

La storia della scoperta del **Radio** è la storia della scoperta della radioattività.

Becquerel scoprì la radioattività, ma i veri sacerdoti di questa disciplina furono i coniugi Curie.

La radioattività è una caratteristica di alcune sostanze a prescindere dal loro stato fisico o chimico.

Nel 1898 i Curie definirono “radioattività” il potere che aveva l’U di emettere i “Raggi di Becquerel”.



La storia della scoperta del **Radio** è la storia della scoperta della radioattività.

I minerali contenuti U erano molto “attivi”.

I composti artificiali degli stessi minerali non erano così “attivi”.

I Curie cominciarono quindi la separazione dei minerali di U, tramite la tecnica della **cristallizzazione frazionata**

Pierre era uno studioso di minerali.



La storia della scoperta del **Radio** è la storia della scoperta della radioattività.

Partirono da Pechblenda (Uraninite; UO_2).

Attaccarono con vari reagenti i campioni, analizzando la radioattività del soluto e dell'insoluto.

Le radiazioni erano concentrate nella porzione insolubile alla quale era stata aggiunta il Bismuto.

Un elemento con caratteristiche chimiche simili al Bi emetteva un'elevata dose di radiazioni.

Nel 1898 scoprirono il **Polonio**.

50 Sn Stagno 118,710	51 Sb Antimoni 121,760	52 Te Tellurio 127,60	53 I Iodio 126,90...
82 Pb Piombo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98...	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)
114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorio (293)	117 Ts Tennessine (294)

La storia della scoperta del **Radio** è la storia della scoperta della radioattività.

Partirono da Pechblenda (Uraninite; UO_2).

Attaccarono con vari reagenti i campioni, analizzando la radioattività del soluto e dell'insoluto.

Nello stesso anno trovarono elevate radiazioni anche nella porzione insolubile alla quale era stata aggiunto il Bario.

Avevano separato un elemento con caratteristiche chimiche simili al Ba.

Nel 1898 scoprirono il **Radio**.

37 Rb Rubidio 85,4678	38 Sr Stronzio 87,62	39 Y Ittrio 88,905...
55 Cs Cesio 132,90...	56 Ba Bario 137,327	57-71
87 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89-103

PHYSICO-CHIMIE. — *Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende* (1). Note de M. P. CURIE et de M^{me} S. CURIE. Présentée par M. Becquerel.

(1) Ce travail a été fait à l'École municipale de Physique et Chimie industrielles. Nous remercions tout particulièrement M. Bémont, chef des travaux de Chimie, pour les conseils et l'aide qu'il a bien voulu nous donner.

C. R., 1898, 2^e Semestre. (T. CXXVII, N^o 3.)

24

« Certains minéraux contenant de l'uranium et du thorium (pechblende, chalcopite, uranite) sont très actifs au point de vue de l'émission des rayons de Becquerel. Dans un travail antérieur, l'un de nous a montré que leur activité est même plus grande que celle de l'uranium et du thorium, et a émis l'opinion que cet effet était dû à quelque autre substance très active renfermée en petite quantité dans ces minéraux (1).

» En effectuant ces diverses opérations, on obtient des produits de plus en plus actifs. Finalement nous avons obtenu une substance dont l'activité est environ 400 fois plus grande que celle de l'uranium.

» Nous croyons donc que la substance que nous avons retirée de la pechblende contient un métal non encore signalé, voisin du bismuth par ses propriétés analytiques. Si l'existence de ce nouveau métal se confirme, nous proposons de l'appeler polonium, du nom du pays d'origine de l'un de nous.

La storia della scoperta del **Radio** è la storia della scoperta della radioattività.

I due nuovi elementi emettevano radiazioni in elevate quantità.

Il **Ra** però manteneva infinitamente le sue caratteristiche, mentre gli effetti del **Po** svanivano dopo pochi mesi.

$$T_{1/2} \text{ } ^{226}\text{Ra} = 1590 \text{ anni}$$

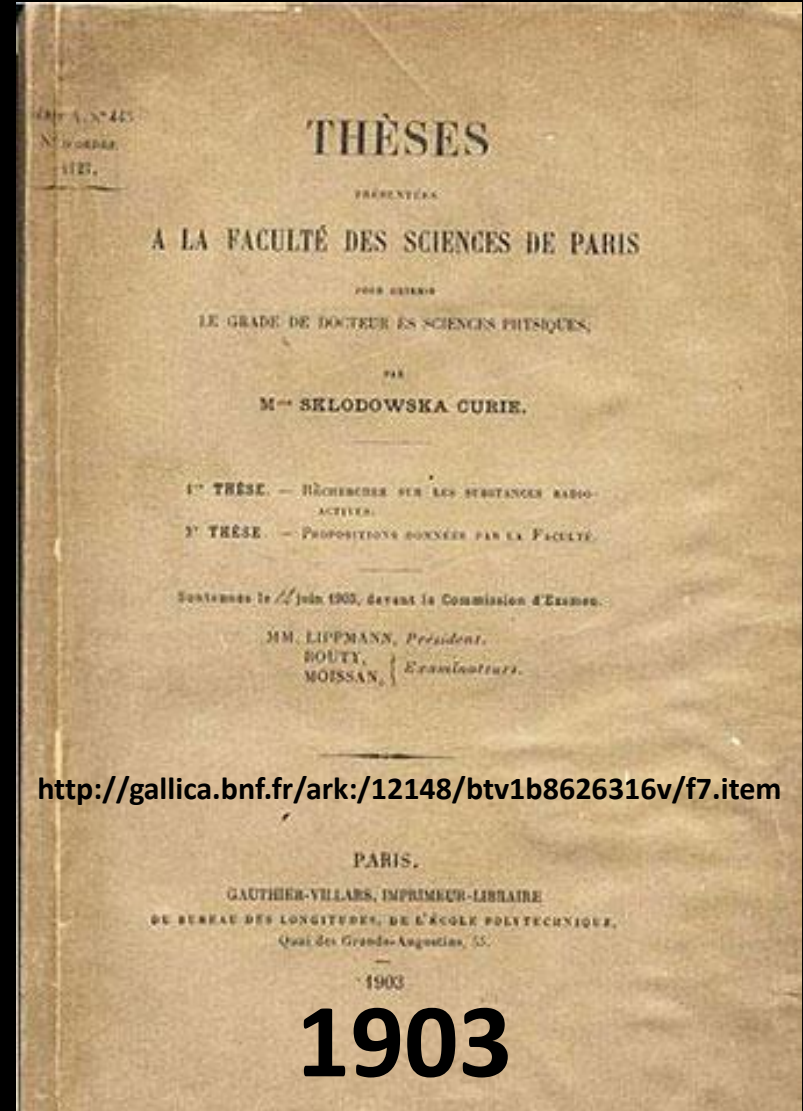
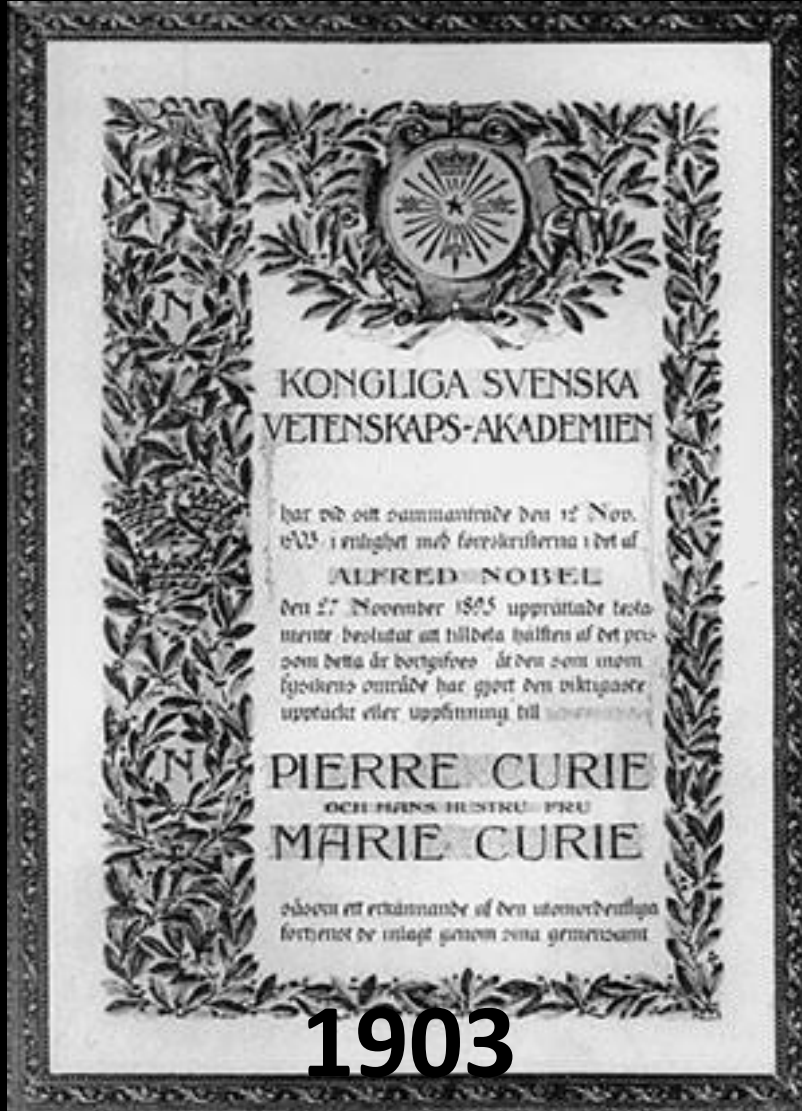
$$T_{1/2} \text{ } ^{210}\text{Po} = 136 \text{ giorni}$$

Per questo motivo il Ra divenne la sorgente radioattiva più utilizzata nei laboratori di tutta Europa.

Impiegarono 4 anni per produrre 0,1 g di Ra partendo da centinaia di kg di uraninite nel 1902



La storia della scoperta del **Radio** è la storia della scoperta della radioattività.



I coniugi Curie non brevettarono mai la loro scoperta.



Our society, in which reigns a eager desire for riches and luxury, does not understand the value of science.

Marie Curie, 1923

Marie Curie divenne subito il punto di riferimento mondiale per il Radio e la Radioattività.

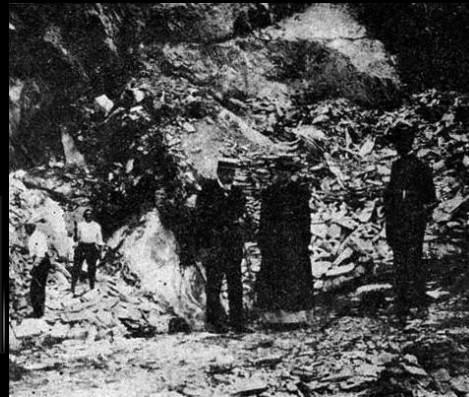
Nel 1918 invitò Marie Curie a visitare le sorgenti termali radioattive italiane (Ischia, Fiuggi, Larderello, Lurisia).
Nel 1923 riuscì a fondare l'Ufficio per il Radio a Roma.
Questo Ufficio fornì al gruppo di E. Fermi il materiale per i loro esperimenti.



