

A. I. F.  
Scuola di Storia della fisica 2004

# Pauli e il mistero del decadimento beta

Luisa Bonolis

[luisa.bonolis@roma1.infn.it](mailto:luisa.bonolis@roma1.infn.it)



PROF. ROENTGEN'S X-RAYS

May Be Due, He Says, to Longitudinal  
Vibrations of Ether.



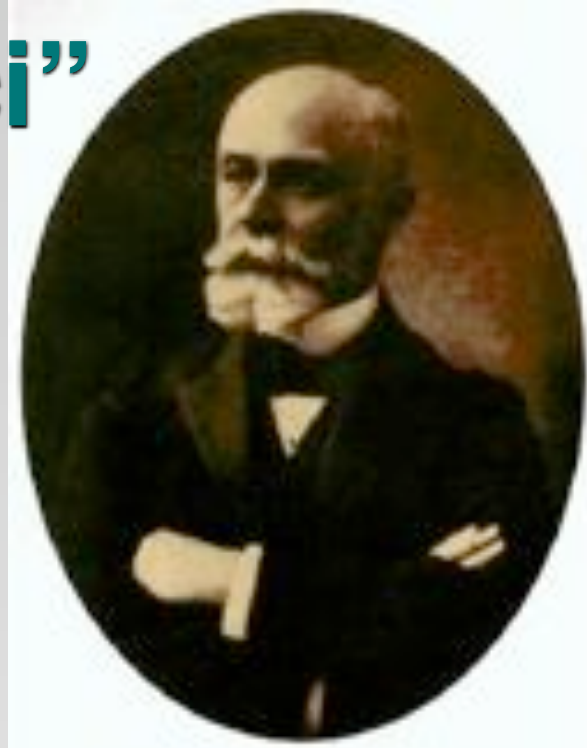
## “Röntgen è diventato completamente pazzo”

- Verso la fine del XIX secolo tre scoperte si rivelano essenziali per ricostruire queste vicende: l'esistenza di raggi emessi all'esterno dei tubi catodici (raggi X), l'esistenza di raggi emessi dall'uranio (“raggi uranici”), l'esistenza di una particella di massa molto piccola rispetto alla scala atomica, di cui vari sperimentatori determinano il rapporto tra carica e massa,  $e/m$ .
- Tre nuovi temi emergono come campi di studio nel nuovo secolo: gli spettri beta, la struttura atomica, le prime idee sulla struttura nucleare.



# I “raggi uranici” di Becquerel

Il 20 gennaio 1896 ebbe luogo a Parigi una seduta memorabile dell'Accademia delle scienze, nel corso della quale Henri Poincaré mostrò ai presenti le prime radiografie inviategli da Röntgen, ipotizzando che l'emissione dei raggi X e la fosforescenza del vetro fossero fenomeni associati.



*“Pensai subito di investigare se la nuova emissione non potesse essere una manifestazione del movimento vibratorio che dà origine alla fosforescenza e se tutti i corpi fosforescenti non potessero emettere simili raggi...”*

- Henri Poincaré (1896): “Sembrava che il cammino intrapreso dai Becquerel fosse destinato a un punto morto. Al contrario, oggi possiamo pensare che ci darà l’accesso a un nuovo mondo che nessuno sospettava...Altri fenomeni verranno senza dubbio alla luce... e completeranno il quadro di ciò che cominciamo appena ad intravedere”.

# “Lo studio di questo fenomeno ci sembrò molto attraente... Decisi di intraprenderlo”

## Maria Curie e i “raggi di Becquerel”:

- *“Per andare oltre i risultati raggiunti da Becquerel, è necessario impiegare un preciso metodo quantitativo”.*
- 1898: i Curie e Bémont pubblicano un lavoro in cui si afferma, con riferimento ai precedenti lavori di Maria: *“Uno di noi ha mostrato che la radioattività è una proprietà atomica”*
- Con questa congettura Maria introduce un concetto nuovo: *“Le proprietà radioattive costituiscono un metodo diagnostico per la scoperta di nuove sostanze”.*
- La scoperta di due nuovi elementi chimici, il polonio e il radio, suscita l’interesse di fisici e chimici nel fenomeno



