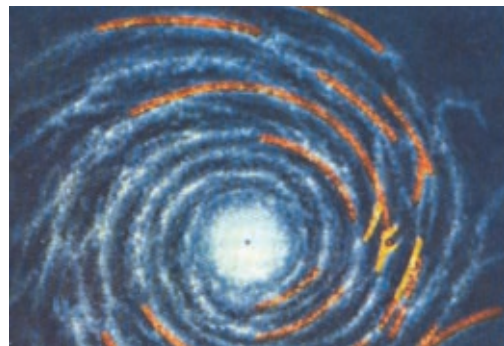




Gianni Donati
Aidic - donati.igd@uli.it

IL LEGAME NUCLEARE E IL PESO DEL NEUTRINO

Si tenta di fornire una risposta ai problemi non ancora risolti della fisica

sulla base dei dati sperimentali, dei fatti riportati dai libri di fisica nucleare e delle leggi consolidate delle teorie classiche e relativistiche. L'analisi dei dati disponibili di 1.806 nuclidi permette di svelare alcune informazioni finora nascoste e di ipotizzare una nuova teoria unificata. La natura dinamica del legame nucleare ed il calcolo dell'emissione di neutrini è messo in relazione con gli effetti gravitazionali consentendo la determinazione della massa del neutrino.

Scorrendo i libri di fisica nucleare si nota con sorpresa come, nonostante la gran quantità di dati disponibili sui nuclei atomici, non sia stato possibile analizzare le forze che tengono assieme i protoni e i neutroni e come molti punti interrogativi rimangano tuttora inevasi. Per contro la fisica classica offre modelli esatti che sono stati assunti come sinonimi di leggi della natura utili per scopi pratici e che sono solo parzialmente incrinati dalle teorie relativistiche. Le certezze raggiunte nei calcoli e nella predizione dei fenomeni naturali, che fanno parte dell'esperienza comune, spesso oscura il fatto che ancora oggi nessuno conosce la vera natura delle forze più note, quali ad esempio la gravità e i campi elettromagnetici. Ci si aspetta che, quando le proprietà delle interazioni nucleari saranno noti, non solo sarà possibile spiegare il comportamento dei nuclei della tabella isotopica degli elementi ma anche probabilmente sarà disponibile una nuova visione dell'intero universo.

La questione non è di secondaria importanza se intere équipe di ricercatori conducono costosissime sperimentazioni alle alte energie, se altri si accaniscono a scavare profonde gallerie sotterranee alla ricerca dei famigerati neutrini ed altri ancora si dilettono a elaborare sofisticate formulazioni matematiche sulla scia del successo della teoria speciale della relatività. La nostra idea è che la natura è fondamentalmente semplice come semplici sono i modelli utili che sono stati trovati in passato e che costituiscono le pietre miliari della fisica moderna. Perciò nella nostra passeggiata sulla tabella isotopica degli elementi che compongono l'universo conosciuto faremo uso, per nostra utilità e per quella del lettore, solo del libro di fisica nucleare elementare ma molto chiaro di Irving Kaplan [1] e della tabella degli isotopi di Russell L. Heath inclusa nel "CRC Handbook of Chemistry and Physics" [2]. Tenteremo di individuare degli indizi per formulare delle ipotesi alternative sulla natu-

ra dei legami nucleari, per capire la dinamica dei nuclei e per fare una rapida invasione nel campo delle certezze della fisica classica.

Gli elementi di base

Per partire nella nostra passeggiata sulla tabella dei nuclidi dobbiamo riconoscere alcuni fatti ben noti ed accettati sui nuclei.

La tabella degli isotopi

Tutti i nuclei sono composti di Z protoni e N neutroni e il numero di massa A è dato da $A=Z+N$. La dispersione Z in funzione di N dei nuclidi (Figura 1) è tale che gli elementi stabili giacciono su una curva che inizia con $N/Z=1$ e finisce con $N/Z=1,6$. I nuclei più ricchi in N dei loro isobari stabili sono attivi β^- e cioè emettono elettroni mentre nuclei poveri in N emettono particelle β^+ (positroni) o catturano elettroni orbitali. Alla fine della tabella i nuclei sono instabili.

