– **funzione dei neutroni all'interno del nucleo atomico**
Se consideriamo lo spazio rotante generato **da tutti i neutroni presenti nel nucleo** ed assegnamo a **ciascuno di essi la stessa capacità di trasferire energia allo spazio circostante**, calcoliamo l'energia per strato utilizzando la relazione :

$$E_0(N\,;Z) = \mathbf{17{,}825} \cdot N^{\frac{2}{3}}$$

e l'energia di legame, che si calcola considerando Z protoni in orbita, risulta maggiore del valore sperimentale.
Il valore N utilizzato nella formula risulta dunque più elevato di quello richiesto per avere un valore di energia corretto.

Se, come prevede la teoria, **consideriamo che solo i neutroni accoppiati ai protoni siano in grado di generare spazio rotante**, l'energia per strato verrà calcolata con l'espressione :

$$E_0(N\,;Z) = \mathbf{17{,}825} \cdot Z^{\frac{2}{3}}$$

e si ottiene un valore minore di quello ottenuto per via sperimentale. In questo caso è dunque necessario aggiungere energia per ottenere il valore corretto.

Nei due casi abbiamo esigenze chiaramente opposte per poter soddisfare il risultato sperimentale.

Ricordiamo, a questo punto, che l'energia $E_0(N\,;Z)$, che assumiamo come riferimento per il confronto, è stata ricavata utilizzando l'energia di legame che tutto il nucleo utilizza per il suo equilibrio.

Possiamo quindi pensare che il risultato sia stato ottenuto con due contributi :

– **il primo fornito dallo spazio rotante centrale**, generato dal nucleo compatto.
– **il secondo dato invece dal** reale numero di particelle presenti sulle orbite.

L'energia $E_0(N)$ rappresenta una energia potenziale, associata allo

spazio rotante che circonda il nucleo compatto di N neutroni e non è influenzata in maniera apprezzabile dai protoni in orbita.

L'energia di legame del nucleo E_{ZN} dipende invece anche dal numero di particelle realmente presenti sulle orbite, **secondo la relazione** :

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

Dato che il **nostro problema è quello di variare $E_0(N)$ senza cambiare il valore della energia di legame $E_{ZN}(Z\,;N)$** (che rappresenta una realtà fisica e dunque non potrà dipendere dalle nostre scelte), dobbiamo variare contemporaneamente l'energia $E_0(N)$ e il numero delle particelle in orbita.

Anche quest'ultima variazione non può essere arbitraria, in quanto il **numero di protoni e neutroni presenti nel nucleo è fisso e ben definito**.

Per poter verificare i risultati sperimentali, noi **possiamo soltanto collocarli diversamente**, **spostandoli cioè dal centro compatto alla fascia orbitale o viceversa**, **senza variare il numero complessivo**.

Per risolvere il nostro problema abbiamo dunque una sola soluzione :

spostare l'eccesso di neutroni $(N-Z)$ dal nucleo centrale compatto alla fascia orbitale.

Un neutrone che si sposta dal centro e si posiziona su un'orbita fornisce però, all'energia di legame, un contributo minore, in quanto non contribuisce più alla formazione dello spazio rotante che agisce su tutti i protoni in orbita, ma solo all'aumento della massa in orbita (e quindi alla sua energia cinetica).

Il valore complessivo dell'energia di legame risulta quindi ridotto, come da noi richiesto.

Si tratta ora di tradurre in relazioni matematiche questa riduzione.

641

Una soluzione potrebbe essere quella di utilizzare un fattore correttivo, con il quale viene ridotta l'azione di tutti i neutroni, che vongono ritenuti comunque tutti al centro, mentre in orbita vengono considerati solo i protoni.

Si potrà quindi utilizzare una relazione del tipo :

$$E_0(N) = 17{,}825 \cdot N^{\frac{2}{3}} \cdot \alpha(N)$$

dove $\alpha(N)$ ràppresenta il fattore correttivo da determinare.