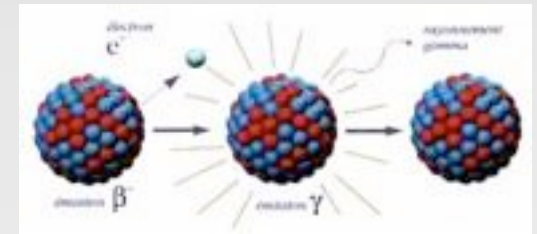
**“E’ arrivato un coniglio dagli antipodi e sta scavando molto a fondo”**



**Ernest Rutherford - 1899:**

*“Questi esperimenti dimostrano che la radiazione dell'uranio è complessa, e che esistono almeno due tipi distinti di radiazione: un tipo che viene assorbito molto facilmente, che chiameremo per comodità radiazione alfa, e un altro di natura più penetrante, che chiameremo radiazione beta”.*

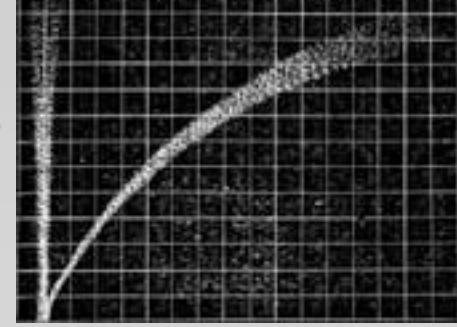
*“La causa ed origine delle radiazioni emesse continuamente dall'uranio è un mistero”.*



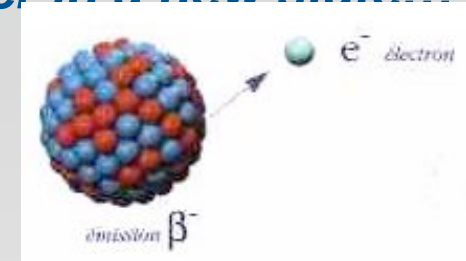
**Nel 1900 Villard, a Parigi, scopre un tipo di radiazione ancora più penetrante, i raggi gamma.**



# La scoperta della particella beta



- **1897:** Si dimostra definitivamente che i misteriosi raggi catodici mostrano una struttura corpuscolare.
- J J Thomson: *“We have in the cathode rays matter in a new state...”*
- La scoperta dell'elettrone è supportata dalla contemporanea scoperta dell'effetto Zeeman spiegata da H.A. Lorentz sulla base della sua teoria dell'elettrone.
- **1899** J. J. Thomson determina la carica dell'elettrone.
- **1900** Becquerel e i Curie mostrano che i raggi beta hanno carica negativa attraverso la deflessione in campo magnetico. Pierre Curie mostra che soltanto la radiazione più penetrante, la beta, sembra essere deflessa. Becquerel fa una misura grossolana del rapporto  $e/m$  e trova che è molto vicino a quello della particella dei raggi catodici.
- Nel **1902** Kaufmann riesce ad affermare che *“...per piccole velocità il valore misurato della massa degli elettroni che generano i raggi di Becquerel...è in accordo entro gli errori sperimentali con il valore trovato per i raggi catodici”*. Gli esperimenti di Kaufmann evidenziano





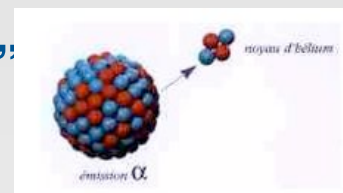
# La teoria della trasformazione di Rutherford e Soddy



La scoperta della particella beta diventa un ingrediente essenziale della nuova scienza della radioattività.

Rutherford e Soddy, 1903:

- *“La radioattività è un fenomeno atomico, accompagnato nello stesso tempo da trasformazioni chimiche nel corso delle quali vengono generati nuovi tipi di materia, queste trasformazioni devono verificarsi all'interno dell'atomo, e gli elementi radioattivi devono subire una trasformazione spontanea”*
- *I raggi alfa “trasportano la stessa carica di quelli negativi ma hanno una massa enormemente più grande...Le particelle che costituiscono i raggi alfa si comportano quindi come se la loro massa fosse dello stesso ordine di quella degli atomi di idrogeno”*
- *“C'è ogni ragione per supporre che l'espulsione di una particella carica non accompagni semplicemente la mutazione, ma che quest'espulsione sia la reale mutazione”.*
- *“Una particella alfa è un atomo di elio” (Rutherford e Geiger, 1908)*



Some radioactive decay series  
 (showing half lives)

Uranium series



Thorium series



Actinium series



= alpha decay  
 = beta decay  
 Some decays also release gamma radiation.

