

# Scienza e militare : le armi nucleari : la fissione e la bomba H

Autor(en): **F.G.B.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Rivista militare della Svizzera italiana**

Band (Jahr): **34 (1962)**

Heft 4

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-245568>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

---

SCIENZA E MILITARE

## LE ARMI NUCLEARI

### LA FISSIONE E LA BOMBA H

---

di F. G. B.

Riprendiamo la serie di articoli sulle armi nucleari iniziata nel fascicolo 5 del 1961 (paragrafi I a V <sup>1</sup>) e continuata nel fascicolo 6 di quell'anno (paragrafi VI e VII <sup>2</sup>) e nel fascicolo 1 del 1962 (paragrafi VIII a XIV <sup>3</sup>). Il lettore ricorderà che al centro dell'esposizione è stata posta la descrizione dell'andamento del «difetto di massa, energia di legame» e dell'andamento reciproco della «massa energia residua». S'era sottolineato, descrivendo quest'ultima curva, l'importanza del fatto ch'essa risultasse concava, a mo' di vallata, e presentasse i valori minimi verso la zona dei nuclei medi. Questo andamento particolare di  $m_1$  e  $e_1$  ci aveva dato modo di spiegare la «naturale tendenza» dei nucleoni a «cadere» dai due estremi dei nuclei leggerissimi e pesantissimi, verso la zona dei nuclei medi, sprigionando immensa energia. Rimandiamo il lettore dimentico di queste spiegazioni, a quei paragrafi (IV, V e VI) i quali restano basilari anche per il discorso che intendiamo fare qui sotto. Detto gruppo di paragrafi si concludeva con la frase: «La caduta dai nuclei leggeri verso i medi si effettua per unione e costituisce la reazione nucleare detta di fusione; la caduta dai nuclei pesantissimi verso i medi si effettua per frantumazione e costituisce la reazione nucleare

---

<sup>1</sup>) pag. 201—208

<sup>2</sup>) pag. 265—267

<sup>3</sup>) pag. 15—22

detta di fissione». Partendo da questo quadro generale delle reazioni nucleari abbiamo poi spiegato (paragrafi VII a XIV) la reazione di fissione e la bomba A; partendo da questo stesso quadro generale intendiamo ora descrivere (sempre solo mediante i concetti fondamentali) la reazione di fusione e la bomba H.

## XV Il principio della fusione

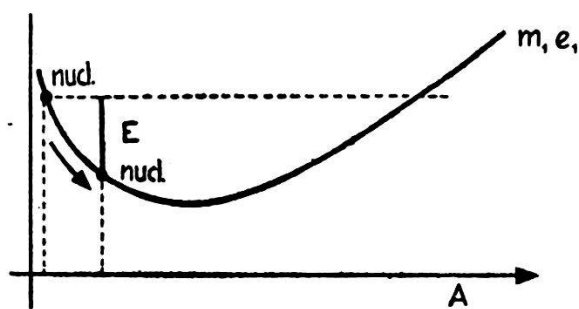
La fusione consiste nella repentina unione di più nuclei leggerissimi adeguatamente sollecitati, in generale 2, a formare un nucleo situato verso la zona dei nuclei medi. I casi più frequenti di fusione sono quelli che si danno fra i nuclei seguenti: idrogeno e deuterio, con formazione di elio; deuterio e deuterio, con formazione di tritio od elio; deuterio e tritio, con formazione di elio; tritio e tritio, con formazione di elio. Altre reazioni sono possibili, ma queste sono, per ora, le più comuni. Espresse in modo completo esse si formulano come segue <sup>4)</sup>:

- 1)  $H + D = {}^3\text{He}$ ;
- 2)  $D + D = T + H$ ;
- 3)  $D + D = {}^3\text{He} + n$ ;
- 4)  $D + T = {}^4\text{He} + n$ ;
- 5)  $T + T = {}^4\text{He} + 2n$ .

