

E. FIORINI (*)

I neutroni e la fisica fondamentale (**)

Il tema che mi è stato assegnato è di una vastità estrema e le mie competenze si limitano solo a qualche argomento di fisica con i neutroni. Mi permetterò quindi di considerare solo tre argomenti: alcuni risultati recenti sulle proprietà fondamentali dei neutroni, la stabilità del nucleone e le oscillazioni del neutrone.

1. Proprietà fondamentali

Il neutrone è come noto un fermione con spin pari a $\frac{1}{2}$. Il più recente risultato in tal senso è stato ottenuto da Barkan *et al.* [1] con un esperimento alla Stern e Gerlach dove veniva inviato un fascio di neutroni attraverso due poli generanti un campo magnetico fortemente disuniforme. In assenza di campo i neutroni non deviati formavano un singolo picco spaziale che si trasformava in un doppietto quando il campo stesso veniva inserito. Quando poi si inviavano neutroni polarizzati dalla riflessione su di un foglio di cobalto magnetizzato i neutroni finivano in uno dei due picchi del doppietto a seconda del segno della loro polarizzazione.

Un altro parametro fondamentale del neutrone è la sua massa, la cui determinazione più precisa da misure sull'energia del fotone generato dalla cattura di neutroni su idrogeno:



Le misure più recenti di questa energia, ottenuta dal confronto con gamma standard prodotto ad esempio dal ^{60}Co e ^{137}Cs sono:

(*) Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Milano.

(**) Relazione presentata al Convegno « I neutroni e loro applicazioni » nel cinquantenario della scoperta della radioattività da neutroni. (Roma, 4-5 giugno 1984).

2.224564 ± .000017 [2], 2.224568 ± .000008 [3] e 2.224575 ± .000009 [4], in ottimo accordo tra di loro. Questi dati possono essere confrontati con le differenze di massa [5]

$$(2) \quad {}^3\text{He} - {}^3\text{H} \text{ pari a } 1548.287 \pm .006 \text{ } \mu\text{amu}$$

$$(3) \quad {}^4\text{H} - 1 \text{ pari a } 7825.937 \pm .010 \text{ } \mu\text{amu}$$

per ottenere per la massa del neutrone:

$$(4) \quad m_n = 1,008664.905 \pm 0.015 \text{ } \mu\text{amu}$$

La carica elettrica del neutrone è zero. Recentemente Gahler *et al.* [6] non hanno osservato alcuna deflessione in campo elettrico di un fascio di neutroni molto lenti (con una lunghezza d'onda associata di circa 20 Å) ed hanno ottenuto quale carica del neutrone il valore:

$$(5) \quad (-1.5 \pm 2.2) \times 10^{-20}e \text{ (carica dell'elettrone).}$$

Il momento di dipolo magnetico è l'unico momento di qualunque ordine di polo magnetico che si sia trovato diverso da zero per il neutrone. Esso è stato determinato recentemente con il metodo della risonanza magnetica [7] ottenendo il valore:

$$(6) \quad \mu_n = (-1.91304308 \pm .00000058) \mu_N.$$

Non si è invece trovata alcuna indicazione per un valore finito del momento di dipolo elettrico, la cui determinazione sarebbe di grande importanza (come d'altronde per qualunque atomo neutro di spin $\frac{1}{2}$) nella fisica delle particelle elementari. Va infatti considerato l'effetto sul neutrone di tre noti operatori: la parità che cambia il segno delle coordinate X, Y, Z di un sistema; la C-parità o coniugazione di parità che cambia la particella con la antiparticella corrispondente; ed infine la T-parità o inversione temporale che inverte il senso di svolgimento del tempo. L'effetto della P- e T-parità su un neutrone dotato di momento di dipolo elettrico è mostrato in Fig. 1 dove si vede pure che l'esistenza di un momento di dipolo elettrico implicherebbe la contemporanea violazione dell'invarianza rispetto alla P- e T-parità. Va ora ricordato che si assume in generale l'invarianza rispetto alla contemporanea inversione della parità spaziale e della C- e T-parità. Ora la parità è violata nelle interazioni deboli, la cui ampiezza è pari a $10^{-4} - 10^{-7}$ volte quella delle interazioni forti, mentre il prodotto CP, o analogamente T, è violato nelle cosiddette interazioni superdeboli, quale il decadimento della K^0 , la cui ampiezza è pari a circa 10^{-5} volte quella delle interazioni deboli. Ci si aspettano quindi violazioni piccolissime rispetto al prodotto PT e

