

Alla fine dell'Ottocento alcuni fisici presero coscienza di una particolare forza naturale chiamata dai "Curie" "radioattività". Nel primo decennio del 1900 si approfondì lo studio della struttura dell'atomo e si cercò di determinarla attraverso la costruzione di nuovi modelli, fra i quali ebbe particolare importanza quello costruito da Rutherford nel 1911. Dopo la scoperta che l'atomo non era compatto, si passò allo studio del nucleo atomico, cercando di vedere se era compatto oppure era possibile spezzarlo. Si capì che l'atomo di una sostanza, poteva essere trasformato nell'atomo di un'altra. Queste trasformazioni avvengono in seguito alla frattura del nucleo atomico sotto il bombardamento di neutroni, con una conseguente dispersione di energia. Fermi, Hahn, Bohr, Frisch, Meitner, Yoliot-Curie sono alcuni fra i più noti studiosi che giunsero alle prime rilevazioni e teorizzazioni riguardanti questa produzione di energia, questa irradiazione, prodotta da un'azione programmata dall'uomo (sugli elementi della natura). Un nucleo atomico, in determinate condizioni, può essere colpito e spezzato da un neutrone, creando il cosiddetto processo di fissione. Alcuni neutroni del nucleo spezzato si disperdono proiettandosi verso altri nuclei. In molti

casi vengono assorbiti dagli atomi colpiti, in altri casi, invece, possono spezzare a loro volta i nuclei di quegli atomi generando altri processi di fissione con conseguente emissione di neutroni. In questi casi il numero di nuclei spezzati aumenta geometricamente raggiungendo cifre enormi e liberando una paurosa energia (che può assumere il carattere di un'esplosione). Nel 1939 si intuì che la sostanza più idonea alla fusione era l'uranio (U_{235}). Nel frattempo era scoppiata la Seconda Guerra Mondiale e lo sviluppo delle ricerche sulla fissione nucleare divenne un fattore molto importante. In seguito all'instaurazione del dominio nazista in Germania e la persecuzione degli Ebrei vi era stato l'esodo dei grandi studiosi tedeschi in vari paesi, soprattutto in America. I rapporti tra gli studiosi emigrati e quelli rimasti nei paesi occupati divennero difficili e si interruppero completamente con i fisici rimasti in Germania. I fisici che lavoravano in America, credettero che i fisici rimasti in Germania procedessero molto velocemente nella messa a punto dei processi di fissione; ma in realtà, il Governo Tedesco non prese in seria considerazione la possibilità di sfruttamento bellico dell'energia nucleare e indirizzò le sue ricerche sul piano missilistico. In America, invece, si diede origine ad una massiccia organizzazione di ricerca. Gli studiosi americani, procedettero nei laboratori

di Los Alamos (appoggiati dalle autorità militari) alla costruzione della bomba atomica. Il 16 Luglio 1945 ad Alamogordo ci fu il primo esperimento di esplosione atomico-nucleare, che diede agli scienziati il senso preciso della forza distruttiva da essi scatenata. Il 6 Agosto fu sganciata la prima bomba atomica su Hiroshima seguita tre giorni dopo da quella su Nagasaki. La distruzione operata nelle due città giapponesi testimoniò l'enorme calore sviluppato dalla reazione di fissione nucleare e la forza schiacciamento derivante dallo spostamento d'aria. Al 1952 risale, invece, il primo esperimento con la bomba atomica, sull'isolotto di Eniwetok.

Lise Meitner e la scoperta della fissione nucleare

Quando, verso la fine del 1938, si scoprì che un neutrone poteva spezzare il nucleo atomico, la scoperta giunse del tutto inattesa. In effetti, nessuna teoria fisica aveva previsto la fissione nucleare, e i suoi scopritori non avevano alcun'idea del suo potenziale utilizzo nelle bombe atomiche e nella produzione di energia. Si è a lungo discusso, invece, sulla questione di chi abbia avuto il merito dell'intuizione decisiva. La fisica Lise Meitner e due chimici, Otto Hahn e Fritz Strassman, arrivarono alla scoperta della fissione nel loro laboratorio di Berlino dopo una ricerca durata quattro anni. La Meitner abbandonò la Germania nazista nel 1938 per sfuggire alle persecuzioni contro gli ebrei, e poco tempo dopo Hahn e Strassman resero pubblica la scoperta. La Meitner e suo nipote, Otto R. Frisch, pubblicarono qualche mese dopo la corretta interpretazione teorica della fissione. Ma nel 1944 il premio Nobel per la chimica fu assegnato solo a Hahn. Il mancato riconoscimento a Strassman si deve probabilmente al fatto che egli era il ricercatore più giovane del gruppo, e le giurie del Nobel tendono a privilegiare i ricercatori anziani. Ma la Meitner e Hahn avevano la stessa qualifica professionale. Perché lei venne esclusa. Fu lo stesso Hahn a fornire la versione ufficiale, che venne accettata in modo acritico per molti anni. A suo giudizio, la scoperta era dovuta unicamente agli esperimenti chimici effettuati dopo la partenza di Lise Meitner da Berlino. Lei e la