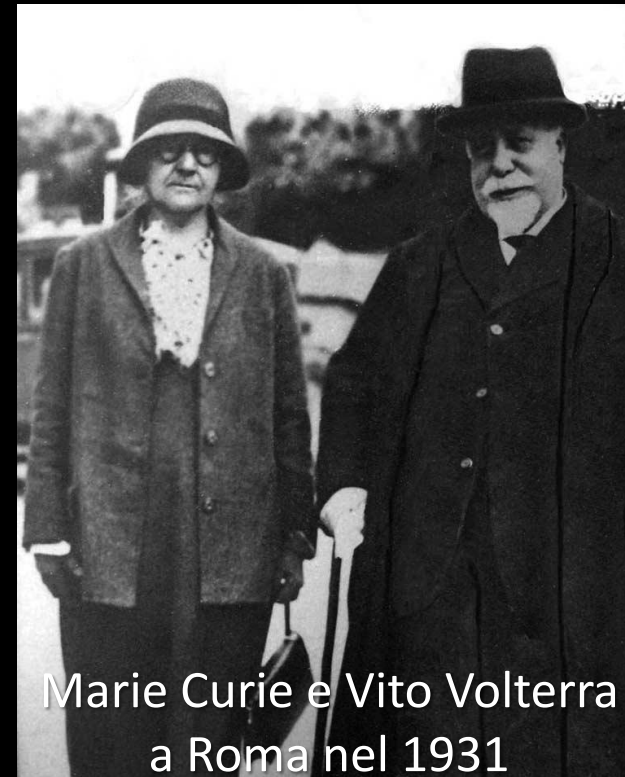
Vito Volterra (1860-1940)
Matematico

Presidente Accademia dei Lincei.
Primo presidente del CNR.

Fu uno dei 18 (su circa 1500) docenti universitari nel 1931 a rifiutarsi di giurare fedeltà al Fascismo.
Costretto a lasciare la Cattedra e l'Accademia dei Lincei.



Alle fonti di Lurisia



Marie Curie e Vito Volterra
a Roma nel 1931

Radio (Ra) e Radon (Rn) sono strettamente imparentati.

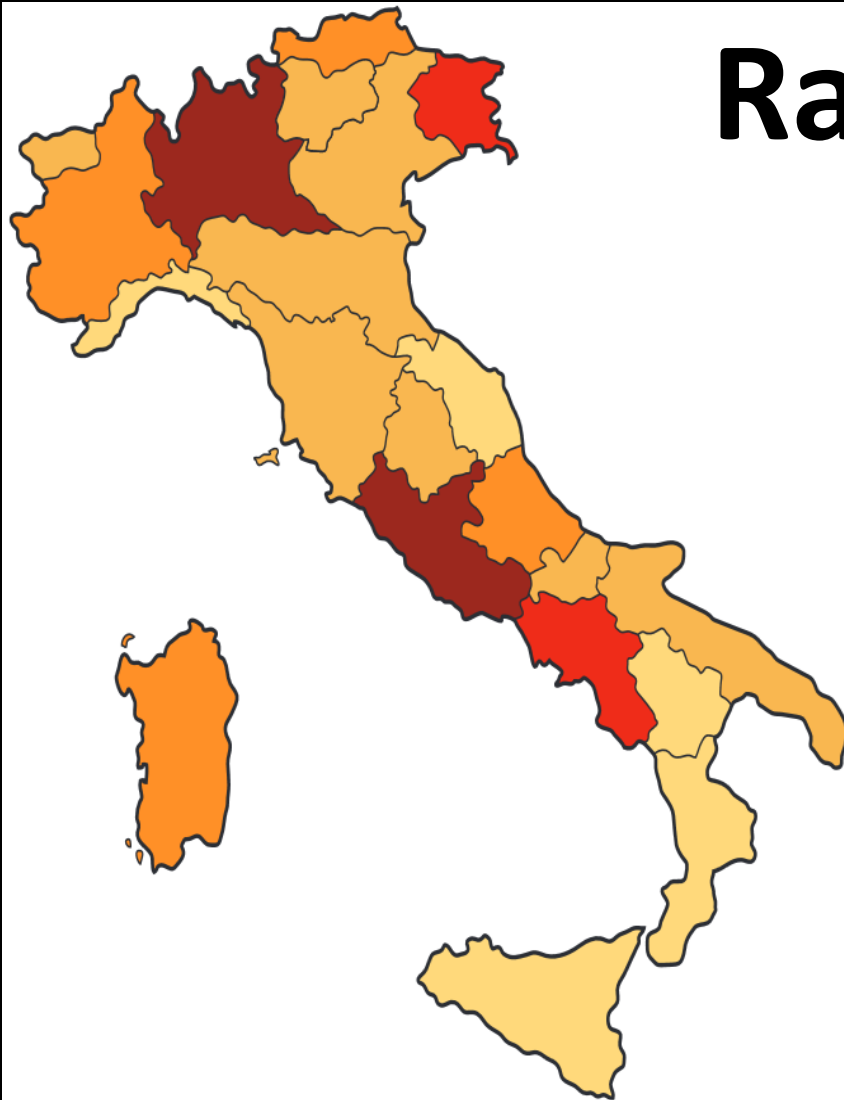
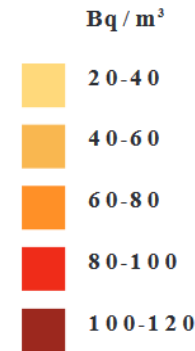
Concentrazioni di Rn in Italia:
~30-450 Bq/m³

Media Italia:
70 Bq/m³.

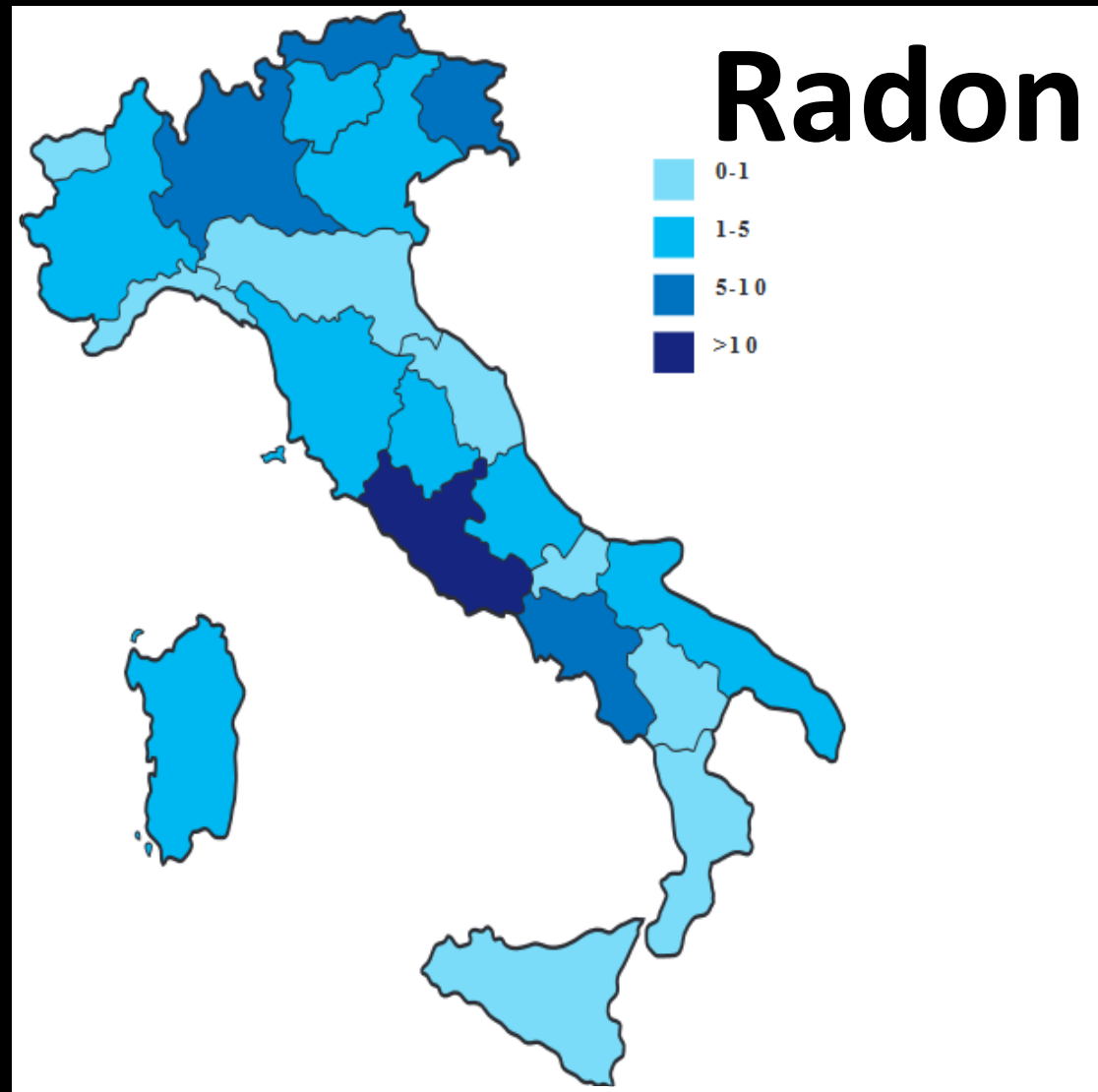
Media Mondo:
40 Bq/m³.

Limiti massimi:
200 Bq/m³ per nuove abitazioni;
400 Bq/m³ per abitazioni esistenti.

Radon



Radio (Ra) e Radon (Rn) sono strettamente imparentati.



Percentuali di abitazioni con concentrazione di $Rn > 200 \text{ Bq/m}^3$

Limiti massimi:
 200 Bq/m^3 per nuove abitazioni;
 400 Bq/m^3 per abitazioni esistenti.

Radon



Bagni termali ricchi in Rn in prossimità di una miniera di U (dai cui materiali i coniugi Curie separarono il Ra e il Po).

Nella città di Yachimov (vecchio nome Sankt Joachimsthal) nella Repubblica Ceca si arriva a concentrazioni di $1.000.000 \text{ Bq/m}^3$.

In alcune miniere di carbone in Cina si arriva a concentrazioni di Rn di 70.000 Bq/kg ($130.000.000 \text{ Bq/m}^3$).

L'Uranio fu scoperto nel 1789 a Sankt Joachimsthal
(Valle di San Gioacchino).

Nel 1519 furono scoperte
mineralizzazioni di Ag.

Moneta coniata in argento:

Joachimsthaler ...**Thaller** ...**Dollar**



Il posto fu quasi abbandonato dopo l'esaurimento
dell'Ag e alla strana morte di molti operai.

Associato all'Ag si rinveniva una pietra nera.

Pechblende

Pech

Blende

(Pece o "che porta sfortuna")

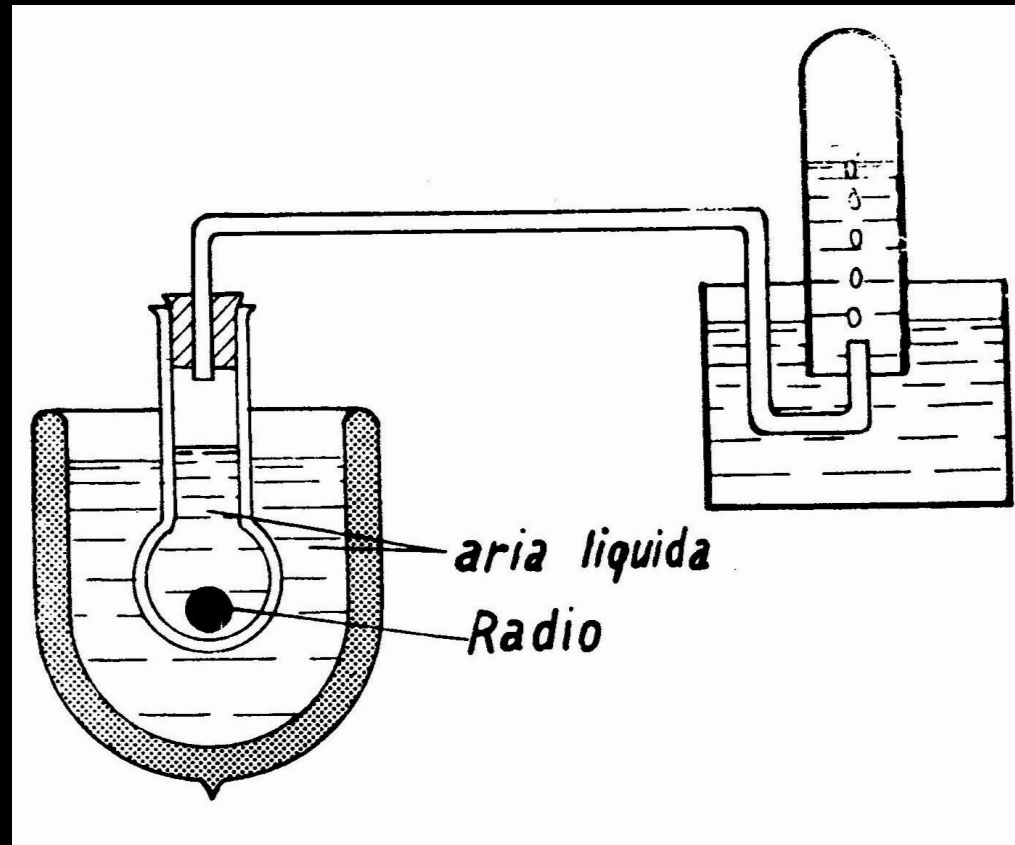
(Minerale)

Il Ra è sempre presente nei minerali di U.