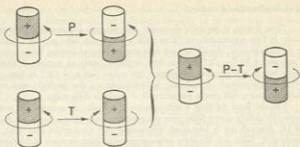


Fig. 1

conseguentemente valori molto limitati del momento del dipolo elettrico del neutrone.

Gli esperimenti più recenti sono stati svolti utilizzando i cosiddetti neutroni ultrafreddi, con velocità di pochi metri al secondo, corrispondenti quindi a temperature di 10^{-4} K od inferiori. Questi neutroni, data la loro lunghezza d'onda, vengono riflessi dalle pareti del loro contenitore o « bottiglia » dove rimangono per decine di secondi. Per la misura del momento di dipolo elettrico del neutrone si sono utilizzati, sia a Grenoble [8] che nell'Unione Sovietica [9], metodi di risonanza magnetica, ottenendo limiti superiori di 4×10^{-23} e 4.8×10^{-23} e. cm. Vorrei enfatizzare la straordinaria sensibilità di questi esperimenti: i limiti sono dell'ordine di 10^{-23} debye! Questi limiti sono comunque ancora compatibili con i valori di momento di dipolo elettrico del neutrone previsti dalla teoria delle interazioni superdeboli.

Per quanto riguarda la vita del nucleone ci riferiremo prima al caso che il neutrone sia libero ed in grado di decadere quindi con emissione di un elettrone:

$$(7) \quad n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

Nelle esperienze più recenti si usa l'artificio di contare, dopo averli accelerati opportunamente, i protoni che vengono liberati con bassissima energia (0.751 KeV) nel decadimento del neutrone (5). La media attuale mondiale [10] è:

$$(8) \quad \tau_n = 898 \pm 16 \text{ sec.}, \text{ una vita estremamente lunga rispetto a quelle delle altre particelle elementari.}$$

Quando il neutrone sia legato, cioè all'interno di un nucleo, egli perde in qualche senso la propria identità e si potrà piuttosto parlare di « instabilità del nucleone ».

2. Il decadimento del nucleone

Come è noto, le particelle elementari sono soggette a quattro tipi di interazioni: le *forti* responsabili tra l'altro della « colla » che tiene assieme i nuclei, le *elettromagnetiche*, che alle energie delle comuni reazioni nucleari hanno sezioni d'urto pari a $10^{-2} - 10^{-3}$ volte le forti, le *deboli*, quali ad esempio il decadimento beta o le interazioni del neutrino con sezioni pari a $\sim 10^{-14}$ le forti, ed infine le gravitazionali che nel caso dell'interazione tra due particelle sono normalmente trascurabili perché proporzionali al prodotto delle masse.

Uno dei sogni dei fisici è sempre stato ed è quello di costruire una unica teoria che unifichi queste forze come era stato fatto con tanto successo nel 1873 da J.C. Maxwell per le interazioni elettromagnetiche. Circa cento anni dopo S. Glashow, A. Salam e S. Weinberg hanno proposto la cosiddetta teoria *elettrodebole* che unifica le interazioni elettromagnetiche con le deboli e che è stata verificata sperimentalmente nel 1973 dalla scoperta delle cosiddette « correnti deboli neutre » nelle interazioni del neutrino, e quest'anno dalla scoperta della W e della Z. Vorrei segnalare il contributo italiano a queste due scoperte: alla prima ha partecipato il gruppo di Milano ed alla seconda, suggerita da Carlo Rubbia che ha anche diretto una delle due esperienze, hanno partecipato i gruppi di Roma e di Pavia. Il successo di questa unificazione ha stimolato la formulazione di teorie più generali (le cosiddette Grand Unified Theories o GUT) che cercano di unificare le interazioni elettrodeboli con le forti. Secondo queste teorie sia il protone che il neutrone legato dovrebbero decadere liberando particelle più leggere la cui energia totale è uguale alla massa del nucleone « padre ». I canali di decadimento dipendono dalla teoria: secondo la più semplice di queste, la cosiddetta SU(5) i decadimenti più probabili sono:

