

Commissione sull'Energia Atomica degli Stati Uniti

Data Rilascio: 27 Maggio 1946

Questo documento è per uso ufficiale. La sua pubblicazione non costituisce facoltà per la declassificazione di copie classificate di uguale o simile contenuto per titolo e dello stesso autore. Technical Information Division, Oak Ridge Directed Operations AEC, Oak Ridge, Term., 10-11-48--850-11425

L'attenzione del pubblico sui problemi dell'energia atomica è stata incentrata principalmente sull'aspetto militare dello sviluppo. È naturale che sia così, poiché da un lato l'uso militare è allo stato attuale la sola applicazione che ha ottenuto risultati pratici. Dall'altro lato, le problematiche sollevate in merito alla sicurezza nazionale e internazionale sono nuove e difficili e chiamano a una rapida soluzione. Vi sono, tuttavia, possibilità di utilizzo dell'energia atomica per il tempo di pace che si possono rivelare più importanti della bomba.

Se proviamo a guardare al futuro, e assumiamo il punto di vista ottimistico che l'umanità possa riuscire ad organizzarsi in modo da eliminare la paura e il pericolo delle potenzialità distruttive delle armi atomiche, si potrà pensare all'energia atomica come all'avvento di una nuova forza costruttiva.

Una tale ipotesi, naturalmente, può essere ora solo abbozzata. Si possono indicare alcuni probabili sviluppi, ma è impossibile farne un elenco anche solo approssimativamente completo. Un tentativo questo che si rivela ora difficile tanto quanto lo era un secolo fa supporre lo sviluppo dell'elettricità.

PRODUZIONE DI ENERGIA

Il primo punto che propongo alla discussione è l'uso delle reazioni nucleari per la produzione di energia controllata ed utilizzabile. La "pila" a reazione a catena, nella quale l'energia è prodotta ad un tasso facilmente controllabile, hanno operato per oltre tre anni. Partendo con la prima pila, che produsse solo 200 watt, la potenza è cresciuta di fattori enormi. Le pile operanti a Eanford per la sintesi del plutonio producono energia in quantità paragonabile a quella del più grande impianto idroelettrico. L'energia che è prodotta nelle pile costruite finora, tuttavia, è liberata a una temperatura bassa che non le rende di uso pratico. Nell'impianto di Hanford è in realtà consumata per scopi estremamente inefficaci di riscaldamento di una piccola quantità di acqua del Columbia River.

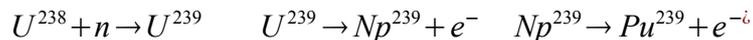
Il fondamento fisico della reazione a catena è la fissione dell'uranio. Questa è una violenta disintegrazione del nucleo dell'uranio che ha luogo quando un neutrone lo urta. Il nucleo originario si separa in due frammenti approssimativamente uguali, che si allontanano a enorme velocità e con un'emissione estremamente grande di energia. Ciò che rende possibile la reazione a catena, pertanto, non è il fatto che viene emessa una grande quantità di energia ma che nel processo alcuni neutroni sono emessi insieme ai due frammenti. Se assumiamo, per gli scopi di questa discussione, che vengano emessi due neutroni per ogni fissione e inoltre che le condizioni siano tali che in pratica tutti i neutroni che si originano nel sistema finiscano per dare origine alla fissione, abbiamo le condizioni che portano ad una reazione a catena esplosiva. Se, invece, introduciamo in un sistema di questo tipo un neutrone iniziale, questo darà origine a una fissione nella quale verranno prodotti due neutroni, A loro volta produrranno una seconda fissione, e ognuna produrrà due neutroni e così via. Il numero di neutroni sarà il doppio a ogni passo o "generazione" cosicché il loro numero si moltiplicherà rapidamente fino a che la reazione raggiungerà un'estrema violenza e verrà sviluppata una grande quantità di calore. Questa improvvisa emissione di energia produce l'esplosione atomica, Il sistema nelle condizioni presentate è detto avere un fattore di riproduzione 2 poiché ad ogni generazione un neutrone dà origine a due neutroni.

