spessore della parete che, fissato il nucleo, dipende dalla energia della particella. Ecco allora che dove il processo è probabile la α ha energie elevate e viceversa.

14) Scrivi l'equazione del decadimento β^- ; cosa ha di caratteristico nello spettro?

$X_Z^A \rightarrow X_{Z+1}^A + \beta^-$ La energia dei β è misurabile tramite il potere di ionizzazione e risulta variabile da quasi 0 a un valore massimo tipico di ogni decadimento. Dal tentativo di spiegare questa energia fluttuante si avanza l'ipotesi del neutrino.

15) Come si giunse ad escludere che l'energia mancante nello spettro dei beta non fosse semplicemente energia di rinculo del nucleo emettitore?

Usando dei metodi calorimetrici con cui si riusciva a stimare sia l'energia dei β sia quella dei nuclei di rinculo. La stima della energia di rinculo consentì tra l'altro di delimitare lo spettro di massa del neutrino e di affermare che questa particella interagiva molto debolmente con la materia.

16) Quali ipotesi si fanno sul neutrino dopo la sua postulazione?

Massa piccola per spiegare la distribuzione delle energie di rinculo dei beta e del nucleo; bassa o nulla interazione nucleare; spin semi-intero per la conservazione del momento angolare (a compensazione di quello dell'elettrone)

17) Il decadimento β^+ e la cattura K differiscono sperimentalmente su un punto: quale?

Nel β^+ l'antielettrone dopo poca strada si annichila con un elettrone e si generano due raggi γ

Nella cattura K si ha un successivo riassetto degli elettroni verso lo strato K e la emissione di un raggio X monocromatico caratteristico del materiale.

18) Come mai il legame chimico e le condizioni fisiche (pressione, temperatura, ...) non influenzano il decadimento radioattivo?

Perché le energie unitarie in gioco sono molto più basse delle energie nucleari che sono tipicamente tra 1 e 10 MeV per nucleone (si va da qualche eV nel legame chimico a decimi e centesimi per gli effetti fisici di pressione temperatura)

19) Chi ci autorizza a chiamare vita media l'inverso della costante di decadimento?

La vita media è la media ponderata delle vite di tutti i nuclei e dunque:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{+\infty} t(-dN) \text{ e tenendo conto della legge esponenziale del decadimento } (-dn) = \lambda N dt = \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt \text{ dopo aver integrato per parti}$$

si ottiene $1/\lambda$

20) L'equilibrio secolare di una famiglia radioattiva.

Una famiglia si dice in equilibrio secolare quando un nucleo qualsiasi decade in egual misura di quanto si forma dal nucleo padre. Affinché una famiglia possa andare in equilibrio bisogna che esista un capostipite con una vita media molto maggiore di quella di tutti i discendenti (si ipotizza che il capostipite non si consumi). In equilibrio le attività radioattive sono tutte uguali e dunque $N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 = \dots$

21) Cos'è il Curie e perché corrisponde a $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq ?

E' l'attività di 1 g di Radio. Se è noto il numero di massa si trovano le moli e dunque il numero di nuclei N moltiplicando per il numero di Avogadro. Poiché l'attività è pari a λN dalla conoscenza del tempo di dimezzamento del radio si arriva al valore fornito.

22) Se il decadimento β^+ è caratterizzato da incremento di massa come mai può avvenire spontaneamente?

L'energia di massa mancante è fornita dai riassetamenti della interazione nucleare. IN effetti un protone isolato non può convertirsi in un neutrone.

23) Perché il decadimento α avviene solo nei nuclei pesanti?

Perché solo nei nuclei pesanti l'incremento di energia per nucleone che si ha nella curva del difetto di massa spostandosi verso sinistra di 4 unità produce l'energia sufficiente per il legame della particella α e per la sua energia cinetica.

24) Cos'è questa relazione $A(\epsilon_{A-4} - \epsilon_A) \geq 4(\epsilon_{A-4} - \epsilon_\alpha)$ e da dove salta fuori?