$$(8) \quad p \rightarrow \pi^+ + e^+, \quad n \rightarrow \pi^0 + e^+.$$

Ci si aspetta comunque che la vita del nucleone sia molto lunga (attorno ai 10^{30} anni) e che si possano quindi osservare solo pochi eventi per anno in rivelatori di centinaia di tonnellate o più. L'osservazione del fenomeno sarà quindi disturbata dalla presenza dei cosiddetti « fondi » spuri dovuti a fenomeni naturali quali la radioattività, i muoni dei raggi cosmici, i neutroni e gli altri adroni neutri (K^0) prodotti dalle interazioni dei muoni nella roccia circostante l'apparato sperimentale e le interazioni dei neutrini atmosferici. I decadimenti radioattivi hanno energie di qualche MeV, e non possono quindi simulare il decadimento del nucleone in cui si libera circa un GeV, mentre il flusso dei muoni atmosferici e conseguentemente delle particelle da loro prodotte possono essere ridotti fortemente sistemando il rivelatore sottoterra, schermandolo con lo spesso strato di roccia sovrastante. Le interazioni, fortunatamente rare, dei neutrini atmosferici sono ineliminabili ed il fondo loro dovuto potrà essere ridotto tramite accurate misure su di esse.

Le ricerche sul decadimento del nucleone sono condotte con grossi apparati sistemati in laboratori sotterranei che funzionano allo stesso tempo da sorgente

del decadimento dei nucleoni e da rivelatori dei decadimenti stessi. Sarà necessario ottenere masse notevoli, un sufficiente dettaglio ed un costo non eccessivo, e ciò è stato ottenuto in due modi: con rivelatori a grana fine ottenuti inserendo tra lastre di materiale pesante e non costoso quale il ferro piani di rivelatori, e coi cosiddetti rivelatori Cerenkov ad acqua. In questi ultimi apparati i secondari carichi e sufficientemente veloci prodotti dal decadimento dei nucleoni dell'acqua verrebbero rivelati tramite la luce Cerenkov da loro emessa nell'acqua stessa, che viene raccolta da fotomoltiplicatori sistemati sulle pareti della « piscina » o a volte nella piscina stessa.

Attualmente sono in funzione due rivelatori a grana fine (uno in India ed uno in Europa) e tre rivelatori Cerenkov (due negli Stati Uniti ed uno in Giappone). Il primo rivelatore, realizzato da una collaborazione dei gruppi di Osaka e Tokio con il Tata Institute di Bombay, è in funzione nella miniera di KGF, vicino a Bangalore, alla straordinaria profondità di 7600 ettogrammi equivalenti di roccia standard (come negli esperimenti per raggi cosmici la profondità si misura in questa quantità che grossolanamente si può assumere pari alla profondità in metri moltiplicata per la densità della roccia). L'apparato è costituito da 34 piani orizzontali di ferro tra cui sono intervallati piani di rivelatori costituiti da contatori proporzionali di 10 per 10 cm (1600 in tutto). La massa totale è di 140 tonnellate che si riduce però a 60 tonnellate, se si vuole eliminare la possibilità che qualcuno dei secondari di un eventuale decadimento del protone sia simulato da una particella carica che invece entra nel rivelatore. Alla fine del 1983, dopo due anni e mezzo circa di misura effettiva [11], si erano osservati 1686 muoni che attraversavano l'apparato, 17 gruppi di muoni paralleli e 9 eventi « contenuti » in cui cioè tutti i secondari dell'interazione o decadimento si fermavano senza ambiguità all'interno del rivelatore. Secondo gli autori cinque di questi eventi sono dovuti ad interazioni dei neutrini atmosferici nell'apparato, mentre gli altri quattro sono considerati candidati del decadimento del nucleone nei seguenti canali:

$$(9) \quad e^+ \pi^0; \bar{\nu} \pi^+; e^+ \pi^- \text{ o } \mu^+ K^0 \text{ e } e^+ K^0 \text{ o } e^+ p^0$$

La vita media per il decadimento del nucleone sarebbe di circa 1.1×10^{26} anni.

Il secondo esperimento ad entrare in funzione fu NUSEX (per Nucleon Stability Experiment), installato nel Laboratorio 17 del Tunnel del Monte Bianco tra Italia e Francia ad una profondità di circa 5000 ettogrammi equivalenti di roccia standard [12]. L'apparato costruito dai gruppi di Frascati, Milano e Torino con la collaborazione di due fisici del CERN, consiste di un cubo di 3.5 m di lato e 150 tonnellate di massa, formato da 136 piani orizzontali di ferro, intervallati a strati costituiti da tubi a scarica limitata di $1 \times 1 \text{ cm}^2$ di sezione. Questo rivelatore, costituito in tutto da circa 42000 tubi con circa 82000 canali di lettura ha una « granularità » ovviamente molto migliore dell'esperimento indiano-giapponese. Parte di questo apparato è stato esposto ai

CERN ad un fascio di neutrini che simula i neutrini atmosferici in modo da studiarne a priori il comportamento rispetto alle interazioni di queste particelle che costituiscono, come si è detto, il fondo più pericoloso in questo tipo di esperimento.

Alla fine del 1983 l'apparato aveva funzionato per circa 1,4 anni di misura effettiva ed aveva rivelato circa 14000 muoni che lo attraversavano, 152 gruppi di muoni paralleli e 18 eventi contenuti. Tutti questi eventi sono in accordo con interazioni di neutrini atmosferici con l'eccezione di due: un evento in accordo con il decadimento $p \rightarrow K^+ \mu^+$ dove il fondo di neutrini è in realtà molto limitato (< 0.16 eventi con un grado di confidenza del 90%) ed uno in possibile accordo con il decadimento $e^+ \pi^+$, dove è però molto più difficile escludere la possibilità di una interazione di neutrini (< 0.4 eventi).

Il primo degli esperimenti Cerenkov ad entrare in funzione [13] fu quello della collaborazione Irvine-Michigan-Brookhaven installato nella miniera di sale di Morton ad una profondità di 1570 ettogrammi di roccia standard. L'apparato è costituito da una piscina di $22.8 \times 17.8 \times 16.9$ m³, di cui un « cuore » centrale di 3500 m³ è utilizzabile per l'esperimento. Va tenuto conto che il vantaggio di una massa molto grande è in qualche modo bilanciato dalla profondità non elevata e dal flusso conseguentemente elevato di muoni (250000 al giorno, rispetto alla ventina di Nusex ed ai 1.8 circa di KGF). Inoltre l'efficienza di rivelazione Cerenkov è molto bassa per secondari lenti del decadimento del nucleone, come ad esempio quelli provenienti dal decadimento $p \rightarrow \mu^+ K^+$ (questi esperimenti sono stati in effetti progettati nell'ipotesi che i decadimenti più importanti fossero $p \rightarrow e^+ \pi^+$ e $n \rightarrow e^+ \pi^+$). Alla fine di Maggio dopo circa duecento giorni di misura si erano osservati circa 170 eventi contenuti, la cui distribuzione angolare è isotropa e compatibile con quella che ci si attende per le interazioni del neutrino. Non si hanno indicazioni a favore del decadimento del nucleone in nessuno dei canali ed il limite inferiore sulla vita media del canale $e^+ \pi^+$, dove l'efficienza del rivelatore è particolarmente elevata, è di 1.7×10^6 anni in contrasto con le teorie standard della grande unificazione. Per decadimenti invece quale $p \rightarrow K^+ \mu^+$, dove l'efficienza è molto minore, il limite non è in disaccordo con la possibilità che il candidato della collaborazione NUSEX sia in realtà un decadimento del nucleone.