# Energia dal nucleo

- **Henri Becquerel (1896):** *“Non siamo ancora in grado di comprendere da dove l'uranio derivi l'energia che emette con tanta persistenza”.*
- **Curie e Laborde:** mostrano che 1 g di Radio produce “spontaneamente” calore sufficiente a fare evaporare in un'ora 1,3 g d'acqua; un'enormità, che aveva impressionato Lord Kelvin, a confronto con i combustibili chimici.
- **Rutherford e Soddy (1903):** *“Tutte queste considerazioni conducono alla conclusione che l'energia latente dell'atomo dev'essere enorme in confronto a quella che si libera nelle trasformazioni chimiche ordinarie. Ma i radioelementi non sono in nulla differenti dagli altri elementi nel loro comportamento chimico e fisico. [...] Non c'è quindi alcun motivo di ritenere che soltanto i radioelementi possiedano questa enorme riserva di energia. Sembra probabile che l'energia atomica in generale sia dello stesso ordine di grandezza, sebbene l'assenza di cambiamenti impedisca di renderne manifesta l'esistenza...La conservazione dell'energia solare, per esempio, non presenta più alcun difficoltà fondamentale, se si ammette che sia disponibile l'energia interna degli elementi che compongono il sole, cioè che siano in corso processi di trasformazione subatomica”.*

# La radioattività beta dal 1907 al 1914 un cammino irto di trabocchetti



Bild 1. «Stellen von einer radioaktiven Quelle, Mikroskopisches Bild»

- **Primo trabocchetto:**

Nel 1904 William Bragg scopre che i raggi alfa provenienti da un puro emettitore alfa sono monocromatici. Ciascun atomo emettitore può essere caratterizzato dalla velocità con cui vengono emesse le particelle alfa, le quali hanno un range costante di penetrazione nella materia. Questa scoperta induce a pensare erroneamente che i raggi beta, provenienti da un puro emettitore beta, abbiano una energia primaria monocromatica. Gli esperimenti di Kaufmann (e Becquerel) avevano mostrato che lo spettro degli elettroni emessi dal radio era continuo, tuttavia i fisici non erano convinti che le sorgenti usate fossero effettivamente puri emettitori beta. Inoltre si riteneva che seppure lo spettro primario potesse essere monoenergetico, gli elettroni avrebbero potuto perdere energia nella fuga dalla sorgente radioattiva. Nel 1906, quando Lise Meitner e Otto Hahn iniziano le loro ricerche sulle spettro beta primario pensano che l'assorbimento di elettroni in lamine metalliche sia un buon modo per verificare questa congettura. Non si potevano utilizzare i metodi usati per le alfa: il

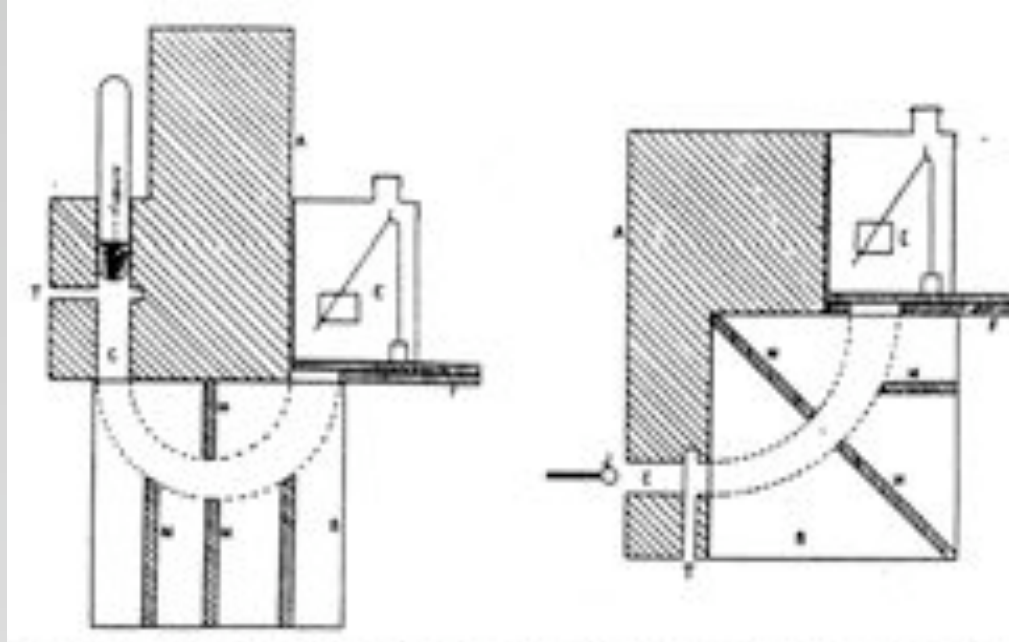
# Un sodalizio ben assortito: Lise Meitner e Otto Hahn

