

# Cronologia

1896: L'ELETTRONE (J.J. THOMSON)

1896: RAGGI X (W. ROENTGEN)

1897: RADIOATTIVITÀ (H. BECQUEREL)

1900: IL "CORPO NERO" E I  
"QUANTI DI LUCE" (M. PLANCK)

1902: IL RADIO (P. E. M. CURIE)

---

1905: INTERPRETAZIONE  
DELL'EFFETTO FOTOELETTRICO  
(A. EINSTEIN)

1905: INTERPRETAZIONE DEL "MOTO  
BROWNIANO" (A. EINSTEIN)

1907-11: RADIOATTIVITÀ  $\alpha$ ,  $\beta$  E  $\gamma$ , "TRASMUTAZIONE"  
DELLI ELEMENTI (RUTHERFORD)

1911: IL "NUCLEO" (RUTHERFORD)

1913: L'ATOMO QUANTIZZATO (N. BOHR)

---

1913: IL NUMERO ATOMICO.  
(H. MOSELEY)

1924: ONDE DI DE BROGLIE

1926: PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE  
(W. HEISENBERG)

1927: MECCANICA ONDULATORIA (E. SCHRÖDINGER)

1928: MECCANICA QUANTISTICA  
RELATIVISTICA (P.A.M. DIRAC)

1931: RADIOATTIVITÀ ARTIFICIALE  
(J. CURIE e F. JOCIOT)

1932: SCOPERTA DEL NEUTRONE (J. CHADWICK)

1934: TEORIA STATISTICA DI UN GAS DI FERMI

1934: TEORIA DEL DECADIMENTO  $\beta$   
(E. FERMI)

1934: NEUTRONI LENTI (E. FERMI)

1935: INTERAZIONE FORTE (H. YUKAWA)

1935: INTERAZIONE FORTE (H. YUKAWA)

1938: FISSIONE NUCLEARE (O. HAHN, F. STRASSMAN)

1939: CICLO  $p-p$  (H. BETHE et al.)

1935: INTERAZIONE FORTE (H. YUKAWA)

1938: FISSIONE NUCLEARE (O. HAHN, F. STRASSMAN)

1939: CICLO  $p-p$  (H. BETHE et al.)

# Da Maria Curie alla bomba atomica: Harriet Brooks, Ida Noddack e Lise Meitner

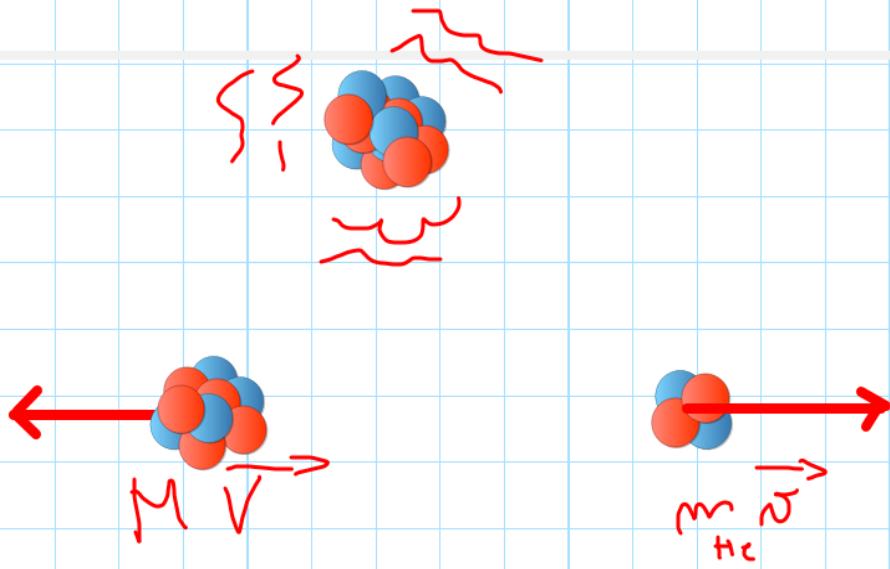
**Studia Matematica e Filosofia  
Naturale alla *McGill*  
*University* di Montreal (prima  
donna a laurearsi) nel 1908.**

**Si laurea specializzandosi  
sui processi radioattivi con E.  
Rutherford come relatore**

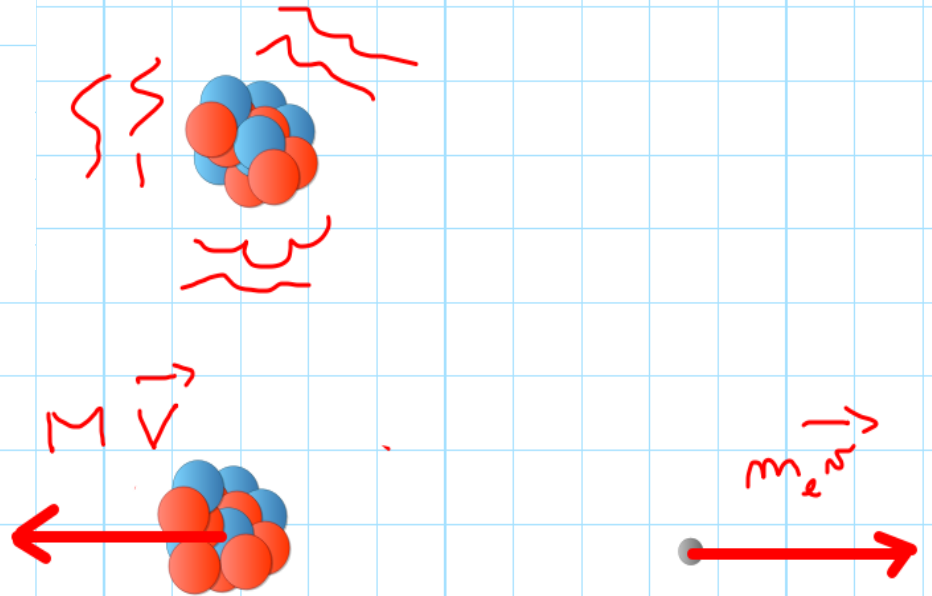


**Harriet Brooks**

Exeter (Canada), 2 Luglio 1876 - 18 Aprile 1933



$M > m_{He}$        $\longrightarrow$        $V < v$

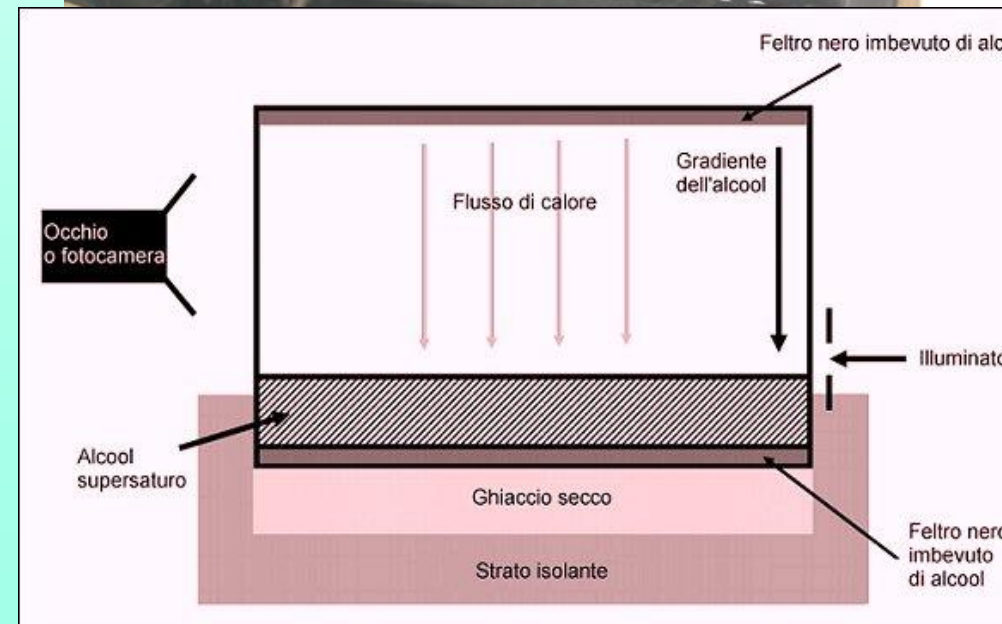
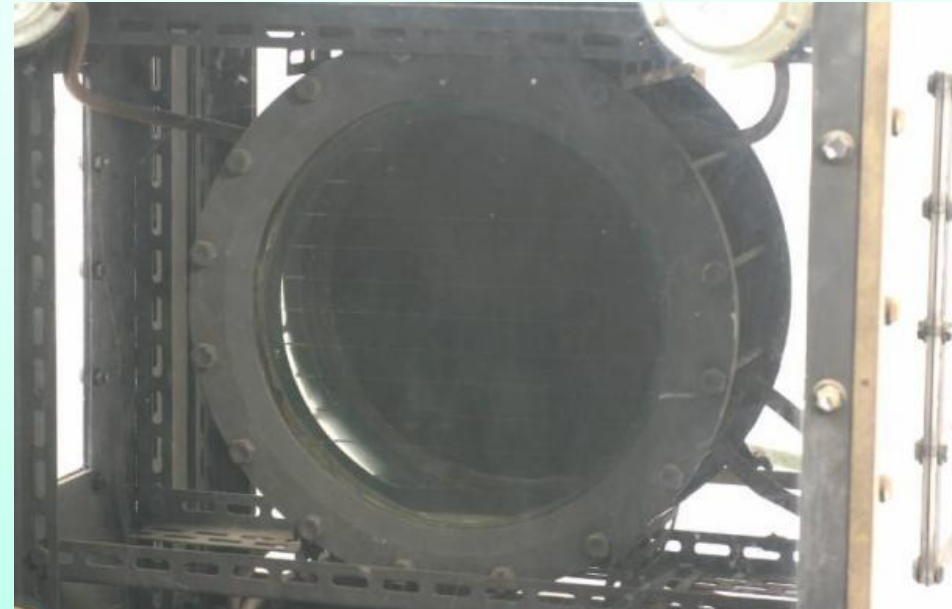


