– instabilità del nucleo atomico e origine della fissione spontanea

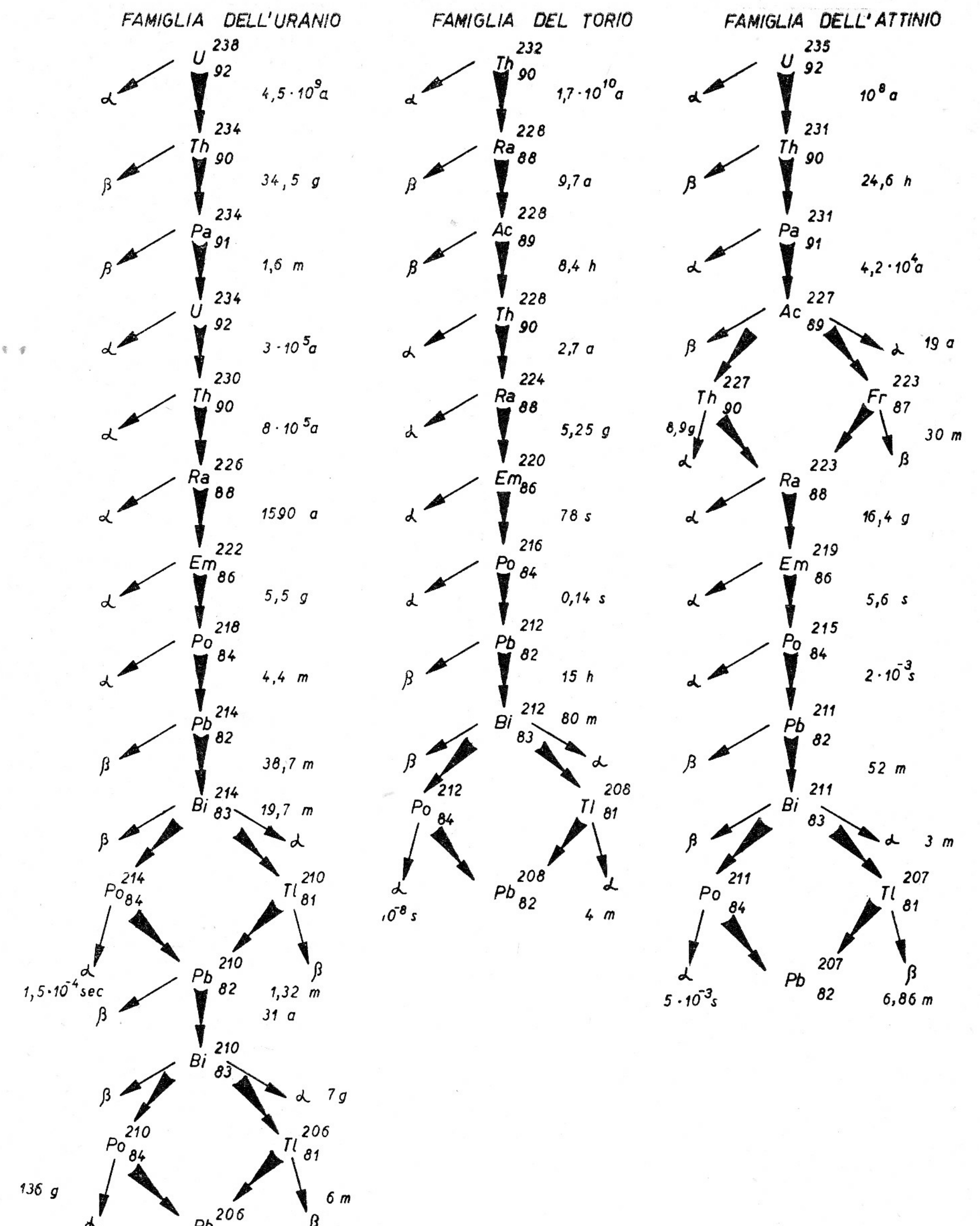
Dal diagramma della relazione $\frac{dE_0(N)}{dN}$ in funzione di N, risulta chiaro

che con $N = 126$, nel nucleo centrale, si deve realizzare la saturazione di uno stato di neutroni e dunque le eventuali aggiunte si debbono posizionare sullo stato più esterno, con una efficienza, nel trasferimento di energia allo spazio rotante nucleare, molto più bassa.

Per poter sostenere quindi in orbita un altro protone con sufficiente energia di legame, sarà necessario aggiungere molti neutroni.

Infatti i primi nuclei, relativamente stabili, che troviamo sono Th_{90}^{232} e U_{92}^{234} **con** 142 **neutroni centrali**.
Si tratta comunque di nuclei non stabili che decadono secondo catene ormai ben conosciute, generando tutta una serie di elementi instabili.

Le famiglie più importanti sono quelle riportate a pagina 699 .



In natura si osserva che alcuni nuclei di U^{235}_{92} vengono a trovarsi in condizioni particolari, che li inducono non ad emettere piccole particelle, ma a scindersi in più nuclei, normalmente due, di grosse dimensioni.
Lo stesso processo, indicato normalmente come fissione, si presenta anche

con i nuclei di U^{238}_{92} e Th^{232}_{90} dopo aver assorbito un neutrone secondo le reazioni :

$$U^{238}_{92} + n \rightarrow U^{239}_{92} \rightarrow \beta^- + Np^{239}_{93} \rightarrow \beta^- + Pu^{239}_{94}\text{(fissile)}$$

$$Th^{232}_{90} + n \rightarrow U^{233}_{92}\text{(fissile)}$$

Una giustificazione del processo, nell'ambito della teoria degli spazi rotanti è la seguente.