Le masse atomiche

Le masse atomiche, espresse in amu, sono convenzionalmente riferite al ^{12}C e sono collegate alla massa in grammi dall'inverso del numero di Avogadro $N_0=6,02486\text{E}+23$ o trasformate in MeV moltiplicandole per 931,141 attraverso la famosa equazione di Einstein $E=Mc^2$. L'analisi delle masse degli atomi mostra che le masse effettive sono inferiori alla somma dei nucleoni che li costituiscono e l'energia di legame è perciò $B.E.=c^2DM$, dove DM è detto difetto di massa.

$$DM = Zm_H + (A-Z)m_n - M_{Z,A} \quad (1)$$

Dividendo B.E. per il numero di massa A si ottiene l'energia di legame per nucleone in MeV: questa energia varia fra 1,1597 per il deuterio, 7,6802 per ^{12}C , 8,7904 per ^{56}Fe e 7,5702 per ^{238}U .

Il modello a goccia e la formula semiempirica per l'energia di legame

Il nucleo è considerato come una goccia di fluido incompressibile ad altissima densità soggetto a forze di volume e di superficie e a repulsioni elettrostatiche.

$$B.E. = a_v A - 4a_c Z(Z-1)/A^{1/3} - a_s A^{2/3} - a_t (A-2Z)^2/A - E_\delta \quad (2)$$

Il primo termine è l'energia di volume, il secondo l'energia di Coulomb e il terzo l'energia di superficie. Il quarto e l'ultimo termine rappresentano effetti di simmetria e di parità-disparità dei nucleoni aggiunti per meglio descrivere i dati sperimentali.

Questa formula è stata regredita su un gran numero di nuclidi con indici di correlazione multipla elevati e prossimi al 99,96% ed errori medi attorno al 2,7% ed è stata usata per calcolare le masse degli elementi. I valori delle costanti sono riportati in (1) e sono: $a_v=14,0$ MeV, $a_c=0,146$ MeV, $a_s=13,1$ MeV, $a_t=19,4$ MeV e E_δ è $0 \pm \delta/2A$ a seconda del numero dispari o pari di nucleoni, protoni e neutroni con $\delta=270$ MeV. L'ottimizzazione spinta dei parametri con i dati di 1.806 nuclidi riportati in (2) ha permesso di ottenere indici di correlazione multipla oltre il 99,98% ed errori medi attorno al 1%. Ciò nonostante molti dei nuclidi, come i leggeri, sfuggono a questa regola e numerose irregolarità sono presenti, confermando la natura empirica del modello a goccia nel rappresentare il reale comportamento dei nuclidi.

La teoria di Fermi e l'ipotesi del neutrino

L'esigenza di mantenere il principio della conservazione dell'energia e della quantità di moto nel decadimento β ha portato Fermi nel 1934 a ipotizzare l'esistenza del neutrino.

La teoria prevede che il neutrone nel nucleo si trasformi in un protone e in un elettrone con emissione di un antineutrino $\bar{\nu}^*$ e che viceversa il protone si converta in neutrone e positrone con emissione di un neutrino ν . Protone ed elettrone possono inoltre trasformarsi in un neutrone per cattura elettronica orbitale:

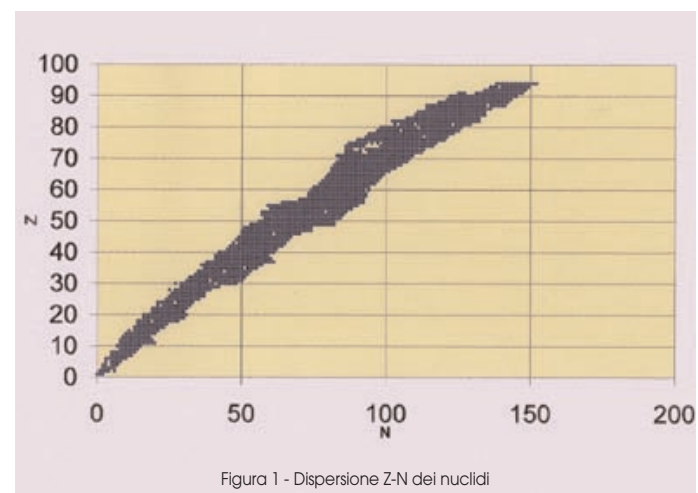


Figura 1 - Dispersione Z-N dei nuclidi

$$\begin{aligned} \text{Emissione } \beta^- & n = p + \beta^- + \bar{\nu}^* \\ \text{Emissione } \beta^+ & p = n + \beta^+ + \nu \\ \text{Cattura elettronica orbitale} & p + \beta^- = n + \nu \end{aligned} \quad (3)$$

Si è trovato sperimentalmente che il tempo di dimezzamento del neutrone libero è 12 minuti e che il positrone e l'elettrone si annichilano con produzione di due fotoni γ di 0,511 MeV ciascuno:

$$\beta^- + \beta^+ = 2\gamma \quad (4)$$

Questi fatti elementari sono stati menzionati perché riteniamo che ci sia una logica in essi non ancora spiegata dalle teorie, dai complessi esperimenti alle alte energie e dalle vane ricerche sotterranee dei neutrini.

La natura del legame nucleare

Si è visto come il modello a goccia (1) rappresenti in modo sufficiente il difetto di massa DM e l'energia di legame B.E. e tuttavia fallisca se si vuole effettuare un'analisi più precisa della struttura dei vari nuclidi. La ragione di questo risiede principalmente nella natura discreta e discontinua dei nuclei che allontana la forma della goccia dalla struttura sferica e nella profonda differenza fra i nuclei leggeri e quelli pesanti che rende imprecisi i calcoli dei vari contributi. In particolare il termine legato all'energia repulsiva di Coulomb, $C.E.=-4a_c Z(Z-1)/A^{1/3}$, pur essendo approssimato, ha un effetto reale, è stato calcolato teoricamente per nuclei sferici ed è stato validato dalle misure sui nuclei speculari cioè quelli con numero di protoni e neutroni invertiti.

Esso ha perciò una natura indipendente rispetto alle altre energie e permette di definire l'energia propria del legame nucleare depurata dagli effetti repulsivi:

$$N.B.E. = B.E. - C.E.$$

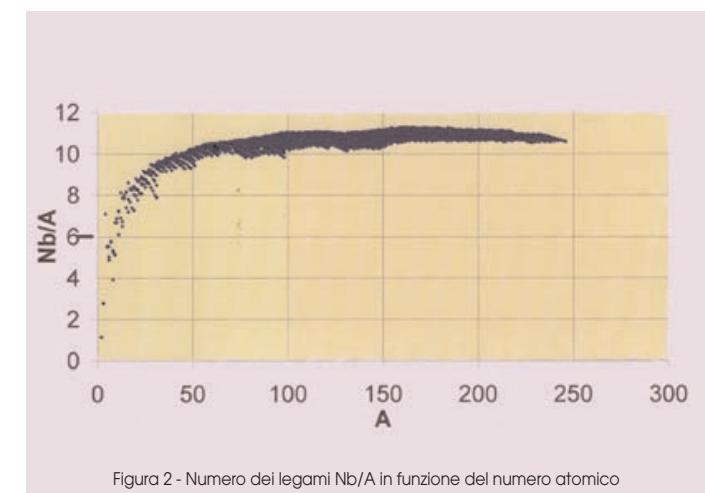


Figura 2 - Numero dei legami Nb/A in funzione del numero atomico

La Tabella 1 mostra che N.B.E./A in funzione di A ha un aspetto più regolare di B.E./A e presenta un valore asintotico per i nuclei pesanti attorno a 11 MeV. Esiste inoltre una forte evidenza che l’energia di un legame nucleare debba collocarsi attorno a 2 MeV.