(0,34 g di Ra ogni tonnellata di U)

Come conseguenza della sua radioattività il Ra si trova costantemente a una temperatura di alcuni °C superiore a quella dell'aria circostante.

Il calore rilasciato dal Ra riscalda l'aria liquida che cambia stato e gasifica. La quantità di aria raccolta nella campana permette di valutare questo calore.



Il Ra è sempre presente nei minerali di U.

(0,34 g di Ra ogni tonnellata di U)

Come conseguenza della sua radioattività il Ra si trova costantemente a una temperatura di alcuni °C superiore a quella dell'aria circostante.

Il calore rilasciato dal Ra riscalda l'aria liquida che cambia stato e gasifica. La quantità di aria raccolta nella campana permette di valutare questo calore.

**1 g di Ra può
aumentare di 1 °C la
temperatura di 1 litro
d'acqua in ~7 ore**

**1 g Ra =
135 cal/ora**

Il Ra è sempre presente nei minerali di U.

(0,34 g di Ra ogni tonnellata di U)

Come conseguenza della sua radioattività il Ra si trova costantemente a una temperatura di alcuni °C superiore a quella dell'aria circostante.

Il calore rilasciato dal Ra riscalda l'aria liquida che cambia stato e gasifica. La quantità di aria raccolta nella campana permette di valutare questo calore.

1 g di Ra può portare all'ebollizione un quantitativo di ghiaccio della sua stessa massa in un'ora.
Apparentemente senza esaurimento...

1 g di Ra emette 37.000.000.000 particelle α /sec e genera **$\sim 0,5$ kJ/ora** (0,16 W).

*La combustione di **1 g di carbone** genera **~ 35 kJ***

*La combustione di **1 g di benzina** genera **~ 50 kJ***

Quindi viene generata più energia bruciando combustibili fossili che con la radioattività?

...Rispetto ai carburanti normali il Ra produce energia in modo praticamente inalterato per oltre 2mila anni, non per pochi secondi...

In altri termini l'energia del Ra è milioni di volte superiore a quella generata durante una combustione chimica...

1 g di Ra emette 37.000.000.000 particelle α /sec e genera **$\sim 0,5$ kJ/ora** (0,16 W).

*La combustione di **1 g di carbone** genera **~ 35 kJ***

*La combustione di **1 g di benzina** genera **~ 50 kJ***

Quindi viene generata più energia bruciando combustibili fossili che con la radioattività?

$T_{1/2}$ Ra = ~ 1600 anni.

Assumendo generazione di energia per

4000 anni, 1 g di Ra genera:

kJ/ora 1 giorno 1 anno Vita del Ra

$$0,5 * 24 * 365 * 4000 = \sim 1,7 * 10^{10} \text{ J}$$

1 g di Ra emette 37.000.000.000 particelle α /sec e genera **$\sim 0,5$ kJ/ora** (0,16 W).

La combustione di **1 g di carbone** genera **~ 35 kJ**

La combustione di **1 g di benzina** genera **~ 50 kJ**

Quindi viene generata più energia bruciando combustibili fossili che con la radioattività?

Radium Is Restoring HEALTH to Thousands




No medicine or drugs. Just a light, small, comfortable inexpensive Radio-Active Pad, worn on the back by day and over the stomach at night. Sold on trial. You can be sure it is helping you before you buy it. Over 150,000 sold on this plan. Thousands have written us that it healed them of Neuritis, Rheumatism, High Blood Pressure, Constipation, Nervous Prostration, Asthma and other respiratory disorders, Heart, Liver, Kidney and Bladder trouble, etc. No matter what you have tried, or what your trouble may be, try Degnen's Radio-Active Solar Pad at our risk. Write today for Trial offer and descriptive literature.

RADIUM APPLIANCE CO.
(Established 1916)
2103 Bradbury Building Los Angeles, Calif.

Radium Radia

The greatest remedy known for the cure of
RHEUMATISM,
Lumbago, Neuritis, Sore Throat, Asthma,
COUGHS AND COLDS,
No person need fear that dreaded
PNEUMONIA
If they use Radium Radia at the early stages of colds,
No home should be without this wonderful remedy.
APPLIED EXTERNALLY.
Sold at the Best Drug Stores. Ask for Booklet.
Price 50c, and 90c.

VITA RADIUM SUPPOSITORIES
FOR RESTORING SEX POWER



VITA RADIUM SUPPOSITORIES, for rectal use by men, are tone restorers of sex and energizers for the entire nervous, glandular and circulatory systems. These Suppositories contain a result-producing amount of highly refined soluble RADIUM, carried in a cocoa butter base. The radium is absorbed thru the walls of the lower colon, enters the blood stream and is carried to all parts of the body -- to the weakened organs that need its vitalizing aid. After leaving its durably **HEALTHY RESULTS**, the radium is gradually eliminated in about three days. Vita Radium Suppositories are guaranteed entirely harmless. Recommended for sexually weak men who, however, should use the NU-MAN Tablets in connection for best results. Also splendid for piles and rectal sores. Try them and see what good results you get!

Actual Size of Vita Radium

$$0,5 * 24 * 365 * 4000 = \sim 1,7 * 10^{10} \text{ J}$$

1 g di Radio costava:

2.500 US\$ 1904

Albòri degli studi

120.000 US\$ 1913

Grande moda e studi in tutta Europa

70.000 US\$ 1923

Scoperti giacimenti di U nel Congo Belga

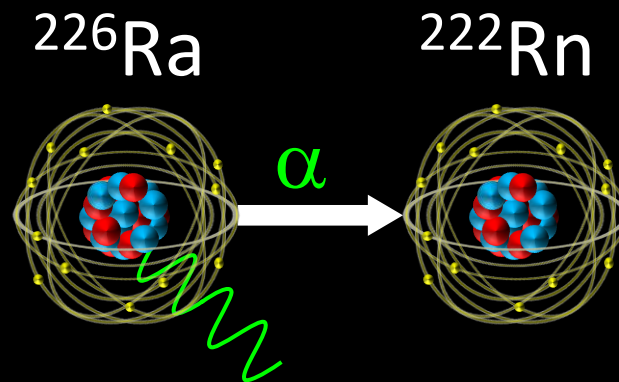
40.000 US\$ 1938

Scoperti giacimenti di U in Canada



1 g di Ra emette 37.000.000.000 particelle α /sec e genera $\sim 0,5$ kJ/ora (0,16 W).

Il calore è causato dall'urto delle particelle α emesse dal Ra con le molecole delle altre sostanze (con conseguente aumento della velocità media).



Nel 1900 Rutherford scoprì che anche il Th emetteva radiazioni come l'U.

Un suo collaboratore (Robert B. Owens) notò che la radioattività del Th era influenzata... dalle correnti d'aria.

Rutherford spiegò questo strano fenomeno con la produzione di un'*emanazione radioattiva*, poi identificata come un isotopo del Radon (^{220}Rn ; conosciuto anche come *Thoron*).

Nel 1900 Rutherford scoprì che anche il Th emetteva radiazioni come l'U.



**RADIUM
EMANATION WATER**
Drives Out Uric Acid

Suffering from too much uric acid and diseases caused by faulty elimination—Rheumatism, Gout, Periodical Headaches, Neuralgia, Constipation, Neurasthenia, Auto-Intoxication and Lack of Bodily Vigor—quickly relieved in a natural way without drugs or chemicals by our new discovery

**THE WAY TO MAKE
RADIUM WATER
IN YOUR OWN HOME**

with our Rayode. A little device containing Radium enough to supply 2,700 Mache Units of Radio-activity, in two quarts of water every twenty-four hours, for less than 10c a day. The Rayode will last a lifetime.

SEND FOR FREE LITERATURE

Tells how you can buy or rent a Rayode to make Radium Water in your own home, with your own ordinary drinking water. Address:

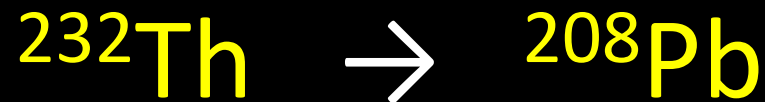
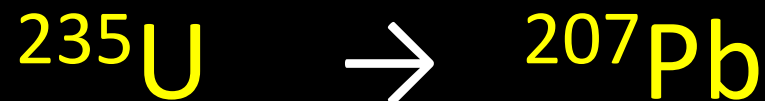
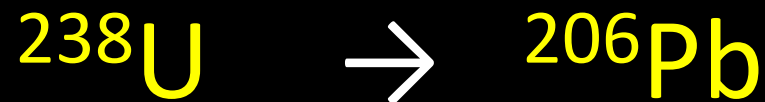
THE COLORADO RADIUM PRODUCTS COMPANY
655 First National Bank Building Denver, Colo.

Rutherford spiegò questo strano fenomeno con la produzione di un' *emanazione radioattiva*, poi identificata come un isotopo del Radon (^{220}Rn ; conosciuto anche come *Thoron*).

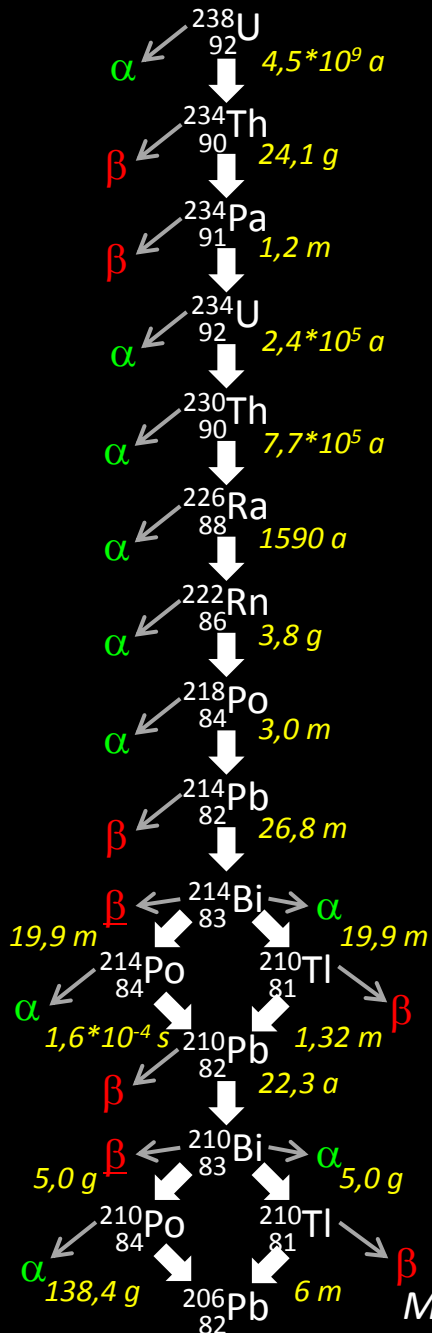
La catena radioattiva dell'isotopo ^{238}U è una delle tre famiglie radioattive meglio conosciute.