Un secondo esperimento Cerenkov è Kamiokande [14] (per Kamioka Nucleon Decay Experiment), installato da una collaborazione tra gruppi giapponesi nella miniera di Kamioka ad una profondità di 2700 ettogrammi equivalenti di roccia standard. Si tratta di un contenitore di 3000 m³ di acqua, di cui 880 utilizzabili come sorgente di eventuali decadimenti, in cui sono inseriti mille enormi fotomoltiplicatori, realizzati appositamente per questo esperimento, di ben 50 cm di diametro. Ciò permette di coprire il 20 per cento della superficie del rivelatore (più di un ordine di grandezza rispetto a quella dell'esperimento di Irvine-Michigan Brookhaven). Alla fine del 1983 si erano rivelati, in 134 giorni di misura effettiva, 57 eventi contenuti di cui due attribuibili al decadimento

del nucleone: uno nei canali $\mu^+ \pi^0$ oppure $\mu^+ K^0$ oppure $e^+ \rho^+$ e l'altro nel canale $e^+ \omega^0$ oppure $e^+ \rho^+$, oppure $\rho^+ \mu^+$.

Il terzo esperimento Cerenkov [15] viene condotto dalla collaborazione Harvard-Purdue-Wisconsin nella Silver King Mine ad una profondità di circa 1500 ettogrammi equivalenti di roccia standard. La piscina ha in questo caso la forma di un disco con asse verticale con 5,6 m di diametro e 7,1 m di altezza. 704 fotomoltiplicatori sono completamente immersi nell'acqua ed uno strato di camere a drift che circonda l'intero apparato funge da anticoincidenza contro i raggi cosmici. Le pareti della piscina sono coperte da uno specchio che aumenta l'efficienza di raccolta della luce, ma rende più complicata l'analisi degli eventi. In questo esperimento ci si è limitati alla ricerca di decadimenti del nucleone che producono direttamente o per successivo decadimento dei secondari almeno due muoni (come ad esempio $p \rightarrow \mu^+ K^0$). L'esperimento è iniziato da poco (0,27 anni di misura effettiva), ma si è già osservato un evento compatibile con il decadimento $\mu^+ K^0$. La sottrazione del fondo dovuto alle interazioni dei neutroni atmosferici presenta però difficoltà considerevoli.

Per quanto riguarda le esperienze future va ricordato un apparato a grana fine che una collaborazione franco-tedesca sta installando nel tunnel del Frejus ad una profondità di circa 4000 ettogrammi di roccia standard. Il rivelatore, che avrà una massa di circa mille tonnellate e che dovrebbe essere ultimato verso la fine di quest'anno è costituito da lastre verticali di ferro da 3 mm di spessore intervallate con piani di camere a flash del tipo sviluppato da Marcello Conversi, e da contatori di Geiger.

È stata inoltre approvata recentemente la costruzione da parte di una collaborazione americana-inglese di un rivelatore da circa 1000 tonnellate costituito da lastre di ferro e camere a drift, da installarsi nella miniera di Soudan (Minnesota) ad una profondità di 2000 ettogrammi equivalenti di roccia standard.

Esistono infine proposte per l'impiego di scintillatori, di « Time Projection Chambers » ad argon liquido e perfino di una camera a bolle gigante ad argon, e si sta costruendo, nel tunnel del Gran Sasso, un laboratorio molto grande che potrà essere impiegato tra l'altro per ricerche sul decadimento del nucleone.