$M \gg m_e$        $\longrightarrow$        $V \ll v$

# Facile! Ma quando si tratta di scoprirlo le cose si complicano ...

Uso della *camera a nebbia*:  
particelle emesse lasciano  
scie di goccioline condensate  
dentro ad una camera di  
vapore soprassaturo

Scoperta da Charles Wilson  
nel 1899 e perfezionata  
successivamente



**Naturalmente il problema è trovare le tracce giuste e ricavare le informazioni connesse**



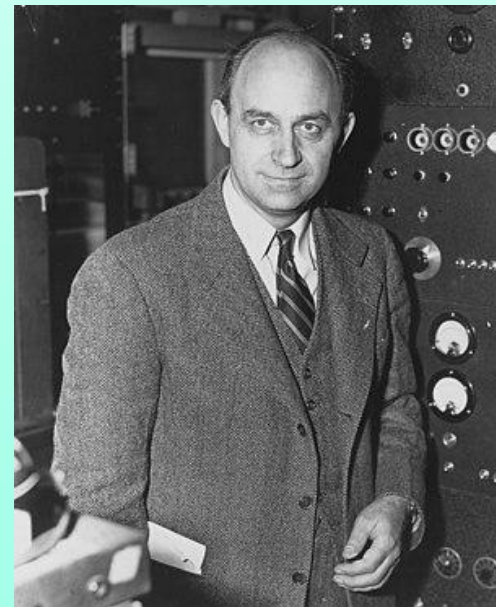
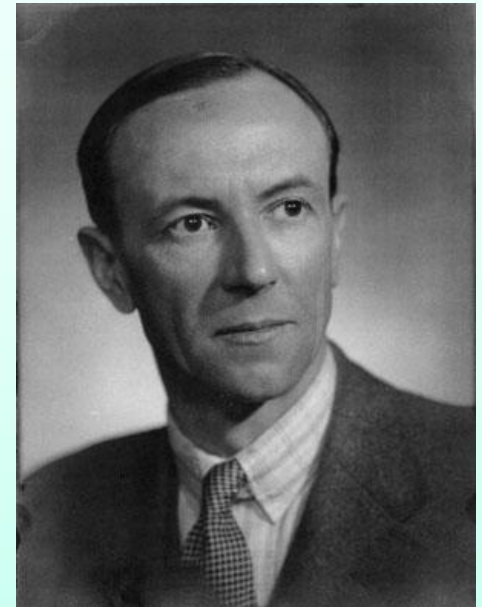
# La svolta nella Fisica nucleare

Dopo la scoperta della radioattività artificiale:

**1932:** John Chadwick scopre il neutrone

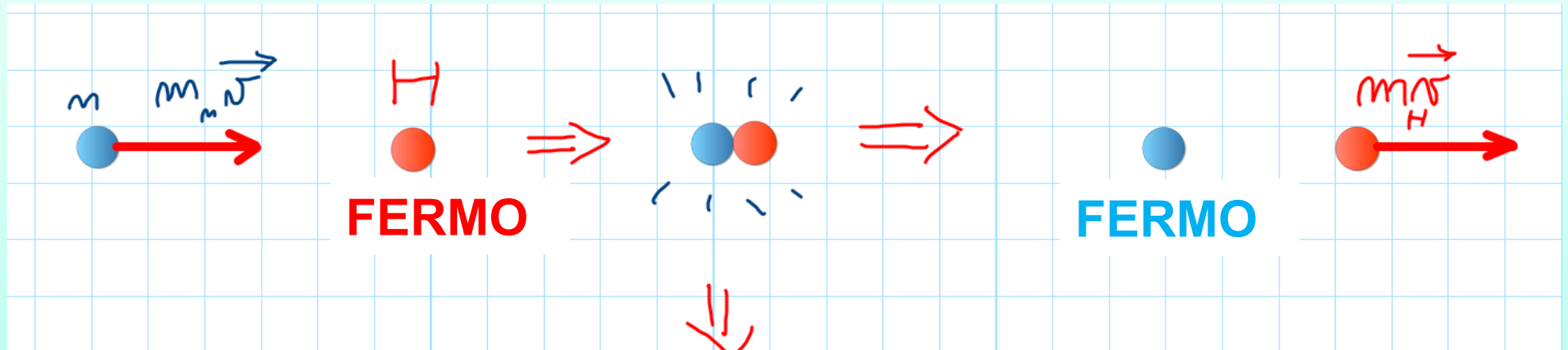
**1934:** Enrico Fermi spiega sulla base della meccanica quantistica il ruolo del neutrino nel *decadimento radioattivo beta*

**1934:** Fermi, nei suoi esperimenti di bombardamento di nuclei con neutroni ha l'idea di anteporre alla sorgente uno strato di paraffina: l'incremento di attività dei nuclei è enorme!



# LA PARAFFINA CONTIENE IDROGENO (è una miscela i idrocarburi alifatici $C_nH_{2n+2}$ )

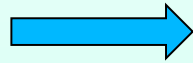
UN ATOMO DI IDROGENO (H) HA MASSA UGUALE A  
QUELLA DI UN PROTONE



IL NEUTRONE DIVENTA «*TERMICO*» (CIOE A  
TEMPERATURA AMBIENTALE) QUINDI DIVENTA  
*FREDDINO*, POICHE SI TRATTA DI UNA PARTICELLA  
ELEMENTARE

**POICHE**  $\Delta x \cdot \Delta_{Px} \approx \hbar \left( \frac{\text{cost Planck}}{2\pi} \right)$

**LA  
QUANTITÀ  
DI MOTO SI  
ATTESTA  
SU VALORI  
BASSI**



$\Delta x$  **GRANDE**  
**Cioè il neutrone  
può coprire uno  
spazio  
maggiore**



**IL NEUTRONE  
HA MAGGIORE  
PROBABILITÀ  
DI COLPIRE I  
NUCLEI E DI  
PENETRARVI**

**QUANDO UN NEUTRONE PENETRA IN UN NUCLEO,  
QUESTO DIVENTA A SUA VOLTA «ATTIVO»**

**MISURANDO LA SUA  
ATTIVITÀ SI PUÒ IMPARARE  
QUALCOSA SULLA  
STRUTTURA DEI NUCLEI**

**DAL 1934 FERMI DESCRIVE IN UNA SERIE DI  
MEMORIE I MOLTI ESPERIMENTI CHE GLI  
PERMETTERANNO DI OTTENERE IL *NOBEL* NEL 1938,  
MA NON TUTTI I RISULTATI SONO CHIARI**

**Fermi sostiene la possibilità che con il  
bombardamento a neutroni lenti si possano ottenere  
elementi di numero atomico superiore all'Uranio  
(l'ultimo della tavola periodica all'epoca)**

**Ma a questo punto entra in gioco una chimica  
che lavora al Kaiser Wilhelm Institute di Berlino:  
si chiama **Ida Thacke Noddack****