Finora abbiamo visto che, se aggiungiamo un neutrone ad un nucleo con N pari, si forma un isotopo che, se anche risulta stabile, presenta un'energia di legame minore di quella che avrebbe se N fosse dispari, che con il neutrone aggiunto acquisterebbe una maggiore simmetria.

La dissimmetria che il neutrone aggiunto genera nel nucleo lo obbliga ad una rotazione attorno al centro di massa che sottrae energia destinata allo spazio rotante nel quale si muovono i protoni.

Normalmente l'energia del nucleo viene aumentata con l'assorbimento di un altro neutrone che rigenera la simmetria.

Nel nostro caso, **abbiamo però un nucleo di partenza che si trova già oltre il limite di stabilità per eccesso di neutroni e dunque aggiungerne vuol dire peggiorare decisamente la situazione**, **per quanto riguarda la stabilità**.

Se, nel modello nucleare che abbiamo proposto, consideriamo in dettaglio le caratteristiche di moto dei protoni in orbita, si vede che in certe condizioni la dissimmetria può anche amplificarsi fino alla deformazione e divisione finale del nucleo.

Teorie correnti e risultati sperimentali forniscono, nelle vicinanze del nucleo, un **campo elettrostatico** con l'andamento riportato in figura a pag. 701, dalla quale si ricava il valore limite :

$$r_0 \simeq 58 \cdot 10^{-15} \text{ m .}$$

In accordo con questo risultato, **trattando la teoria generale abbiamo**

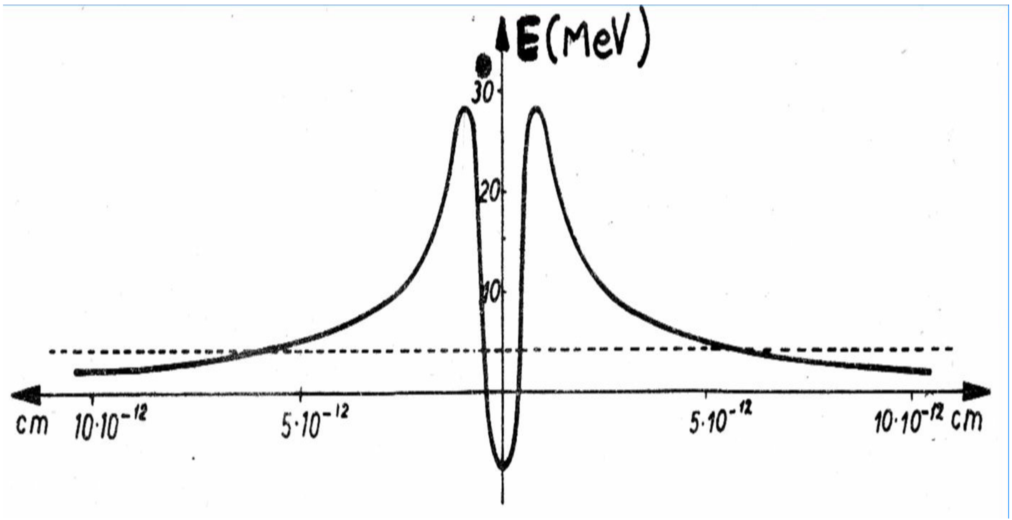
ottenuto per il raggio d'azione del nucleo elementare il valore teorico :

$$R_{11P} = 57,64 \cdot 10^{-15} \text{m}.$$

Possiamo dunque ritenere attendibile il valore dell'energia calcolata a questa distanza dal centro.

Avendo adattato $E_0(1)$ da $17,2016$ MeV a $17,792$ MeV, per i calcoli si deve assumere :

$$V_{11P} = \mathbf{66286558{,}11}\ \frac{m}{sec} \cdot \left(\frac{17{,}792}{17{,}2016}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{67414517{,}7}\ \frac{m}{sec}$$



Se consideriamo, per esempio, $N = Z = \mathbf{20}$, la velocità del protone sulla terza orbita risulta **la velocità di equilibrio** :

$$V_{Z3P} = \frac{67414517{,}7 \frac{m}{sec}}{\sqrt{2}} \cdot 20^{\frac{1-\varepsilon}{2}} \cdot \frac{1}{3} = 43419122{,}98\ \frac{m}{sec}$$

e quindi **la sua energia cinetica** sarà :

$$E = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot m_p\right) \cdot V_{Z3P}^2 = 7{,}380416 \text{ MeV}$$

701

coincidente con l'energia di legame dell'ultimo protone aggiunto sulla ultima orbita.