3. Oscillazioni del neutrone

Se la non conservazione del numero barionico avviene con un salto di due si potrà avere la trasformazione spontanea di un neutrone in un antineutrone. In fascio inizialmente puro di neutroni potrà allora contenere, dopo un tempo t dalla sua produzione, una piccola « impurità » di antineutroni data da:

$$(10) \quad I(N, t) = I(N, 0) \frac{(\Delta m)^2}{(\Delta m)^2 + (\Delta E)^2} \cdot \sin \left[\sqrt{(\Delta m)^2 + (\Delta E)^2} \cdot t \right]$$

dove Δm è la massa di mixing neutrone-antineutrone e $2\Delta E$ è la differenza di energia tra i neutroni e gli antineutroni. Nel caso di neutroni perfettamente liberi, condizione che non si realizza praticamente mai in natura, non si avrebbe differenza di energia tra neutroni ed antineutroni e la (10) diventerebbe:

$$(11) \quad I(\bar{n}, t) = I(n, 0) \sin^2(\Delta m \cdot t) = I(n, 0) \frac{t}{t_{os}}$$

dove $t_{os} = \frac{1}{\Delta m}$ è il tempo di oscillazione libera o di mixing.

Naturalmente anche i neutroni all'interno del nucleo possono oscillare; in questo caso l'antineutrone eventualmente creato si annichirebbe immediatamente liberando un'energia di circa due GeV, con la conseguente emissione di secondari (prevalentemente pioni) carichi e neutri. Tutti gli esperimenti sul decadimento del nucleone che ho testé descritto sono quindi in via di principio in grado di rivelare le oscillazioni dei neutroni, anche se alcuni teorici prevedono che tali oscillazioni possano essere soppresse considerevolmente nei nuclei. Secondo le teorie più correnti peraltro i limiti che si ottengono dagli esperimenti sul decadimento del nucleone stabiliscono già un limite inferiore di qualche unità per 10^7 secondi sul tempo di decadimento t_{os} dei neutroni liberi.

Riferendoci ora agli esperimenti sulle oscillazioni dei neutroni nel vuoto, che si svolgono con fasci di neutroni lenti, va osservato che la differenza di energia ΔE del (10) è sostanzialmente dovuta all'effetto del campo magnetico terrestre e, anche se tale campo è fortemente ridotto, che $\Delta E \cdot t \ll 1$. La (10) si riduce quindi a:

$$(12) \quad I(\bar{n}, t) = I(n, 0) \cdot \left(\frac{t}{t_{os}}\right)^2$$

In questi esperimenti occorrono quindi fasci il più possibile intensi di neutroni il più lenti possibile, che vengano fatti propagare in un tubo il più lungo possibile, onde rendere grande il tempo di osservazione t . Esiste per ora un solo esperimento sulle oscillazioni: quello condotto da una collaborazione tra i gruppi del CERN, Grenoble, Padova, Rutherford e Sussex al reattore da 57 Mwart di Grenoble [16]. Un fascio di neutroni termici prodotti dal reattore, ulteriormente raffreddato dal passaggio attraverso un bagno di deuterio liquido, si propaga dal reattore all'apparato lungo una lunga guida curva onde ridurre il fondo dovuto alle particelle prodotte direttamente dal reattore.

Il bersaglio dove dovrebbe avvenire l'annichilazione degli eventuali antineutroni è circondato da strati di contatori proporzionali e di tubi a streamer limitato dello stesso tipo di quelli usati nell'esperimento Nusax al Monte Bianco. Sul bersaglio arrivano circa 1.5×10^7 neutroni al secondo con una lunghezza associata compresa tra 10 e 30 Å. Si sono svolte misure con reattore spento ed acceso, in presenza del campo magnetico terrestre o con tale campo fortemente ridotto da

mu-shield, senza trovare alcun effetto che indicasse la presenza di oscillazioni neutrone-antineutrone. Si può attualmente escludere con una confidenza del 90% che il tempo di oscillazione libera sia inferiore ai 10^6 secondi.