E' la disequazione che consente di trovare il valore minimo di A per il quale è energeticamente possibile il decadimento α e risolvendola si trova $A \geq 160$. La disequazione proposta è la rielaborazione di quella che fornisce il bilancio energetico e cioè:

$$(A - 4)\epsilon_{A-4} + 4\epsilon_\alpha \geq A \epsilon_A$$

6 marzo 2008 5F PNI: fisica del nucleo: competenze

- 1) Data una certa quantità N_0 di atomi di materiale radioattivo si vuol sapere quanti di essi $|\Delta N|$ decadono in un determinato tempo t .

a) Scrivere la relazione generale che consente di rispondere alla domanda indicando con $T_{1/2}$ il tempo di dimezzamento.

b) Quando tale relazione può essere approssimata con $|\Delta N| = N_0 \ln 2 t / T_{1/2}$?

c) Eseguire il calcolo nel caso di un milione di atomi di Radon o di Polonio in 24 ore.

$$|\Delta N| = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \text{ con } T_{1/2} = \ln 2 \tau \text{ e } \tau = 1/\lambda$$

Basta ricordare lo sviluppo di e^z o il limite notevole $e^z = 1 + z + o(z)$ e dunque $|\Delta N| = N_0 [1 - (1 - \lambda t + o(\lambda t))] \approx N_0 \lambda t = N_0 \ln 2 t / T_{1/2}$ quando λt è trascurabile ovvero quando il tempo considerato è molto più piccolo della vita media.

Nel caso del radon 1 giorno è comparabile con la vita media e dunque bisogna usare la relazione esatta mentre nel caso del radio è vero il contrario.

$$\text{Dunque } |\Delta N|_{\text{Rn}} = N_0 \ln 2 t / T_{1/2} = 10^6 \ln 2 \frac{1}{3.82} = 0.181 \cdot 10^6$$

$$|\Delta N|_{\text{Ra}} = N_0 [1 - \exp(-\ln 2 t / T_{1/2})] = 10^6 [1 - \exp(-\ln 2 / (1590 \cdot 365))] = 0.999998806 \cdot 10^6$$

- 2) Quanto tempo occorre perché la attività radioattiva del Radon si riduca al 75% del valore iniziale?

La attività radioattiva varia con la stessa legge esponenziale del decadimento; $A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 \exp(-\ln 2 t / T_{1/2}) = A_0 \exp(-\ln 2 t / T_{1/2})$ e dunque si tratta di risolvere l'equazione esponenziale $0.75 = \exp(-\ln 2 t / 3.82)$ dove t è espresso in giorni.

$t = -\ln 0.75 / \ln 2 \cdot 3.82 = 1.585$ giorni

- 3) Il radio, per decadimento α , produce radon. Quanto vale il rapporto $N_{\text{Ra}} / N_{\text{Rn}}$ quando il sistema è in equilibrio? Se si elimina il radio in quanto tempo la attività radioattiva del radon si riduce al 90%?

In condizione di equilibrio l'attività radioattiva è la stessa e dunque $N_{\text{Ra}} \lambda_{\text{Ra}} = N_{\text{Rn}} \lambda_{\text{Rn}}$ da cui $N_{\text{Ra}} / N_{\text{Rn}} = \lambda_{\text{Rn}} / \lambda_{\text{Ra}} = T_{1/2\text{Ra}} / T_{1/2\text{Rn}} =$

$$\frac{1590 \cdot 365}{3.82} = 1.52 \cdot 10^5$$

Se si elimina il radio il radon decade con legge esponenziale (vedi problema precedente) e dunque $t = -\ln 0.90 / \ln 2 \cdot 3.82 = 0.279$ giorni

- 4) Durante il decadimento il radio emette particelle α di energia $\mathcal{E} = 4.78$ MeV. Determinare la velocità v di tali particelle. Quando la particella α viene emessa il nucleo di Radon che si forma rincula. Tenuto conto del fatto che il sistema è inizialmente in quiete sapresti trovare l'energia totale \mathcal{E}' che si libera durante il decadimento?