# IDA TACKE NODDACK

Insieme al futuro marito Walter Noddack nel 1926 ha annunciato la scoperta di due elementi, chiamati *Masurium* e il *Rhenium*, anche se solo il secondo fu confermato



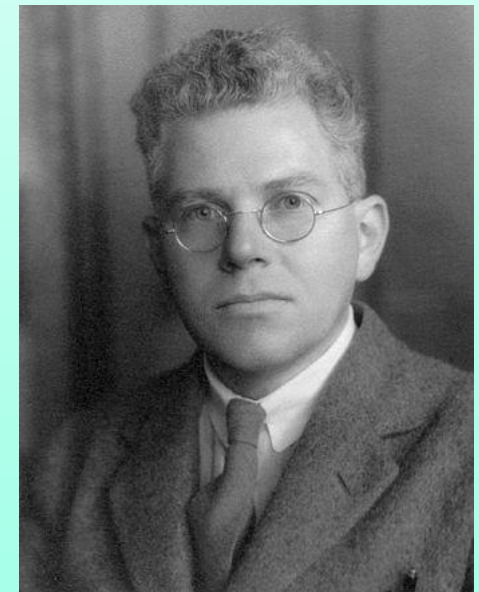
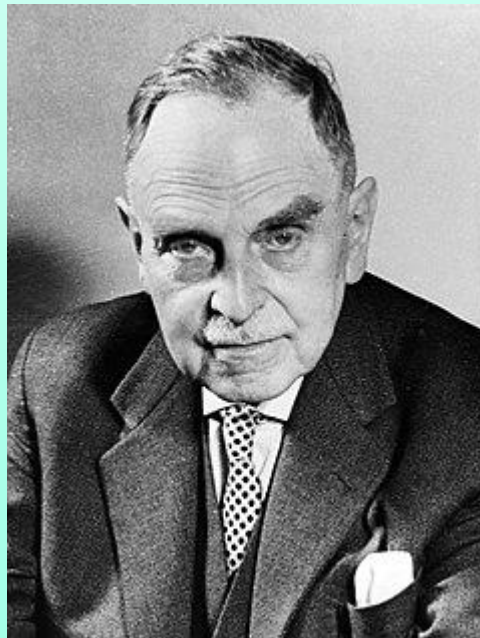
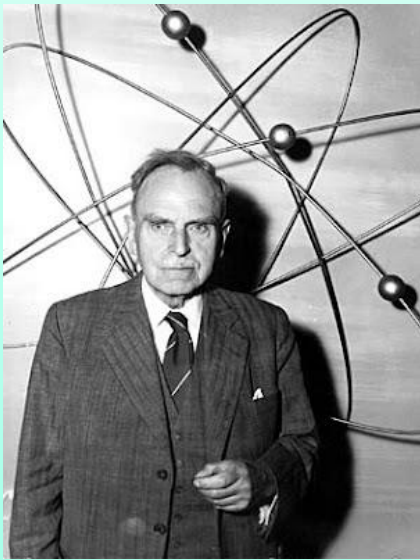
1896 - 1978



Nel 1934 legge il resoconto delle esperienze di Fermi con i neutroni lenti e sostiene la possibilità che in questo modo si possano ottenere da elementi pesanti e instabili elementi chimici di numero atomico inferiore per **scissione** (**fissione dei nuclei**)

**Le idee di Ida non verranno prese in considerazione e lei stessa non svolgerà esperimenti per verificarle.**

**Intanto a Berlino con le stesse ricerche si cimentano Otto Hahn insieme ai suoi collaboratori, Fritz Strassman, Otto Robert Frisch e, prima di trasferirsi in Svezia per cause di forza maggiore, la zia di Frisch**



# **LISE MEITNER**

**Nacque a Vienna il 7  
novembre 1878**

**Poiché le donne non potevano  
iscriversi al Liceo sostenne la  
maturità liceale da privatista nel  
1901 e si iscrisse all'Università di  
Vienna ove studiò Matematica,  
Fisica e Filosofia.**

**Ebbe come insegnante  
L. Boltzmann**

**Nel 1907 si trasferì a Berlino per  
perfezionare gli studi**



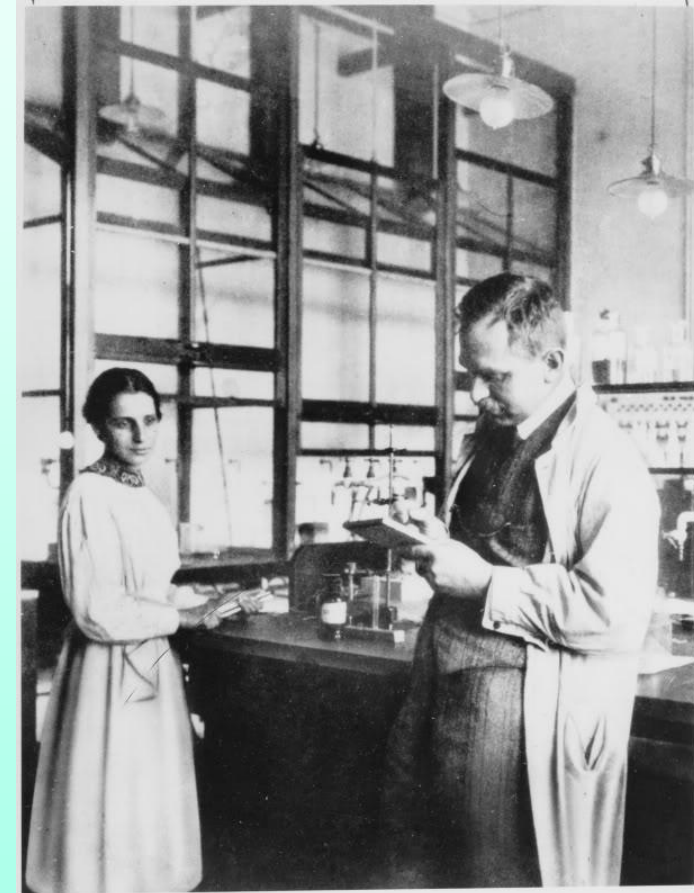
**A Berlino frequentò le  
lezioni di Max Planck e  
conosce Otto Hahn**

**Insieme ad Hahn nel 1909 interpretò i dati di Harriet Brooks sul rinculo atomico**

**Dal 1912 al 1915 è assistente di Max Planck**

**Durante la Prima Guerra Mondiale dal 1914 al 1916 lavora volontaria come tecnico dei raggi X nell'esercito austriaco e, tra l'altro, fu una dei primi a istituire regole di precauzione e protezione nell'uso delle radiazioni**

**Nel 1917 insieme a Hahn scopre l'isotopo  $^{231}$  del protoattinio**



**Nel 1919** le viene assegnata una sezione all'interno delle attività di Fisica Nucleare e nel 1926 ottenne la cattedra di Fisica nucleare all'Università di Berlino, dove lavorava Einstein

**Nel 1923** scopre la produzione di elettroni espulsi dai livelli energetici inferiori in seguito all'irraggiamento X

(poi chiamato “effetto Auger” dopo che il fisico francese Pierre Auger lo scoprì indipendentemente due anni dopo)

**Nel 1926** è nominata Professore straordinario all'Università di Berlino, prima donna in Germania

**La cattedra le viene tolta nel 1933 in seguito all'applicazione delle leggi razziali del 7 Aprile 1933 sulla Pubblica Amministrazione, ma può lo stesso continuare a svolgere le sue ricerche sul bombardamento di nuclei con neutroni lenti, fino all'Anschluss nel 1938**

**Nel 1934 Fermi e i suoi collaboratori avevano prodotto isotopi radioattivi mediante bombardamento con neutroni dell'uranio. Meitner convinse Hahn e il chimico Fritz Strassmann ad esplorare le possibilità di spiegazione di questo fenomeno, al quale pure lavoravano Fermi col gruppo romano e i coniugi Joliot-Curie a Parigi.**

**Con la conquista dell'Austria da parte di Hitler, Lise divenuta cittadina tedesca deve emigrare, e passando per Olanda e Danimarca (presso L'Istituto di Fisica *Carlsberg* di Copenhagen ospitata da Niels Bohr) attraversa l'Oresund e si reca in Svezia dove viene assunta presso l'Istituto Nobel di Stoccolma, ove rimase fino al 1946**