Le uniche altre due esperienze sulle oscillazioni neutrone-antineutrone approvate od in via di approvazione sono in Europa: una, da parte di una collaborazione Pavia-Roma al reattore di Pavia, dove si spera di raggiungere una sensibilità di 7×10^6 secondi sul tempo di oscillazione libera ed una al reattore III di Grenoble (cosiddetta Grenoble II) dove la sensibilità prevista è di 10^6 secondi. A questa esperienza, a cui parteciperanno gli stessi gruppi di «Grenoble-I», prenderanno probabilmente parte anche altri gruppi europei ed alcuni gruppi americani. Esistono infine tre proposte di nuove esperienze negli Stati Uniti e due nell'Unione Sovietica, nonché una intensa attività di studio in Giappone, ma l'avvenire di questi progetti è ancora oscuro.

4. Conclusioni

Spero che da questa relazione, anche se breve ed incompleta, si possa comunque comprendere come il neutrone presenti caratteristiche veramente uniche nelle sue applicazioni alla fisica fondamentale. Esso infatti:

- a) ha carica nulla, ma momento magnetico considerevole;
- b) essendo neutro ed avendo spin $1/2$ permette di ricercare piccolissimi momenti di dipolo elettrico che hanno, come abbiamo visto, grande importanza nel campo della conservazione della parità e dell'invarianza temporale;
- c) può essere raffreddato fino a bassissime temperature;
- d) fasci di neutroni molto intensi possono permettere di studiare l'oscillazione di queste particelle, la cui esistenza avrebbe un impatto fondamentale nella fisica, e non solo nella fisica delle particelle elementari.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BARKAN *et al.* (1968) - « Rev. Sci. Instrum. », 39, 101.
- [2] GREENWOOD R.C. and GREEN R.E. (1980) - « Phys. Rev. », C 21, 496.
- [3] VYLOV *et al.* (1982) - « Sov. J. of Nucl. Phys. », 36, 474.
- [4] VAN DER LEUN C. (1982) - « Nucl. Phys. », A 380, 261.
- [5] WAPSTRA A.N. and BOE K. - « Nucl. Data Sheet », 19, 177 (1977); 20, 1 (1977).
- [6] GAHLER *et al.* (1982) - « Phys. Rev. », 25, 2887.
- [7] GREENE *et al.* (1979) - « Phys. Rev. », D 20, 2139.
- [8] MORSE J., *Search for a Neutron Electric Dipole Moment*. Suppl. au Journal de Physique C3-1984, pag. C3-13.
- [9] LOHANSKY V.M. and SERENOV A.P., *An Experimental Search for Neutron Electric Dipole moment. Results and Prospect of Refinement*. *Op. cit.*, pag. C3-11.
- [10] Particle Data Group: *Review of Particle Properties — 1984* in corso di pubblicazione su *Physics Letters*; per una rassegna generale sulle proprietà del neutrone si vedano i lavori presentati allo *Workshop on Reactor Based Fundamental Physics — Suppl. au Journal de Physique C3-1984*.
- [11] Rapporto della KGF collaboration al Colloquio Internazionale sulla non conservazione dei Barioni (ICOBAN 1984) Ed. by D. Cline, January 4, 1984.
- [12] Frascati-Milano-Torino-CERN Collaboration (presented by E. Larocci) ICOBAN-1984. *Op. cit.*, 1984.
- [13] Rapporto della collaborazione IMS al Colloquio ICOBAN-1984. *Op. cit.*
- [14] Rapporto di Kamiokande all'ICOBAN-1984. *Op. cit.*
- [15] Rapporto della collaborazione HPW all'ICOBAN-1984. *Op. cit.*
- [16] Rapporto di G. Fullerin al *Europhysics Conference on High Energy Physics, Brighton, July 1983* (ed. Rutherford and Appleton Lab) p. 381.