## Secondo trabocchetto:

- Si pensava che l'assorbimento di elettroni monoenergetici come funzione dello spessore soddisfacesse una semplice legge esponenziale. Poiché Lenard aveva dimostrato che i raggi catodici, che sono identici ai raggi beta di bassa velocità, sono assorbiti secondo una legge esponenziale, era naturale in prima istanza supporre che una legge d'assorbimento esponenziale indicasse che i raggi beta fossero omogenei, cioè che consistessero di particelle beta emesse con la stessa velocità.
- Meitner e Hahn utilizzano questa legge per verificare la congettura e all'inizio sembra che le cose vadano proprio in questo modo.



# La complicata struttura degli spettri beta



- Nel 1909 William Wilson capovolge la visione delle cose. Per gli elettroni dotati di eguale velocità *“...la ionizzazione non varia esponenzialmente con lo spessore attraversato..., ma segue, approssimativamente, una legge lineare. Il fatto che raggi omogenei non siano assorbiti secondo una legge esponenziale suggerisce che i raggi emessi da tali sostanze siano eterogenei”*.
- Tra il 1912 e il 1913 gli esperimenti sembrano indicare che lo spettro beta sia uno spettro discreto di linee.
- Rutherford trovò infatti addirittura 29 linee negli spettri del radio B e C e in particolare mostrò che lo spettro di linee dei raggi beta era un effetto secondario causato da raggi gamma.
- Restava il problema: qual era lo spettro energetico primario?

# 1914 - Chadwick contesta il metodo fotografico

- Chadwick a Rutherford, da Berlino:  
*“Ottengo le foto con facilità e rapidamente, ma con il contatore non trovo l'ombra di una linea. Probabilmente c'è qualche stupido errore da qualche parte”.*
- La deflessione magnetica con rivelazione per mezzo dei contatori a punta appena sviluppati da Geiger rivela finalmente che lo spettro beta è continuo.
- Il metodo fotografico sembrava aumentare la percezione di linee discrete rispetto al background continuo.  
  
A questo punto scoppia la guerra e Chadwick viene internato.



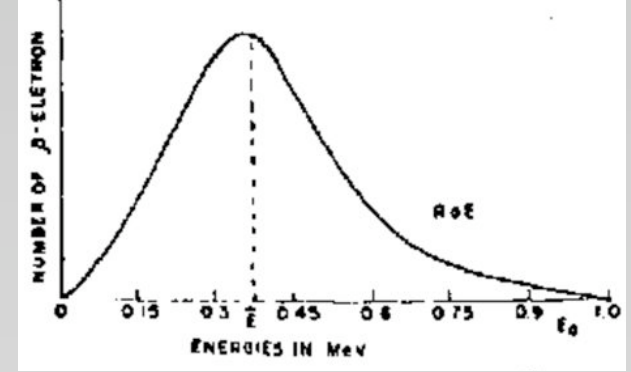
# Anni '20 - Tentativi a Berlino e a Cambridge di interpretare lo spettro composto