Se consideriamo il nucleo di uranio U_{92}^{238}, ricaviamo, per il raggio del nucleo compatto, di neutroni e per la prima orbita $(p = 1)$ le caratteristiche :

$$r_N = \left(\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot r_{0N} \cdot N^{\varepsilon} =$$

$$= \left(\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 1,40897046 \cdot 10^{-15} \cdot (146)^{0,289224} = \mathbf{7,388424 \cdot 10^{-15}}\,m$$

$$R_{ZP1} = R_{11P} \cdot N^{\varepsilon} \cdot p^2 = \mathbf{243,6156 \cdot 10^{-15}}\ m$$

$$V_{ZP1} = \frac{V_{11P}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{Z^{\frac{1}{2}}}{N^{\frac{\varepsilon}{2}}} \cdot \frac{1}{P} = \mathbf{222404159}\ \frac{m}{sec}$$

L'energia di legame del protone in orbita sarà :

$$E_{ZN1} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot m_p\right) \cdot V_{ZP1}^2 = \mathbf{193,64424}\ MeV$$

Si noti che, essendo, per luranio $Z = 92$, $p_s = 5$, l'energia di legame di un protone in equilibrio sull'orbita periferica risulta :

$$E_{ZN5} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot m_p\right) \cdot \left(\frac{V_{ZP1}}{5}\right)^2 = \mathbf{7,74577}\ MeV$$

Consideriamo ora un neutrone che si muova dalla periferia verso il centro del nucleo con la velocità iniziale V_n.

702

Tenendo conto che il suo spazio rotante è nullo, se esso riesce a superare tutte le altre orbite protoniche, giungendo fino alla prima, per poter interagire con uno dei due protoni presenti, dovrà giungere fino alla distanza :

$$r_{0P} = \mathbf{1{,}40897046 \cdot 10^{-15}}\ \text{m}$$

Per poter dunque intercettare un protone, esso dovrà percorrere la distanza $d = \mathbf{2} \cdot r_{0P}$ in un tempo maggiore o uguale a quello impiegato dal protone per percorrere una semiorbita. Dovrà dunque essere :

$$\frac{\mathbf{2} \cdot r_{0P}}{V_{n1}} \geq \frac{\pi \cdot R_{ZP1}}{V_{ZP1}}$$

da cui si ricava :

$$V_{n1} \leq \frac{\mathbf{2} \cdot r_{0P}}{\pi \cdot R_{ZP1}} \cdot V_{ZP1} = \mathbf{818879}\ \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

che corrispondente ad una energia cinetica pari a $\mathbf{3505{,}06}$ eV.

Lo stesso calcolo, applicato all'orbita periferica associata a $p = \mathbf{5}$, con un numero di $\mathbf{32}$ protoni in orbita, fornisce :

$$\frac{\mathbf{2} \cdot r_{0P}}{V_{n5}} \geq \frac{\dfrac{\mathbf{2} \cdot \pi \cdot R_{ZP5}}{n_{p5}}}{V_{ZP5}} = \frac{\pi \cdot R_{ZP1}}{V_{ZP1}} \cdot \frac{\mathbf{2}}{n_{p5}} \cdot p^3$$

e quindi :

$$V_{n5} \leq \frac{\mathbf{16}}{\mathbf{125}} \cdot V_{n1} = \mathbf{104816}\ \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

corrispondente ad una energia del neutrone di $\mathbf{57{,}426}$ eV.

Questi risultati indicano che esiste in ogni caso la possibilità che un neutrone

703

si scontri con un protone nucleare in orbita.

Il valore della probabilità che si verifichi una collisione risulta tanto più elevata quanto più lento è il neutrone incidente **e, naturalmente, quanto maggiore è il numero dei protoni presenti sull'orbita.**

Tenendo conto che i neutroni che vengono sintetizzati, per cattura, all'interno dei nuclei atomici, per verificare i principi di conservazione, vengono emessi con una velocità praticamente uguale a quella di rivoluzione del protone, si comprende come il numero di urti che si verificano diventi apprezzabile solo per nuclei molto pesanti.

In questi nuclei, quando l'urto si verifica, il livello di energia messa in gioco è tale da consentire la " **sintesi in volo di nuclei di deuterio** ", i quali restano in orbita al posto del protone iniziale.

E' chiaro che il valore del momento angolare **associato al deutone in orbita è ben maggiore di quello del protone.**

Per l'equilibrio è quindi richiesto un pari aumento del momento angolare del nucleo compatto formato dai neutroni centrali.

Questo aumento viene però a mancare in quanto il neutrone aggiunto è stato bloccato in orbita dal protone e non è giunto al centro.

L'instabilità crescente dei nuclei atomici pesanti è quindi dovuta all' "**aumento del numero di deutoni in orbita**" e alla simultanea " **impossibilità da parte dei neutroni** " di raggiungere il centro.

E' sostanzialmente questa la ragione per cui nei nuclei con $N > 126$ **si ha una minore efficienza dei neutroni nel trasferire energia allo spazio rotante, con conseguente rapido aumento del loro eccesso rispetto al numero di protoni.**

Se un nucleo avente deutoni in orbita viene investito da un flusso di neutroni, possiamo ripetere l'analisi che abbiamo fatto con i protoni e concludere così che si possono verificare in volo sintesi di altri nuclei leggeri fino agli elioni.

A questo punto, con particelle in orbita di massa così grande, a seconda della loro distribuzione, la dissimmetria del nucleo, in alcuni momenti, può diventare tanto grande da ridurre drasticamente l'energia di legame fino a produrre la divisione del nucleo in più parti.

Può anche accadere che i neutroni sintetizzati all'interno dei nuclei ed emessi con l'energia dei protoni periferici vadano a collidere con le particelle α in orbita, cedendo loro tutta o parte della loro energia che può essere sufficiente per spostare la particella colpita su un'orbita più periferica o addirittura fuori dal nucleo, analogamente a quanto si verifica per la ionizzazione.

Si verifica così l'emissione spontanea di una particella α preesistente, in orbita, sulla periferia del nucleo.