fisica, sostenne, non avevano nulla a che fare con il suo successo, se non lo avevano addirittura ritardato. Diversa era l'opinione di Strassman, che era però oscurato dalla notorietà di Hahn. Egli sostenne che la Meitner era stata la loro guida intellettuale e che rimase in contatto con loro anche dopo la fuga da Berlino. I documenti disponibili confermano il giudizio di Strassman. Le pubblicazioni scientifiche dimostrano come la ricerca che portò alla scoperta della fissione fu profondamente interdisciplinare. Il lavoro prese le mosse da problemi di fisica nucleare. Il progresso della ricerca fu guidato, e a volte sviato, da dati e ipotesi di tipo tanto chimico quanto fisico. E alcune lettere personali rivelano che il contributo di Lise Meitner fu essenziale fino all'ultimo. Secondo le normali regole di attribuzione delle scoperte scientifiche, la giuria del Nobel avrebbe dovuto riconoscere il ruolo incisivo della scienziata. Ma in Germania le condizioni erano tutto fuorché normali. La politica antisemita del paese obbligò la Meitner ad emigrare, la separò dal suo laboratorio e le impedì di essere coautrice con Hahn e Strassmann della pubblicazione del risultato. Poco dopo la scoperta, l'oppressione politica e la paura portarono Hahn a prendere le distanze dalla collega e dalla sua stessa disciplina.

L'attribuzione del Nobel, in seguito, fissò queste ingiustizie nella storia della scienza. Alcuni documenti resi pubblici di recente dimostrano che la giuria del Nobel non capì come la scoperta fosse attinente tanto al settore fisico quanto a quello chimico, e non si rese conto che la presa di distanz

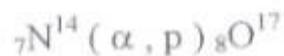
di Hahn da Lise Meitner non aveva un fondamento scientifico ma era dovuta all'oppressione politica, alla paura e all'opportunismo. Altri fattori contribuirono a mettere in disparte la Meitner; tra di essi la sua condizione di rifugiata in Svezia, la riluttanza tedesca nel dopoguerra a riconoscere i crimini nazisti e la convinzione generale- allora molto più forte che ai nostri giorni- che le donne scienziate avessero scarso rilievo, ricoprissero ruoli subordinati o commettessero errori. All'epoca, la Meitner non rilasciò dichiarazioni pubbliche. Privatamente, descrisse il comportamento di Hahn come "una pura e semplice cancellazione del passato", un passato in cui erano stati vicini come colleghi ed amici. Deve aver pensato che la storia sarebbe stata dalla sua parte: cinquant'anni dopo, lo è.

Le prime trasmutazioni artificiali

Dopo la scoperta della radioattività, i fisici pensarono di utilizzare le particelle emesse dalle sostanze radioattive per cercare di provocare processi di disintegrazione nucleare, al fine di trasformare un elemento stabile in un altro. La prima reazione nucleare artificiale (trasmutazione di nuclei stabili) fu ottenuta da *Rutherford* nel 1919. Rutherford si servì di particelle α emesse da Io_{214} per disintegrare alcuni nuclei di azoto:



Per interazione di una particella α con un nucleo di azoto si forma un isotopo dell'ossigeno e un atomo dell'idrogeno. Q è l'energia della reazione nucleare. Questa reazione può essere espressa anche sinteticamente:



Utilizzando la notazione nucleare α l'elio e p per l'idrogeno. Oltre la reazione (α, p) esistono molte altre reazioni nucleari che possono mutare un nucleo stabile in un altro. Per esempio:



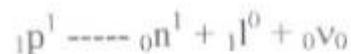
Sempre con un processo (α, n) nel 1934 i coniugi *Irène Curie* e *Frédèrie Joliot* misero in evidenza la possibilità di ottenere artificialmente un nuclide radioattivo. Bombardando con particelle α una lastra di alluminio, i due fisici ottennero, attraverso la reazione

${}_{13}\text{Al}^{27} (\alpha, n) {}_{15}\text{P}^{30}$ un isotopo del fosforo che non esiste in natura.