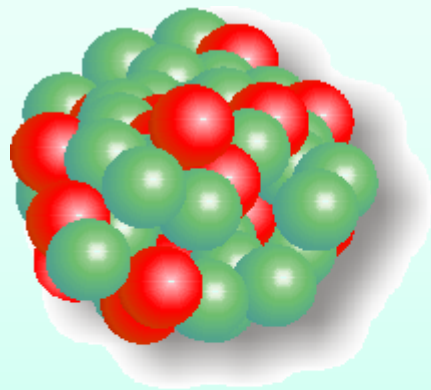
**Così il suo lavoro consiste nel continuare la collaborazione con Hahn e Strassmann per corrispondenza**

**Nel novembre 1938 Hahn la incontra in segreto a Copenhagen e, grazie ai suoi suggerimenti, al ritorno insieme a Strassmann iniziò alcuni test su di un prodotto del bombardamento dell'uranio che credevano essere radio**

**Successivamente 19 Dicembre 1938 riceve una lettera da Otto Hahn che le riferisce di aver scoperto che il prodotto della reazione, contrariamente a quanto ci si attendeva è bario. Pubblicherà il risultato nel Gennaio 1939 sulla rivista scientifica *Naturwissenschaften***

**Manca però un quadro dettagliato delle cause fisiche**

# La risposta di Lise Meitner



uranio  
235

NUMERO DI MASSA  
(peso atomico)

143

neutrones

92

protones

NUMERO ATOMICO

IL FENOMENO  
INTERESSA UN ISOTOPO  
INSTABILE  
DELL'URANIO:

235 U

92

U

**ISOTOPO** = ATOMO CON LO STESSO NUMERO ATOMICO  
(stesse proprietà chimiche) E DIVERSO  
NUMERO DI MASSA

**POICHÈ IL NEUTRONE NON HA CARICA MA HA PROPRIETÀ MAGNETICHE, NEL NUCLEO:**

**□ OGNI NEUTRONE SI ACCOPPIA A UN PROTONE**

**□ MODERA LA REPULSIONE ELETTROSTATICA TRA I PROTONI**

**□ STABILIZZA IL NUCLEO**



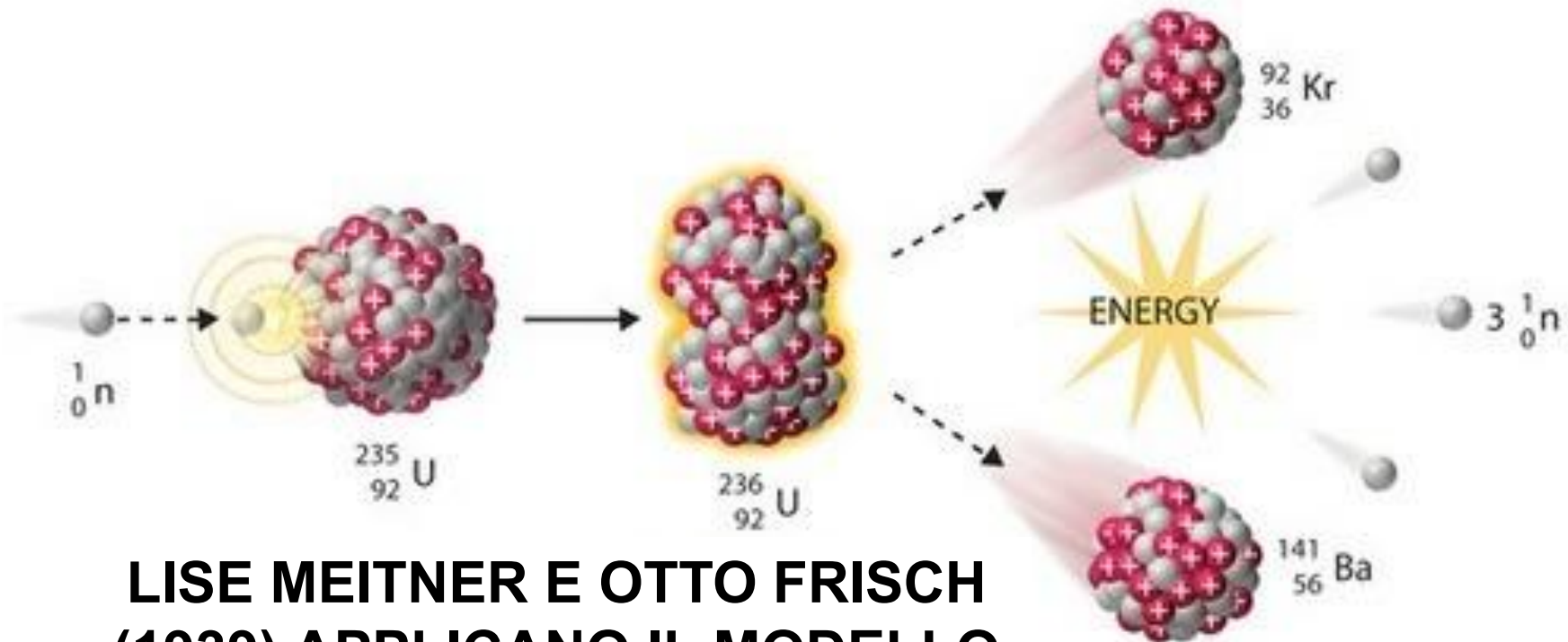
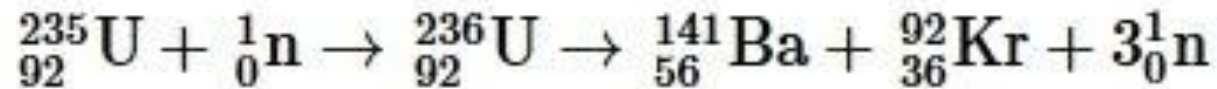
**PER QUESTO L'URANIO CHE SI TROVA PIÙ ABBONDANTE IN NATURA, CHE È OVVIAMENTE QUELLO PIÙ STABILE, È:**



**IN NATURA  $^{235}\text{U}$  è lo 0,6/0,7 del totale**

# CHE COSA È SUCCESSO QUINDI?

IL BARIO DERIVA DALLA *FISSIONE* (*SCISSIONE*)  
DELL'URANIO-235



LISE MEITNER E OTTO FRISCH  
(1939) APPLICANO IL MODELLO  
A GOCCIA DEL NUCLEO

**Durante la seconda guerra mondiale Lise Meitner viene segnalata da Niels Bohrs come una possibile consulente per il progetto Manhattan, ma rifiuta**

**Nel 1944 ad Hahn e Strassmann viene attribuito il Premio Nobel per la Chimica, per la scoperta della fissione nucleare, dimenticando il lavoro fondamentale di Meitner e Frisch**



**Conferimento nel 1966 a Hahn, Meitner e Strassmann del  
*Premio Fermi* (Commissione per l'Energia Atomica – USA)**



**Lise riceverà molti riconoscimenti, fra i quali:**

- **membro straniero della *Royal Society* dal 1946**
- **membro delle *Accademie delle Scienze* svedese, di Vienna, di Berlino ed altre**
- ***medaglia Leibniz* dell'Accademia di Berlino nel 1924**
- ***medaglia Planck* dalla Società Tedesca di Fisica nel 1949**

**Dopo la guerra trascorre un breve periodo in America, alla Università Cattolica di Washington, e viene proclamata dalla Associazione della Stampa "*Donna dell'anno*" nel 1946**

**Dopo la seconda guerra mondiale Lise Meitner si divide tra ricerca e impegno per l'uso pacifico dell'energia atomica**

**Tornata in Svezia e presa nel frattempo la cittadinanza svedese, viene nominata Professore all'Istituto Reale di Tecnologia, e svolge l'incarico fino al 1960**

# Muore a Cambridge il 27 Ottobre 1968



***‘Lise Meitner: a physicist who never lost her humanity.’***

# La lettera di A. Einstein e L. Szilard a F. D. Roosevelt

Albert Einstein  
Old Grove Rd.  
Massau Point  
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,  
President of the United States,  
White House  
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

-2-

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,

*A. Einstein*

(Albert Einstein)

# **I problemi della costruzione di un'arma nucleare**

# Massa critica

$$M_c = \frac{4}{3} \pi R^3 \frac{N_A}{N_A}$$

# La riorganizzazione del “progetto Uranio”

# La riorganizzazione del “progetto Uranio”

Il 2 Dicembre 1942: Enrico Fermi  
e la “atomic pile”