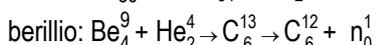
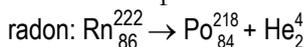
Le particelle α sono non relativistiche e dunque $\mathcal{E}_k = \frac{1}{2} m v^2$ da cui $v = \sqrt{\frac{2 \mathcal{E}_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4.78 \cdot 1.602 \cdot 10^{-13}}{4.00388 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}}} = 1.52 \cdot 10^7$ m/s

Durante il rinculo le due particelle (α e nucleo di Radon) ricevono la stessa quantità di moto ma l'energia cinetica, a parità di quantità di moto è inversamente proporzionale alla massa e dunque:

$$\mathcal{E}_{k\text{Rn}} = \mathcal{E}_{k\alpha} \frac{m_\alpha}{m_{\text{Rn}}} = \mathcal{E}_{k\alpha} \frac{4}{222} = 0.018 \mathcal{E}_{k\alpha}$$

$$\mathcal{E}' = 1.018 \mathcal{E}_{k\alpha}$$

- 5) Una provetta contenente polvere di ${}^9_4\text{Be}$ e del Radon gassoso viene utilizzata come sorgente di neutroni che vengono prodotti quando il berillio viene colpito dalle α prodotte dal Radon. a) Scrivere la reazione nucleare sia per il radon sia per il berillio. b) sapendo che il rendimento della reazione è solo di 1/4000 dimostrare che la quantità di Radon inizialmente messo nella provetta è di 2.1 μg sapendo che dopo 5 giorni di attività la attività di produzione neutronica è di $1.2 \cdot 10^6$ Bq.



Indichiamo con A' l'attività neutronica; dato il rendimento la attività A'' del radon è 4'000 volte più grande $A'' = 4.8 \cdot 10^9$ Bq la attività iniziale A è ottenibile dalla legge del decadimento

$$A''/A = \exp(-\ln 2 t / T_{1/2}) = \exp(-\ln 2 \cdot 5 / 3.82) = 0.4036 \text{ e dunque } A = 1.189 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Ma l'attività si lega al numero di nuclei dalla relazione $A = \lambda N$ e a sua volta $N = n \mathcal{M}_A = \frac{m_g}{\mu} \mathcal{M}_A$ e dunque:

$$m_g = \frac{\mu N}{\mathcal{N}_A} = \frac{\mu A}{\lambda \mathcal{N}_A} = \frac{\mu A T_{1/2}}{\ln 2 \mathcal{N}_A} = \frac{222 \cdot 1.189 \cdot 10^{10} \cdot 3.82 \cdot 3600 \cdot 24}{\ln 2 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}} = 2.09 \cdot 10^{-6} \text{ g}$$

masses of some isotopes (amu)

isotope	Mass	Isotope	Mass	Isotope	Mass
1H1	1.008 14	4Be9	9.01505	14Si30	29.98325
1H2	2.01474	5B10	10.01612	20Ca40	39.97542
1H3	3.01700	6C12	12.00380	27C056	55.95769
2He3	3.01699	7N13	13.00987	29Cu63	62.94962
2He4	4.00388	7N14	14.00752	48Cd113	112.94206
3Li6	6.01703	8O17	17.00453	80Hg200	200.02800
3Li7	7.01823	12Mg23	23.00145	92U235	235.1175
4Be7	7.01916	12Mg24	23.99267	92U238	238.1237
4Be8	8.00785	13Al27	26.99010		

HALF-LIVES OF SOME RADIOACTIVE ELEMENTS

20Ca45	164 days
38Sr90	28 years
84Po210	138 days
86Rn222	3.82 days
88Ra226	1'590 years
92U238	$7.1 \cdot 10^8$ years
92U238	$4.5 \cdot 10^9$ years

18 aprile 2008 simulazione di III prova

- 1) La formulazione assiomatica della Meccanica Quantistica ha un proprio formalismo matematico in base al quale si indica con $|v\rangle$ un vettore dello spazio di Hilbert \mathcal{H} .
- a) Noto $|v\rangle$ cos'è $\langle v|$? (1)

è un vettore le cui componenti sono i complessi coniugati delle componenti di $|v\rangle$

- b) Perché la MQ usa solo operatori hermitiani? (1)

perché gli autovalori sono sempre reali e gli autovettori sono una base ortonormale dello spazio