Il secondo fattore, che compare nell'espressione dell'energia di legame E_{ZN} rimane invariato e quindi si avrà l'energia di legame :

$$E_{ZN}(Z\,;N) = \left(17{,}825 \cdot N^{\frac{2}{3}} \cdot \alpha(N)\right) \cdot \left[\left(p_s - 1\right) + \frac{n_p}{2 \cdot p_s^2}\right]$$

con il secondo fattore dipendente solo da Z.

Se invece consideriamo la situazione reale, lo spazio rotante nucleare dovrà essere ritenuto generato solo dai neutroni polarizzati al centro, in numero pari a Z , e quindi l'energia di legame sarà :

$$E_{ZN}(Z\,;N) = \left[17{,}825 \cdot Z^{\frac{2}{3}} \cdot \alpha(Z)\right] \cdot F(I\,;Z)$$

In questo caso, il secondo fattore dipende sia dai protoni che dall'eccesso di neutroni, secondo criteri che dobbiamo ancora definire.

Consideriamo, per adesso, la prima espressione, che risulta più semplice da trattare, anche se descrive solo un nucleo equivalente a quello reale.

Ricordiamo che nella relazione p_s indica il numero totale di orbite protoniche

642

(o elettroniche, nell'atomo) ed n_p numero di protoni presenti sull'ultima orbita.

Per chiarire meglio quanto abbiamo esposto, analizziamo un caso reale.
Consideriamo un nucleo avente 28 neutroni.

Dalle tabelle si rileva che esso fornisce uno spazio rotante caratterizzato da una energia potenziale per ogni orbita :

$$E_0(28) = \mathbf{162{,}8161} \text{ MeV.}$$

Lo spazio rotante circostante tale nucleo viene occupato dai protoni, i quali si distribuiscono sulle orbite secondo lo schema :

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

quindi sulle diverse orbite si avrà un numero di protoni pari a :

$$2 - 8 - 18 - 32 - 50 - 72$$

" **Nell'universo da noi osservabile** ", **i protoni che riescono ad orbitare nello spazio rotante che viene generato dal numero di neutroni** $N = \mathbf{28}$ **danno origine ai nuclei** :

$$Ca_{20}^{48} \quad ; \quad Ti_{22}^{50} \quad ; \quad V_{23}^{51} \quad ; \quad Cr_{24}^{52} \quad ; \quad Fe_{26}^{54}$$

Con le rispettive energie di legame :

$$Ca_{20}^{48} - \qquad E_{28\text{-}20} = 162{,}8161 \text{ MeV} \cdot \left(\mathbf{2} + \frac{\mathbf{10}}{\mathbf{18}} \right) = \mathbf{416{,}086} \text{ MeV}$$

$$Ti_{22}^{50} - \qquad E_{28\text{-}22} = 162{,}8161 \text{ MeV} \cdot \left(\mathbf{2} + \frac{\mathbf{12}}{\mathbf{18}} \right) = \mathbf{434{,}176} \text{ MeV}$$

$$V_{23}^{51} - \qquad E_{28\text{-}23} = 162{,}8161 \text{ MeV} \cdot \left(\mathbf{2} + \frac{\mathbf{13}}{\mathbf{18}} \right) = \mathbf{443{,}222} \text{ MeV}$$

$$Cr_{24}^{52} - \qquad E_{28\text{-}24} = 162{,}8161 \text{ MeV} \cdot \left(\mathbf{2} + \frac{\mathbf{14}}{\mathbf{18}} \right) = \mathbf{452{,}545} \text{ MeV}$$

$$Fe^{54}_{26} - \qquad E_{28\text{-}26} = 162{,}8161 \text{ MeV} \cdot \left(2 + \frac{16}{18} \right) = \mathbf{470{,}358} \text{ MeV}$$

Per tutti questi nuclei la distribuzione dell' energia sulle orbite è la stessa in quanto l'aggiunta di protoni (in questo caso sulla terza orbita) non modifica in maniera apprezzabile le caratteristiche dello spazio rotante associato al nucleo di **28 neutroni** posti al centro, per cui l'energia di legame dei protoni rotanti sulle diverse orbite, per tutti i nuclei, risulta dalle relazioni :