# Il progetto “Manhattan”

Direttore: gen. Leslie Groves

Direttore scientifico: Julius Robert  
Oppenheimer



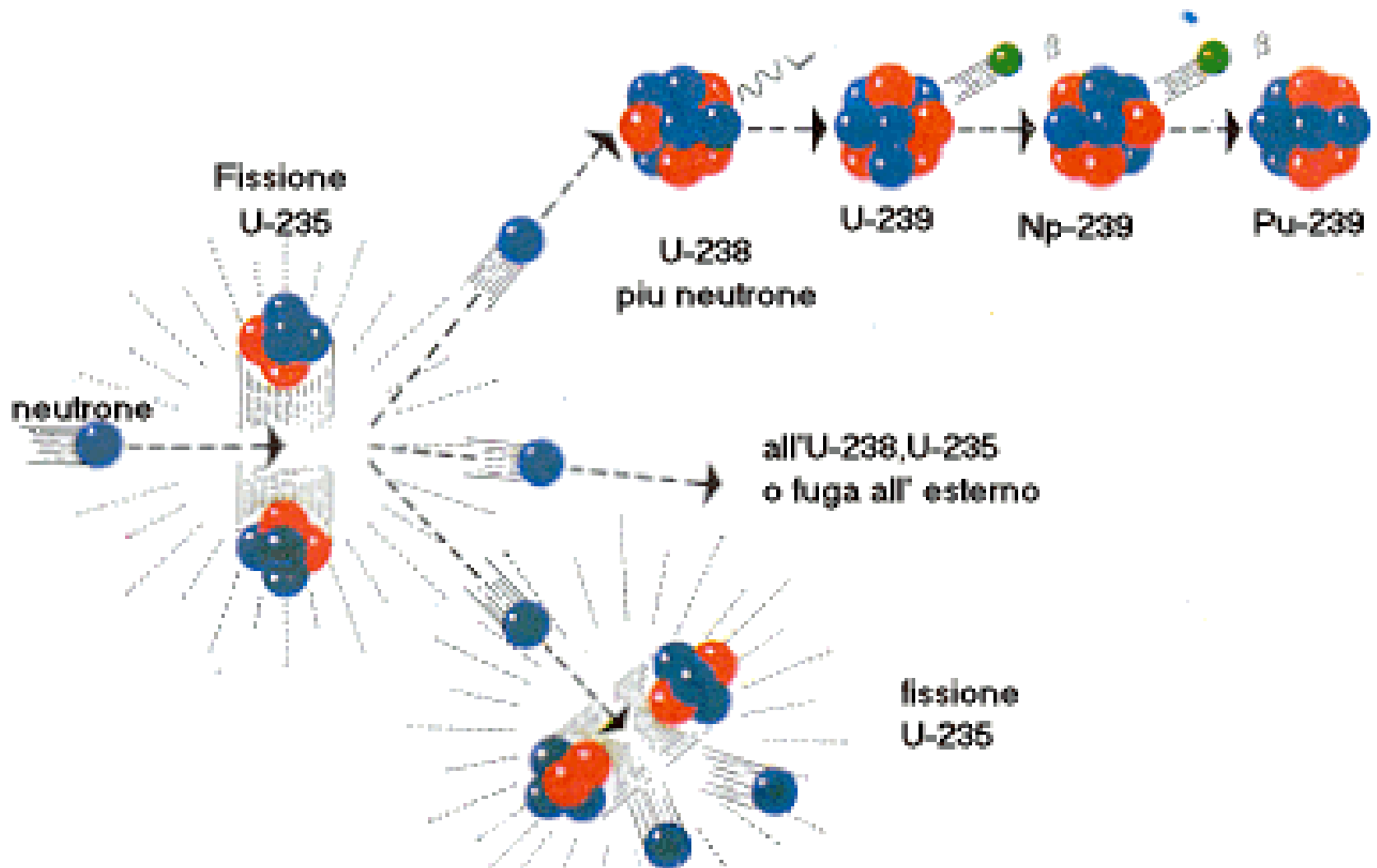
Attività collegate:

arricchimento Uranio (Oak Ridge, Tennessee)

produzione Plutonio (Hanford, Washington)

Sede unica per i laboratori di ricerca.

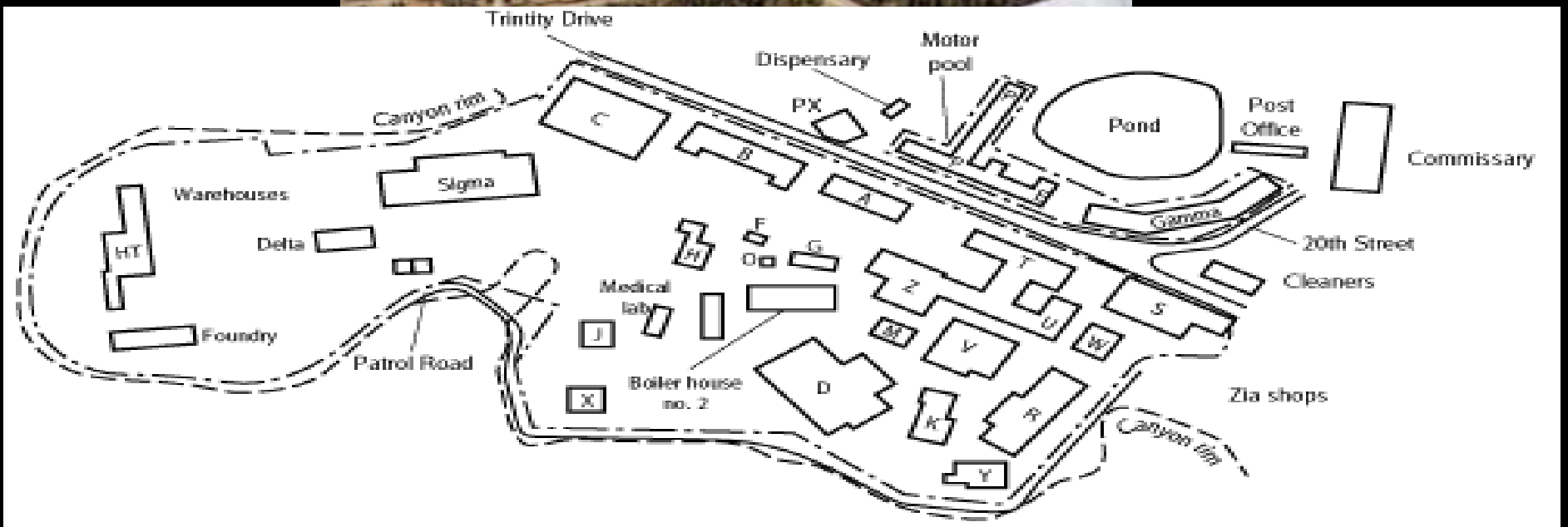
Un reattore nucleare produce un altro materiale fissile: il Plutonio 239 (massa critica 10 Kg)



# Los Alamos

La località per l'istallazione dei laboratori fu scelta nel Novembre 1942 ("Los Alamos School Ranch" a Jemez Springs)

Il centro fu attivo Nell'Aprile del 1943



Il personale tecnico arrivò fino a più di 500  
unità

Organizzazione in settori (divisioni)



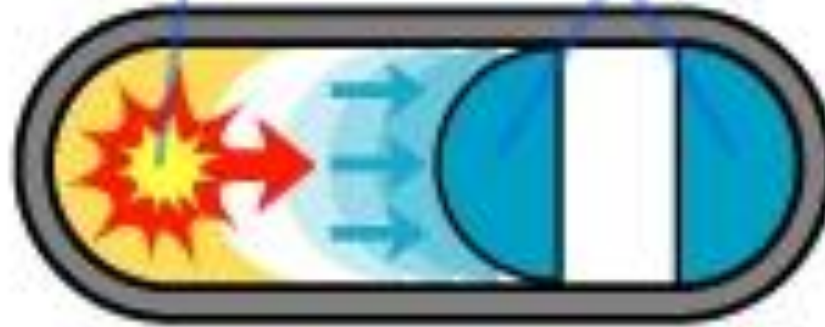
# Il difficile problema dell'innescò: il raggiungimento della massa critica

Uranio: innescò a “canna di fucile”