- c) Sia B un operatore hermitiano e siano λ e $|v\rangle$ due generici autovalori e autovettori. Qual è il significato fisico dell'insieme $\{\lambda\}$? (1)

rappresenta l'insieme di tutti e soli i valori ottenibili da una misura della osservabile associata all'operatore B

- d) Qual è il significato dell'insieme $\{|v\rangle\}$? (cioè a cosa servono gli autovettori) (2)

E' una base dello spazio e dunque qualunque vettore di \mathcal{H} compreso il vettore di stato $|\psi\rangle$ può essere scritto come combinazione

lineare degli autovettori $|\psi\rangle = \sum_{i=1}^{\infty} a_i |v_i\rangle$

- e) Se $|\psi\rangle = \sum_{i=1}^{\infty} a_i |v_i\rangle$ come si trovano gli a_i e qual è il loro significato? (2)

Basta fare il prodotto scalare $\langle v_i | \psi \rangle = a_i$ perché tutti gli altri prodotti sono nulli per la ortogonalità degli autovettori. Inoltre $|a_i|^2$ rappresenta la probabilità di ottenere il risultato λ_i .

- f) Cos'è il collasso del vettore di stato e perché esso comporta una asimmetria temporale tra passato e futuro? (3-4)

Quando si effettua una misura (operatore B) si ottiene come risultato uno particolare degli autovalori (con la probabilità di cui si è detto). Il vettore $|\psi\rangle$ collassa assumendo il corrispondente autovettore $|v_i\rangle$. Lo stato cambia repentinamente senza possibilità di inversione e da lì in poi inizia una nuova storia determinata dalla equazione di Schrodinger

2) Elettrodinamica quantistica e fotoni virtuali

a) Secondo l'elettrodinamica quantistica il campo di un elettrone altro non è che l'effetto a varie distanze della presenza di fotoni virtuali emessi dall'elettrone e che possono essere assorbiti da altre particelle. Sapresti spiegare come mai a piccola distanza il campo è intenso mentre a grande distanza decresce progressivamente? Ragiona sul principio di indeterminazione e sulla energia dei fotoni. (5)

b) sapresti spiegare come mai i mediatori della interazione debole hanno masse intorno ai 100 GeV? (3)

a) Nello spazio circostante nascono continuamente fotoni virtuale nel rispetto del principio di indeterminazione: ovvero il prodotto della energia del fotone $\Delta \mathcal{E}$ per la vita media del fotone Δt è sempre minore di \hbar .

I fotoni si possono allontanare dall'elettrone per un raggio d'azione $R = c\Delta t \approx c \frac{\hbar}{\Delta \mathcal{E}} \approx \frac{c}{v}$. Dunque a piccola distanza possono

essere presenti fotoni di grande frequenza (cioè di grande energia) mentre man mano che ci si allontana si trovano fotoni via via più molli e dunque si ha un campo via via più debole.

b) l'interazione debole ha un raggio d'azione molto piccolo (si dice che è quasi puntiforme). Per quanto visto prima, posto $R < 10^{-18}$

m si arriva a $\Delta \mathcal{E} \approx c \frac{\hbar}{R}$ da cui $\Delta \mathcal{E} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{10^{-34}}{10^{-18}} \approx 10^{-8} \text{ J} \approx 10^{11} \text{ eV}$

5F PNI maggio 2008 conoscenza e comprensione (tema 2 e tema 3 del programma)

