

– **teoria della instabilità del nucleo atomico**

Il risultato di questo meccanismo di compensazione, dovuto all'instabilità che il difetto di energia crea, è la formazione di miscugli di nuclei aventi lo stesso valore di Z , i quali si possono distinguere unicamente per la differenza del valore dell'energia di legame, che assume il valore minimo :

$$\Delta E_{ZN1} = E_0(Z) \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot p_s^2} - \frac{1}{2 \cdot (p_s + 1)^2} \right]$$

Si producono così nuclei nei quali vengono occupate le orbite esterne prima ancora di aver saturato quelle più interne.

Secondo questo modello, se viene fissato il numero dei protoni, viene definito sia lo spazio rotante atomico che quello nucleare e la differenza tra gli isotopi risiede solo **" nel numero dei deutoni che sostituiscono i protoni sulle orbite "**.

E' chiaro che non si può aumentare arbitrariamente il numero dei deutoni, in quanto esisterà un valore massimo di N oltre il quale lo spostamento di una particella **non è più sufficiente per compensare il difetto di energia** .

Quando questo limite viene raggiunto, un deutone si sposta verso il centro e, **" polarizzandosi "**, aumenta il valore dello spazio rotante nucleare.

Con questo incremento è possibile sostenere in orbita un nuovo protone, che normalmente viene ottenuto direttamente sull'orbita con la trasformazione di un deutone in due protoni, attraverso un'emissione β^- .

Ulteriori dettagli su questi processi verranno forniti in seguito.

Esaminando tutti gli isotopi naturali, si possono fare le seguenti osservazioni:

1 – Tutti i nuclei con Z dispari, senza eccezioni, per poter sostenere i protoni in orbita, necessitano di un numero minimo di neutroni centrali maggiore o uguale a quello richiesto dai nuclei contigui aventi Z pari.

Questo vuol dire che, per avere uno stesso valore di energia associata allo spazio rotante nucleare, con Z dispari necessitano più neutroni centrali.

L'interpretazione di questo fatto, è relativamente semplice.

Se il numero Z di protoni in orbita è pari, in ogni momento il centro di massa coincide con il centro dello spazio rotante nucleare e dunque con il centro del nucleo compatto di neutroni (**supponendo N pari**).

In queste condizioni l'energia che viene associata allo spazio rotante dipende solo dal numero N .

Se invece Z è dispari, il protone " **in eccesso** " sull'ultima orbita, durante il

moto di rivoluzione, produce uno spostamento continuo del centro di massa del sistema " **costringendo** " il nucleo di neutroni a compiere un'oscillazione attorno al suo centro.

E' chiaro che l'energia cinetica che il nucleo di neutroni acquista in seguito a questo movimento oscillatorio non è più disponibile per lo spazio rotante da esso generato.

Dunque, si può affermare che :

A parità di tutte le altre condizioni, i nuclei aventi Z dispari presentano sempre energia di legame minore di quelli che hanno Z pari.

Gli effetti prodotti da questa disparità assumeranno valore massimo all'apertura degli strati e minimo verso la saturazione.

2 – Il numero massimo dei neutroni presenti nei nuclei è sempre pari per qualsiasi valore di Z .

Unica eccezione a questa regola è il Lu_{71}^{126} che ha comunque abbondanza , piuttosto bassa , di **2,59 %** .

Anche questa regola si giustifica perfettamente con gli effetti che sono legati alla dissimmetria dei nuclei.

Prendiamo in considerazione, l'atomo $A_{(N;Z)}$.

Se N è pari, l'aggiunta di un neutrone produrrebbe l'elemento $A_{(N+1;Z)}$ con una dissimmetria nel nucleo di neutroni che, per un discorso perfettamente analogo a quello che abbiamo visto per i protoni in orbita, produce nel nucleo centrale una oscillazione con assorbimento di energia che viene sottratta allo spazio rotante nucleare.

Il processo non può dunque verificarsi spontaneamente in quanto si avrebbe un nucleo meno stabile di quello di partenza. Dunque, in natura N (pari) sarà il numero massimo di neutroni per l'atomo $A_{(N;Z)}$.