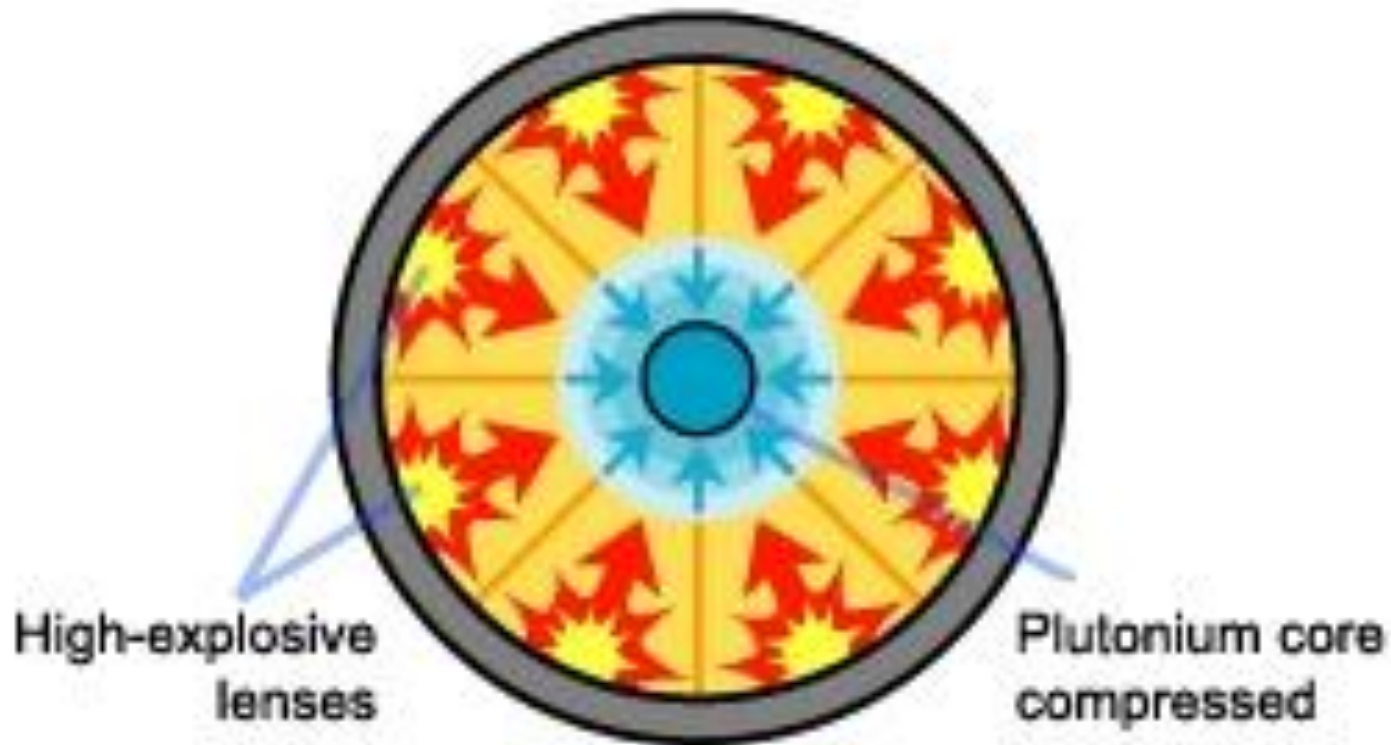
Plutonio: innescò a “implosione”