– **prima orbita**

$$E_1 = \frac{E_0(28)}{2 \cdot p^2} = \frac{162{,}8161 \text{ MeV}}{2 \cdot 1^2} = \mathbf{81{,}40805} \text{ MeV}$$

– **seconda orbita**

$$E_2 = \frac{E_0(28)}{2 \cdot p^2} = \frac{162{,}8161 \text{ MeV}}{2 \cdot 2^2} = \mathbf{20{,}35201} \text{ MeV}$$

– **terza orbita**

$$E_3 = \frac{E_0(28)}{2 \cdot p^2} = \frac{162{,}8161 \text{ MeV}}{2 \cdot 3^2} = \mathbf{9{,}045340} \text{ MeV}$$

Naturalmente, quest'ultimo rappresenta anche il valore dell'energia che lega al nucleo l'ultimo protone aggiunto, il quale risulta anche quello più facilmente accessibile dall'esterno e quindi quello che più e

prima di altri interviene nei processi di trasformazione dei nuclei atomici.

Dato dunque un elemento nucleare $A_{(N\,;\,Z)}$, se sull'ultima orbita è disponibile ancora energia potenziale sufficiente, **è possibile l'aggiunta di un protone** in orbita in modo da produrre l'elemento $A_{(N\,;\,Z+1)}$ (nella realtà il processo non è però così diretto).

644

Non essendo cambiato lo spazio rotante, l'energia potenziale $E_0(N)$, che ad esso si associa, è rimasta invariata e dunque, **dal punto di vista nucleare**, nel nucleo equivalente che stiamo trattando, **non è cambiato nulla**.

Semplicemente, sull'orbita periferica, una parte dell'energia potenziale, che il nucleo di neutroni **aveva già reso disponibile** è stata trasferita dallo spazio rotante all'ultimo protone aggiunto "**sottoforma di energia di legame**" data dal valore :

$$E_{1Psp} = \frac{E_0(N)}{2 \cdot p_s^2}$$

necessario per poterlo trattenere in equilibrio sull'orbita associata a p_s .

Con una analogia, **possiamo dire che**, **dal punto di vista nucleare**, **gli isotoni** ($N =$ **costante**) **rappresentano gli ioni dell'elemento nucleare con le** " cariche energetiche " **dell'ultima orbita non ancora tutte utilizzate** dai protoni periferici.

La stessa situazione si presenta con i noti ioni degli atomi esterni, **che rappresentano gli elementi atomici con l'energia potenziale associata all'ultima orbita non utilizzata completamente dagli elettroni periferici**.

Se all'elemento iniziale $A_{(N\,;\,Z)}$ viene aggiunto un neutrone centrale, si ottiene il nuovo elemento $B_{(N+1\,;\,Z)}$ avente uno spazio rotante nucleare con energia potenziale associata $E_0(N+1)$, generalmente maggiore di $E_0(N)$ (minore se $N > 153$) e quindi **l'energia di legame di tutti i protoni presenti** sulle orbite viene maggiorata.

Si ottiene in questo modo un altro elemento nucleare, **sostanzialmente diverso da quello di partenza**, **in quanto è cambiata proprio la struttura dello spazio rotante nel quale i protoni si muovono**.

Per quanto riguarda invece lo spazio rotante "**esterno**" al nucleo, quello cioè generato dai protoni che orbitano attorno ai neutroni centrali e diretto verso la fascia degli elettroni periferici, esso può cambiare solo se varia il valore di

Z e quindi, **dal punto di vista atomico**, **sono gli isotopi** ($Z =$ **costante**) **che si presentano come lo stesso elemento**.

Dalla chimica degli atomi sappiamo che il comportamento di un elemento **è** definito sostanzialmente dal numero di **elettroni presenti sull'ultima orbita** e dalla loro energia di legame con il nucleo, la quale, anche in questo caso, si esprime con la relazione :

$$E_{1Pse} = \frac{E_{0e}(Z)}{2 \cdot p_s^2}.$$

Sappiamo anche che il numero massimo di elettroni periferici è quello che annulla o quasi lo spazio rotante esterno ($K^2 = 0$).
Questa condizione viene realizzata con il numero complessivo degli elettroni periferici è uguale al numero Z dei protoni centrali.