Se invece N è dispari e l'elemento considerato si presenta stabile, anche se il nucleo di neutroni spende energia per la sua dissimmetria, aggiungendo un neutrone, si ottiene N pari ed un nucleo perfettamente simmetrico.

La simmetria, che viene così acquisita, annulla l'oscillazione del nucleo con il **recupero della sua energia** cinetica che viene destinata allo spazio rotante nel quale si muovono i protoni.

L'aumento dell'energia E_0 porta così ad un atomo più stabile ed il processo si verifica spontaneamente.

Possiamo quindi concludere che gli elementi con N dispari, in natura, sono sempre accompagnati dall'isotopo con N pari.

3 – In natura non esistono nuclei aventi N dispari e Z dispari.

Un nucleo perfettamente simmetrico, con Z pari ed N pari, presenta in ogni momento il centro di massa coincidente con quello del nucleo di neutroni e dello spazio rotante nucleare.

In queste condizioni il moto del nucleo centrale è limitato alla sola rotazione su se stesso senza alcun moto oscillatorio e questo comporterà il massimo trasferimento di energia allo spazio rotante circostante, con la conseguente efficienza massima nel sostenere l'equilibrio delle particelle in orbita.

A parità di qualsiasi altra condizione, questi nuclei presenteranno dunque il valore massimo dell'energia per strato $E_0(N)$.

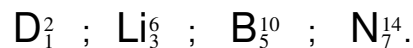
Nella posizione esattamente opposta si trovano gli elementi aventi N dispari e Z dispari.

Per le ragioni che abbiamo già visto, avendo, in questo caso, il nucleo con la massima dissimmetria, avremo la minima efficienza del nucleo nel trasferire energia allo spazio rotante ad esso associato.

L'efficienza risulterà, in questo caso, tanto bassa che in natura non si hanno nuclei con queste caratteristiche.

Se anche, per una ragione qualsiasi, un nucleo dovesse formarsi, per quanto è stato visto al numero **2**, si trasformerebbe spontaneamente.

Si conoscono solo quattro eccezioni a questa regola, tutte nell'ambito dei nuclei leggeri



Benchè questi nuclei facciano eccezione alla regola che abbiamo enunciato sinteticamente, essi rispondono perfettamente al criterio generale secondo il quale è il momento angolare associato alla rotazione del nucleo centrale che sottrae energia allo spazio rotante.

Dunque, a questi nuclei, aventi valori così bassi del numero di neutroni N , non si può applicare una regola che è stata ricavata considerando l'oscillazione del nucleo come una piccola perturbazione.

In questi casi si debbono analizzare gli effetti che si producono quando viene variato il numero di neutroni in ciascun nucleo separatamente.

Non v'è alcun dubbio infatti che nel nucleo più semplice, D_1^2 il singolo neutrone presenti una maggiore simmetria rispetto a quella che si ha con l'aggregato che si forma aggiungendo un altro neutrone.