Conventional  
chemical explosive

Sub-critical pieces of  
uranium-235 combined



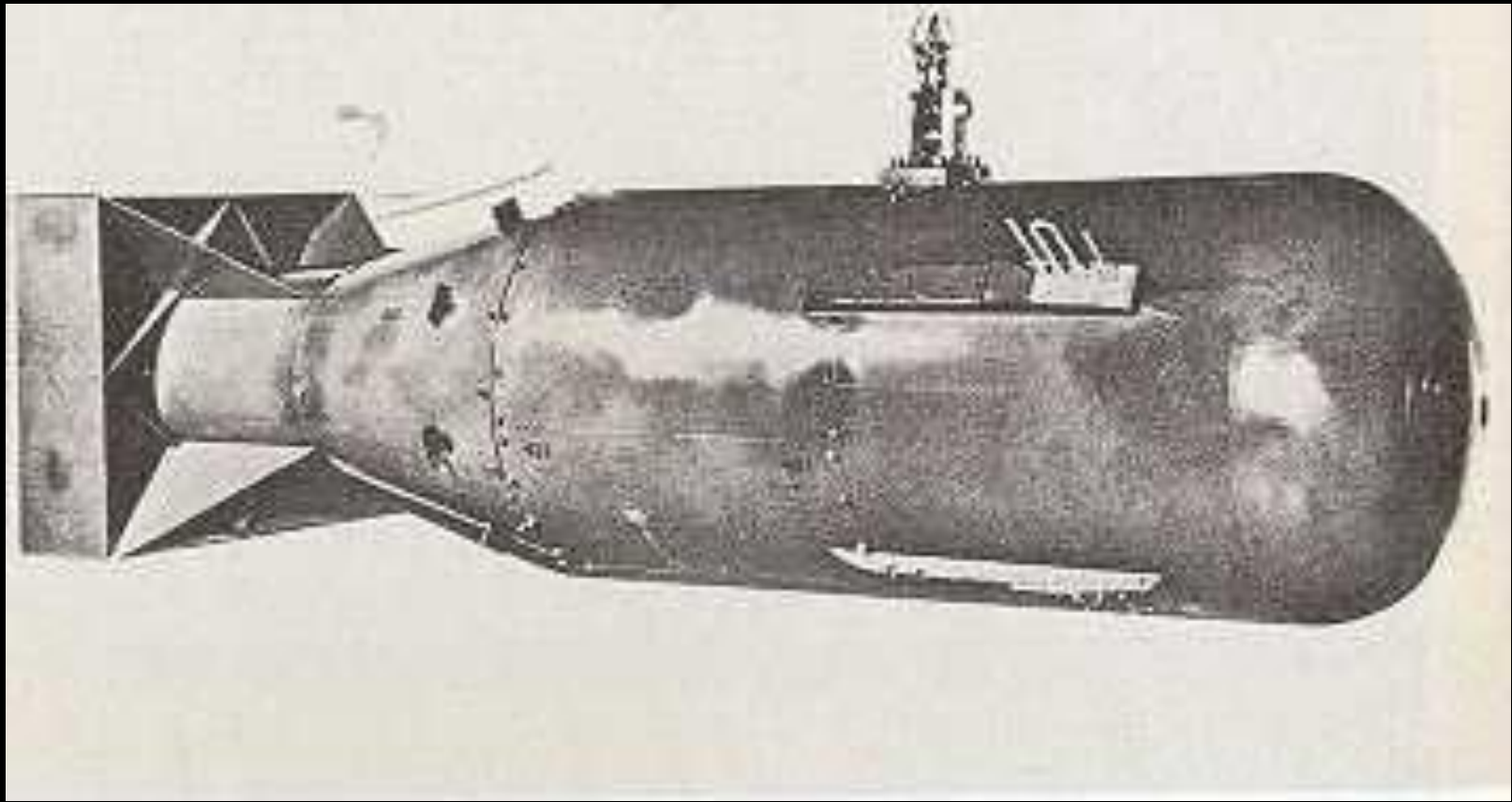
**Gun-type assembly method**



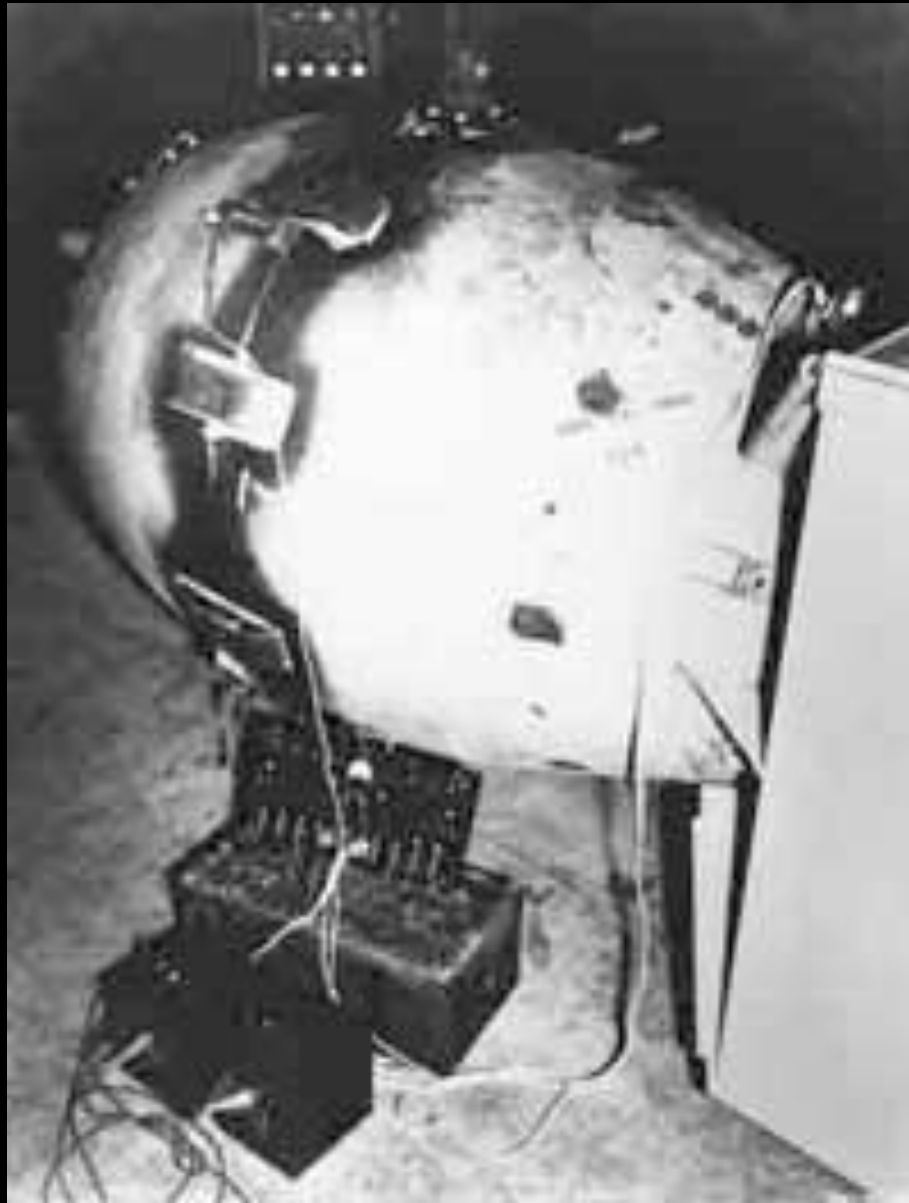
High-explosive  
lenses

Plutonium core  
compressed

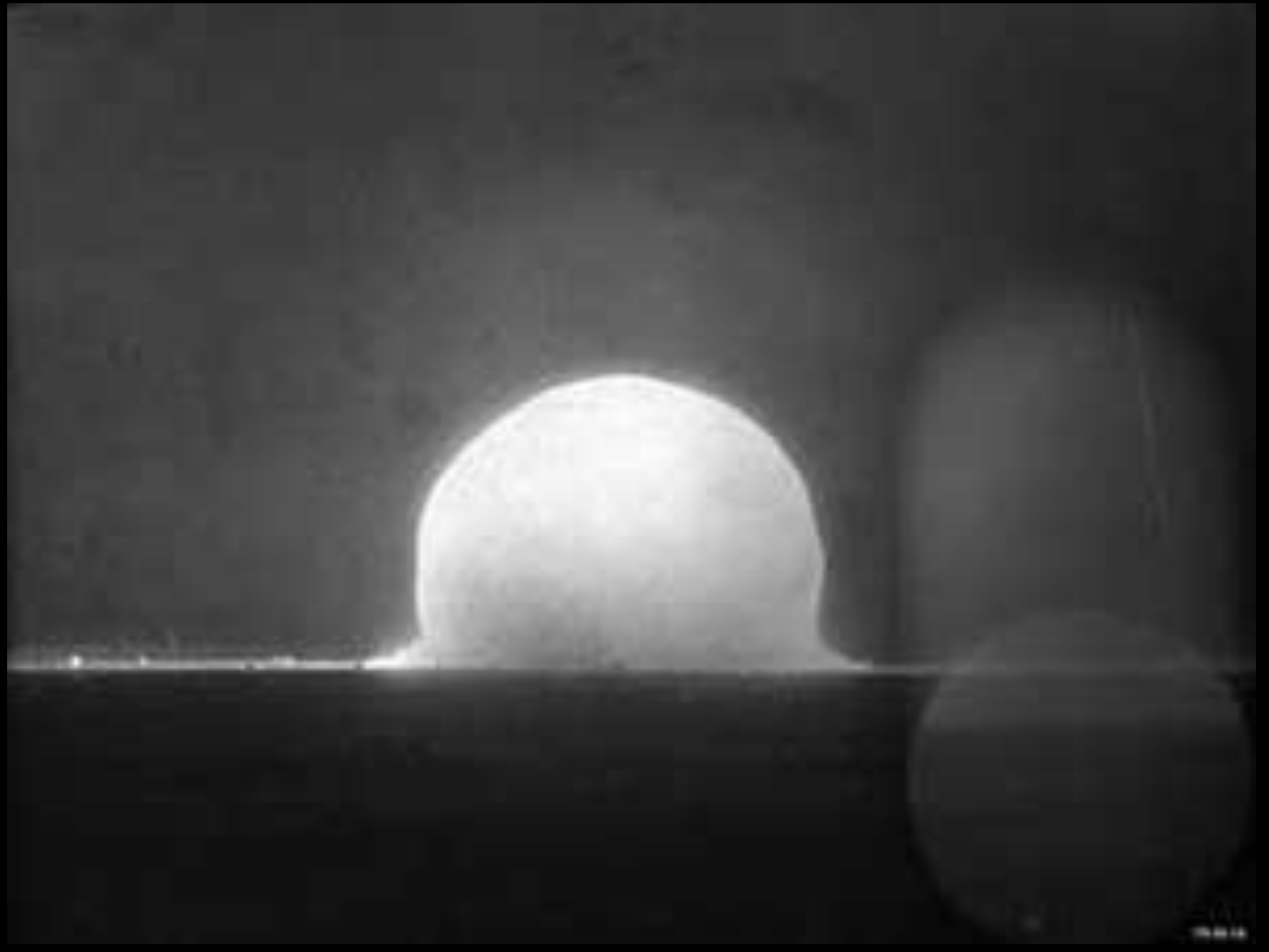
**Implosion assembly method**



“Little Boy”: bomba atomica all'Uranio 235



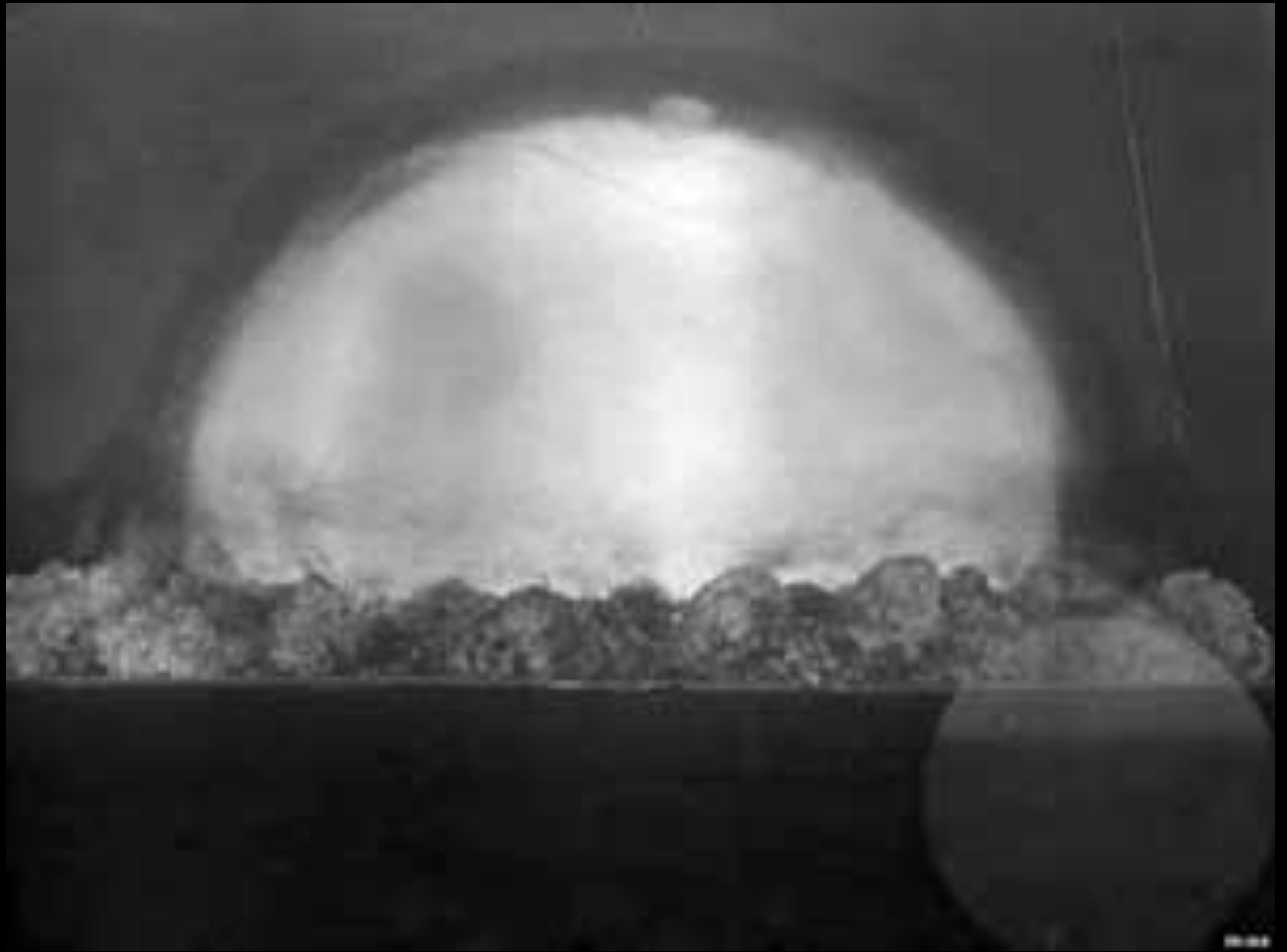
“Fat Man”: bomba al Plutonio 239





100 METERS

THE FIRST ATOMIC BOMB ( $1/4$  SECOND AFTER EXPLOSION) 5:30 A.M. JULY 16, 1945  
LOS ALAMOS PROJECT, "TRINITY" SITE, JORNADA DEL MUERTE, ALAMOGORDO AIR BASE, NEW MEXICO





3.0 SEC.  
N

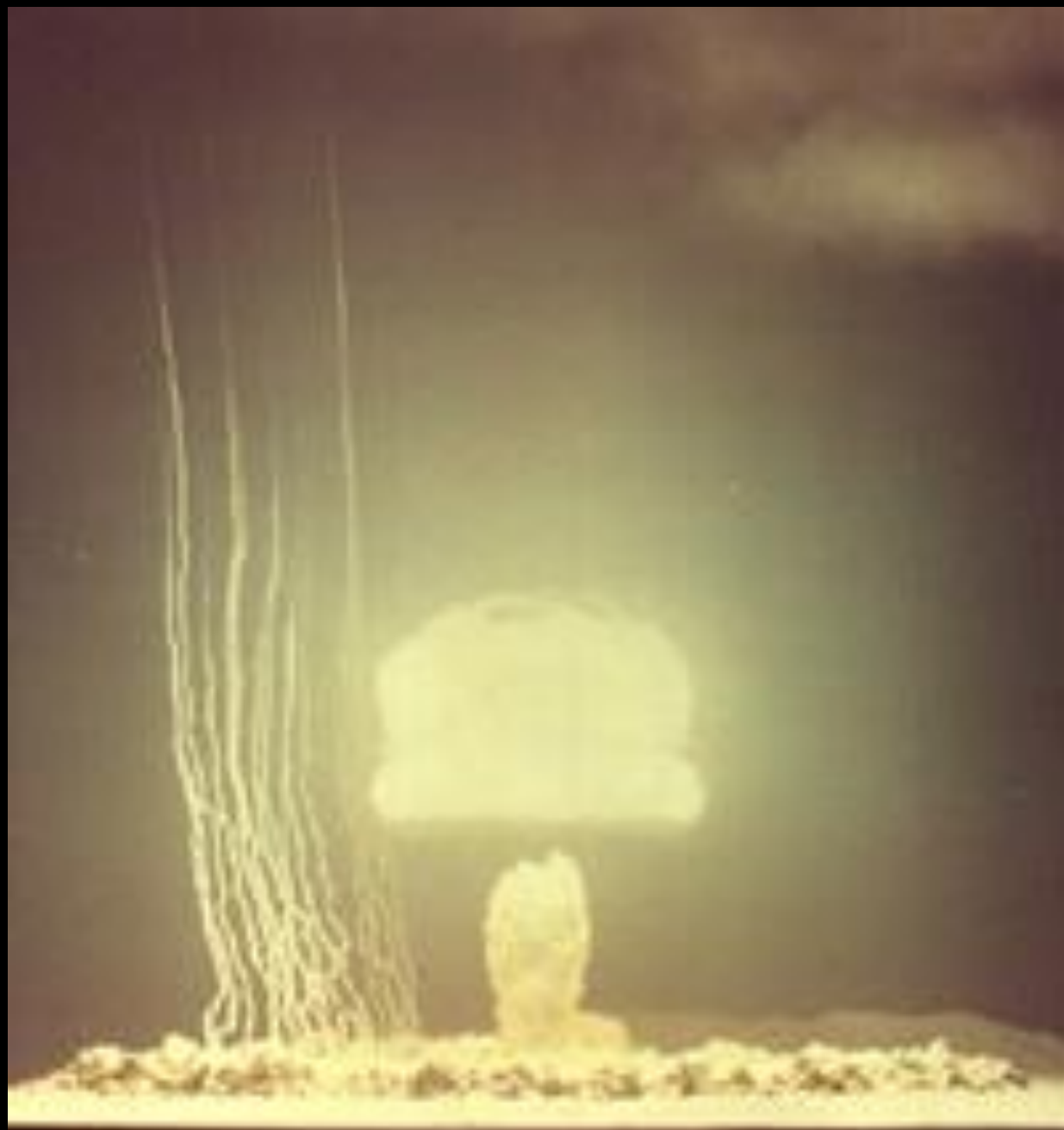
— 100 METERS

100



9.0 SEC.  
N

→ 100 METERS



***“Batti contro il mio cuore, o  
trinità divina” (J. Donne)***













# Dati

	<b>Hiroshima</b>	<b>Nagasaki</b>
<b>Tipo</b>	<b>Uranio 235</b>	<b>Plutonio 239</b>
<b>Potenza</b>	<b>15 Kilotoni</b>	<b>21 Kilotoni</b>
<b>Altezza sul suolo</b>	<b>580 m</b>	<b>450 m</b>
<b>Ora dell'esplosione</b>	<b>08:15</b>	<b>11:02</b>
<b>Temperatura</b>	$\sim 10^{5 \div 6}$	$\sim 10^{5 \div 6}$

$$1 \text{ KTon} = 4,184 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

# Ce n'era davvero bisogno?



**Heigerloch: reattore nucleare tedesco smantellato dagli americani (fonte Geopop)**

# La bufala della “fisica ariana”



**Philip Lenard**



**Maximilian Stark**

# Caratteristiche della Fisica Ariana

- Monopolio etnico dello “Spirito di Ricerca”, condivisione esclusiva del sapere
- Teoria dell’etere come Anima dell’Universo, che si svela all’osservatore attraverso una forma di illuminazione