Le altre due famiglie radioattive hanno come capostipite l' ^{235}U e il ^{232}Th .

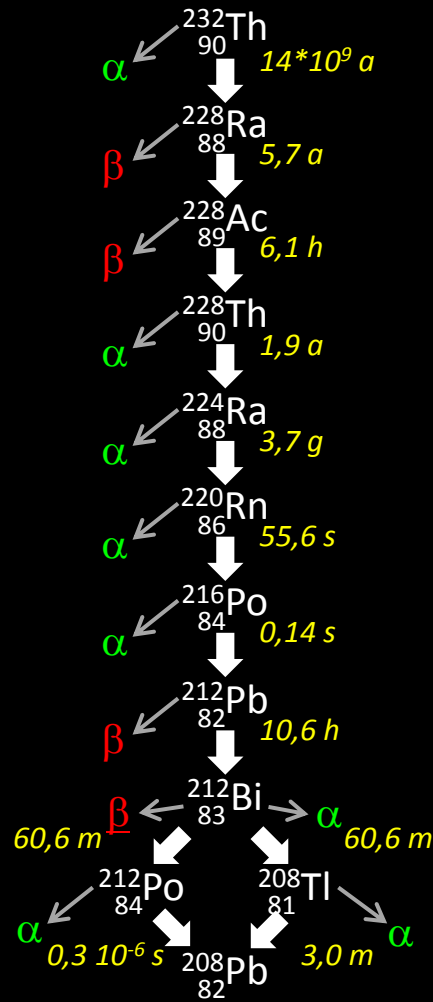
Tutte e tre le catene isotopiche terminano con un isotopo del Pb.



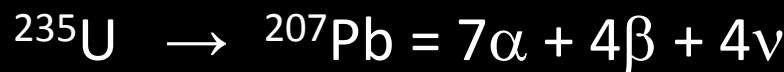
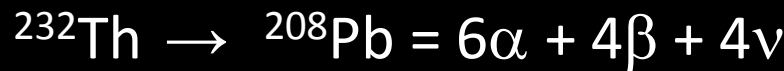
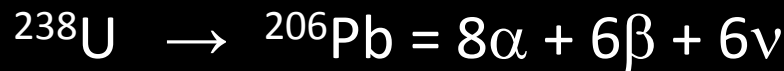
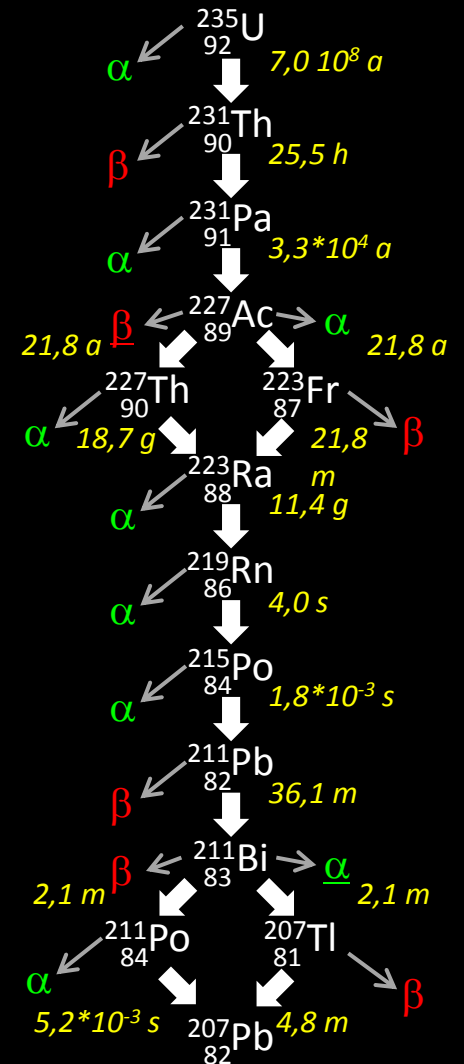
Catena dell' ^{238}U



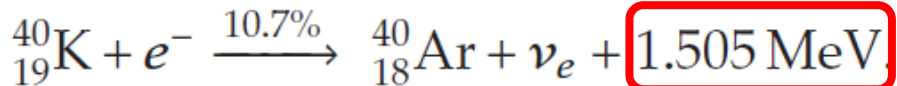
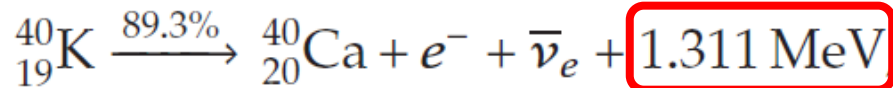
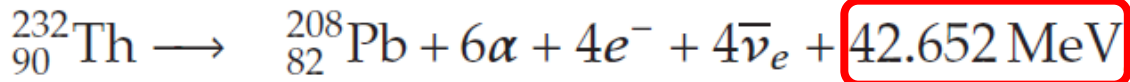
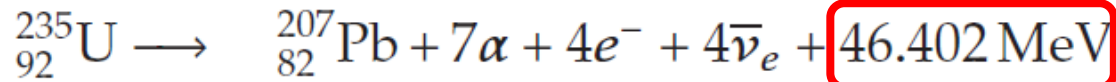
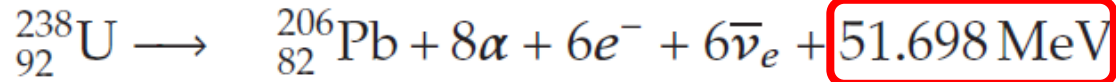
Catena del ^{232}Th



Catena dell' ^{235}U



Sorgenti di calore nella Terra



Da: Sramek et al., 2012

1 MeV =

$1,6 * 10^{-13} \text{ J}$

Energia rilasciata da un singolo atomo.

In 238 g di ${}^{238}\text{U}$ ci sono $6,02 * 10^{23}$ atomi

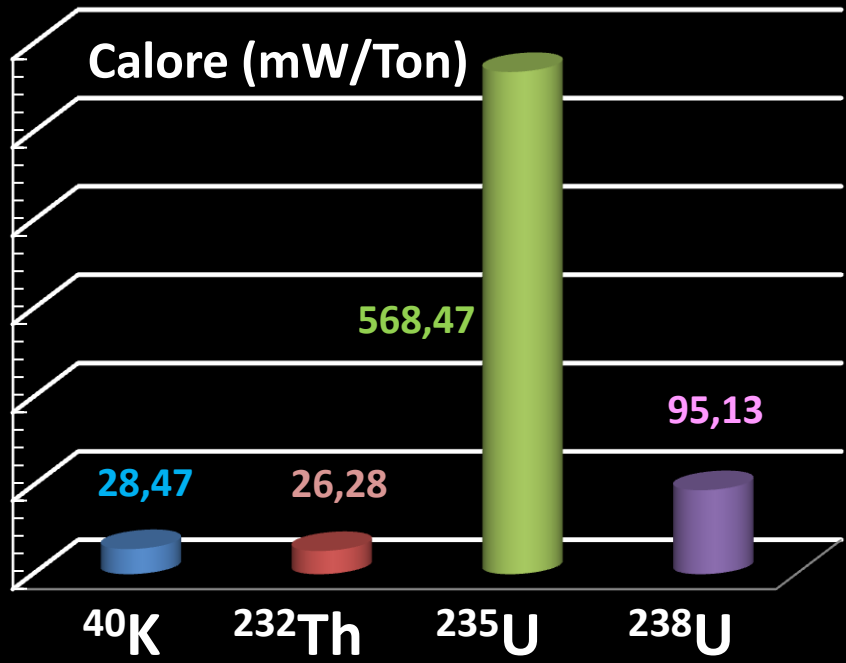
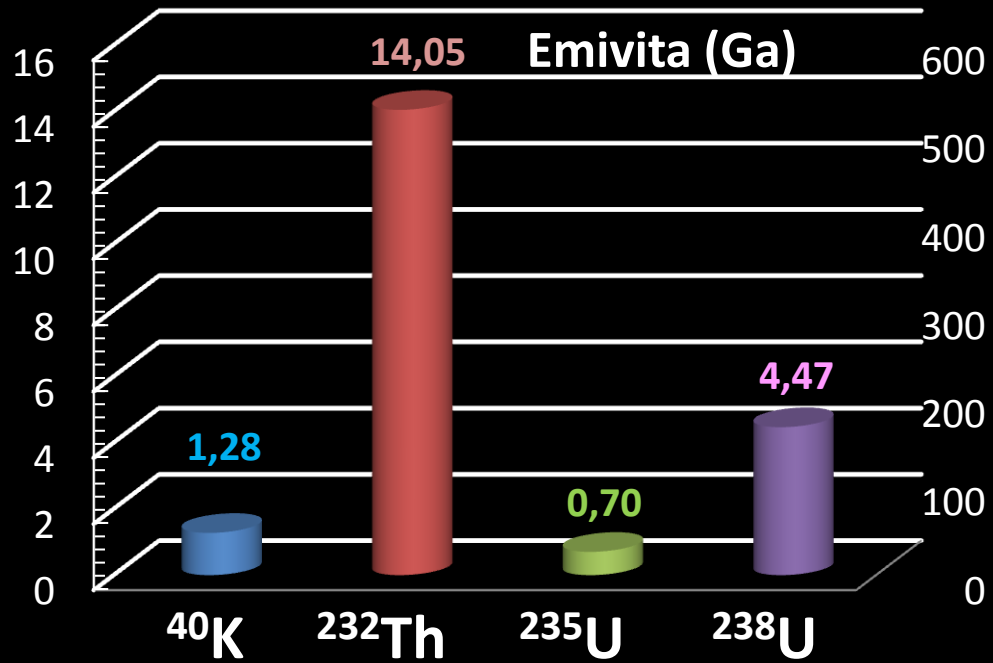
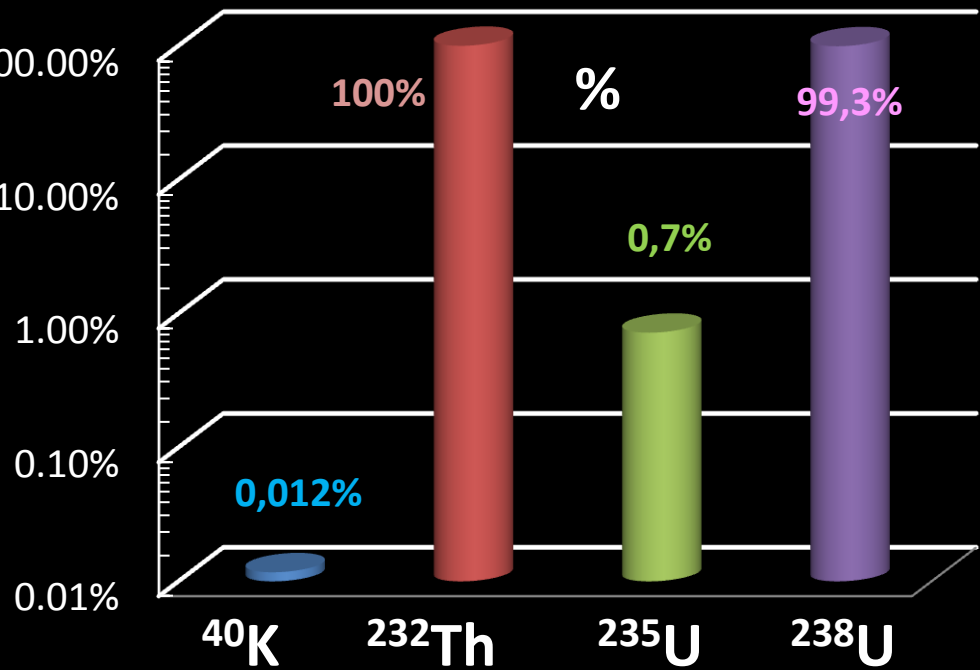
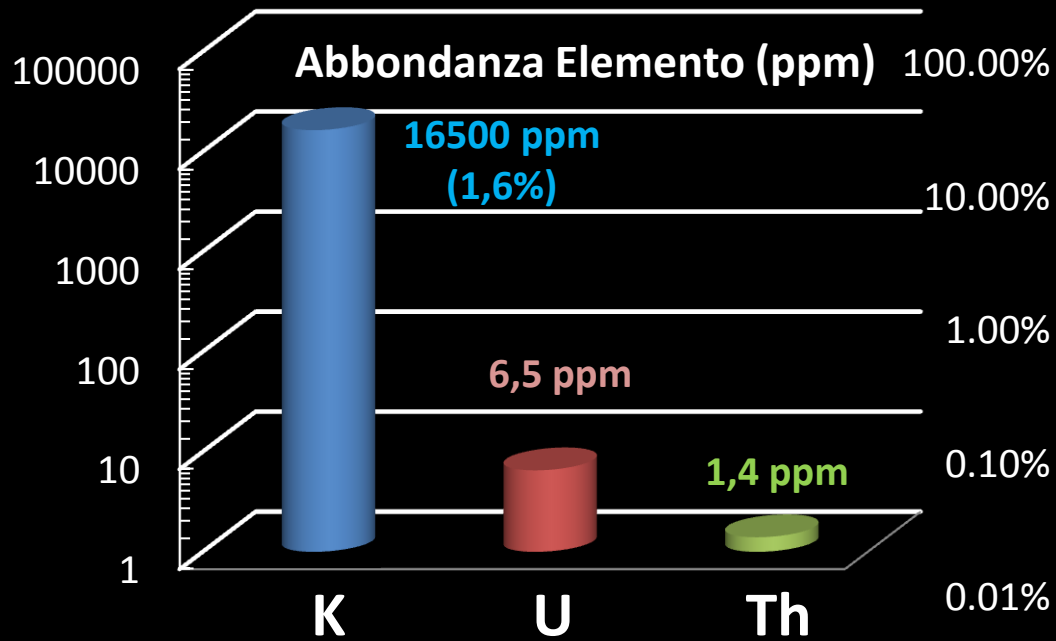
↳ $\sim 20 \text{ TJ}$

