

# S I P S

## ATTI DELLA SOCIETÀ ITALIANA PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE

PUBBLICAZIONE MENSILE A CURA DEL SEGRETARIO PROF. LUCIO SILLA

### S O M M A R I O

SEZIONE DI MATEMATICA: A. SIGNORINI - Trasformazioni termoplastiche finite, caratteristiche dei sistemi differenziali, onde di discontinuità; in particolare, onde d'urto e teoria degli esplosivi - (pag. 6) — G. FUBINI-GHIRON - Problemi tecnici e problemi matematici - (pag. 28) — SEZIONE DI MATEMATICA ATTUALE, STATISTICA MATEMATICA E CALCOLO DELLE PROBABILITÀ: I. MESSINA - Le riserve matematiche complessive dell'assicurazione italiana contro l'invalidità e la vecchiaia - (pag. 42) — V. PENNAZZA - Sulle riserve complessive nelle assicurazioni sociali - (pag. 44) — M. GARZAROLI - Influenza di un completamento della tavola di invalidità sulle riserve, nella assicurazione italiana contro la invalidità e la vecchiaia - (pag. 46) — F. P. CANTELLI - Sulla convergenza nel calcolo delle probabilità - (pag. 50) — L. GALVANI - Le tavole di mortalità della popolazione italiana, distinta per sesso e per stato civile, costruite dall'Istituto Centrale di Statistica - (pag. 64) — M. CASTELLANI - Sulle durate medie di permanenza in gruppi soggetti a rinnovamento - (pag. 73) — G. MIKELLI - Ricerche sulla mortalità degli invalidi - (pag. 74) — SEZIONE DI ASTRONOMIA E GEODESIA: G. ABETTI - Gli studi spettroscopici delle atmosfere stellari - (pag. 86) — A. BEMPORAD - Moti vorticosi nella Via Lattea - (pag. 90) — L. CARNERA - Lo stato attuale del problema delle variazioni delle latitudini - (pag. 94) SEZIONE DI FISICA: Q. MAJORANA - Commemorazione di Michele La Rosa - (pag. 103) — Id. - Nuove ricerche di fotoresistenza metallica - (pag. 115) — E. FERMI - Recenti risultati sulla radioattività artificiale - (pag. 116) — SEZIONE DI GEOFISICA E METEOROLOGIA: G. B. RIZZO - La carica elettrica della terra - (pag. 124) — M. BOSSOLASCO - Il magnetismo terrestre alla luce delle osservazioni fatte durante l'Anno Polare Internazionale 1932-33 - (pag. 130) — G. RONCALI - Le indagini radioatmografiche e la previsione del tempo (pag. 157).

ANNO 97° DALLA 1ª RIUNIONE  
DEGLI SCIENZIATI ITALIANI  
ANNO XV E. F.



ABBONAMENTO POSTALE

RIUNIONE

XXIV

VOLUME

3°

FASCICOLO

1°

DICEMBRE 1936 - XV

SOCIETÀ ITALIANA PER IL  
PROGRESSO DELLE SCIENZE

ROMA: PIAZZALE DELLE SCIENZE  
PALAZZO DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

## Recenti risultati sulla radioattività artificiale

S. E. Prof. ENRICO FERMI

Ordinario di Fisica Teoretica nella R. Università di Roma  
Accademico d'Italia

Mi limiterò a un rapido riassunto di quanto è stato fatto l'anno scorso nell'Istituto Fisico di Roma sulla radioattività provocata da bombardamento di neutroni. Questo è un caso particolare della radioattività artificiale il cui primo esempio fu scoperto due anni or sono da I. CURIE-JOLIOT e F. JOLIOT.