L'emissione di una particella α **periferica riduce la dissimmetria del nucleo**, **aumentandone la stabilità**.

E' anche possibile che la particella α venga creata ed emessa quasi subito. Questo punto verrà discusso in maniera più approfondita in seguito, quando sarà disponibile il sistema periodico dei nuclei atomici con la distribuzione dettagliata delle particelle sulle orbite.

Naturalmente, lo stesso processo può ripetersi a catena fino ad avere un nucleo stabile, normalmente P**b** oppure B**i** che, per la verità, si trova al limite della stabilità e, in un tempo molto lungo, **si trasforma comunque in Pb**.

Spesso la stabilità del nucleo viene ulteriormente aumentata spontaneamente con due emissioni β^- in sequenza che convertono due neutroni in altrettanti protoni, i quali vanno ad occupare il posto lasciato vacante sull'orbita dalla particella α che ha abbandonato il nucleo.

Notiamo infine che la minore efficienza dei neutroni che, **nei nuclei pesanti**, **non riescono ad arrivare al centro**, sposta verso l'alto il valore effettivo del numero massimo assoluto Z_{max} di elementi sintetizzabili nell'universo, prima che venga raggiunta sull'orbita fondamentale dello spazio rotante nucleare, associata a $\left(p = 1\right)$, una velocità di equilibrio **uguale a quella della luce**.

705

Un aspetto che non abbiamo ancora considerato è l'influenza che può avere la massa delle particelle fondamentali, protone ed elettrone, sulla stabilità dei nuclei.
Consideriamo dunque la condizione di equilibrio generale :

$$\frac{K_p^2}{R_{P0P}} = \frac{K_e^2}{R_{P0e}}$$

che per le particelle elementari diventa : $\dfrac{m_p}{R_{P0P}} = \dfrac{m_e}{R_{P0e}}$

Si potrà scrivere :

$$\frac{m_p}{R_{P0P}} = \frac{m_e}{R_{P0e}} = m_e \cdot \frac{2 \cdot V_{11P}^2}{K_p^2} = m_e \cdot \frac{2 \cdot V_{11P}^2}{V_{11e}^2 \cdot R_{11e}}$$

ossia :

$$\frac{m_p}{m_e} = 2 \cdot \left(\frac{V_{11P}}{V_{11e}} \right)^2$$

Quando **la velocità di fuga dalla prima orbita** di protoni raggiunge il valore della velocità della luce, la velocità orbitale di equilibrio vale : $V_{Z1P} = \dfrac{C_l}{\sqrt{2}}$

si ricava quindi :

$$V_{11P} = \frac{C_l}{Z_{max}^{\frac{1}{2}}} \cdot N_{max}^{\frac{\varepsilon}{2}}$$

e dunque si ha :

$$\frac{m_p}{m_e} = \frac{2 \cdot C_l^2}{V_{11e}^2 \cdot Z_{max}} \cdot N_{max}^{\varepsilon}$$

706

sostituendo ancora : $\dfrac{C_l}{V_{11e}} = P = 137,036$

si ottiene : $Z_{max} = \dfrac{m_p}{m_e} \cdot 2 \cdot P^2 \cdot N_{max}^{\varepsilon}$

con $N_{max} = 157$ e $\varepsilon_{max} = 0,3333$ si ricava : $Z_{max} = 110,36$

Secondo la teoria che abbiamo esposto, l'universo si è formato senza alcun progetto iniziale, applicando semplicemente le leggi del moto e la condizione di equilibrio che abbiamo ricavato.

Quando l'ambiente ha portato alla sintesi di protoni ed elettroni, essi si sono formati unicamente in base alle **esigenze di equilibrio del momento** senza tener conto della futura formazione dei nuclei e successivamente degli atomi.

I nuclei atomici si sono formati utilizzando il rapporto m_P / m_e disponibile, applicando sempre le stesse leggi.

Quindi in tale rapporto non esiste nulla di critico oppure predeterminato.

Secondo l'espressione che abbiamo ricavato, **con un valore diverso del rapporto tra le masse**, **avremmo semplicemente avuto un** "**numero diverso di elementi chimici**".

Quando è iniziata la sintesi del deuterio, non c'era in progetto la formazione degli atomi più complessi e, se successivamente **non fosse intervenuta la sovrapposizione delle orbite dei protoni con quelle degli elettroni**, oggi avremmo avuto solo atomi con $N = Z$ senza sintesi di neutroni per cattura. In queste condizioni si ha la relazione :

$$\frac{m_P}{m_e} = \frac{2 \cdot C_l^2}{V_{11e}^2} \cdot Z_{max}^{(\varepsilon - 1)}$$

707

da cui , con $\varepsilon = \frac{1}{3}$, con $N = Z$, si ricava quindi :

$$Z_{max} = 2^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{m_e}{m_P} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{C_l}{V_{11e}} \right)^{3}$$

oppure, più in generale : $$Z_{max} = 2^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{K_e^2}{K_P^2} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{C_l}{V_{11e}} \right)^{3}$$

Applicata alla coppia protone – elettrone con :

$$\frac{K_p^2}{K_e^2} = 1836,152756 \quad ; \quad V_{11e} = 2187691,417 \ \frac{m}{sec}$$

si ricava : $$Z_{max} = 92,5093664$$

Lo stesso valore si ottiene, applicando la relazione al nucleo ricordando che in questo caso abbiamo :

$$\frac{K_N^2}{K_p^2} = \frac{\frac{K_p^2}{2}}{K_p^2} = \frac{1}{2} \quad ; \quad V_{11P} = 66286558,11 \ \frac{m}{sec}$$