Comparete con i 200 MeV della fissione dell' ${}^{235}\text{U}$.

Grossa differenza:

Fissione = processo istantaneo;

Decadimento = tempi molto lunghi (Ga).



Quasi tutti gli isotopi radioattivi sono di tipo naturale (NORM).

Alcuni isotopi di alcuni elementi possono essere indotti a diventare radioattivi (o a aumentare la loro attività).

In che modo?

...bombardando un isotopo (o, meglio, un nuclide) stabile con dei proiettili.



Che tipo di proiettili si possono usare contro gli atomi?

Irène Curie, la figlia di Pierre e Marie, e suo marito Frederic Joliot già dal 1932 usavano nuclei di ^4He (particelle α).



Si accorsero che bombardando con particelle α elementi leggeri (es. Be e B) venivano generate radiazioni molto penetranti (interpretate come γ).

Queste radiazioni avevano il potere di rimuovere i protoni dalla paraffina:

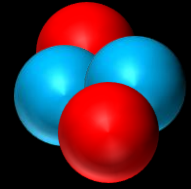
Emission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons γ très pénétrants.

RADIOACTIVITÉ. — *Émission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons γ très pénétrants. Note (²) de M^{me} IRÈNE CURIE et M. F. JOLIOT, présentée par M. Jean Perrin.*

Nous avons montré (²) que les rayonnements γ excités par les rayons α du polonium dans le glucinium et dans le bore ont des coefficients d'absorption massique bien plus faibles que celui des rayons les plus pénétrants des corps radioactifs [$(\mu/\rho)_{\text{Pb}} = 0,013$ et $(\mu/\rho)_{\text{P}} = 0,02$ respectivement]. Ces nombres correspondent à des énergies quantiques très élevées comprises entre celles des rayons les plus pénétrants des radioéléments et celles des rayons cosmiques.

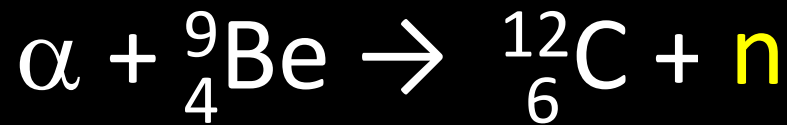
Curie e Joliot, 1932
(Compt. Rend. Acad.
Sci. Paris)

Irène Curie, la figlia di Pierre e Marie, e suo marito Frederic Joliot già dal 1932 usavano nuclei di ^4He (particelle α).



Persero l'occasione di prendere un premio Nobel:

Avevano scoperto il neutrone ma lo avevano scambiato per radiazione γ .



La scoperta del neutrone fruttò a James Chadwick il premio Nobel in fisica nel 1935.



Letters to the Editor

[The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. Neither can he undertake to return, nor to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of NATURE. No notice is taken of anonymous communications.]

Possible Existence of a Neutron

IT has been shown by Bothe and others that beryllium when bombarded by α -particles of polonium emits a radiation of great penetrating power, which has an absorption coefficient in lead of about 0.3 (cm.)^{-1} . Recently Mme. Curie-Joliot and M. Joliot found, when measuring the ionisation produced by this beryllium radiation in a vessel with a thin window, that the ionisation increased when matter containing hydrogen was placed in front of the window. The effect appeared to be due to the ejection of protons

This again receives a simple explanation on the neutron hypothesis.

If it be supposed that the radiation consists of quanta, then the capture of the α -particle by the Be^9 nucleus will form a C^{13} nucleus. The mass defect of C^{13} is known with sufficient accuracy to show that the energy of the quantum emitted in this process cannot be greater than about 14×10^6 volts. It is difficult to make such a quantum responsible for the effects observed.

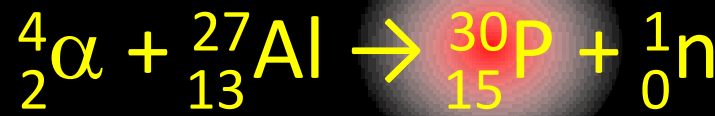
It is to be expected that many of the effects of a neutron in passing through matter should resemble those of a quantum of high energy, and it is not easy to reach the final decision between the two hypotheses. Up to the present, all the evidence is in favour of the neutron, while the quantum hypothesis can only be upheld if the conservation of energy and momentum be relinquished at some point.

J. CHADWICK.

Cavendish Laboratory,
Cambridge, Feb. 17.

These results, and others I have obtained in the course of the work, are very difficult to explain on the assumption that the radiation from beryllium is a quantum radiation, if energy and momentum are to be conserved in the collisions. The difficulties disappear, however, if it be assumed that the radiation consists of particles of mass 1 and charge 0, or neutrons. The capture of the α -particle by the

... I coniugi Curie-Joliot scoprirono però la radioattività artificiale (indotta)



*Il ${}^{30}\text{P}$ era radioattivo
($T_{1/2} = 14$ giorni)*

Questo fruttò loro il premio Nobel per la chimica nel 1935 (insieme a James Chadwick!)



Impresa molto difficile ... Perché?

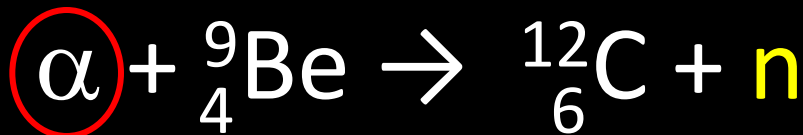
Sia le particelle α che i nuclei degli atomi hanno carica positiva, quindi tendono a respingersi.

Enrico Fermi e il gruppo dei “Ragazzi di Via Panisperna” cominciarono a usare i neutroni.

Non avendo carica, essi potevano raggiungere “indisturbati” il nucleo degli atomi da colpire.



Scoprirono che su 68 elementi analizzati, 47 venivano attivati (diventavano radioattivi) per trasformarsi poi in altri elementi.

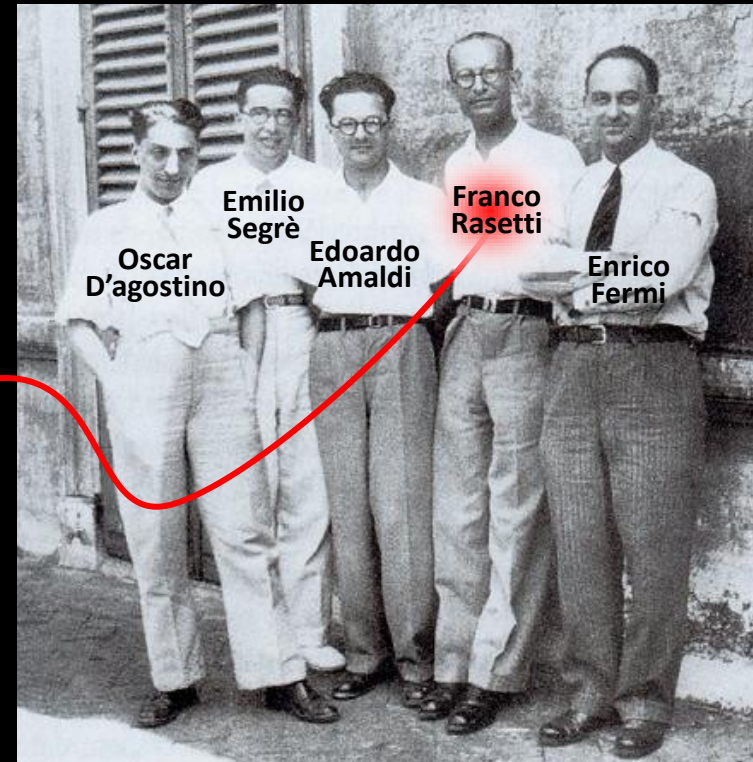
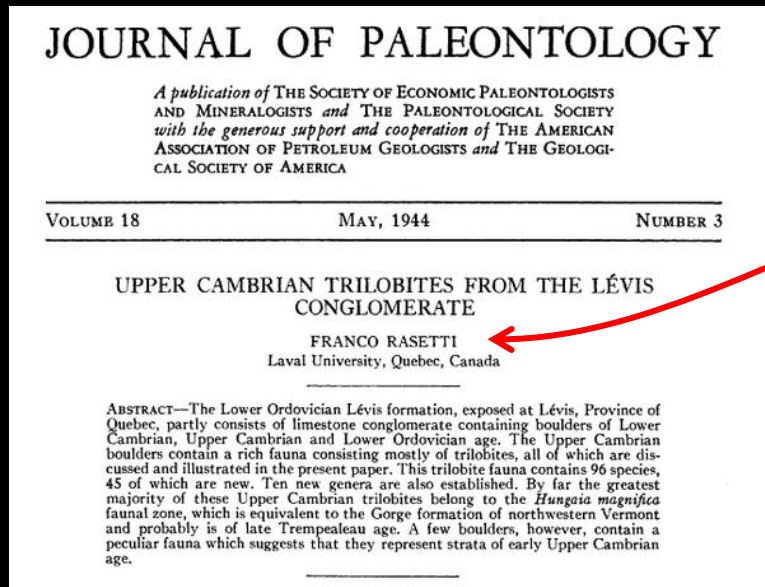


Come emettitori di particelle α utilizzarono ${}^{222}\text{Rn}$.