L’analisi dei dati riportati da Russell L. Heath (2) e le rilevazioni descritte in (1) mostrano che:

- l’energia di legame del deuterio è circa 2 MeV ed un solo legame è presente;
- lo studio del decadimento α e β mostra che sono presenti discontinuità di circa 2 MeV in prossimità dei cosiddetti “numeri magici”, e cioè di nuclidi aventi un numero di neutroni o di protoni 28, 50, 82 e 126. Ad esempio l’energia di legame del 127° neutrone è 2,2 MeV inferiore di quella del 126° neutrone and il 50° neutrone mostra una energia di circa 2 MeV più elevata di quella del 51° ;
- se esaminiamo i nuclei speculari ^{10}Be e ^{10}C essi hanno diverse energie di legame ma la stessa energia nucleare di legame e decadono β^+ e β^- a ^{10}B che è stabile ed è in grado di formare un nuovo legame nucleare del valore di 2 MeV. La stessa considerazione vale per ^{14}C , ^{14}N , ^{14}O e altri tripletti di isobari.

A queste osservazioni sui dati sperimentali possiamo aggiungere le seguenti considerazioni:

- una particella sferica può essere circondata al massimo da 12 particelle e, in un aggregato sferico di particelle, quelle interne possono sviluppare 12 legami mentre quelle disposte sulla superficie dispongono di un numero inferiore di punti di contatto. Perciò, all’aumentare del numero di particelle dell’aggregato, il numero di legami medio per particella tende asintoticamente a 12;
- l’energia che viene persa in un legame nucleare, se fosse pari a 2,044 MeV, sarebbe proprio quella derivante da due annichilazioni

Tabella 1 - N.B.E./A, C.E./A, B.E. (MeV) per nuclidi tipici			
	N.B.E./A	C.E./A	B.E./A
H2	1,1597	0	1,1597
H3	2,8271	0	2,8271
He3	2,8424	-0,2699	2,5725
He4	7,2587	-0,1839	7,0747
He5	5,6222	-0,1366	5,4856
Li5	5,6756	-0,4098	5,2658
C12	8,3179	-0,6377	7,6802
O16	8,7874	-0,8112	7,9763
Al27	9,4563	-1,1247	8,3316
Cl35	9,9078	-1,3875	8,5204
Fe56	10,5622	-1,7718	8,7904
Sn116	11,0523	-2,5291	8,5232
Au197	11,0553	-3,1394	7,9159
Pb206	11,0638	-3,1883	7,8756
U238	10,8851	-3,3149	7,5702

Tabella 2 - Numero di legami nucleari per nuclidi tipici		
	N. di legami	N. di legami/A
H2	1,135	1,135
H3	4,149	2,766
He3	4,172	2,781
He4	14,205	7,102
He5	13,753	5,501
Li5	13,883	5,553
C12	48,832	8,139
O16	68,785	8,598
Al27	124,909	9,253
Cl35	169,651	9,694
Fe56	289,368	10,335
Sn116	627,219	10,814
Au197	1.065,479	10,817
Pb206	1.115,019	10,825
U238	1.267,420	10,651

di positrone ed elettrone con produzione di quattro fotoni γ da 0,511 MeV ciascuno secondo la reazione (4).

Abbiamo perciò diviso l’energia totale nucleare N.B.E. per 2,044 MeV ottenendo i numeri riportati in Tabella 2 per alcuni nuclidi e il grafico di Figura 2 per tutti i 1.806 nuclidi. Si vede chiaramente come il numero di legami per nucleone cresce dai nuclei leggeri a quelli pesanti tendendo asintoticamente a 12, fornendo una giustificazione fisica all’energia di superficie e di volume del modello a goccia. Tuttavia, come già anticipato per il modello a goccia, la geometria del nucleo non è semplice e soprattutto non è statica, come evidenziato dai nuclidi leggeri. Il deuterio deve naturalmente avere una sola interazione ma ^3H , ^3He , ^4He sembrano mostrare un numero di legami superiore a quello prevedibile dalla loro semplice struttura geometrica. ^4He è un tipico esempio con 14 interazioni, 7 per nucleone, invece delle 6, 3 per nucleone, deducibile dalla più semplice figura geometrica nello spazio. I nuclei speculari ^3H e ^3He presentano 4 interazioni contro 3 deducibili dalla geometria (2,7 per nucleone), mentre i successivi nuclei speculari ^5He e ^5Li mantengono un numero di interazioni pari a 14 (5,5 per nucleone) mostrando un effetto di saturazione per l’aggiunta di un nucleone.