È noto che in molti casi quando un nucleo è colpito da una particella esso si trasmuta in un nuovo nucleo. In tale processo la particella proiettile rimane incorporata nel nuovo nucleo. La durata del processo di trasmutazione può essere valutata dell'ordine di  $10^{-20}$  secondi. Se il nuovo nucleo è instabile esso si disintegra; questo fenomeno prende il nome di radioattività artificiale. I corpuscoli urtanti usati nelle ricerche di cui debbo trattare sono neutroni. La massa di questi corpuscoli è 1 cioè uguale all'unità elementare dei pesi atomici; e la loro carica è zero. Essi si prestano assai meglio delle particelle  $\alpha$  a produrre radioattività artificiale perchè queste ultime sono corpuscoli carichi positivamente e quindi sono respinti dalla carica positiva del nucleo; naturalmente questo ostacolo non si presenta per i neutroni. I fatti hanno confermata questa previsione favorevole per i neutroni. Nelle esperienze eseguite a Roma, si sono provati tutti gli elementi possibili (circa 80) e il 60 per cento circa presentano il fenomeno della radioattività artificiale. Le ricerche eseguite hanno anzi mostrato che esistono tre diversi processi possibili per la formazione di nuclei radioattivi.

Tutti e tre questi processi cominciano con la cattura del neutrone da parte del nucleo bombardato, cattura che avviene in un tempo di circa  $10^{-22}$  secondi. Nello stesso tempo viene emessa o una particella alfa o un protone o nulla.

Poichè la particella  $\alpha$  ha una carica  $+2$  ed il protone una carica  $+1$  il numero atomico  $z$  nel primo processo diventa  $z-2$ , nel secondo  $z-1$ , nel terzo rimane invariato. Nei due primi casi l'elemento si trasforma in un nuovo elemento chimico spostato rispettivamente di due ed un posto nel sistema periodico di MENDELÉEFF, mentre nel terzo caso si ha semplicemente la formazione di un nuovo isotopo perchè la massa è cresciuta di una unità.

Le ricerche per stabilire secondo quale di questi tre schemi avviene un determinato processo si fanno per via chimica.

Le ricerche eseguite sistematicamente ci hanno fornito dati tali che sappiamo il meccanismo di tutte le reazioni. Non vorrei fermarmi sopra i dettagli di tali processi ma accennare allo sviluppo più recente dei lavori.

A priori si potrebbe pensare che più forte è un urto e maggiore è l'efficacia dei neutroni nel produrre nuovi nuclei. Ci sono invece dei casi in cui conviene ridurre la velocità delle particelle urtanti; di questo fatto ci siamo accorti in modo casuale. In tutte queste ricerche la sorgente dei neutroni è costituita da un aghetto di vetro contenente emanazione e polvere di Berillio; da essa esce circa un milione di neutroni al secondo. La sostanza da irradiare viene posta accanto alla sorgente. Noi ritenevamo che il numero di urti dei neutroni contro i nuclei fosse proporzionale all'angolo solido e quindi inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Nel corso di alcune esperienze notammo delle anomalie a tal riguardo. E precisamente osservammo che dei pezzi di piombo posti nelle vicinanze disturbavano il fenomeno nel senso da aumentarne l'effetto; la cosa riusciva incomprensiva.

Esperienze di questo genere sono state allora eseguite con altre sostanze. Si provò così a porre dei blocchetti di paraffina fra la sorgente e l'oggetto da irradiare. Più precisamente l'esperienza venne fatta nel modo seguente. Si misurava quanto diventava radioattiva una sostanza una volta interponendo e una volta non interponendo la paraffina. Contrariamente a quanto credevamo si trovò una radioattività di circa il 40% maggiore quando vi era la paraffina. Si circondò allora tutto di paraffina e si trovò che in queste condizioni l'effetto si moltiplicava per 40 o 50.

Vediamo ora di spiegare questo fenomeno. Siccome la paraffina contiene C e H si trattava in primo luogo di stabilire a quale di questi due elementi si doveva attribuire l'effetto osservato. Ripetendo l'esperienza con altre sostanze diverse dalla paraffina fu possibile stabilire che l'effetto è dovuto all'H.

La particolarità di questo elemento è di essere il più leggero di tutti; si noti anzi che esso ha massa uguale al neutrone.