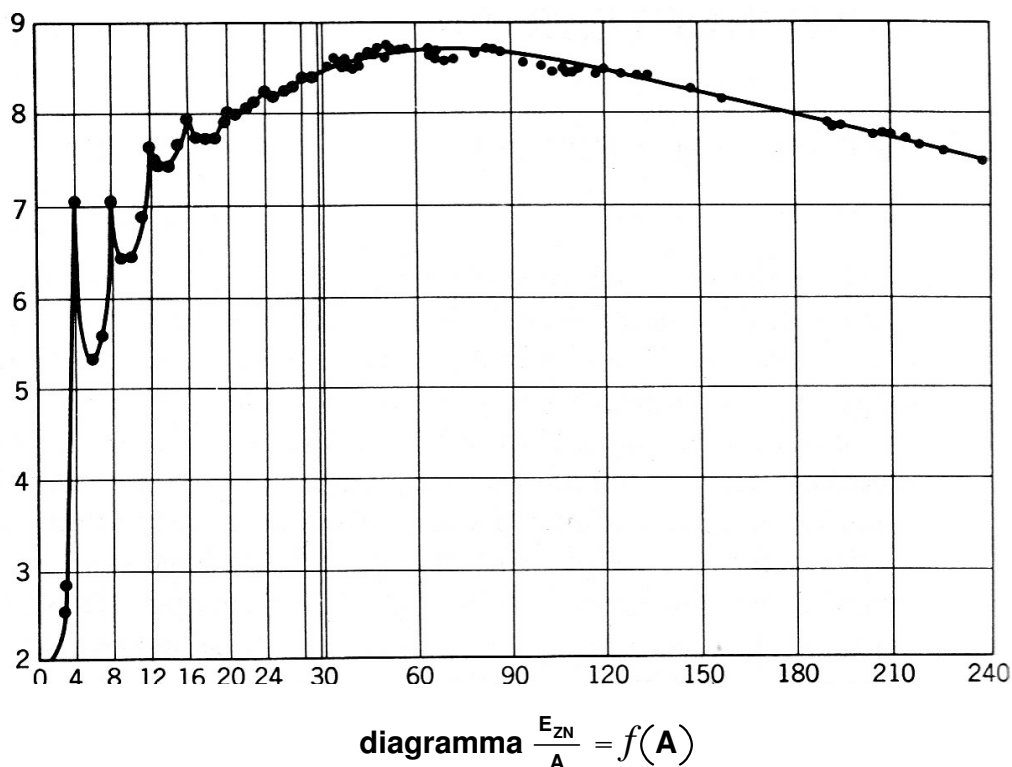
La sua esistenza è dunque perfettamente legittimata in quanto esso si comporta come se avesse N pari.

Infatti, se si aggiunge un neutrone, il nucleo che si forma, H_1^3 , benchè abbia un numero pari di neutroni, risulta meno stabile e, con una emissione β^- , si trasforma nella forma con maggiore simmetria e dunque più stabile He_2^3 . Discorsi analoghi si possono fare per gli altri nuclei.

Nel Li_3^6 il nucleo con tre neutroni consente una disposizione assolutamente simmetrica rispetto al centro e certamente non meno simmetrica di quella che si ottiene con quattro neutroni.

In generale la dissimmetria rispetto al centro nasce quando si ha più di uno strato di neutroni e sette è l'ultimo numero basso, dispari, che consente una disposizione simmetrica con un neutrone al centro e sei periferici.

Bisogna anche considerare che nei nuclei leggeri si crea un accoppiamento diretto tra ciascun neutrone centrale ed il corrispondente protone in orbita e questo porta ad una situazione completamente diversa da quella esaminata.



In figura abbiamo riportato il diagramma sperimentale dell'energia di legame

per ciascun nucleone, dal quale gli effetti di questo accoppiamento diretto tra neutrone e protone risultano molto evidenti dai picchi che si presentano fino al valore $Z = 8$.

Dato che i punti che sono stati considerati sono molto importanti per lo studio della fisica nucleare, vale la pena di riassumerli brevemente.

L'aggiunta di un neutrone o di un protone ad un nucleo produce un risultato diverso a seconda che il nucleo di partenza abbia Z o N pari oppure dispari.

In generale, se si passa da un pari a un dispari, il nucleo centrale, che prima era fermo, inizia ad oscillare con una spesa di energia che viene sottratta allo spazio rotante circostante.

In questo caso, l'aggiunta di un solo neutrone produce un aumento del valore dell'energia $E_0(N)$ tanto ridotto da richiedere altri neutroni per avere un risultato apprezzabile.

Questo trova una conferma nel fatto che in natura, se l'isotopo di un elemento con il numero più basso di neutroni è pari, esso sarà sempre solo oppure si hanno almeno tre isotopi, mai solo due.

Se invece si passa da N dispari a N pari, oltre all'aumento dell'energia E_0 , dovuto alla presenza di un numero maggiore di neutroni, **si ottiene anche il recupero dell'energia cinetica del nucleo che cessa di oscillare.**

In questo caso, si ha quindi, un incremento dell'energia associata allo spazio rotante molto più elevato e dunque è sufficiente aggiungere un solo neutrone per avere un nucleo stabile.