Per spiegare questo comportamento siamo costretti a lasciare cadere una delle ipotesi più discusse della fisica nucleare: quella di simmetria e ciò l’uguaglianza dei legami n-p, p-p e n-n. Se supponiamo che solo i legami n-p siano presenti, riconosciamo subito una certa coerenza con le reazioni (3) e (4): infatti solo queste reazioni possono produrre assieme il positrone e l’elettrone per il processo di annichilazione e per liberare l’energia di 2,044 MeV per la formazione del legame. Se supponiamo inoltre che i legami non siano fissi ma mobili fra i nuclidi durante le trasformazioni (3) riconosciamo anche, con l’aiuto della Figura 3, che il numero di interazioni fra i nuclidi è correlabile alle combinazioni possibili di neutroni e protoni nel nucleo. ^3H può combinare il protone 1 con i neutroni 2 e 3, il protone 2 con i neutroni 1 e 3 e il protone 3 con i neutroni 1 e 2. Perciò se inizialmente sono presenti i legami 12 e 13, il legame 23 si aggiunge alla prima trasformazione e il 31 nell’ultima per un totale di 4 legami, coerentemente con il dato sperimentale ottenuto nell’ipotesi di energia di legame di 2,044 MeV. Se applicata a ^3He , questa regola da nuovamente 4 legami e sorprendentemente 14 legami per ^4He .

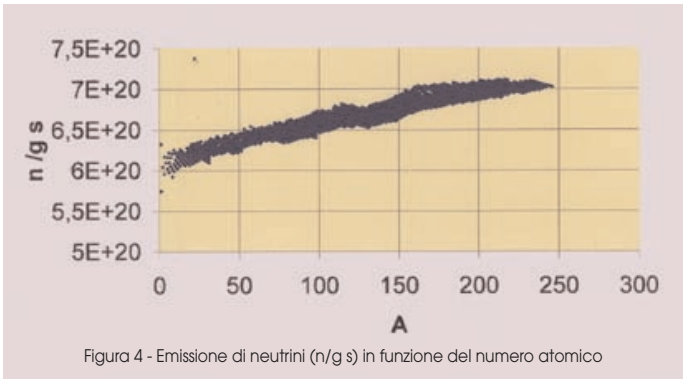


Figura 4 - Emissione di neutrini (n/g s) in funzione del numero atomico

Con ^5He dobbiamo supporre che la sequenza base delle trasformazioni sia quella di ^4He e che l’ultimo neutrone rimanga fuori dal gioco, sviluppando uno o due legami a seconda della sua posizione rispetto ai protoni. Il numero dei legami creati e distrutti nella trasformazione è 14 e un risultato simile si ottiene per ^5Li in accordo con i dati sperimentali. La difficoltà di andare avanti con l’aumento del numero di nucleoni è evidente e perciò ci fermiamo qui nonostante la rappresentazione finora fatta del nucleo si presti a molte considerazioni. In realtà lo spazio disponibile è limitato e abbiamo fretta di passare alla prossima analisi.