Vediamo ora cosa accade quando un neutrone urta un atomo; se questo è molto pesante, per esempio se ha massa atomica 100, il neutrone non lo sposta e rimbalza conservando tutta la sua energia. Se l'urto avviene invece contro un atomo di idrogeno ossia contro un corpo di eguale massa, il comportamento è tutto differente. Nell'urto il neutrone rimbalza ma trasmette un impulso notevole all'atomo urtato. Ne segue che in un tale urto la energia del neutrone si riduce molto. Si dimostra anzi facilmente che in media la energia si divide per il fattore  $\mu = 2,71$ . Con una ventina di urti successivi l'energia si ridurrà quindi di un fattore  $10^6$ . Alla fine di tale processo il neutrone sarà dotato di una energia piccolissima diversa

da zero perchè gli atomi di H si muovono per l'energia termica. I neutroni si trovano allora nella paraffina soggetti all'agitazione termica. Questi proiettili che escono dalla sorgente con una energia di  $4 \times 10^6$  Volt sono ben presto ridotti a particelle che si muovono con una energia di solo  $\frac{1}{30}$  di Volt.

La paraffina si presenta così come una specie di soluzione di neutroni lenti.

Uno studio sistematico dell'azione dei neutroni lenti nel provocare sostanze radioattive artificiali ha mostrato che essi sono particolarmente efficaci in tutti quei processi in cui si ha semplice cattura del proiettile urtante mentre sono incapaci di dar luogo a reazioni nucleari in cui si abbia la emissione di una particella  $\alpha$  o di un protone.

Per controllare la correttezza della interpretazione data è stata fatta un'altra esperienza. Si trattava di controllare che questi neutroni si diffondono nell'ambiente con una velocità corrispondente alla agitazione termica e quindi dipendente dalla temperatura. Una esperienza diretta a tale scopo diede risultato negativo. Oggi credo di sapere il perchè di tale risultato. Poco dopo l'effetto fu trovato da altri (MOON e TILLMAN) che fecero una analoga esperienza con un dispositivo analogo. In un vaso di Dewar veniva posto un blocchetto di paraffina che poteva essere raffreddato con l'aria liquida. Attorno al vaso veniva posta altra paraffina e in questa la sorgente. La sostanza da attivare era posta entro il vaso di Dewar. L'esperienza ha confermato che la temperatura esercita una influenza nell'attivazione dei vari elementi. La spiegazione data è quindi corretta.

Per concludere accennerò ad un'altra esperienza fatta sempre per mettere in evidenza il meccanismo di questo fenomeno. Lo scopo era di determinare per quanto tempo i neutroni lenti restassero in soluzione nella paraffina prima di venire catturati dagli atomi di idrogeno e scomparire dando luogo alla formazione di un deutone. Sostanzialmente il problema è questo: noi abbiamo una sorgente che emette neutroni, i quali si muovono attraverso la paraffina, subiscono degli urti, e vengono di conseguenza rallentati; essi seguitano a girare ma non indefinitamente perchè dopo un po' finiscono catturati da un protone. Si tratta di vedere per quanto tempo in media restano nell'ambiente. Si intende che il tempo che ci restano è molto breve ma pur tuttavia assai lungo rispetto al tempo che impiega un neutrone veloce che esce dalla sorgente a percorrere una distanza dell'ordine di grandezza del percorso di un neutrone lento. L'esperienza è stata eseguita al modo seguente: abbiamo preso una grande ruota di acciaio che veniva fatta girare da un motore a velocità abbastanza grande (la velocità periferica era di 60 metri al secondo; se fosse stato necessario si sarebbe potuto ottenere una velocità più grande). Sopra il bordo di questa ruota era fissato un piccolo astuccio di acciaio in cui si poneva la sorgente di