La fusione produce un nucleo più pesante dei nuclei di partenza (quello che si trova immediatamente a destra del segno «uguale» e che è in genere l'elio), particelle singole (comunemente dei neutroni) e, soprattutto, una energia enorme. La produzione di energia è dovuta al fatto che, nel nucleo più pesante prodotto dalla fusione, ogni singolo nucleone ha meno energia massa residua che non nel nucleo originario e, pertanto, esso libera, nel passare da un nucleo all'altro, la massa energia che gli risulta in eccesso. Questo punto (strettamente analogo, ma reciproco, alla descrizione della fissione) va chiarito meglio sulla scorta della nostra figura abituale rappresentante l'andamento di  $m_1$  e<sub>1</sub>. Abbiamo segnato in essa a sinistra in alto il nucleone

---

<sup>4)</sup> H: nucleo di idrogeno; D: deuterio o idrogeno pesante; T: tritio o idrogeno pesantissimo; He: elio; n: neutrone



nel nucleo leggerissimo. Il nostro nucleone si trova così, sulla curva  $m_1 e_1$ , ad un livello massico energetico assai alto. Con la fusione il nucleone viene a trovarsi in un nucleo medio, ad esempio nella posizione segnata un po' più a destra, e pertanto ad un livello

massico energetico molto minore. Ne consegue che, nel passaggio, ogni nucleone dei nuclei leggerissimi originari libera l'energia  $E$ . Quest'energia risulta maggiore che non nella fissione. Infatti la pendenza della curva  $m_1 e_1$  nella sua porzione sinistra (dove si svolge la fusione) è maggiore che nella porzione destra (teatro della fissione). Ne consegue che per spostamenti uguali dei nuclei originari (leggerissimi, rispettivamente pesantissimi) verso nuclei medi, l'emissione di energia è maggiore nella fusione che non nella fissione. Da notare poi che la curva  $m_1 e_1$  presenta, in questa sua porzione sinistra, numerose eccezioni, nel senso che diversi nuclei si situano sopra o sotto di essa, a cagione di anomalie che sarebbe troppo arduo e lungo spiegare <sup>5)</sup>. Tali anomalie possono essere adeguatamente sfruttate ad accrescere  $E$ , purchè si curi di partire, con la reazione di fusione, da nuclei situati al di sopra della curva  $m_1 e_1$  per terminare in nuclei che se ne stanno al disotto. Uno di questi nuclei anomalamente al disotto della curva  $m_1 e_1$  è il nucleo dell'elio. Per questo le reazioni di fusione (anche quelle che si operano spontaneamente nel Sole) terminano nell'elio. L'elio rappresenta proprio una specie di pozzetto massico energetico, aperto nella curva  $m_1 e_1$ , dentro il quale i nucleoni cadono «più facilmente», sprigionando un'energia ancora maggiore. Ma occorre indicare a quanto ammonta l'energia liberata. Diamo la risposta tracciando un parallelo con la fissione, la quale dà già valori che suscitano un terrore ammirativo. La fusione può fare ancora di più. Ne giudichi il lettore. Mentre l'energia liberata all'atto della fissione era dell'ordine di  $2 \times 10^{10}$  Cal/kg, l'energia liberata nella fusione è di:  
 $4,4 \times 10^{10}$  Cal/kg, per la reazione  $T+T$  (la 5, più sopra)  
 $8,1 \times 10^{10}$  Cal/kg, per la reazione  $D+T$  (la 4).

<sup>5)</sup> Queste posizioni anomale non sono segnate nella figura

## XVI Il perchè della fusione

Sinora abbiamo spiegato la fusione in modo generico, attenendoci ai principi generali; occorre ora procedere a spiegarne il meccanismo. Prima però vogliamo indugiare a rispondere ad una domanda, la seguente: perchè i nuclei leggerissimi fondono? sono forse instabili come i nuclei pesantissimi? No, i nuclei leggerissimi non sono instabili come i pesantissimi; non v'è qui alcuna radioattività naturale che indichi dei cedimenti nella struttura nucleare. I nuclei leggerissimi resterebbero infatti tali, ove non fossero adeguatamente sollecitati; quando però si operi opportunamente su di essi, non possono più rimanere tranquilli al loro posto ma «devono» rovinare a valle (come i massi nel nostro esempio), in quanto, come è «più naturale» per i massi posti sul ripido pendio della vallata, rotolare verso il fondovalle, così è «più naturale» per i nucleoni «rotolare» verso il fondovalle di  $m_1 e_1$ , verso quegli assembramenti nucleari che rappresentano lo stato minimo massico-energetico. Solo nei nuclei medi il nucleone si trova al suo livello più stabile, al livello ch'esso raggiunge con l'emissione massima d'energia. Passiamo ora a descrivere la fusione e cioè, essenzialmente, a spiegare l'espressione «adeguatamente sollecitati», che abbiamo usato più volte qui sopra.