REAZIONI CON NEUTRONI VELOCI E LENTI

Nella progettazione di una bomba si tentano di ottenere condizioni nelle quali l'energia della fissione è emessa nel più breve tempo possibile. Ciò richiede che il tempo della "generazione" sia il più breve possibile e che a ogni generazione il numero dei neutroni possa aumentare del maggior fattore possibile. Per ottenere un tempo di generazione breve si useranno neutroni veloci e per ottenere il fattore di riproduzione quanto più grande possibile si cercherà di aggiustare le cose in modo tale che una grande percentuale di neutroni finisca per produrre una nuova fissione e quindi il più grande numero possibile di nuovi neutroni

Se invece vogliamo produrre una reazione a catena controllabile, il fattore di riproduzione dovrà essere molto vicino a 1 e non ci sarà la necessità di avere un tempo di generazione breve. Sarà preferibile invece che il tempo di generazione sia piuttosto lungo perché ciò consentirà un controllo più facile. È possibile pertanto usare neutroni lenti in una reazione a catena controllata. Vi è una differenza più fondamentale tra la bomba e la reazione a catena controllata. La reazione veloce sulla quale la bomba è costruita è ottenuta usando materiali fissionabili "disponibili" come l'U235 che è separato dall'uranio a Oak Ridge, Tennessee, o plutonio che è un nuovo elemento che è attualmente prodotto a Ranford, Washington.

Reazioni a catena controllabili possono infatti essere ottenute usando l'uranio naturale. Infatti questo materiale fu usato per produrre la prima reazione a catena per il semplice motivo che a quel tempo i materiali fissionabili utilizzabili non erano disponibili. È pure usato in tutte le pile industriali che sono state costruite dopo. L'uranio naturale consiste principalmente di una miscelazione di U238 rappresentante circa il 99,3 % del totale e U235 rappresentante circa lo 0,7%. È ben noto che è questa piccola quantità di U235 che rende possibile la reazione poiché l'U238 non dà origine a una fissione quando è bombardato da neutroni lenti. In realtà una reazione a catena si può ottenere molto facilmente usando U235 puro, poiché in questo modo si evita l'assorbimento parassita dovuto all'U238. Quando si usa il normale uranio non separato il problema è sensibilmente più difficile poiché l'eccesso positivo nel bilanciamento dei neutroni in ogni generazione è in tal caso molto piccolo e tutte le perdite inevitabili devono essere ridotte al minimo al punto da finire con un fattore di riproduzione più grande dell'unità. Da questo punto di vista, pertanto, la presenza di U238 è alquanto indesiderabile. D'altro canto l'U238 gioca un ruolo essenziale nella produzione di plutonio. Infatti l'U238 è trasformato durante la reazione in plutonio dal meccanismo rappresentato nel seguente processo nucleare:



La prima di queste reazioni rappresenta l'assorbimento di un neutrone da parte del nucleo dell'U238 che è a sua volta trasformato nell'isotopo U239. L'U239 è un isotopo instabile dell'uranio che si disintegra spontaneamente emettendo un elettrone e trasformandosi nel nuovo elemento nettunio di carica atomica 93 e peso 239 come indicato nella seconda reazione. La trasformazione dell'uranio in nettunio ha luogo in un tempo dell'ordine di mezz'ora. Anche il Np239 che si forma a sua volta è instabile ed emette spontaneamente un elettrone trasformandosi in qualche giorno nel prodotto finale di reazione Pu239 come indicato nell'ultima equazione. Se esaminiamo il bilancio totale di una reazione a catena di questo tipo, è chiaro perciò che l'U235 sarà gradualmente distrutto per tenere attiva la reazione; dal momento che l'U238 sarà lentamente trasformato in Pu239.

CONTROLLO DI UNA PILA

Per far funzionare una pila con una reazione a catena ad un livello stabile il fattore di riproduzione deve essere uguale a uno. Se è maggiore di uno l'intensità aumenta, se è minore l'intensità si abbassa. Per questo motivo l'operatore deve avere il modo di regolare il fattore di riproduzione a ogni valore richiesto in un intorno di uno. Ciò si ottiene normalmente per mezzo di un organo detto barra di controllo, Vi sono barre fatte di alcuni materiali che assorbono fortemente i neutroni che l'operatore può introdurre nella pila ad una profondità che può essere regolata accuratamente. Il numero di neutroni assorbiti dalle barre e pertanto rimossi dalla reazione dipende dalla profondità raggiunta dalle barre stesse nella pila. Di conseguenza, il fattore di riproduzione dipenderà pure dalla posizione della barra e avrà il suo valore massimo quando la barra è esterna e minimo quando è completamente inserita. Le condizioni sono di solito regolate in modo che il fattore di riproduzione sia uguale a 1 quando la barra è in una posizione intermedia detta "posizione critica" e assume valori maggiori di 1 se la barra è spinta in posizione più esterna di quella critica e minore di 1 se la barra è spinta più all'interno. Se l'operatore vuole aumentare l'intensità della reazione, la barra viene tirata in fuori cosicché il fattore di riproduzione supera 1 di una piccola quantità e il numero di neutroni aumenta gradualmente. Se l'operatore intende ridurre la velocità l'intensità della reazione, deve solo inserire le barre oltre la posizione critica. Il fattore di riproduzione sarà allora minore di 1 e l'intensità della reazione diminuirà gradualmente. Se si vuole mantenere la potenza al livello stabile, le barre vanno collocate nella posizione critica.