neutroni. Dalle due parti di questo astuccio era fissato pure al bordo della ruota due lastrine di manganese che è una sostanza in cui si osserva assai bene il fenomeno della radioattività artificiale; queste due lastrine servivano da rivelatori dei neutroni, cioè con la loro attività indicavano la presenza di neutroni. Da una parte e dall'altra della ruota e l'una simmetrica all'altra c'erano due ciambelle di paraffina fisse ed assai vicine alla ruota che si muoveva fra di loro. In un primo momento pensiamo di tenere la ruota fissa, di porre la sorgente nel suo astuccio e di lasciarcela per esempio per due ore; poi immaginiamo di togliere la sorgente, prendere le due lastrine, portarle ad un elettrometro e misurarne l'attività. È abbastanza chiaro che se si fa l'esperienza in queste condizioni si deve trovare eguale l'attività nelle due lastrine per evidenti ragioni di simmetria. Ora supponiamo di ripetere l'esperienza mettendo in rapida rotazione la ruota. Allora vediamo quello che ci si deve attendere: pensiamo di seguire la sorte dei neutroni che vengono emessi dalla sorgente in un certo istante. Seguiamo per esempio un milione di neutroni che vengono emessi dalla sorgente in un certo intervallo di tempo; tutti quelli che vengono emessi negli istanti successivi subiranno la medesima sorte. Se la ruota fosse ferma questi neutroni escono dalla sorgente in tutte le direzioni e la maggior parte di essi va a finire nella paraffina ove subiscono vari urti, vengono rallentati e diffusi un po' in tutte le direzioni; alcuni di essi riescono e vanno a colpire le due lastrine di manganese attivandole. Ora se la ruota gira ed i neutroni in media restano qualche tempo entro la paraffina quelli che ne riescono troveranno la ruota un pochino spostata rispetto alla posizione che aveva nell'istante in cui erano stati emessi dalla sorgente; ne segue che la lastrina che si trova sul di dietro della sorgente verrà colpita da più neutroni di quella che è davanti. Dovremo quindi attenderci che la lastrina posteriore venga attivata con maggiore intensità che non la lastrina anteriore. L'esperienza ha confermato questa previsione ed ha permesso di stabilire che in media i neutroni restano  $10^{-4}$  secondi entro la paraffina prima di venire catturati dagli atomi di idrogeno.

Aggiungerò ancora due parole sulla possibilità che i fenomeni della radioattività artificiale acquistino interesse pratico.

L'applicazione pratica più ovvia potrebbe aversi nel campo medico, un'altra applicazione si può fare in chimica analitica usando le sostanze radioattive artificiali come indicatori per seguire il comportamento delle varie sostanze. Per applicazioni di questo genere e forse per qualche altra è essenziale poter produrre queste sostanze radioattive in quantità maggiore di quanto non si sia potuto fare finora. A mezzo delle sostanze idrogenate come la paraffina e l'acqua è stato possibile accrescere di un fattore 10 o 100 l'intensità dei fenomeni di radioattività. Ma per arrivare a produrre le sostanze radioattive artificiali in quantità dell'ordine di quelle delle sostanze radioattive naturali sarà evidentemente necessario aumentare

l'intensità delle sorgenti di neutroni. Per raggiungere tale scopo bisognerà sviluppare la tecnica delle cosiddette sorgenti artificiali di neutroni. Già oggi sono note le varie reazioni nucleari che determinano l'espulsione dai nuclei di neutroni. Per esempio una reazione che si presenta tra le più promettenti è il bombardamento dell'idrogeno pesante con altro idrogeno di massa due. In questo processo si ha formazione di elio di massa 3 ed espulsione di neutroni. Ho citato questa reazione particolare perché essa presenta il vantaggio di avvenire ad una tensione non troppo elevata (100.000-200.000 Volt). Probabilmente in un non lontano avvenire la sorgente di neutroni sarà costituita da una sorgente di ioni di idrogeni pesante, i quali vengono accelerati attraverso un salto di potenziale di 200.000 Volt e poi vanno ad urtare contro una sostanza contenente pure idrogeno pesante. Bisogna anzi dire che sorgenti di questo tipo sono già state fatte e funzionano abbastanza bene; in genere hanno il difetto di funzionare per un tempo brevissimo e poi per una ragione qualsiasi distruggersi.

Le difficoltà sono puramente tecniche e potranno essere superate. Quindi si può abbastanza ragionevolmente prevedere la possibilità, anche con altre reazioni dello stesso tipo, di arrivare a produrre sostanze radioattive in quantità pressoché equivalenti alle quantità che si usano per esempio nella pratica medica. E con ciò io ho sostanzialmente finito. Per riassumere restano due tipi di problemi piuttosto diversi. Da un lato ricerche rivolte ad applicazioni pratiche della radioattività artificiale, ricerche che tendono soprattutto ad aumentare l'intensità delle sorgenti dei neutroni e quindi a produrre quantità considerevoli di sostanze radioattive; dall'altro lato resta l'indirizzo teorico di chiarire completamente il fenomeno.