- Rifiuto della “macchinazione teorica” che con il suo determinismo meccanico rende marginale il contributo dello sperimentatore privandolo della libertà dell’intuizione, atteggiamento tipico del giudaismo

- Rifiuto dell'internazionalismo nella Scienza oltre che nel mondo
- Esaltazione della superiorità della Fisica sperimentale, come unico modo possibile per acquisire la conoscenza del mondo naturale.
- L'antisemitismo è il dogma di riferimento.

“Le nostre politiche nazionali non saranno revocate o modificate, nemmeno per gli scienziati. Se il licenziamento degli ebrei significa l’annichilazione dell’attuale Scienza tedesca, faremo senza scienza per alcuni anni.”  
A. Hitler

Nella lettera al ministro della guerra del 17 agosto 1945, Robert in qualità di presidente della sottocommissione di consulenza per l'Interim Committee on Atomic Energy, sintetizzò il futuro in 4 punti.

Il secondo afferma: **“Non siamo stati in grado di individuare o proporre efficaci contromisure militari per le armi atomiche... è nostra ferma convinzione che non saranno trovate contromisure militari realmente in grado di prevenire il lancio di armi atomiche”**.

Al punto 4 si legge che **“(la sicurezza della nazione) non può poggiare interamente né principalmente sulla sua superiorità scientifica o tecnica. Può essere basata soltanto sulla possibilità di rendere le guerre impossibili per il futuro. La nostra unanime e pressante raccomandazione a lei è che... si facciano tutti i passi e si prendano tutti gli accordi internazionali con questo unico fine”**.

# Questioni di coscienza

L'orgoglio del colonnello Tibbets e il caso del  
maggiore Claude Eatherley