- Un materiale diamagnetico e uno paramagnetico con riferimento al campo B hanno in comune un elemento e differiscono per due elementi. Quali?
- Il paramagnetismo e il diamagnetismo a cosa corrispondono su scala microscopica?
- In presenza di un gradiente di campo magnetico un oggetto dotato di momento magnetico fa due cose; quali?
- Il magnetone di Bohr rappresenta il granulo di magnetismo e vale $\frac{e\hbar}{2m_e}$. Da dove salta fuori? Perché è il granulo?
- La prova sperimentale del legame tra \vec{p}_m e \vec{L} è del 1915 (esperimento di de Haas su indicazione di Einstein). In cosa consiste l'esperimento?
- Lo spin è stato introdotto per dare conto di una anomalia sperimentale. Quale?
- Spiegare perché un campo magnetico esterno è in grado di influenzare \vec{p}_m su scala atomica
- Perché in un atomo sottoposto a un campo magnetico aumenta il \vec{p}_m antiparallelo e diminuisce quello parallelo?
- Nella teoria di Maxwell cosa rappresenta la corrente di spostamento $i_s = \epsilon \frac{\delta\Phi(\vec{E})}{\delta t}$
- Come mai l'indice di rifrazione di un mezzo vale $n = \sqrt{\epsilon_r}$?
- Come mai in un'onda elettromagnetica $E = v B$?
- Data una carica oscillante con legge $x = A \sin \omega t$ come mai la potenza irradiata è proporzionale a $A^2 \omega^4$? Come varia A o $f(r)$?
- Sa prestì spiegare come mai un fotone ha una estensione spaziale di qualche metro e come mai se la estensione spaziale è finita ne deriva una indeterminazione in frequenza?
- Cosa sono le K_α e le K_β nello spettro dei raggi X? Come mai non sono visibili le K_γ e le L_α ?
- Cosa dice la legge di Moseley e come la si interpreta?
- perché la radiazione di sincrotrone viene assimilata ai raggi X e non ai raggi gamma anche quando ha energia tipiche o superiori a quelle dei gamma?
- Dallo spettro di emissione di un pianeta si può risalire ad informazioni sia sulla temperatura che sulla atmosfera. Come mai?
- Dallo spettro di una stella è possibile risalire alla sua temperatura. 1) come si fa? 2) perché dalla temperatura non si può risalire alla temperatura assoluta con la legge di Stefan Boltmann?
- Se si pensa al corpo nero come ad una cavità in cui la parete sia fatta di oscillatori armonici si è costretti ad ammettere la catastrofe ultravioletta. Come mai?
- In cosa consiste l'ipotesi di Planck sul corpo nero e come essa evita la catastrofe ultravioletta?
- Sapendo che $\epsilon_{vT} = \frac{2\pi h}{c^2} v^3 \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$ trovare a cosa ci si riduce quando $\frac{h\nu}{kT} \rightarrow 0$ e quando $\frac{h\nu}{kT} \rightarrow \infty$
- In cosa differisce $h\nu$ in Planck e in Einstein
- I fotoelettroni hanno \mathcal{E}_k variabili perché perdono una quota della energia ricevuta dal fotone negli urti con il reticolo a seconda dello strato atomico da cui provengono (distanza dalla superficie). Come è dunque possibile associare \mathcal{E}_k con il lavoro di estrazione e l'energia del fotone?
- Perché $\Delta V_a = f(v)$ è una retta? Trovata l'equazione cos'è la frequenza di soglia?
- Quali difficoltà sperimentali affronta e risolve Millikan?
- Cosa dimostra l'esperimento di Millikan e quali problemi restano da affrontare per dimostrare che il fotone sia una particella?
- Quali elementi (due) giocano a favore della ipotesi che l'interazione tra fotoni e ed elettroni atomici del metallo non abbia carattere cumulativo?
- I fotoni non hanno massa di riposo ma hanno comunque una massa equivalente. Come la si trova? Quali prove sperimentali abbiamo del fatto che possiedono una massa equivalente?

29. Questa relazione $p_c^2 = \left(\frac{h \mathbf{v}}{c}\right)^2 + \left(\frac{h \mathbf{v}'}{c}\right)^2 - 2 \frac{h^2}{c^2} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}' \cos \phi$ cosa rappresenta? Completala con un diagramma e spiega a cosa serve?
30. Cos'è la costante di Rydberg da un punto di vista sperimentale?
31. Perché nell'atomo di Bohr la energia dei livelli energetici è proporzionale a Z^2
32. Le tre serie famose dell'idrogeno sono (in ordine energetico) quella di Lyman, di Balmer e di Paschen. Sapresti scrivere in eV i corrispondenti valori limite? Spiegare.
33. Quale problema è sorto quando il modello di Bohr è stato applicato all'elio?
34. Cosa dimostra l'esperimento di Franck_Hertz?
35. Spiega in pochè righe l'essenza della ipotesi di De Broglie.
36. Quale esperimento ha consentito di confermare l'ipotesi di De Broglie? Spiegare.