In pratica:

Nei laboratori di Marie Curie (Oscar D'Agostino)

- 1) Dall'U si separava il ^{226}Ra (forte emettitore di α)
- 2) Il ^{226}Ra si trasforma in ^{222}Rn (altro forte emettitore di α)
- 3) Polvere di ^9Be in un tubetto di vetro contenente ^{222}Rn
- 4) In un caso ogni 100.000 particelle α il ^9Be emetteva 1 n
- 5) Produzione di 100.000 proiettili di neutroni al secondo
- 6) Posizionamento di questa pistola neutronica vicino a varie sostanze per alcune ore



Il sogno degli alchimisti
era diventato realtà:
**La trasmutazione
della materia.**



Purtroppo (o per fortuna) non è possibile trasformare un elemento in oro.

Già Rutherford e i suoi collaboratori erano riusciti in nel 1919 a trasformare N in O colpendolo con particelle α .

Grande passo in avanti, ma anche grande errore di interpretazione.

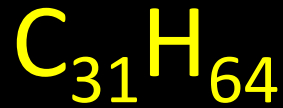
Fermi scoprì che rallentando la velocità dei neutroni la radioattività degli atomi aumentava di molto.

Questo era dovuto alla natura duale particella/onda.

1) Velocità bassa vuol dire maggiore probabilità di trovarsi nelle vicinanze di un un nucleo di U.

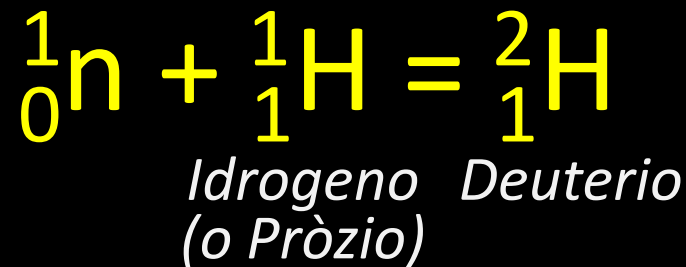
2) Velocità bassa vuol dire bassa energia. Bassa energia vuol dire elevata lunghezza d'onda. Elevata lunghezza d'onda vuol dire elevata "cross section" o area del protone, aumentando le probabilità di interazione con il nucleo dell'atomo di U.

Per rallentare la velocità dei neutroni
usarono la paraffina



I neutroni si scontravano con i nuclei di C e H e
venivano rallentati.

Il problema è che l'idrogeno può assorbire il neutrone,
trasformandosi in deuterio:



In seguito utilizzarono solo il C, con elevata capacità di
frenamento ma bassa capacità di assorbimento dei n.

Radioattività indotta da bombardamento di neutroni

Desidero riferire in questa lettera sopra alcune esperienze destinate ad accertare se un bombardamento di neutroni non determini dei fenomeni di radioattività susseguente analoghi a quelli osservati dai coniugi Joliot con bombardamento di particelle α .

Il dispositivo che ho usato è il seguente: La sorgente di neutroni è costituita da un tubetto di vetro contenente polvere di berillio ed emanazione. Usando circa 50 millicurie di emanazione, che mi sono stati forniti dal prof. G. C. Trabacchi che qui desidero ringraziare vivissimamente, si possono così ottenere oltre 100.000 neutroni al secondo, misti naturalmente a una intensissima radiazione γ , che però non dà alcun disturbo per esperienze di questo genere. Dei cilindretti contenenti l'elemento in esame sono sottoposti per un tempo variabile da alcuni minuti ad alcune ore alle radiazioni di questa sorgente.

Essi vengono poi rapidamente disposti attorno ad un contatore a filo, la cui parete esterna è formata da una foglia d'alluminio di spessore di circa 0,2 mm. tale quindi da permettere l'ingresso di eventuali raggi β nel contatore. Fino ad ora l'esperienza ha dato esito positivo per due elementi:

ALLUMINIO. — Un cilindretto di alluminio irradiato dai neutroni per un paio d'ore e posto successivamente attorno al contatore determina nei primi minuti un aumento assai considerevole degli impulsi, che crescono di 30 o 40 al minuto. L'effetto decresce col tempo riducendosi a metà in circa 12 minuti.

FLUORO. — Il fluoruro di calcio, irradiato per pochi minuti e portato poi assai rapidamente accanto al contatore determina nei primi momenti un aumento del numero degli impulsi. L'effetto si smorza rapidamente, riducendosi a metà in circa 10 secondi.

Una possibile interpretazione di questi fenomeni è la seguente. Il fluoro, bombardato coi neutroni, si disintegra emettendo particelle α . La reazione nucleare è probabilmente:



Si formerebbe così un azoto di peso 16 che, emettendo successivamente una particella β può trasformarsi in O^{16} . Una simile interpretazione potrebbe aversi per

**Ancora non si parla di neutroni lenti,
detti anche "Neutroni Termici".**

elementi radioattivi che emettono normali particelle β , a differenza di quelli trovati dai Joliot che emettono invece positroni. In particolare nel caso dell'azoto si avrebbero due isotopi radioattivi: N^{13} , trovato dai Joliot, che emettendo un positrone si trasforma in C^{13} ; ed N^{16} che, emettendo un elettrone si trasforma in O^{16} .

Sono in corso esperienze per estendere l'esame ad altri elementi e per studiare meglio le particolarità del fenomeno.

Roma, 25 marzo 1934-XII.

ENRICO FERMI

Artificial Radioactivity produced by Neutron Bombardment

By E. FERMI, E. AMALDI, O. D'AGOSTINO, F. RASETTI, and E. SEGRÈ

(Communicated by Lord Rutherford, O.M., F.R.S.—Received July 25, 1934)

A settembre del 1934 ancora uso di neutroni “veloci”

I—Introduction

*Solo a ottobre del 1934 scoprirono gli
effetti dei neutroni “lenti”*

Curie and Joliot† first discovered that the product atom of an artificial disintegration need not always correspond to a stable isotope, but could also disintegrate with a relatively long mean life with emission of light particles. As bombarding particles they used α -particles from polonium, and found that the light particle emitted was generally a positron. Similar results were obtained on several elements by other experimenters using α -particles, and artificially accelerated protons and deuterons.‡

*Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a
Mathematical and Physical Character Vol. 146, No. 857 (Sept. 1, 1934), pp. 483-500*

Dove sbagliarono i ragazzi di via Panisperna?

Ragionamento logico e corretto dell'esperimento:

- 1) Quasi tutti gli elementi bombardati con neutroni diventavano radioattivi.
- 2) Rallentando i neutroni l'attività aumentava di molto.
- 3) Bombardando l'U, registrarono la presenza di un radioisotopo con $T_{1/2} = 13$ minuti.

Interpretazione sbagliata:

Nessun isotopo dell'U o di elementi a massa più bassa aveva quel $T_{1/2}$.

Chiamarono questi "due nuovi elementi"
Ausonio e Esperio

82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am
Piombo	Bismuto	Po	At	Radon	Francio	Radio	Actinio	Torio	Protattinio	Uranio	Nettunio	Plutonio	Americio
208,2	208,98	209	210	222	223	226	227	232,038	231,036	238,02891	(237)	(244)	(243)

Per loro questo era evidenza dell'esistenza di nuovi elementi, con massa superiore a quella dell'U, chiamati

TRANSURANICI.

Dove sbagliarono i ragazzi di via Panisperna?

452

LA RICERCA SCIENTIFICA

Radioattività "beta", provocata da bombardamento di neutroni - III

[...]

Uranio. — L'*U* liberato dai prodotti dotati di attività β che lo accompagnano e susseguentemente irradiato dà un effetto intenso con più periodi: uno di circa 1 minuto, uno di 13 minuti oltre a periodi più lunghi non ancora esattamente determinati. I raggi β corrispondenti al periodo di 13 minuti sono notevolmente penetranti.

Si è cercato di riconoscere con operazioni chimiche se l'elemento che si disintegra col periodo di 13 minuti fosse un isotopo di qualcuno degli elementi più pesanti. Possiamo escludere immediatamente che si tratti di un isotopo dell'*U* (92) o del *Th* (90) perchè il principio attivo si separa facilmente da questi due elementi. Più difficile è la prova che non si tratti di un isotopo del *Pa* (91) dato che manca una sostanza radioattiva β adatta per queste prove, isotopa del *Pa*. Ci siamo dovuti servire per questo

[...]

ugualmente completa anche in presenza di *Ce* e *La*. Ciò sembrerebbe escludere che il principio attivo abbia numero atomico 89 data l'analogia di questo elemento con le terre rare. La stessa reazione sembra anche escludere che si tratti di un isotopo del *Ra* (88) e tanto più di un ekacesio (87) o di una emanazione (86).

Questo insieme di conclusioni che stiamo cercando di suffragare con ulteriori esperienze fa sorgere spontanea l'ipotesi che il principio attivo dell'*U* possa avere numero atomico 93 (omologo del renio); il processo in questa ipotesi potrebbe consistere in una cattura del neutrone da parte dell'*U* con una formazione di un U^{239} il quale subirebbe successivamente delle disintegrazioni β .

[...]

Istituto Fisico della R. Università.
Roma, 10 maggio 1934-XII.

E. AMALDI
O. D'AGOSTINO
E. FERMI
F. RASETTI
E. SEGRÈ

Possible Production of Elements of Atomic Number Higher than 92

By PROF. E. FERMI, Royal University of Rome

UNTIL recently it was generally admitted that an atom resulting from artificial disintegration should normally correspond to a stable isotope. M. and Mme. Joliot first found evidence that it is not necessarily so; in some cases the product atom may be radioactive with a measurable mean life, and go over to a stable form only after emission of a positron.

The number of elements which can be activated either by the impact of an α -particle (Joliot) or a proton (Cockcroft, Gilbert, Walton) or a deuteron (Crane, Lauritsen, Henderson, Livingston, Lawrence) is necessarily limited by the fact that only light elements can be disintegrated, owing to the Coulomb repulsion.

This limitation is not effective in the case of neutron bombardment. The high efficiency of these particles in producing disintegrations compensates fairly for the weakness of available neutron

the sign of the charge of the emitted particles were found to give out only negative electrons. This is theoretically understandable, as the absorption of the bombarding neutron produces an excess in the number of neutrons present inside the nucleus; a stable state is therefore reached generally through transformation of a neutron into a proton, which is connected to the emission of a β -particle.

In several cases it was possible to carry out a chemical separation of the β -active element, following the usual technique of adding to the irradiated substance small amounts of the neighbouring elements. These elements are then separated by chemical analysis and separately checked for the β -activity with a Geiger-Müller counter. The activity always followed completely a certain element, with which the active element could thus be identified.

Dove sbagliarono i ragazzi di via Panisperna?

In realtà si fermarono troppo presto...