Da ciò risulta chiaro che il problema di controllare l'intensità della reazione nella pila può essere risolto in modo molto semplice. In realtà gli esperimenti hanno mostrato che il problema del controllo può essere risolto molto facilmente pure in pratica. Infatti, mantenere una pila in grado di produrre sia una grande che una piccola quantità di potenza, operando a un livello stabile, è una procedura che può essere completamente padroneggiata in poche ore. È pure possibile in modo semplice mantenere l'intensità della pila stabile ad ogni livello desiderato muovendo le barre con dispositivi meccanici che operino automaticamente. In tale caso ogni operatore può sorvegliare l'intero pannello di controllo.

PILE AD ALTA TEMPERATURA

La principale difficoltà tecnica che permane attualmente nella produzione dell'energia atomica per usi pratici è la seguente. In tutte le unità che sono state costruite sinora l'energia è prodotta ad una temperatura molto bassa. Ciò è dovuto in larga parte al fatto che lo scopo primario per cui le pile sono state costruite durante la guerra non servivano per produrre energia, ma plutonio. Per questa ragione non fu fatto alcuno sforzo nella direzione di costruire una pila con materiali in grado di mantenere una temperatura molto alta, poiché tale sviluppo avrebbe senza dubbio ritardato in modo considerevole il raggiungimento degli obiettivi essenziali.

I punti seguenti sono importanti. Non vi sono limiti pratici conosciuti alla temperatura alla quale l'energia può essere prodotta da una reazione di fissione a catena. Vi è ragione di credere infatti che nelle esplosioni delle bombe atomiche siano state ottenute temperature intorno al 1.000.000 °C. Un limite pratico è imposto solo per macchine progettate per operare a livello stabile dalle proprietà rifrattive dei materiali usati.

A questo riguardo, la scelta dei materiali è molto critica poiché non deve essere tenuta conto solo la loro capacità di mantenere alte temperatura ma si devono anche considerare l'effetto contrario che materiali esterni al sistema reagente hanno sulle reazioni nucleari stesse. Questo effetto contrario è dovuto al fatto che la maggior parte dei materiali assorbe neutroni a volte più e a volte meno. Ogni materiale, aggiunto come raffreddatore per rimuovere calore dalla pila o come rivestimento per le tubature attraverso le quali scorre un fluido refrigerante, determina una perdita di neutroni. Quando questa perdita è così grande che il fattore di riproduzione cade sotto 1, la reazione si ferma.

POSSONO ESSERE EMESSE GRANDI QUANTITA' DI ENERGIA ?

È stato ricordato che il carburante principale nelle pile del tipo di Hanford è l'U235 che rappresenta solo lo 0,7 % del peso totale dell'uranio naturale.

Il contenuto in energia di fissione dell'uranio è approssimativamente 3.000.000 di volte quella di un uguale peso di carbone. Se è utilizzato solo lo 0,7 % dell'uranio, il rapporto utile tra uranio e carbone è di circa 20.000. Questi aspetti evidenziano la grande importanza della progettazione di metodi per il completo utilizzo dell'energia dell'uranio.

La domanda per una soluzione pratica di questo problema non può essere molto pressante nell'immediato futuro perché vi sono depositi sufficientemente grandi di uranio che possono essere estratti a costi sufficientemente bassi. Se pensiamo, tuttavia, a uno sviluppo nel quale debba essere prodotta una grande quantità di energia atomica dall'U235, i ricchi depositi di uranio potrebbero rapidamente esaurirsi e un'ulteriore produzione dovrebbe far uso di minerale grezzo troppo povero con conseguente aumento di parecchi ordini di grandezza nel costo della materia prima. In questo caso, l'importanza di un completo utilizzo dell'energia immagazzinata nell'uranio dovrebbe naturalmente divenire molto maggiore. È chiaro che d'altro canto il valore dell'energia di una libbra [0,454 kg] di uranio è così grande che anche un enorme aumento dei costi di questo materiale non può ostacolare il suo uso economico come sorgente di energia. Infatti 3 milioni di tonnellate di carbone, equivalenti in contenuto di energia a una tonnellata di uranio, costa circa 8 milioni di dollari. Di conseguenza, quanto al costo del materiale grezzo, l'uranio ed il carbone dovrebbero diventare equivalenti con un prezzo dell'uranio di 4000 dollari per libbra. Prima della guerra il costo dell'uranio era di circa 2 dollari per libbra cosicché un incremento dell'ordine di un migliaio di volte il prezzo ante guerra non dovrebbe essere necessariamente antieconomico.