Proprio per gli effetti prodotti da queste disparità, il numero minimo richiesto di neutroni centrali $N_{\min}(Z)$, per poter sostenere in orbita Z protoni, risulta sempre minore se Z è pari. Questo comporta che :

Il numero minimo $N_{\min}(Z)$ necessario per avere un numero Z dispari di protoni, si rivela sempre capace di sostenere in orbita un numero di protoni pari maggiore.

In altre parole, un nucleo avente Z dispari raggiunge prima l'instabilità che viene creata dai deutoni in orbita e quindi si trasforma nel nucleo avente $(Z + 1)$ protoni in corrispondenza di un numero minore di deutoni sulle orbite.

Per esempio, per $Z = 27$ si ha $N_{\min}(27) = 32$.

Questo stesso numero di neutroni riesce però a sostenere in orbita un numero di protoni maggiore, $Z = 28$.

In pratica, passando da Z dispari a Z pari, si riesce ad incrementare di una unità il numero di protoni in orbita senza dover necessariamente aumentare il numero di neutroni centrali.

Questa regola si applica praticamente a tutti gli isotopi naturali conosciuti.

Se sono disponibili alcuni valori di masse atomiche con buona precisione, è possibile ricavare l'espressione dell'energia $E_0(N)$ per Z pari e Z dispari e, per differenza, si ottiene la curva che esprime l'energia associata al moto del nucleo centrale per effetto della dissimmetria.

L'analisi che abbiamo svolto finora ci dice che l'efficienza di un neutrone nel trattenere in orbita protoni, oltre che da condizioni particolari, **è determinata anche dalle dimensioni del nucleo considerato.**

Una indicazione del valore dell'energia $E_{01}(N)$, che trasferisce allo spazio rotante l'ultimo neutrone aggiunto, si ha dal diagramma di figura 53 nel quale è stata riportata la derivata :

$$\frac{d}{dN} E_0(N) = 8,16 - 0,3125 \cdot N + 646,5 \cdot 10^{-5} \cdot N^2 - 473 \cdot 10^{-7} \cdot N^3 \quad ; \quad \text{per } N \leq 67$$

$$\frac{d}{dN} E_0(N) = 10,5 - 0,2639 \cdot N + 264,8 \cdot 10^{-5} \cdot N^2 - 89,8 \cdot 10^{-7} \cdot N^3 \quad ; \quad \text{per } N \geq 67$$

Avendo, a questo punto, i valori dell'energia $E_0(N)$, utilizzando la relazione

$$E_0(N) = 2 \cdot E_{11}^* \cdot \frac{Z}{N^\varepsilon} = E_{0(1)} \cdot \frac{Z}{N^\varepsilon} = 17,792 \text{ MeV} \cdot \frac{Z}{N^\varepsilon}$$

possiamo ricavare il valore dell'esponente ε che, in prima approssimazione,

avevamo posto uguale a $\frac{1}{3}$. Si ottiene così :

$$\varepsilon = \frac{\log \left[\frac{2 \cdot E_{11}^*}{E_0(N)} \cdot Z \right]}{\log N} = \frac{\log \left[\frac{17,792 \text{ MeV}}{E_0(N)} \cdot Z \right]}{\log N}$$

Per $Z \leq 11$ ed ε_z calcolato considerando come valore di riferimento il numero di neutroni N_0 approssimato al valore intero, nelle pagine seguenti è riportato il difetto di massa e le masse atomiche calcolate con la relazione :

$$E_{zN} = 17,792 \text{ MeV} \cdot \frac{Z}{N^{\varepsilon_z}} \cdot \left[(p_s - 1) + \frac{n_p}{2 \cdot p_s^2} \right]$$

Per $Z \geq 12$, essendo disponibili i valori di $E_0(N)$ con sufficiente precisione, è stata utilizzata la relazione :

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

In tabella abbiamo riportato anche l'abbondanza relativa di ciascun isotopo che è stata considerata per il calcolo del valore medio della massa atomica dell'elemento naturale.