Scriva Ida Noddack (*Zeitschrift für Angew. Chemie*, 47, 653, 1934)

*"This method of proof is not valid. Fermi [...] thought a series of consecutive decays was possible (with emission of electrons, protons, and helium nuclei), which eventually formed the radioelement with the 13 minute half life. It is not clear why he [...] chose to stop at lead. The old view that the radioactive elements form a continuous series which ends at lead or thallium (81) is just what the previously mentioned experiments of Curie and Joliot had disproved. [...] One could assume equally well that when neutrons are used to produce nuclear disintegrations, some distinctly new nuclear reactions take place which have not been observed previously with proton or alpha-particle bombardment of atomic nuclei. In the past one has found that transmutations of nuclei only take place with the emission of electrons, protons, or helium nuclei, so that the heavy elements change their mass only a small amount to produce near neighboring elements. **When heavy nuclei are bombarded by neutrons, it is conceivable that the nucleus breaks up into several large fragments, which would of course be isotopes of known elements but would not be neighbors of the irradiated element.**"*



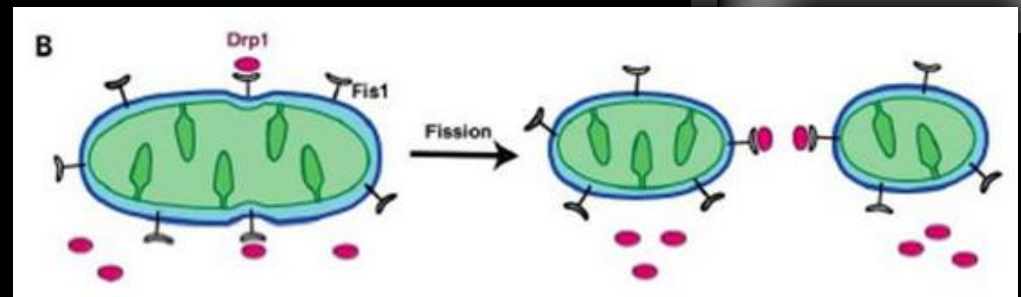
L'innovativo lavoro di Fermi era considerato già vecchio...

Ci vollero altri quattro anni per spiegare l'esperimento di Via Panisperna.

Otto Hahn e Fritz Strassman a ottobre del 1938 scoprirono la presenza di Ba nella reazione Uranio-neutrone e pubblicarono i loro risultati a gennaio 1939.

A dicembre 1938 Hahn informa Lise Meitner della loro scoperta. A gennaio del 1939 Meitner e suo nipote Otto Frisch scoprono il principio fisico della **fissione nucleare**.

...Prendendo in prestito il termine dalla biologia (Fissione mitocondriale)



On the Existence of Alkaline Earth Metals Resulting from Neutron Irradiation of Uranium
Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans
mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle¹.

Von O. HAHN und F. STRASSMANN, Berlin-Dahlem.

In einer vor kurzem an dieser Stelle erschienenen vorläufigen Mitteilung² wurde angegeben, daß bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen außer den von MEITNER, HAHN und STRASSMANN im einzelnen

Glieder beschrieben werden. Aus dem Aktivitätsverlauf der einzelnen Isotope ergibt sich ihre Halbwertszeit und lassen sich die daraus entstehenden Folgeprodukte ermitteln. Die letzteren werden in dieser

No. 3615. FEB. 11, 1939

NATURE

239

Letters to the Editor

The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. He cannot undertake to return, or to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of NATURE. No notice is taken of anonymous communications.

NOTES ON POINTS IN SOME OF THIS WEEK'S LETTERS APPEAR ON P. 247.

CORRESPONDENTS ARE INVITED TO ATTACH SIMILAR SUMMARIES TO THEIR COMMUNICATIONS.

Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction

ON bombarding uranium with neutrons, Fermi and collaborators¹ found that at least four radioactive substances were produced, to two of which atomic numbers larger than 92 were ascribed. Further investigations² demonstrated the existence of at least nine radioactive periods, six of which were assigned

LISE MEITNER.

Physical Institute,
Academy of Sciences,
Stockholm.

that the surface tension of a charged droplet is diminished by its charge, and a rough estimate shows that the surface tension of nuclei, decreasing with increasing nuclear charge, may become zero for atomic numbers of the order of 100.

It seems therefore possible that the uranium nucleus has only small stability of form, and may, after neutron capture, divide itself into two nuclei

O. R. FRISCH.

Institute of Theoretical Physics,
University,
Copenhagen.
Jan. 16.

276

Supplement to NATURE of February 18, 1939

Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment

FROM chemical evidence, Hahn and Strassmann¹ conclude that radioactive barium nuclei (atomic number $Z = 56$) are produced when uranium ($Z = 92$)

by neutron bombardment² should be ascribed to light elements. It should be remembered that no enhancement by paraffin has been found for the activities produced in thorium³ (except for one which is isotopic with thorium and is almost certainly produced by simple capture of the neutron).

Artificial radioactivity produced by neutron bombardment

Nobel Lecture, December 12, 1938

[...]

Both elements show a rather strong, induced activity when bombarded with neutrons; and in both cases the decay curve of the induced activity shows that several active bodies with different mean lives are produced. We attempted, since the spring of 1934, to isolate chemically the carriers of these activities, with the result that the carriers of some of the activities of uranium are neither isotopes of uranium itself, nor of the elements lighter than uranium down to the atomic number 86. We concluded that the carriers were one or more elements of atomic number larger than 92 ; we, in Rome, use to call the elements 93 and 94 **Ausemium** and **Hesperium** respectively. It is known that O. Hahn and L. Meitner have investigated very carefully and extensively the decay products of irradiated uranium, and were able to trace among them elements up to the atomic number 96.*

Aggiunta posteriore all'invio del discorso di Fermi all'Accademia di Scienze di Stoccolma

* The discovery by Hahn and Strassmann of barium among the disintegration products of bombarded uranium, as a consequence of a process in which uranium splits into two approximately equal parts, makes it necessary to reexamine all the problems of the transuranic elements, as many of them might be found to be products of a splitting of uranium.

Si può quindi dire che Fermi scoprì la fissione dell'U a sua insaputa.



Claudio Scajola
Ministro dell'Interno
2010



Gianfranco Fini
Alleanza Nazionale
2010



Umberto Bossi
Lega Lombarda
2012



Francesco Rutelli
Segretario La Margherita
2012



Josefa Idem
Ministro dello Sport
2013



Giulio Tremonti
Ministro dell'Economia
2013

The screenshot shows a Wikipedia article for Virginia Raggi. The article text states: "Virginia Elena Raggi (Montagna del Sapone, 18 luglio 1978) è una politica italiana, che ricopre, dal 22 giugno 2016, la carica di sindaco di Roma, ma a sua insaputa." The article includes a table of contents with sections for "Biografia", "Note", and "Altri progetti". A small portrait of Virginia Raggi is visible on the right side of the article.

Un commento su Lise Meitner (1878-1968)

Nel 1901 (quando nacque Fermi) si iscrive all'Università di Vienna.

Nel 1906 dottorato in Fisica (la seconda donna in Austria).

Nel 1907 incontra Otto Hahn a Berlino.

I due cominciano a lavorare insieme sulla radioattività.

Non può stare in laboratorio insieme a colleghi maschi. Non può usare i bagni.

Solo nel 1913 guadagna il primo stipendio tramite la raccomandazione di Max Plank.

L'anno successivo scoppia la Prima Guerra Mondiale. Lavora come tecnica ai raggi X al fronte. Lo stesso impegno di Marie Curie.

Nel 1917 scrive un articolo (Hahn e Meitner) mentre Hahn è occupato a creare gas bellici. Hanno scoperto un nuovo elemento: il Protoattinio.

Hahn riceve una medaglia dall'Associazione per la Chimica Tedesca...



Un commento su Lise Meitner (1878-1968)

Nel 1933 sale al potere in Germania Hitler.

Proclamazione delle leggi razziali. Gli ebrei non possono insegnare all'Università. Anche Meitner abbandona l'Università.

Lei continua a lavorare al *Kaiser Wilhelm Institute* (una sorta di CNR).

In quanto austriaca (anche se di famiglia ebrea) può continuare a lavorare in Germania.

Nel 1934 Fritz Strassmann si unisce al gruppo di ricerca di Hahn e Meitner.

Nel 1938 la Germania invade l'Austria e Meitner deve fuggire in Svezia.

Lì comincia a lavorare con suo nipote Otto Frisch, fisico.

A fine 1938 Hahn e Strassman scrivono il loro articolo nel quale indicano la presenza di Bario tra i prodotti della reazione tra U e n.

Non hanno però ancora capito il processo fisico dietro questa reazione.



Un commento su Lise Meitner (1878-1968)

Il 10 dicembre 1938 Fermi riceve il premio Nobel per i suoi studi sul bombardamento dell'U con i neutroni lenti. Comincia ad avere dubbi sulla scoperta degli elementi transuranici.

Lise Meitner riceve una lettera da Otto Hahn il 21 dicembre 1938.

Lei comincia a lavorare in questa direzione con suo nipote Frisch.

Il 16 gennaio 1939 Meitner e Frisch sottomettono un articolo alla rivista Nature dal titolo:

**Disintegration of Uranium by
neutrons: a new type of
nuclear reaction**



Lise Meitner (insieme a Otto Fritsch) furono i primi a capire il processo di fissione atomica, ma Hahn non volle mai ammetterlo.

Hahn ricevette il premio nobel da solo nel 1945,
tre mesi dopo Hiroshima.

Solo nel 1939 furono pubblicati oltre 440 articoli sulla fissione dell'U (circa 40 al mese).

Una nuova disciplina era nata: la Fisica delle particelle.

No. 3615. FEB. 11, 1939

NATURE

239

Letters to the Editor

The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. He cannot undertake to return, or to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of NATURE. No notice is taken of anonymous communications.

NOTES ON POINTS IN SOME OF THIS WEEK'S LETTERS APPEAR ON P. 247.

CORRESPONDENTS ARE INVITED TO ATTACH SIMILAR SUMMARIES TO THEIR COMMUNICATIONS.

Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction

ON bombarding uranium with neutrons, Fermi and collaborators¹ found that at least four radioactive substances were produced, to two of which atomic numbers larger than 92 were ascribed. Further investigations² demonstrated the existence of at least nine radioactive periods, six of which were assigned to elements beyond uranium, and nuclear isomerism had to be assumed in order to account for their chemical behaviour together with their genetic relations.

that the surface tension of a charged droplet is diminished by its charge, and a rough estimate shows that the surface tension of nuclei, decreasing with increasing nuclear charge, may become zero for atomic numbers of the order of 100.

It seems therefore possible that the uranium nucleus has only small stability of form, and may, after neutron capture, divide itself into two nuclei of roughly equal size (the precise ratio of sizes depending on finer structural features and perhaps partly on chance). These two nuclei will repel each other and should gain a total kinetic energy of *c.* 200 Mev., as

Nel 1939 la Germania nazista sapeva del potere della fissione dell'Uranio.



Lo scienziato tedesco Siegfried Flugge stimò che la fissione di un cubo di uranio puro di 1 metro di lato avrebbe potuto generare l'equivalente di energia di tutte le centrali a carbone della Germania per 11 anni.

Un gruppo di scienziati tedeschi cominciò a pensare al pericolo dell'energia atomica in mano a Hitler.

Un commento su Lise Meitner (1878-1968)

In realtà il gruppo Hahn-Meitner-Strassman oltre a scoprire la fissione dell'U vanno molto vicini nello scoprire anche il primo elemento transuranico.

Infatti trovano un isotopo che ha un $T_{1/2}$ pari a circa 24 minuti.

Si tratta dell' ^{239}U , formato da $^{238}\text{U} + 1 \text{ n}$.

L' ^{239}U è instabile e decade emettendo radiazione β^- in ^{239}Np , il primo elemento transuranico!

Il ^{239}Np è a sua volta instabile e decade, sempre emettendo β^- , in ^{239}Pu .

Purtroppo non riuscirono a interpretare il significato di questi risultati e si concentrarono solo sui prodotti di fissione dell' ^{235}U .



Meitner e Frisch ipotizzarono la formazione di ^{239}U radioattivo, con $T_{1/2} = 24$ minuti, ma non riuscirono a misurare la presenza di ^{239}Np , il primo transuranico!