Essendo radioattivo, il P^{30} decade con un periodo di dimezzamento pari a 2,5 minuti, secondo il processo:



${}_1\text{I}^0$ rappresenta l'elettrone positivo (positrone), scoperto due anni prima da *Chanderson*, e ν il neutrino. Per poter interpretare questo processo β^+ , è necessario supporre che all'interno di un nucleo un protone possa trasformarsi in un neutrone (che rimane nel nucleo), in un elettrone positivo e in un neutrino (entrambi espulsi), secondo questo schema:



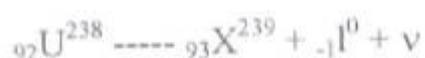
Si parla anche di attivazione neutronica, cioè quel processo in cui il nucleo stabile cattura un neutrone e successivamente emette onde elettromagnetiche di piccola lunghezza d'onda (fotone γ). I nuclei iniziali e finali, avendo lo stesso numero atomico Z , sono isotopi, mentre il numero di massa dell'isotopo finale deve aumentare di un'unità:



La fissione nucleare

La fissione nucleare è il processo su cui si basa il reattore nucleare e la bomba atomica. Fra i molti elementi bombardati con i neutroni dal gruppo di Fermi, vi era stato l'Uranio (un elemento pesante) che dopo l'irraggiamento, la radioattività indotta in esso era notevolmente superiore a quella degli altri elementi irradiati.

I fisici si orientarono, così, verso una probabile creazione di elementi transuranici, dove l'assorbimento del neutrone, da parte di un nucleo di uranio poteva portare a qualche nuclide ancora più pesante del nucleo iniziale: ci fu il passaggio dalla relazione ${}_{92}\text{U}^{238} (n, \gamma) {}_{92}\text{U}^{239}$ alla relazione

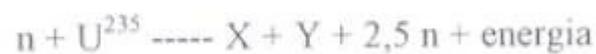


dove X rappresenta un nuclide non esistente in natura, il nettunio.

Dopo molte incertezze, molti errori e molto lavoro si riuscì ad evidenziare che un nucleo di uranio, colpito da un neutrone può rompersi in due o più frammenti. Si ottengono così due o più nuclei i cui numeri atomici corrispondono a elementi situati verso la metà del sistema periodico, i cui numeri di massa sono in genere fra 75 e 160.

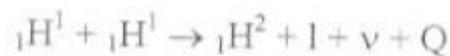
La fissione nucleare si può così sintetizzare: l'urto elettrone-nucleo pone il bersaglio in rapida vibrazione. Poiché il nucleo di uranio è poco stabile (a causa del notevole numero di protoni), dopo una serie di vibrazioni,

talvolta si rompe in due elementi radioattivi che sfuggono in direzioni opposte con notevole sviluppo di energia . Dalla fissione di un nucleo di uranio si sviluppa un'energia pari a 200 MeV . Da questo diversi fisici fecero notare che sessione di un nucleo è accompagnata dall'emissione di neutroni . La reazione (in cui X e Y sono i prodotti della fissione) che rappresentava il processo è la seguente :

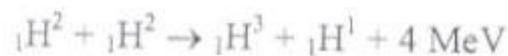


Se i nuovi neutroni proiettati sono assorbiti da altri nuclei vicini , si originano nuovi processi di fissione, con conseguente sviluppo di energia e di ulteriori neutroni. Dal primo neutrone che ha prodotto l'iniziale scissione s'innesca cc una reazione a catena, che rapidamente coinvolge tutto il campione di uranio

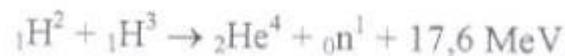
La fusione nucleare consiste nell'unione di due nuclei leggeri in un nucleo più pesante dei nuclei interagenti, la cui massa è però minore della somma delle masse dei nuclei di partenza. Anche questa reazione avviene con grande sviluppo di energia. Le reazioni che seguono rappresentano alcuni esempi di reazione di fusione nucleare.