La stessa relazione ci dice anche che, se abbiamo due particelle, " **solare e planetaria** ", aventi masse che stanno nel rapporto m_s / m_p , con la sfera planetaria in moto sull'orbita con velocità uguale a quella di equilibrio V_{11} , di tutti gli atomi che, aggregandosi, essi possono formare, il numero massimo di quelli " visibili " dipende dal rapporto tra le due masse e dal valore dalla velocità massima di interazione V_{max} tra l'osservatore ed il sistema, che nel nostro caso è stato posto uguale alla velocità della luce, C_l .

708

Ponendo nella relazione $Z_{max} = 1$, possiamo ricavare il valore minimo C_{lmin1} che deve assumere la velocità d'interazione per poter " **vedere** " almeno un atomo formato dalla coppia $m_s - m_p$ (in questo caso s e p vengono usati per indicare stellare e planetaria).
Si ricava dunque :

$$C_{l\,min1} = V_{11} \cdot \left(\frac{m_s}{2 \cdot m_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad Z_{max} = \left(\frac{V_{max}}{C_{lmin1}} \right)^3$$

Se sostituiamo nella prima espressione i valori corrispondenti alla coppia **protone – elettrone**, possiamo calcolare il valore minimo C_{lmin1} richiesto alla velocità di osservazione per poter vedere almeno un atomo e si ottiene :

$$C_{l\,min1} = 2187691{,}415 \,\frac{m}{sec} \cdot \left(\frac{1836{,}15}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{66286558{,}11} \,\frac{m}{sec}$$

che coincide naturalmente con la velocità di fuga dall'orbita protonica del primo atomo avente $N = Z = 1$.

Dato che la nostra velocità di osservazione coincide con quella della luce, se poniamo $V_{max} = C_l$ nella seconda relazione, ricaviamo il numero massimo Z_{max} di atomi che riusciamo a vedere con questo nostro limite.

Eseguendo i calcoli, si ottiene il valore già calcolato :

$$Z_{max} = \left(\frac{C_l}{C_{lmin1}} \right)^3 = \mathbf{92{,}5} \qquad \left(\text{con } N = Z \text{ e } \varepsilon = \frac{1}{3} \right)$$

Possiamo verificare che effettivamente il nucleo avente $N = Z = 92{,}5$ presenta una velocità di fuga dalla prima orbita uguale al nostro limite, come risulta dalla relazione :

$$V_f = \sqrt{2} \cdot V_{ZPP} = \sqrt{2} \cdot \frac{V_{11P}}{\sqrt{2}} \cdot Z^{\frac{\left(1 - \frac{1}{3}\right)}{2}}$$

709

semplificando si ottiene :

$$V_f = V_{11P} \cdot Z^{\frac{1}{3}} = 299792458 \ \frac{m}{sec}$$

La capacità degli atomi di sintetizzare all'interno del loro nucleo un eccesso di neutroni, acquisita casualmente grazie alla particolare configurazione delle orbite, ha reso possibile elevare questo limite fino a $Z = 110$ e oltre, anche se i nuclei che si ottengono non sono stabili nel tempo.

Abbiamo visto che la coppia elettrone – fotone, con un rapporto delle masse pari a :

$$\frac{m_e}{m_{X_1}} = 2 \cdot P^2 = 37557,725$$

è teoricamente in grado di sintetizzare un tipo di nucleo, il "**deutino**", avente una struttura perfettamente analoga a quella del deutone che genera gli atomi comuni.

Non avendo nessun motivo per escluderlo e per la validità generale di tutte le leggi che sono state ricavate, anche se esso non appartiene alla nostra realtà, possiamo anche pensare che il deutino abbia organizzato " **atomini** " aventi al centro un nucleo compatto di neutrini di raggio :

$$r_{Nn} = r_{1n} \cdot \left(\frac{6}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot N_n^{\frac{1}{3}} \quad .$$

A distanza ravvicinata, con la prima orbita avente un raggio $r_{min} = 2 \cdot R_{P0X_1}$, si trovano elettroni orbitanti secondo lo schema solito :

$$N_p = N_{p-1} + 4 \cdot (p-1) + 2.$$

A distanza ancora maggiore, su orbite analoghe, con la prima avente raggio

$$R_{11X_1} = 28,81989243 \cdot 10^{-15} \ m$$

710

si muovono dei fotoni, che ripetono lo stesso schema orbitale.

Utilizzando le relazioni viste, possiamo calcolare quale dovrebbe essere la nostra velocità di osservazione per poter vedere almeno un atomino.
si ricava così :

$$C_{l\,min1} = V_{11e} \cdot \left(\frac{m_e}{2 \cdot m_{X1}} \right)^{\frac{1}{2}} =$$

$$= V_{11e} \cdot \left(\frac{2 \cdot P^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}} = V_{11e} \cdot P = C_l .$$

Con il nostro limite C_l siamo dunque appena in grado di vedere il deutino.

Il tentativo di vedere anche solo l'aggregato formato da due deutini (dunque con $Z_{max} = 2$) risulta inutile in quanto richiederebbe una velocità d'indagine:

$$V_{max} = Z^3_{max} \cdot C_{l\,min1} = 2^3 \cdot C_l = 8 \cdot C_l \,.$$

Dunque, non sarà mai possibile sapere se, oltre al primo, esiste realmente una serie di atomini formati da aggregazioni successive.