240

N A T U R E

FEB. 11, 1939, VOL. 143

It might be mentioned that the body with half-life 24 min.² which was chemically identified with uranium is probably really ^{239}U , and goes over into an eka-rhenium which appears inactive but may decay slowly, probably with emission of alpha particles. (From inspection of the natural radioactive elements, ^{239}U cannot be expected to give more than one or two beta decays; the long chain of observed decays has always puzzled us.) The formation of this body is a typical resonance process⁹; the compound state must have a life-time a million times longer than the time it would take the nucleus to divide itself. Perhaps this state corresponds to some highly symmetrical type of motion of nuclear matter which does not favour 'fission' of the nucleus.

LISE MEITNER.

Physical Institute,
Academy of Sciences,
Stockholm.

O. R. FRISCH.

Institute of Theoretical Physics,
University,
Copenhagen.
Jan. 16.

control of the temperature to within a narrow range requires some complication in the whole system, and it is difficult to prevent 'hunting'.

In a measurement which we are making of the electronic charge, it is necessary to maintain the temperature of the air, in which an oil drop moves, uniform and constant so that it has no motion due to convection. As a convenient solution of this problem has been found which seems capable of many applications, it is described here.

A resistance thermometer is formed by winding a single layer coil of copper wire around and in good thermal contact with the microscope condenser which forms part of the apparatus the temperature of which is under control. (In the accompanying illustration the condenser tube is on the right.) This coil forms one arm of a Wheatstone bridge, the other arms being of manganin resistances. Any change in temperature of the apparatus deflects the light spot of the galvanometer connected to this bridge, and for one direction of deflection the spot falls on a photoelectric cell, which operates a polarized relay, which in turn puts off two 30-watt lamps placed on opposite sides of the apparatus. The amplification of the

1932 = J. Chadwick scopre i neutroni.

1933 = Sale al potere in Germania Adolf Hitler.

1934 = I coniugi Joliot-Curie creano la radioattività artificiale.

1934 = Fermi usa i neutroni lenti per bombardare gli atomi di U. Sicuro di avere creato due nuovi elementi.

1934 = Ida Noddack mette in dubbio le interpretazioni del gruppo di Fermi.

1935 = Mussolini dichiara guerra all'Etiopia.

1938 = Hahn e Strassmann individuano la comparsa di Ba dopo il bombardamento dell'U con i neutroni.

1938 = Mussolini emana le leggi razziali. Fermi vince il premio Nobel per le sue ricerche e da Stoccolma emigra negli USA.

1939 = Hitler invade la Polonia. Meitner e Fritsch individuano il processo di fissione dell'U.

1966 = Meitner e Hahn vincono il Premio Fermi negli USA.

L'energia dei proiettili di neutroni naturali usati da Fermi era troppo bassa per innescare un importante numero di reazioni (fissioni nucleari).

Negli altri laboratori di fisica nucleare del mondo si utilizzavano particolari macchine (**ciclotroni**) per generare neutroni molto veloci, rendendoli più energetici.



Ciclotrone

Berkley National Laboratories, 1932

Nel 1935 l'Italia di Mussolini invade l'Etiopia e da quel momento sono tagliati tutti i finanziamenti per la ricerca di base (compresa quella di Fermi), dirottandoli interamente nella ricerca applicata a scopi bellici e industriali.

Nel 1937 muore Guglielmo Marconi.

Fermi si rende conto che Mussolini non avrebbe mai finanziato la costruzione di un ciclotrone in Italia e per questo decide di emigrare negli USA per continuare i propri studi presso gli *Argonne Laboratories* di Chicago.



Tra il 1935 e il 1937 viene ultimato il Campus Universitario de La Sapienza e l'Istituto di Fisica si sposta a P.le A. Moro, svuotando i laboratori di Via Panisperna.



Noi siamo qui

Il 10 dicembre 1938 Fermi riceve il Premio Nobel per la Fisica.

Il 18 settembre 1938 vengono emanate le Leggi Razziali in Italia. Molti dei ragazzi di Via Panisperna e anche la moglie di Fermi erano ebrei.



Il 6 dicembre Fermi e la famiglia partono in treno da Roma Termini per recarsi a Stoccolma. Quella sarà l'occasione del definitivo trasferimento negli USA.



I tedeschi O. Hahn e F. Strassmann (1938) e i fisici austriaci (ebrei) L. Meitner e O. Frisch (1939) svelano i segreti della fissione.

Contemporanei all'annessione dell'Austria e l'invasione della Polonia da parte della Germania di Hitler →
Scoppio della Seconda Guerra Mondiale...

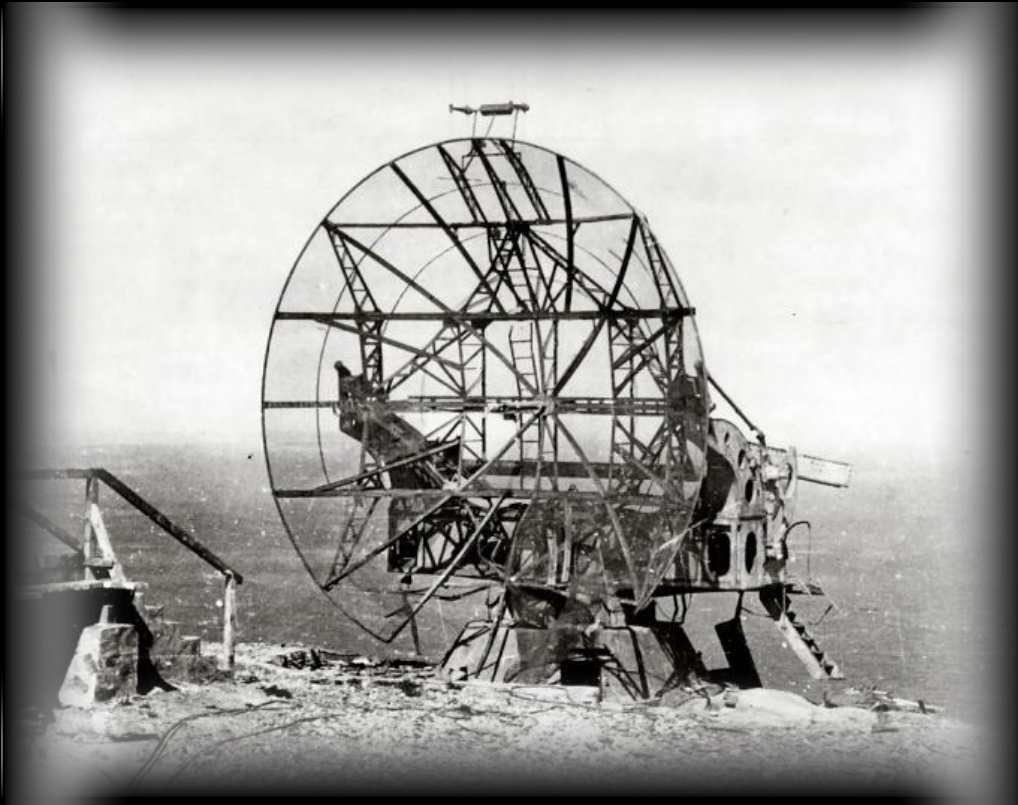
Nel 1939 Hitler blocca l'esportazione di U negli USA.



Nel marzo del 1939 Fermi e il fisico danese Niels Bohr si rendono conto del potenziale bellico della scissione dell'U bombardato con neutroni.

Gli USA però hanno altre priorità.

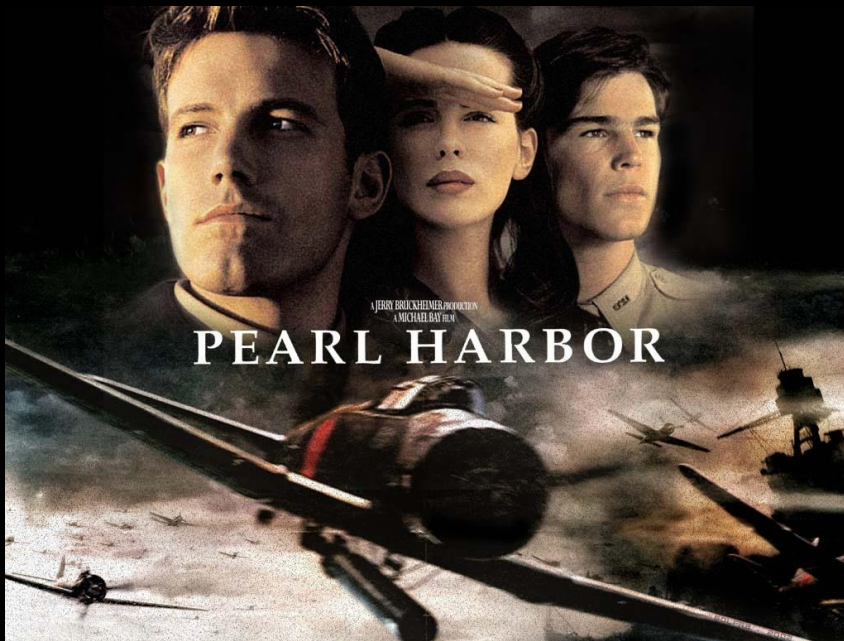
Nel 1939 coniano l'acronimo RADAR



Alla fine del 1941 gli USA entrano in guerra e il presidente americano Roosevelt decide di dare massima priorità al progetto di ricerca nucleare sull'U.

2 GUS\$ - 130.000 persone

Manhattan Project (Chicago)

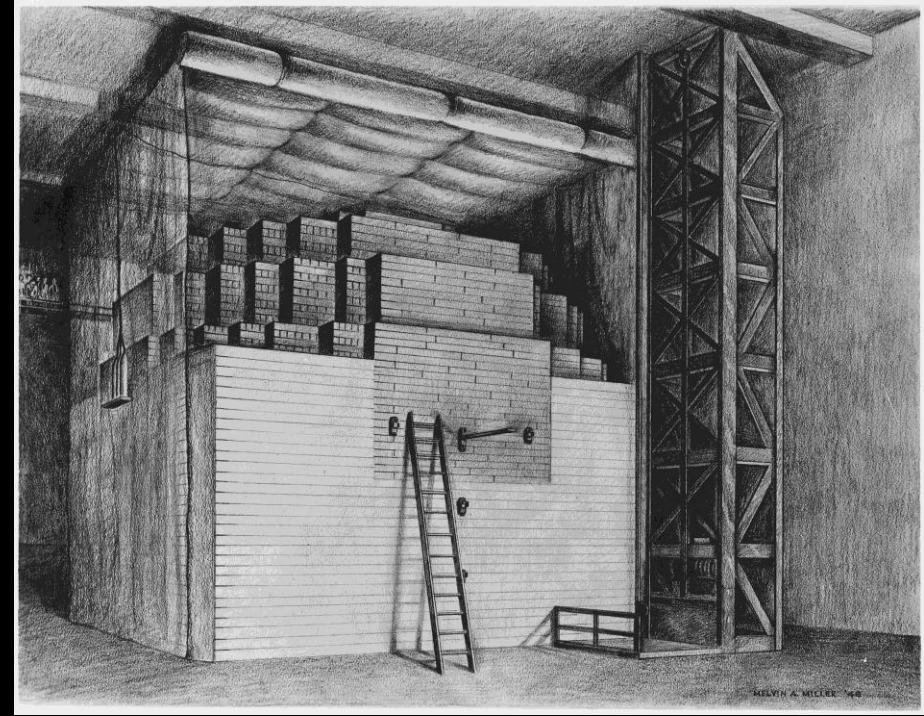


**Progetto segreto
Los Alamos**



Il 2 dicembre del 1942 Fermi accende a Chicago il primo reattore nucleare della storia.

Usò l'**U naturale**, senza arricchimento, il **C** come acceleratore e il **Cd** come freno della reazione a catena



Nel 1943 Fermi si sposta a Los Alamos per contribuire al progetto sulla costruzione della bomba nucleare coordinato da Robert Oppenheimer.