in cui due nuclei di idrogeno (protoni) si uniscono per formare un nucleo di deuterio (deutone);



in cui due nuclei di deuterio formano un nucleo di trizio ed un protone;



in cui un nucleo di deuterio si fonde con uno di trizio formando un nucleo di elio ed un neutrone. L'energia ottenibile nella fusione è ancora più elevata di quella che, a parità di condizioni, si può ottenere in un processo di fissione. Si spera infatti di poter usare questo processo per il crescente bisogno energetico. Inoltre, i combustibili utilizzabili per la fusione sono più facilmente reperibili rispetto a quelli usati nella fissione.

La bomba H e la fusione controllata

Come presenterò più avanti, nelle stelle e per ciò che riguarda particolarmente l'uomo, nel Sole, si creano delle reazioni termonucleari. Anche sulla Terra si è riusciti a creare un processo di fusione, mediante l'esplosione termonucleare della bomba ad idrogeno, la cosiddetta bomba H (sperimentata per la prima volta nell'Oceano Pacifico nel 1952), in cui la temperatura necessaria per innescare la reazione in un miscuglio di deuterio (D) e trizio (T) è stata fornita dall'esplosione di una bomba a fissione. Gli scienziati stanno cercando di costruire in alternativa al reattore a fissione, una specie di reattore a fusione controllata. Il potere distruttivo di tali

Reattore e bomba atomica

In natura l'uranio si trova sotto forma di uranio 238 e uranio 235, nella proporzione di circa 150 ad uno. Tra questi due solo l' U^{235} rappresenta una materia fissionabile, mentre quello più abbondante non è utilizzabile da solo in una reazione a catena, in quanto cattura i neutroni lenti senza generare un processo di scissione. La probabilità di fissione aumenta rallentando i neutroni. Aggiungendo all'uranio 235 alcuni materiali, formati da nuclei leggeri, capaci di sottrarre per urto energia ai neutroni senza però catturarli, si ottengono i cosiddetti neutroni termici. I moderatori di velocità più utilizzati sono il carbonio (sotto forma di grafite) il berillio e l'idrogeno contenuto nell'acqua (meglio se si tratta di acqua pesante, cioè di acqua in cui l'idrogeno è sostituito con del deuterio). Affinché una reazione a catena, una volta innestata possa automantenersi, è necessario che per ogni nucleo fissionato vi sia in media almeno uno dei neutroni prodotti che vada a provocare un'altra fissione. Vi sono infatti una percentuale di neutroni che vengono catturati dai nuclei non fissili (U^{238} , impurità, etc.) o che sfuggono dal campione di uranio. Il rapporto (tra i neutroni prodotti e quelli perduti dipende, oltre dal numero dei nuclei fissili rispetto a quelli inerti, dalle caratteristiche fisiche, geometriche e tecnologiche del moderatore e dal rapporto area/volume del sistema di assemblamento dell'uranio. La più piccola quantità di materiale fissile necessaria per autosostenere una reazione a catena, per cui risulta $R=1$, prende il nome di

massa critica. Per controllare una reazione a catena basta far variare il rapporto R inserendo o togliendo dall'uranio alcune barre (cadmio, acciaio al boro, o altro materiale) capaci di catturare facilmente i neutroni che si formano nel campione; si ha così la possibilità di regolare l'energia sviluppata nel processo di fissione.

Un reattore nucleare è quel dispositivo atto a produrre energia termica da fissione mediante una reazione a catena controllata e capace di autosostenersi.

Le parti principali di un reattore sono:

- il combustibile fissile;
- il moderatore di velocità;
- il sistema di regolazione;
- i dispositivi di protezione e di comando.

Il combustibile nucleare è principalmente costituito da uranio allo stato naturale arricchito con U^{235} per sostenere le reazioni di fissione. Quando in un processo di fissione risulta $R > 1$, si stabilisce una catena incontrollabile di reazioni nucleari il cui sviluppo energetico porta ad una forte azione esplosiva: la bomba atomica. La bomba caduta su Hiroshima, aveva una potenza intorno ai 15 kiloton, equivalente a 15.000 tonnellate di tritolo, ed una carica di 62 Kg di uranio 235, di cui però una sola quantità pari a circa 1 Kg subì il processo di

fissione