Il comportamento dinamico dei nucleoni e degli atomi

Secondo quanto visto al paragrafo precedente gli atomi sono in continua trasformazione e mentre alcuni nuclidi sono stabili altri decadono trasformandosi in altri nuclidi, emettendo particelle ed energia. I nuclei stabili nelle trasformazioni, che subiscono i protoni e i neutroni, lanciano in continuo gli elettroni orbitali ed emettono neutrini. Non sorprende perciò l’analogia fra la configurazione degli elettroni negli orbitali K, L, M... atomici e i possibili stati dei nuclei. Possiamo perciò scrivere i seguenti bilanci sui nuclei sulla base delle reazioni (3):

$$\begin{aligned} dN/dt &= -k_1N + k_2Z^2 + k_3Z \\ dZ/dt &= +k_1N - k_2Z^2 - k_3Z \\ dv/dt &= +k_1N + k_2Z^2 + k_3Z \end{aligned} \tag{5}$$

Se si assume lo stato stazionario per la prima e la seconda delle equazioni (5) si ottiene:

$$N = k_3/k_1Z + k_2/k_1Z^2 \tag{6}$$

L’analisi di regressione di questa equazione sui 1.806 dati disponibili e rappresentati in Figura 1, mostra una correlazione prossima al 99,7% e parametri $k_3/k_1=1,048253$ e $k_2/k_1=0,005943391$.

Se si assume $k_1=0,0009625$ e cioè un dimezzamento del neutrone di 12 minuti, i valori delle altre costanti risultano determinati:

$k_1 = 0,0009625$ $k_2 = 4,71554\text{E-}06$ $k_3 = 0,00105382$
Il calcolo di $dN/dt=-dP/dt$ fornisce valori negativi per gli emettitori β^- e positivi per quelli β^+ . La terza equazione (5) può essere utilizzata per calcolare l’emissione dei neutrini dei nuclei della tabella isotopica degli elementi. Si scopre che il valore medio non pesato di tale emissione è di $6.668\text{E}+20$ neutrini per grammo e per secondo e che tale

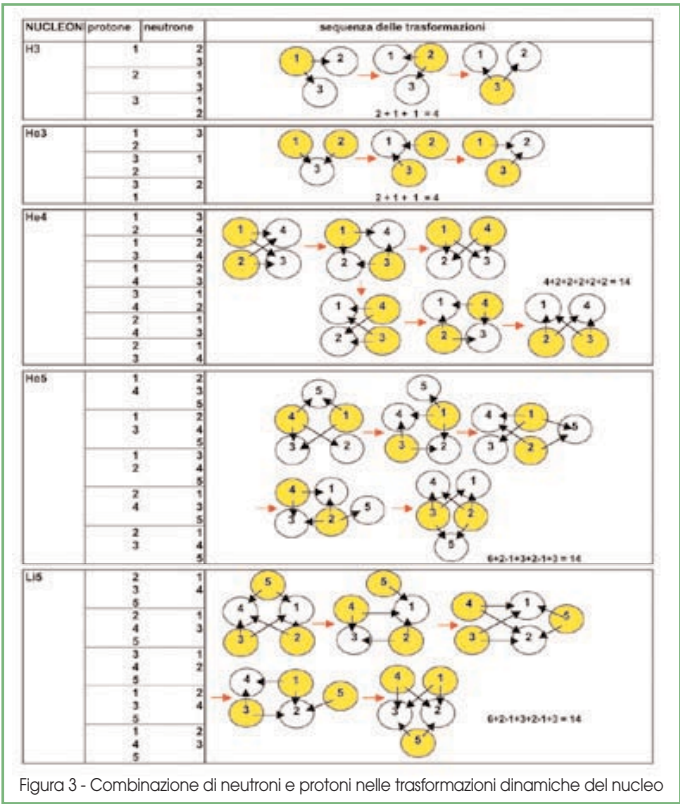


Figura 3 - Combinazione di neutroni e protoni nelle trasformazioni dinamiche del nucleo