A questo punto tutta la energia potenziale $E_0(Z)$ che si associa allo spazio rotante generato dai protoni, presenti nel nucleo, viene trasferita agli elettroni periferici come energia di legame per un ammontare complessivo pari a :

$$E_{Ze} = E_{0e}(Z) \cdot \left[\left(p_s - 1\right) + \frac{n_e}{2 \cdot p_s^2} \right]$$

Agli elettroni orbitanti lo spazio rotante trasferisce anche un momento della quantità di moto, **il quale**, **in condizioni di perfetto equilibrio**, **sarà esattamente uguale e contrario a quello che possiede il nucleo formato dai protoni rotanti "centrali"**.

E'chiaro dunque che ad ogni valore di Z **corrispondono ben definiti valori massimi del momento angolare e dell'energia** E_{Ze} **che lo spazio rotante può trasferire agli elettroni**, **e quindi anche un valore massimo degli elettroni sostenibili sulle orbite**.

Quando il numero di elettroni coincide con quello massimo sostenibile,

si dice che l'atomo è " neutro ", con lo spazio rotante esterno nullo e quindi avrà una reattività trascurabile.

Se si asporta un numero più o meno grande di elettroni periferici, è chiaro che si rende disponibile alla periferia dell'atomo dell'energia potenziale che consente di legare nuovi elettroni, eventualmente già legati ad altri atomi.

Con qualche "piccolo" adattamento, un discorso analogo si potrebbe fare per l'atomo interno, creando una vera e propria chimica nucleare basata sulla elettropositività dei nuclei data dall'energia E_{1P_s} associata ai protoni presenti sulla ultima orbita.

In base a questo discorso, se è dato un atomo $A_{(N\,;\,Z)}$, l'aggiunta di un protone su un'orbita periferica, che acquisterebbe l'energia di legame E_{1P_s} e momento della quantità di moto M_{1Ps}, è possibile solo se questi valori sono già disponibili nello spazio rotante, altrimenti si deve prima aumentare il numero di neutroni nel nucleo centrale.

Per chiarire meglio questo discorso, riprendiamo il nostro esempio reale con il nucleo del Fe^{54}_{26}.

Se si aggiunge un protone sull'ultima orbita, si ottiene il nucleo del Co^{55}_{27} con una energia di legame che vale :

$$E_{1Ps} = \frac{E_0(28)}{2 \cdot p_s^2} = \frac{162{,}8161\ \text{MeV}}{2 \cdot 3^2} = \mathbf{9{,}04534}\ \text{MeV}$$

ed una velocità orbitale ($p = 3$) data dalla relazione :

$$V_{ZN3} = \frac{V_{11P}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{Z^{\frac{1}{2}}}{N^{\frac{\varepsilon}{2}}} \cdot \frac{1}{p} = \frac{V_{11P}}{\sqrt{2} \cdot p} \cdot \left[\frac{E_0(N)}{E_{11}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

numericamente si ottiene :

647

$$V_{ZN3} = \frac{66286558{,}11\ \frac{m}{sec}}{\sqrt{2}\cdot 3} \cdot \left[\frac{162{,}8161\ \text{MeV}}{17{,}2016\ \text{MeV}}\right]^{\frac{1}{2}} = \mathbf{48067713{,}96}\ \frac{m}{sec}$$

Nella realtà questo passaggio non si verifica e, prima di passare al Co^{55}_{27}, al nucleo di Fe^{54}_{26} si aggiungono quattro neutroni producendo Fe^{58}_{26} che ha una energia per orbita più elevata :

$$E_0(32) = \mathbf{176{,}1325}\ \text{MeV}.$$

A questo punto il protone aggiunto rimane stabile sull'orbita con una energia di legame :

$$E_{1Ps} = \frac{E_0(32)}{2\cdot p_s^2} = \frac{176{,}1325\ \text{MeV}}{2\cdot 3^2} = \mathbf{9{,}78514}\ \text{MeV}$$

Questo esempio è la conferma che l'aggiunta di un neutrone ad un elemento $A_{(N\,;\,Z)}$, producendo un aumento dell'energia potenziale per strato $E_0(N)$, conferisce al nucleo maggiore capacità di sostenere in orbita i protoni.