Possiamo concepire che tra 20 o 30 anni lo schema generale della produzione dell'energia atomica possa essere all'incirca come il seguente. Vi saranno grandi installazioni centrali nelle quali verrà prodotta una grande quantità di energia che verrà trasformata in energia elettrica o in vapore per consumi locali. Accanto alla produzione diretta di energia, queste grandi unità potrebbero pure produrre una certa quantità di plutonio, che sarà estratto e distribuito a piccole installazioni nelle quali il plutonio potrà essere usato in sostituzione dell'uranio come fonte primaria. Tale progetto potrebbe avere il vantaggio di consentire un ampio uso di unità di piccola potenza riducendo così notevolmente le difficoltà di distribuzione.

Uno schema generale di questo tipo è stato recentemente discusso in un rapporto del Dipartimento di Stato che delineava una possibile organizzazione per il controllo internazionale dell'energia atomica. Secondo questo rapporto le grandi unità centrali, nelle quali viene prodotto il plutonio, così come tutte le fonti di uranio e torio, dovrebbero essere controllate e operare attraverso un'organizzazione internazionale che dovrebbe distribuire o vendere plutonio in forma denaturata per un uso da parte di

singoli consumatori. Gli autori di questo rapporto partono dal presupposto che sia possibile denaturare il plutonio in modo da rendere difficile il suo utilizzo per scopi militari ed esprimono pertanto la speranza che possa essere praticabile esercitare solo un minimo controllo internazionale sugli utilizzatori del plutonio denaturato senza il pericolo che possa essere segretamente distolto per la costruzione di armi. Un tale schema ha senza dubbio alcuni aspetti interessanti sebbene il rapporto possa essere ultra ottimistico nello stimare le difficoltà di occultare plutonio denaturato per scopi militari. Non si può negare il fatto che l'uso possibile di plutonio per guerra aggressive costituisca una difficoltà per gli usi industriali dell'energia atomica che è molto maggiore di ogni difficoltà tecnica che possiamo prevedere. Il problema di evitare questo uso è essenzialmente politico e non tecnico e non vedo molta speranza di risolverlo a meno che le basi delle relazioni tra nazioni cambino completamente negli anni futuri.

NECESSITA' DI SCHERMATURE

Tornando ai problemi tecnici, vorrei richiamare un ulteriore fattore delle unità di energia atomica che rivelerà una seria limitazione al loro uso generale. Durante il processo di fissione, che è fondamentale per la produzione di energia atomica, verrà prodotta non solo energia ma anche radiazioni di vario tipo, in modo particolare neutroni e raggi gamma. A meno di prevenire che ciò accada con degli schermi, queste radiazioni sfuggiranno dalla pila e la loro intensità dovrebbe essere così terrificante che potrebbe uccidere in breve tempo ogni essere vivente nelle vicinanze e che operasse senza schermature. Ne deriva pertanto la necessità di schermare la pila con materiali che impediscano la fuga di radiazioni letali. In linea di principio il problema non è di difficile soluzione. È sufficiente, per esempio, circondare la pila con un muro di calcestruzzo dello spessore di parecchi piedi per eliminare completamente ogni pericolo. D'altro canto non vi è modo di eliminare le radiazioni senza l'uso di schermatura molto pesanti. Infatti in molti progetti di pile discussi lo schermo rappresenta la parte maggiore dell'installazione. La necessità di circondare la pila con uno schermo pesante ostacolerà parecchi utilizzi dell'energia atomica. Non appare possibile per esempio progettare un'unità atomica sufficientemente leggera da essere usata in un'automobile o aereo di dimensioni ordinarie. Forse una grande locomotiva potrebbe essere la più piccola unità mobile sulla quale sia concepibile installare un motore atomico.