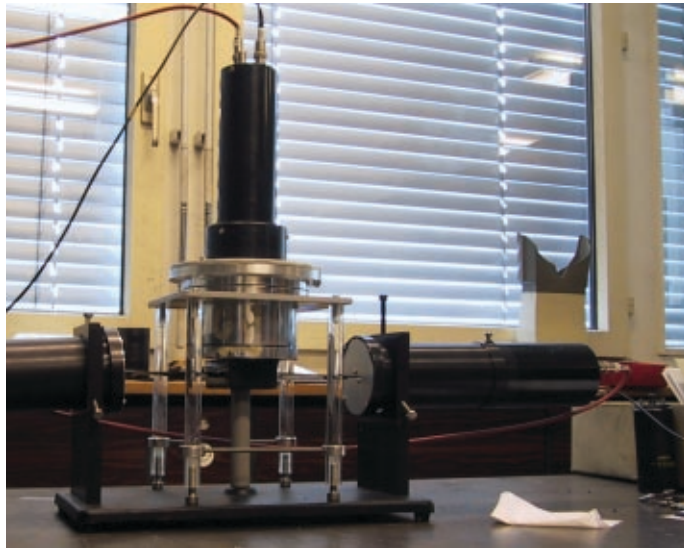
valore non varia in modo significativo dai nuclidi leggeri a quelli ad elevato numero atomico come mostrato dalla Figura 4. Dal momento che l’universo è costituito da una miscela di nuclidi, il valore trovato assomiglia molto ad una nuova costante universale. Il fatto nuovo è che sembra esistere un importante flusso di neutrini nell’universo legato alla presenza della materia e che forse non valga la pena di cercare una particella elementare così diffusa sotto terra in profonde cavità scavate sotto le montagne.

Il neutrino e le forze gravitazionali

La teoria finora sviluppata ci porta a immaginare l’universo come costituito da piccoli corpi di materia coagulata che emettono neutrini, i quali attraversano lo spazio vuoto con la velocità della luce. I fisici usano dire che esiste una particella simile al neutrino, chiamata gravitone, che è la causa di forze attrattive di scambio fra i corpi. Se assumiamo che neutrino e gravitone siano la stessa cosa, forse abbiamo del campo gravitazionale un’immagine più concreta degli stessi corpi

The Nuclear Bond and the Neutrino Weight
An attempt is presented to give a response to the unsolved key problems of physics on the basis of the experimental data and facts reported by books on nuclear physics and of the consolidated laws of classical and relativistic theory. The insofar hidden information present in the data of 1,806 nuclides comes to evidence and the frame of a new unified theory is proposed. The dynamic nature of nuclear bond and the computed neutrino emission from the nuclei is related to the gravitational effects allowing the determination of the neutrino mass.

ABSTRACT



solidi che vediamo, tocchiamo e che sono la causa dell'esistenza del campo stesso. Ci sentiamo tuttavia a disagio nel riconoscere l'esistenza di forze di scambio perché il neutrino non sembra presentare, se non eccitato, interazioni con la materia e ci ricordiamo che la sua esistenza è stata ipotizzata da Fermi per garantire la conservazione della quantità di moto e dell'energia nel decadimento β . Dopo di che nessuno lo ha più visto e lo stanno cercando ancora oggi. Resta il fatto che la materia coagulata si muove in continuo nell'universo sotto le leggi della gravitazione universale e che, nella nostra visione, la materia fine costituita dai neutrini si propaga dai corpi solidi verso l'infinito con la velocità della luce. La logica vuole che, come negli atti atomici elementari, queste due componenti dell'universo siano legate fra di loro dal principio della conservazione della quantità di moto applicata non alle superfici e ai volumi solidi ma alla sezione e alle masse dei nucleoni. Perciò possiamo definire la forza generata dal flusso neutrino come l'altra faccia della medaglia sulla quale Newton qualche secolo fa ha scritto la legge di gravitazione universale:

$$\text{Forza gravitazionale} \quad F_g = G M_1 M_2 / R^2$$

dove $G=6,668 \times 10^{-8}$ è la costante di gravitazione universale ($\text{cm}^3 \text{s}^{-2} \text{g}^{-1}$), M_1 e M_2 sono le masse (g) e R^2 è il quadrato della distanza (cm^2)

$$\text{Forza neutrinica} \quad F_n = F_o M_1 \mu c \alpha_n M_2 / (4 \times 3,14 R^2)$$

dove $F_o=6,668 \times 10^{20}$ è il flusso neutrino per grammo e secondo ($\text{ng}^{-1} \text{s}^{-1}$), μ è la massa del neutrino (g), $c=2,9973 \times 10^{10}$ è la velocità della luce (cm s^{-1}) e $\alpha_n=3,14 r_n^2/m_n$ è la sezione per grammo di nucleoni avente massa m_n e raggio r_n ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$). Imponendo l'egualianza di F_g e F_n , si ottiene il rapporto fra la massa del neutrino e la massa del nucleone.