In ogni caso, se anche ciò fosse vero, la temperatura minima necessaria per avere la scissione spontanea risulterebbe minore di **2,8** °K e non si avremmo praticamente sistemi liberi rilevabili.

Tutto questo mette chiaramente in evidenza che l'universo non è una realtà fisica oggettiva, **indipendente dall'osservatore**, ma è piuttosto una nostra costruzione teorica.

Essa è fondata sul nostro limite della velocità della luce come velocità massima di indagine, che deriva dal fatto che noi ed i nostri strumenti siamo fatti di atomi comuni.

711

Un osservatore fatto di atomini avrebbe comunque la stessa velocità massima d'indagine, **in quanto essa è una caratteristica associata alla struttura dello spazio fisico ed è indipendente dalle caratteristiche sia dell'aggregato che dell'osservatore**.

Ritornando ora al nostro universo, ricaviamo le caratteristiche più importanti dei nuclei atomici utilizzando le relazioni teoriche che abbiamo proposto.

Per il calcolo del raggio del nucleo compatto centrale r_N , con considerazioni relativamente semplici, assumiamo il raggio del neutrone uguale a quello del protone, ponendo :

$$r_{N0} = r_{P0} = \mathbf{1,40897046 \cdot 10^{-15}} \text{ m.}$$

Si ottiene quindi :

$$r_N = r_{N0} \cdot \left(\frac{6}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot N^{\frac{1}{3}} = \mathbf{1,748111 \cdot 10^{-15}} \text{m} \cdot N^{\frac{1}{3}}$$

dove il nucleo compatto viene inteso fermo, **vincolato al centro dell'atomo**.

Per sua natura, la relazione non è applicabile a valori di N molto bassi, per cui, per $N \leq 6$, **il valore di r_N dovrà essere ricavato facendo ricorso a considerazioni geometriche**.

Come abbiamo già visto, per $N = Z = \mathbf{1}$ il neutrone non è vincolato al centro, per cui, non potendo parlare, in questo caso, di un nucleo compatto fermo al centro, **esso assume un significato diverso**.

Se si conduce una sperimentazione bombardando un deutone, si trova per il raggio del nucleo, ritenuto arbitrariamente " **impenetrabile** ", il valore :

$$r_{ND} = 2,82 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

che coincide chiaramente con il valore del raggio della prima orbita associata allo spazio rotante del protone :

$$r_{1P} = \frac{K_p^2}{C_l^2} = \mathbf{2,81794092 \cdot 10^{-15}} \text{ m .}$$

712

Il nucleo " penetrabile " del deutone coincide invece con il raggio della sfera planetaria dell'elettrone, **per cui si ha** :

$$R_{ZPP} = 28,81989243 \cdot 10^{-15} \text{ m.}$$

Se, come per tutti i nuclei, si assume come sfera solare centrale il nucleo compatto di neutroni (in questo caso uno solo), il raggio dell'orbita sulla quale rivoluisce il protone risulta :

$$R_{ND} = 2 \cdot R_{ZPP} = R_{11P} = 57,63978486 \cdot 10^{-15} \text{m}$$

Per l'elio He_2^4, il nucleo **penetrabile** fornito dall'espressione di R_{ZPP} risulta:

$$R_{ZPP} = 57,63978486 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot 2^{0,329445} = 72,426113 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

utilizzando invece l'energia di legame dell'ultimo protone aggiunto, si ricava :

$$E_1 = \frac{E_0(2)}{2 \cdot 1^2} = \frac{28,3193 \text{ MeV}}{2} = 14,15965 \text{ MeV}$$

essendo anche :

$$E_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{3}{4} \cdot m_p\right) \cdot V_{ZPP}^2 = \frac{3}{8} \cdot m_p \cdot \frac{\left(2 \cdot \frac{K_p^2}{2}\right)}{2 \cdot R_{ZPP}}$$

si ottiene :

$$R_{ZPP} = \frac{3 \cdot m_p \cdot K_p^2 \cdot Z}{16 \cdot E_1} = 70,022812 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

I due valori ottenuti sono sufficientemente vicini, per cui, per il calcolo, già per $N = 2$ si può utilizzare l'espressione teorica del raggio R_{ZPP}.

Se consideriamo, per esempio, $N = Z = 20$, la velocità del protone sulla terza orbita risulta :

$$V_{Z3P} = \frac{67414517{,}7\,\frac{m}{sec}}{\sqrt{2}} \cdot 20^{\frac{1-\varepsilon}{2}} \cdot \frac{1}{3} = 43419122{,}98\ \frac{m}{sec}$$

e quindi la sua energia cinetica :

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot m_p \right) \cdot V^2_{Z3P} = 7{,}380416\ \text{MeV}$$

coincidente con l'energia di legame dell'ultimo protone aggiunto.

Il valore del raggio dell'**orbita nucleare periferica** (quindi il raggio del nucleo penetrabile) risulta :

$$R_{ZP3} = \frac{3 \cdot m_p \cdot K_p^2 \cdot Z}{16 \cdot E_1} = 1389{,}527 \cdot 10^{-15}\ m$$

oppure, con il calcolo equivalente :

$$R_{ZP3} = 57{,}63978486 \cdot 10^{-15}\ m \cdot 20^{0{,}328895} \cdot 3^2 = 1389{,}527 \cdot 10^{-15}\ m$$

Prima di procedere al calcolo numerico vero e proprio, dobbiamo fare una importante precisazione.