Possiamo riassumere questa discussione affermando che vi è una possibilità tecnica che l'energia atomica possa divenire gradualmente una delle principali fonti di energia. Se questa aspettativa si rivelerà corretta, si possono attendere grandi vantaggi dal fatto che il peso del combustibile è quasi trascurabile. Questa caratteristica può essere particolarmente utile per portare energia disponibile a regioni di difficile accesso e lontane dai depositi di carbone. Può pure verificarsi una grande attività per unità mobili per esempio in centrali per la propulsione di navi. Per quanto riguarda gli aspetti svantaggiosi vanno considerate alcune limitazioni tecniche all'applicabilità dei motori atomici, tra i quali probabilmente il più serio è l'impossibilità di costruire unità leggere; vi saranno pure particolari difficoltà nel costruire centrali atomiche, come per esempio la necessità di maneggiare sostanze altamente radioattive, che richiederà, almeno per un periodo considerevole, l'uso di personale qualificato. Ma l'ostacolo principale nello sviluppo dell'energia atomica sarà la difficoltà di organizzare uno sviluppo industriale su larga scala in una forma internazionalmente sicura. Ciò presenta problemi reali molto più difficili da risolvere di quelli tecnici. Si richiederà un'insolita dose di arte di governo per ridurre il sospetto internazionale che nascerà nei confronti di queste tecniche segrete, contro l'ovvio pericolo di divulgare i dettagli di procedure per un nuovo metodo di guerra estremamente pericoloso in un mondo che ora non è ancora preparato a rinunciare alla guerra. La capacità di compromesso dovrebbe essere trovata nel tempo relativamente breve che trascorrerà prima che i "segreti" divengano noti per la riscoperta di scienziati di altri stati.

Ci si potrebbe chiedere se gli scienziati agiscano facendo conoscere ai capi di stato del mondo questo nuovo terribile problema. Una volta che sono acquisite le conoscenze di base ogni sforzo di prevenirne la fruizione potrebbe essere come sperare di fermare la terra nella sua rivoluzione attorno al sole per rango.

ALTRE APPLICAZIONI DELL'ENERGIA ATOMICA

La produzione di energia non è il solo uso pacifico della reazione nucleare a catena. Vi sono altre possibilità che possono forse non competere con la produzione di energia per diretta importanza economica, ma forse dimostrarsi il più proficuo settore di sviluppo. Una pila in azione è una fonte di materiali radioattivi di molti ordini di grandezza superiore alle sorgenti precedenti. I materiali radioattivi sono prodotti in parte come conseguenza diretta del processo di fissione, dal momento che i frammenti in cui si dividono gli atomi di uranio sono isotopi radioattivi di elementi posti nella parte mediana del

sistema periodico. Questi elementi radioattivi possono essere purificati chimicamente, Altre sostanze radioattive si possono produrre nel modo seguente. In una pila funzionante neutroni vengono emessi continuamente in grande quantità. Ogni sostanza introdotta nella pila è esposta a un massiccio bombardamento da parte di questi neutroni. Quando un neutrone colpisce il nucleo di una sostanza, si verificano parecchie reazioni che, in molti casi, danno origine alla formazione di isotopi radioattivi. La maggior parte degli elementi può essere ottenuta in questo modo in una forma radioattiva. I tempi di vita media di questi elementi variano da una frazione di secondo a migliaia di anni. Tra i radio elementi artificiali più significativi si ricorda il Carbonio 14 con una vita media di circa tremila anni. Le sostanze radioattive si possono usare per una varietà di scopi. Le radiazioni da essi emesse sono equivalenti a quelle emesse dal radio e potrebbero essere usate per fini medici su una scala maggiore di quanto è stato possibile con il radio. Ancora dal punto di vista della radioterapia, è stata espressa la speranza sulla possibilità di trarre vantaggio dal fatto che le sostanze con radioattività artificiale formino una varietà di elementi chimici e che si potrebbero utilizzare le proprietà chimiche per ottenere una concentrazione del materiale attivo nei tessuti esposti alla radiazione.

Molte speranze sono state suscitate dalla possibilità di usare una grande quantità di sostanze radioattive come tracciatori. Particolarmente significativo a tale riguardo appare la possibilità di usar il Carbonio 14 come un tracciatore per il carbonio nella chimica organica e nell'attività biochimica. Dall'uso del Carbonio 14 in biologia ci si aspetta di poter seguire con facilità le reazioni del carbonio nei complessi processi chimici della vita e si spera che la disponibilità di Carbonio 14 sia adeguata in modo tale da consentire ricerche in questa direzione su larga scala.

Non ci dovrebbe molto sorprendere se lo stimolo alla scienza di queste nuove tecniche ha offerto il risultato più spettacolare in una fonte energetica economica e conveniente piuttosto che la spaventosa capacità distruttiva della bomba atomica.