Questi ultimi possono quindi aumentare di numero (**modificando così le caratteristiche dell'elemento atomico esterno**) **e nello stesso tempo** aumenta l'energia di legame di tutti i protoni già presenti sulle orbite.

Per ogni valore di Z esiste dunque un valore minimo N_{min} dei neutroni in grado di sostenere tutti i protoni in orbita.

Questo discorso risulta coerente con il modello di nucleo equivalente, **nel quale lo spazio rotante si ritiene** generato da tutti i neutroni in esso presenti.

Se facciamo riferimento alla seconda proposta, secondo la quale **lo spazio rotante nucleare** viene generato solo dai neutroni accoppiati direttamente con i protoni, l'energia di legame risulta :

$$E_{ZN}(Z\,;N) = \left[\, 17{,}825 \cdot Z^{\frac{2}{3}} \cdot \alpha(Z) \,\right] \cdot F(I\,;Z)$$

in cui il primo fattore fornisce **l'energia per strato** associata a Z **neutroni**, mentre $F(I\,;Z)$ deve tener conto della presenza in orbita sia dei protoni che di tutti i neutroni eccedenti.

Dobbiamo ricordare che al neutrone è associato uno spazio rotante di valore trascurabile, pari a quello generato da un atomo di idrogeno neutro.

Dunque esso non può soddisfare le condizioni di equilibrio per poter restare sull'orbita associata al numero quantico **p.**

Esso richiede infatti comunque **l'energia di legame**, uguale alla sua energia cinetica

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot m_n \cdot V_P^2$$

ma non riesce a fornire il corrispondente " spazio controrotante ", con una velocità di rotazione della sfera planetaria uguale a quella di rivoluzione.

Per poter restare in equilibrio stabile sull'orbita, senza esserne capace, il neutrone deve necessariamente farsi trasportare da un protone, che questa operazione compie normalmente.

In definitiva, i neutroni eccedenti non possono che trovarsi nel nucleo legati ai protoni, in moto sulle orbite come deutoni.

Per quanto riguarda il valore dello spazio controrotante, il deutone, sull'orbita, si comporta **esattamente come un protone** e quindi, **il numero massimo di particelle che satura lo strato rimane ancora** $2 \cdot p^2$, indipendentemente dal fatto che siano protoni oppure deutoni.

Sappiamo che la presenza dei neutroni (come, del resto, quella dei protoni), sulle orbite non produce alcuna variazione dello spazio rotante centrale, per cui ciascun protone avrà ancora un'energia di legame data da :

$$E_{1Ps} = \frac{E_0(Z)}{2 \cdot p_s^2}$$

La massa del deutone è però maggiore di quella del protone e vale :

$$m_d = 1.98964 \cdot m_p$$

Dunque, essendo unica la velocità orbitale, anche l'energia di legame verrà maggiorata nella stessa proporzione.

L'energia di legame complessivamente associata a tutte le particelle presenti sull'orbita associata al numero quantico p_s sarà dunque :

$$E_{P_s}(Z\,;N) = \frac{E_0(Z)}{2 \cdot p_s^2} \cdot \left(n_p + 1.98964 \cdot n_d\right)$$

Abbiamo visto che la condizione di equilibrio perfetto si ottiene con $N = Z$ **e tutte le orbite sature**, che corrisponde alla condizione :

$$E_{P_s}(Z\,;N) = E_0(Z).$$

Quando sull'orbita sono presenti deutoni al posto di alcuni protoni, si presenta la condizione :

$$E_0(Z) < E_{P_s}(Z\,;N)$$

Si ha dunque un difetto di energia potenziale rispetto a quello richiesto per un perfetto equilibrio, che potrebbe essere corretto con un aumento dello spazio rotante nucleare centrale.

In mancanza di questa correzione, il nucleo reagisce al difetto di energia con **la tendenza a spostare spontaneamente i deutoni orbitali su un'orbita più esterna**, **in modo da portare l'energia di legame su valori più vicini a quelli richiesti per l'equilibrio**.

650