$$\mu/m_n = 4G/(F_o c r_n^2)$$

Se si assume $r_n=1,2 \times 10^{-13}$ cm, si ottiene $\mu/m_n=9,2676 \times 10^{-13}$ e quindi, dato $m_n=1,008983$ amu, la massa del neutrino risulta $\mu=9,35085 \times 10^{-13}$ amu, oppure $1,55277 \times 10^{-36}$ grammi, oppure $8,71032 \times 10^{-4}$ eV che è significativamente più piccola del valore di 57 eV derivato dagli esperimenti di rinculo dei nuclei e riportato in letteratura (1) come il limite superiore misurabile. Il neutrino è quindi $1,70399 \times 10^{-9}$ più piccolo dell'elettrone e del positrone e perciò esso stesso difficile da misurare per via diretta mentre i suoi effetti sono visibili e misurabili da tutti.

I flussi di neutrini nello spazio si sommano e si sottraggono a secondo del loro orientamento e il campo generato ha la stessa forma e proprietà di quello gravitazionale. Molte considerazioni affascinanti si possono fare con i numeri appena ricavati. Ad esempio si può affermare che un grammo di materia perde $3,27 \times 10^{-8}$ g in un anno e $3,2652 \times 10^{-6}$ g in 100 anni e che la materia persa si trova in una sfera con un raggio di 1 e 100 anni luce rispettivamente. Anche gli atomi stabili invecchiano e la terra perde $1,95 \times 10^{20}$ g e il sole $6,5 \times 10^{25}$ g in un anno. In aggiunta il sole emette radiazione termica con un flusso pari a $53.900.000 \text{ kcal h}^{-1} \text{m}^{-2}$, ovvero $3,3674 \times 10^{21}$ g all'anno e la terra riceve radiazione dal sole con un flusso di $1.170 \text{ kcal h}^{-1} \text{m}^{-2}$ ovvero $1,225 \times 10^{10}$ g all'anno, che è molto meno della massa persa con i neutrini freddi. Il neutrino è perciò nello stesso tempo il motore dell'universo e il combustibile che fa muovere l'intera macchina.

Conclusioni

La passeggiata effettuata sulla tabella dei nuclidi ha permesso di individuare da fenomeni e dati noti alcuni elementi utili per meglio capire la natura dei componenti elementari di cui è costituita la materia. Si è messa in evidenza la natura del legame nucleare e misurata la quantità di energia/materia persa nei mini-big bang che hanno portato e che, per gli isotopi instabili, tuttora portano alla formazione di nuovi legami e alla sintesi di nuovi nuclidi.

La correlazione dei dati elementari di tutti i nuclidi noti ha permesso di dare un senso alla forma della loro distribuzione e di ricavare un modello semplice a tre parametri per le trasformazioni della materia. Questo modello, applicato ai fenomeni macroscopici della fisica classica, fornisce un significato nuovo ai campi gravitazionali e permette la stima della massa del neutrino.

Rimangono a questo punto aperte molte questioni ed altre sono andate perse durante la strada percorsa in questo breve articolo. Le questioni perse riguardano l'approfondimento della fisica del nucleo e dell'atomo e quelle aperte riguardano le proprietà del neutrino e del neutrino eccitato e il suo possibile ruolo nell'irraggiamento, nei campi elettrici ed elettromagnetici e nei fenomeni e teorie relativistiche.

Bibliografia

- (1) I. Kaplan, Nuclear Physics, Addison Wesley, 1964.
- (2) R.L. Heath, Table of Isotopes, B255-339, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63rd Ed., CRC Press, Inc.