Se si calcola il differenziale dell'espressione teorica dell'energia di legame

$$E_{ZN} = E_0(N) \cdot \left[(p_s - 1) + \frac{n_P}{2 \cdot p_S^2} \right]$$

e si approssima con l'incremento finito, si ottiene :

$$\Delta E_{ZN} = E_0(N) \cdot \frac{1}{2 \cdot p_S^2} + \frac{dE_0(N)}{dN} \cdot \Delta N \cdot \left[(p_s - 1) + \frac{n_P}{2 \cdot p_S^2} \right]$$

714

IL primo termine rappresenta l'incremento dell'energia di legame del nucleo dovuto al fatto che sull'ultima orbita **si è aggiunto il legame di un protone**, mentre è rimasta invariata l'energia associata ad ogni strato $E_0(N)$, ossia si ha :

$$E_0(N\,;\,Z+1) = E_0(N\,;\,Z)$$

e quindi l'energia di legame di tutti gli altri protoni (**già presenti nel nucleo**) resterà invariata.

Con un linguaggio improprio, si potrebbe dire che, aggiungendo un protone, il nucleo è sostanzialmente rimasto quello di prima con un legame in più che viene saturato sull'ultima orbita.

Dunque, l'incremento : $$E_{1P_s} = E_0(N) \cdot \frac{1}{2 \cdot p_s^2}$$

rappresenta realmente l'energia che lega al nucleo l'ultimo protone che abbiamo aggiunto.

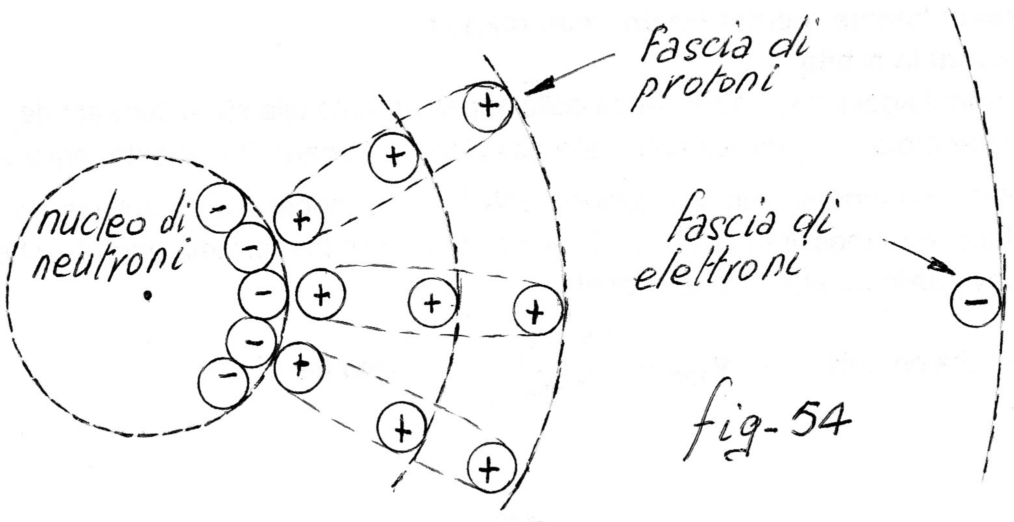
Fissato quindi il numero di neutroni N, l'aggiunta di protoni in orbita **richiede sempre la stessa energia per protone**, indipendentemente dal valore di Z, **fino a quando non si passa all'orbita successiva**.

Nel nucleo, **i neutroni centrali assumono dunque**, nei confronti dei protoni in orbita, **un ruolo analogo a quello che hanno nell'atomo i protoni "centrali"** nei confronti degli elettroni orbitanti.

A differenza dei protoni, **però**, **i neutroni liberi sono strutture incapaci di generare uno spazio rotante apprezzabile nello spazio circostante** ($K_N \simeq 0$) **e quindi** il ruolo che abbiamo descritto può essere svolto solo **se essi subiscono una polarizzazione** in presenza dei protoni .

In questo modo essi, pur restando globalmente neutri, presentano due spazi controrotanti sui poli i quali, a " **breve distanza** " riescono a far sentire i loro effetti che si esauriscono subito dopo la fascia protonica così come accade nell'atomo neutro, dove gli effetti prodotti dai protoni nucleari si esauriscono subito dopo la fascia elettronica.

Molto grossolanamente, **l'aspetto definitivo dell'atomo** deve essere quello rappresentato in figura 54.



Per chiarire meglio quanto è stato appena detto, consideriamo un esempio numerico reale.