## XVII Attrazione e repulsione

Perchè due nuclei leggerissimi fondano occorre portarli tanto vicini da consentire all'attrazione internucleare di agire, allora i due nuclei si precipiteranno irresistibilmente e di colpo l'uno contro l'altro a formare un nucleo più pesante, liberando, per ogni nucleone, l'energia  $E$ , come si è spiegato innanzi. L'attrazione s'innesca però solo a distanza di  $10^{-13}$  cm. Due ostacoli si frappongono a questo estremo avvicinamento. Il primo ostacolo è che il nucleo leggerissimo è sempre accompagnato dalla sua scorta elettronica: non si dà il nucleo nudo, cioè, bensì sempre e solo l'atomo. Il nucleo pertanto è come una piccola biglia che si trova al centro di una relativamente immensa scatola sferica (il guscio elettronico). Ond'è che anche avvicinando al massimo due atomi di idrogeno, o di idrogeno pesante ecc., si riesce solo a portare in contatto le «scatole», ma i nuclei, che si

trovano al loro centro, resteranno pur sempre troppo lontani perchè tra essi agiscano le forze attrattive. Occorre dunque fare uscire i nuclei dalle loro scatole elettroniche. Supponiamo che si riesca. Eccoci allora caduti da Scilla in Cariddi, perchè mentre i nuclei iscatolati (gli atomi cioè) erano neutri, in quanto le cariche positive del nucleo erano compensate dalle cariche negative della scorza elettronica e potevano essere agevolmente avvicinati, i nuclei nudi vengono a trovarsi con le cariche positive non compensate e quindi si respingono violentemente per repulsione elettrostatica delle loro cariche. In altre parole al posto della barriera formata dalle scorze elettroniche subentra la barriera del potenziale elettrico.

Vi sono però almeno due mezzi per portare i nuclei a distanze dell'ordine di  $10^{-13}$  cm. Nei prossimi paragrafi li esporremo entrambi e passeremo a descrivere la bomba H.

### XVIII Il plasma

Il primo mezzo per far uscire i nuclei dalle loro «scatole» elettroniche, far vincere loro la reciproca repulsione elettrostatica e, conseguentemente, avvicinarli tanto che possano fondere è il calore. Naturalmente non il calore abituale al nostro mondo terreno, bensì un vero calore stellare, un calore di milioni di gradi. A questa spaventevole temperatura la materia entra in un suo «quarto stato»: non è più nè solida nè liquida nè gassosa è nello stato detto di «plasma». Il plasma è caratterizzato dal fatto che l'atomo è smantellato; l'immensa energia fornita col calore ha strappato gli elettroni dalle loro orbite ed ha denudato i nuclei (ionizzazione totale dell'atomo). Nel quarto stato della materia non vi sono più i ferrei legami interatomici, le belle ordinate architetture cristalline dello stato solido e nemmeno i legami interatomici più allentati, ma pur efficienti, dello stato liquido; si scende addirittura al disotto del livello organizzativo dello stato gassoso — il quale, se annulla i legami interatomici rispetta almeno l'architettura interna dell'atomo — per raggiungere una sorta di caos primigenio, dove non vi sono più atomi, ma una nube di elettroni e nuclei vaganti per loro conto in disordinati e frenetici moti termici. Se pensiamo di realizzare la reazione 4 (paragrafo XV), avremo dunque, dopo aver riscaldato il gas di partenza, un plasma formato di

elettroni liberi, nuclei nudi di deuterio (deutoni) e nuclei nudi di tritio (tritoni): i nuclei cioè saranno usciti dalle loro «scatole», non saranno più, dalle loro scorze elettroniche, impediti di unirsi. Il primo ostacolo all'avvicinamento dei nuclei, cui s'era accennato nel paragrafo XVII, è pertanto vinto. Resta il secondo ostacolo: ora che i nuclei si sono denudati, le loro cariche positive, non più compensate dagli elettroni, creano una barriera di potenziale che li mantiene lontani. L'enorme calore del plasma risolve però, come ha risolto il primo, anche questo secondo ostacolo. Infatti nel plasma i moti termici sono così frenetici ed i nuclei (deutoni e tritoni) sono proiettati con tale violenza, che le barriere di potenziale risultano insufficienti a mantenerli distanti. Quando due nuclei s'avvicinano oltre la barriera di potenziale, alle forze repulsive subentrano di colpo le forze d'attrazione nucleari e nulla più può impedire la fusione.