**Il gruppo di Cambridge era fortemente interessato a costruire un modello fisico del nucleo.**

**Gli elettroni prodotti dagli emettitori alfa sono secondari, ovvero provengono da elettroni esterni al nucleo. Lo stesso sarebbe quindi potuto accadere con emettitori beta, così che restava la domanda: quali linee dello spettro beta sono prodotte dai primari e quali dai secondari? Lei riteneva che Chadwick vedeva uno spettro continuo semplicemente perché il suo apparato mancava della necessaria risoluzione in energia per individuare le singole linee. Inoltre rimarcava che un sistema quantizzato come il nucleo atomico era improbabile che emettesse uno spettro continuo. Charles Ellis e William Wooster non erano d'accordo con la Meitner e pensavano che lo spettro continuo fosse primario, anche se restava l'enigma di come il processo beta, che rappresenta la transizione fra due nuclei ben definiti, non rilasciasse una ben definita quantità di energia.**

**Alcuni, come la Meitner, proponevano una perdita di energia, ma Ellis e Wooster contestavano che il meccanismo da lei proposto per la perdita di energia (Compton, bremstrahlung, e scattering da elettroni atomici) non poteva quantitativamente rendere conto di tale perdita.**

# Ellis e Wooster: l'energia si conserva



- Se un nucleo A si trasforma in un nucleo B con emissione di un elettrone, secondo la legge di conservazione dell'energia e dell'impulso, l'energia dell'elettrone deve essere approssimativamente uguale alla differenza tra le masse del nucleo iniziale e finale ( $M_A - M_B$ ). Tuttavia negli esperimenti si osservava uno spettro continuo di energie che arrivava circa fino a un massimo  $E_0 \approx M_A - M_B$ .

Ellis e Wooster, 1925: “Noi riteniamo che l'energia si conservi esattamente in ciascuna disintegrazione, poiché se dovessimo considerare che l'energia si conserva solo statisticamente non ci sarebbero più difficoltà nello spettro beta continuo. *Ma una spiegazione di questo tipo sarebbe giustificata soltanto nel caso di fallimento di qualsiasi altro tentativo e sebbene si possa tenerla presente come una possibilità estrema, pensiamo che sia meglio non*

# Ellis e Wooster, 1927: lo spettro primario è lo spettro continuo

• Misurarono l'effetto di riscaldamento prodotto quando un numero noto di atomi si disintegra all'interno di un calorimetro, le cui pareti sono così spesse che tutti i raggi beta ne siano bloccati. Usarono elettroni beta da radio E, per determinare l'energia di disintegrazione media di questi elettroni. Il risultato fornì un eccellente accordo con l'energia media delle particelle beta valutata in base allo spettro continuo e completamente incompatibile con il valore di previsto in base all'assunzione che tutti gli elettroni avessero la stessa energia di disintegrazione al momento dell'emissione. Se lo spettro energetico era effettivamente continuo, l'energia media ottenuta da misure calorimetriche doveva uguagliare l'energia media ottenuta con altri metodi, ionizzazione inclusa. Se invece lo spettro primario era monoenergetico e lo spettro continuo osservato era dovuto a perdite energetiche di origine sconosciuta, allora l'energia media misurata con metodi calorimetrici doveva essere almeno grande quanto l'energia massima dello spettro continuo osservato. Perché dunque molti elettroni emergevano dal nucleo con un'energia inferiore rispetto all'energia massima? Era possibile che l'energia non fosse conservata nel corso del decadimento beta?