Se assumiamo $N = \mathbf{36}$, l'energia per E_0 strato associata allo spazio rotante nucleare risulta (pagina 680 e seg.) :

$$E_0(36) = \mathbf{190,41}\ \text{MeV}$$

Con **28** protoni in orbita si ha il nucleo $_{36}Ni^{64}_{28}$ con le seguenti caratteristiche

energia di legame :

$$E_{ZN} = E_0(36) \cdot \left[\left(p_s - 1\right) + \frac{n_p}{2 \cdot p_s^2} \right] =$$

716

$$= 190{,}41\ \text{MeV} \cdot (2+1) = \mathbf{571{,}23}\ \text{MeV}$$

energia dell'ultimo protone aggiunto :

$$E_{1P_s} = \frac{E_0(36)}{2 \cdot p_s^2} = \frac{\mathbf{190{,}41}\ \text{MeV}}{2 \cdot 3^2} = \mathbf{10{,}5783}\ \text{MeV}$$

Se si aggiunge un protone in orbita, si produce l'atomo ${}_{36}Cu_{29}^{65}$ che presenta le seguenti caratteristiche :

$$E_{ZN} = E_0(36) \cdot \left[(p_s - 1) + \frac{n_p}{2 \cdot p_s^2} \right] =$$

$$= \mathbf{190{,}41}\ \text{MeV} \cdot \left(3 + \frac{1}{2 \cdot 4^2} \right) = \mathbf{577{,}18}\ \text{MeV}$$

$$E_{1P_s} = \frac{E_0(36)}{2 \cdot p_s^2} = \frac{\mathbf{190{,}41}\ \text{MeV}}{2 \cdot 4^2} = \mathbf{5{,}9503}\ \text{MeV}$$

Se si aggiunge ancora un protone, si ottiene il nucleo ${}_{36}Zn_{30}^{66}$ con le seguenti caratteristiche :

$$E_{ZN} = \mathbf{190{,}41}\ \text{MeV} \cdot \left(3 + \frac{2}{32} \right) = \mathbf{583{,}13}\ \text{MeV}$$

$$E_{1P_s} = \frac{\mathbf{190{,}41}\ \text{MeV}}{32} = \mathbf{5{,}9503}\ \text{MeV}$$

Come possiamo vedere dai risultati che abbiamo ottenuto, lo spazio rotante nucleare, **che si manifesta attraverso l'energia associata ad**

717

ogni strato $E_0(N)$, è lo stesso per i tre nuclei considerati.

In questo senso essi rappresentano un unico elemento nucleare, che viene gradualmente " neutralizzato " man mano che vengono aggiunti nuovi protoni in orbita.

I protoni aggiunti vengono legati dallo spazio rotante alla sfera centrale dalla energia E_{1P_S} , **dipendente dalla posizione occupata**.

Per questa ragione, l'ultimo protone aggiunto al nucleo di ${}_{36}Ni^{64}_{28}$, trovandosi ancora sulla terza orbita con il massimo valore di Z , viene legato con la massima energia, che deriva dai valori delle caratteristiche orbitali :

velocità orbitale :
$$V_{ZPP} = \left(\frac{8 \cdot E_{1P_S}}{3 \cdot m_P} \right)^{\frac{1}{2}} = 51981469 \ \frac{m}{sec}$$

raggio dell'orbita :
$$R_{ZPP} = \frac{N \cdot K_p^2}{2 \cdot V_{ZPP}^2} = 1687,13 \cdot 10^{-15} \ m$$

L'aggiunta di un ulteriore protone, per note **ragioni di equilibrio**, comporta il passaggio sull'orbita associata al numero quantico $p = 4$ con una velocità orbitale decisamente minore, sia perchè è aumentato il raggio dell'orbita che viene percorsa, sia per il fatto che, **essendo il primo protone ad occupare l'orbita, il valore di Z corrisponde a quello minimo associabile a $p = 4$**.

Abbiamo così un protone legato con il minimo valore della energia E_{1P_S} , possibile su quell'orbita.

Le sue caratteristiche orbitali risultano :

$$V_{ZPP} = 38165303 \ \frac{m}{sec} \quad ; \quad R_{ZPP} = 2521,18 \cdot 10^{-15} \ m$$

718

Se si potessero aggiungere altri protoni fino a $Z = 60$, si avrebbe sempre $p_s = 4$ e quindi, con $N = 36$, sarebbe $E_{1P_s} = 5,9503$ MeV per tutti i protoni in moto sull'orbita.

In realtà, per poter aggiungere altri protoni sull'orbita, è necessario aumentare lo spazio rotante nucleare attraverso un incremento del numero N di neutroni al centro del nucleo.

Si deve tenere presente che nel discorso abbiamo trascurato le oscillazioni dovute al passaggio da Z pari a Z dispari e viceversa ed al completamento dei sottostrati.

L'errore che così si commette risulta comunque particolarmente elevato solo per i valori di N e Z molto bassi.

Il secondo termine dell'incremento ΔE_{ZN}, con $\Delta N = 1$ si può scrivere :

$$E_{1(N)} = \left[E_0(N+1) - E_0(N) \right] \cdot \left[\left(p_s - 1\right) + \frac{n_p}{2 \cdot p_s^2} \right]$$

fissato il valore di Z, questa relazione fornisce l'aumento totale della energia di legame che viene distribuita su tutti i protoni **già presenti sulle orbite** quando viene aggiunto un neutrone al nucleo centrale. Si ha dunque :

$$E_{1(N)} = E_{ZN}(Z\,;N+1) - E_{ZN}(Z\,;N)$$

Scritta sotto questa forma, la $E_{1(N)}$ s'interpreta chiaramente come il valore dell'energia di legame associata all'ultimo neutrone aggiunto.

Anche se è semplice ed immediata, un'analisi un po'approfondita evidenzia chiaramente come questa interpretazione non sia tuttavia corretta, in quanto, è possibile dare a questo valore un significato coerente solo introducendo il concetto di energia potenziale per strato $E_0(N)$.

719