### **XIX La fusione nel plasma**

Non appena alcuni nuclei del nostro plasma siano riusciti a collidere e a fondere si formano (restiamo all'esempio della 4) i primi nuclei di elio e si liberano le prime, già enormi, quantità di energia. Questa liberazione d'energia fa sì che i moti termici si accentuino ancora immediatamente nel plasma, favorendo immensamente le collisioni di nuclei e, pertanto, le fusioni successive. La reazione di fusione, così innescata, investe, in un tempuscolo, tutta la massa, sprigionando un'energia che, come s'è detto, è maggiore di quella liberata mediante fissione. Questa reazione nucleare è la reazione nucleare per antonomasia, la reazione che dà vita al nostro universo, che lo nutre d'energia: è la reazione che accende le stelle e il nostro Sole. La reazione di fissione non è possibile se non in corpi celesti già invecchiati, in cui si siano già formati i nuclei pesantissimi; la reazione di fusione, per contro, è la reazione della giovinezza dell'universo: essa dall'idrogeno e dai suoi isotopi pesanti crea le stelle e le mantiene in vita. Il nostro Sole per esempio, così familiare e benefico, altro non è se non un'immensa bomba a fusione funzionante secondo la (1), la (3) e la (4) ancorchè con un ciclo un po' più complesso che comporta anche la presenza di catalizzatori.

## XX Il problema del calore e del recipiente

Questo primo metodo della fusione, metodo «caldo» o «termo-nucleare», comporta due problemi collaterali d'estrema difficoltà, il problema della produzione del calore plasmico e quello dell'integrità del contenitore. Ambedue i problemi vengono risolti in modo radicalmente diverso a seconda che si intenda ottenere una reazione controllata (per scopi pacifici) oppure una reazione esplosiva (per scopi bellici). Benchè il nostro compito sia precipuamente quello di presentare la bomba H, pure dobbiamo spendere qualche parola per indicare come questi problemi sono risolti nel caso della reazione per scopi di pace. Per controllare la reazione di fusione in modo da prevenire un suo precipitarsi in forma esplosiva bisogna, per prima cosa, produrre l'immenso calore necessario così da poterlo dosare su valori tali che consentano l'innesco della reazione ma non il suo accelerarsi e, in secondo luogo, poter mantenere il plasma entro un recipiente stabile. Il primo punto è risolto ricorrendo all'arco elettrico. Il secondo, per contro, pareva teoricamente di soluzione impossibile, in quanto, alle temperature plasmiche di 5 e più milioni di gradi, le pareti del contenitore — qualunque fosse il materiale che le compone — sembravano dover essere senza remissione immediatamente volatilizzate. Si è potuto però in pratica risolvere anche questa difficoltà. Si è partiti dal fatto che via via che il gas di idrogeno pesante si riscalda, esso si ionizza; gli atomi cioè cominciano a liberarsi dei loro elettroni e, persa in tal modo la compensazione negativa delle cariche positive del nucleo, abbandonano il loro stato elettricamente neutro e rivelano carica positiva. Questa circostanza permette di disciplinare il plasma senza toccarlo: basta usare un campo magnetico assai potente da imprigionare i nuclei entro le proprie linee di forza, cui i nuclei — carichi positivamente — devono obbedire. Se, quindi, il gas di idrogeno pesante è riscaldato entro un campo magnetico le cui linee siano orientate in modo da evitare le pareti del contenitore, otterremo che il gas plasmico, via via che si riscalda e, conseguentemente, si ionizza, resterà prigioniero del campo magnetico e non lambrerà mai le pareti del contenitore. Si riuscirà così a plasmificare completamente il gas deutonico e tritonico, senza che le pareti del



contenitore abbiano a soffrirne. Sarà proprio come se, entro il contenitore materiale, fosse stata introdotta una fodera protettiva immateriale: in altre parole, avremo una specie di bottiglia «thermos», la cui parete interna è data dal campo magnetico. È attualmente su queste direttive che gli scienziati lavorano per creare dei reattori a fusione, da usare per scopi civili. Le difficoltà permangono tuttavia enormi e i risultati finora raggiunti molto frammentari. Come abbiamo annunciato chiudendo il paragrafo XVII, esistono però due metodi per portare i nuclei tanto vicini che possano fondere: fin qui abbiamo parlato del metodo «caldo», facciamo un breve cenno ora sul secondo metodo, o metodo «freddo». Il cenno sarà brevissimo in quanto questo secondo metodo è proprio puramente teorico; vale la pena però di conoscerlo per sommi capi.

*(continua)*

---