# Meitner e Ellis controversia e consenso

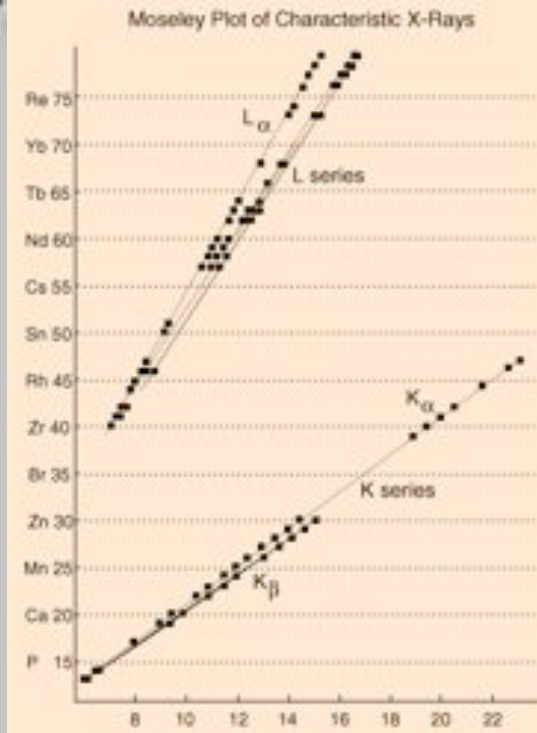


**Meitner a Ellis, 14 febbraio  
1928:**

***“Abbiamo verificato i vostri  
risultati completamente. Mi  
sembra ora che non possa  
sussistere dubbio alcuno che  
voi foste completamente  
corretti nell’assumere che le  
radiazioni beta primarie sono  
non omogenee. Ma non  
capisco minimamente il  
significato di questo risultato”***

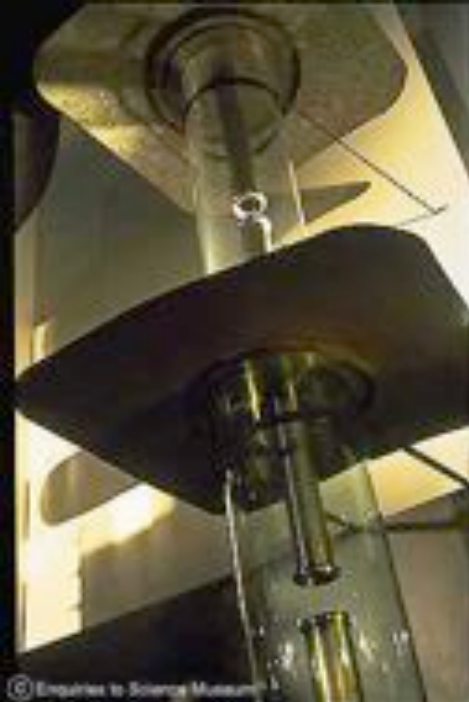
# Nuovi trabocchetti: i modelli nucleari

- **1909** Lo scattering con le alfa su vari elementi mostra deflessioni a grande angolo (Geiger e Marsden)
- **1911** Modello di atomo nucleare secondo Rutherford
- **1913** Bohr propone il primo modello dell'atomo di idrogeno che riesce a spiegare lo spettro di righe
- Vengono riconosciuti gli isotopi (Soddy e poi lavoro di Aston con lo spettrografo di massa) e diviene chiaro che il numero atomico e la carica nucleare sono due parametri indipendenti (van der Broek). Lavoro di Moseley. Van der Broek propone che particelle alfa ed elettroni siano i costituenti del nucleo.
- **1914** Rutherford: "It is to be anticipated that the helium atom [la particella alfa] contains four positive electrons [particelle H] and two negative".
- **1915-1919** Vengono proposti numerosi modelli nucleari. Tutti

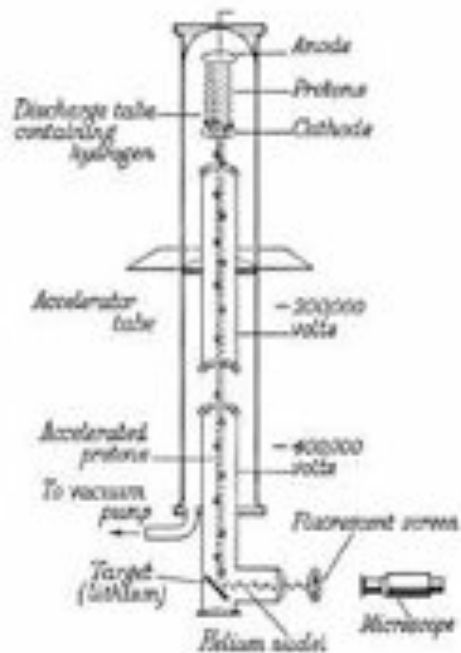


# Energia di legame

- **1905:** Einstein deriva per la prima volta l'equazione  $E=mc^2$ : *“Non è da escludere che si possa concepire un test della teoria per corpi il cui contenuto di energia altamente variabile (come per esempio nel caso dei sali di radio)”*.
- **1906:** Planck attira l'attenzione sul fatto che un sistema legato deve pesare meno che la somma dei suoi costituenti.
- **Pauli, 1921:** *“Forse il teorema dell'equivalenza della massa ed energia potrà essere verificato in una data futura attraverso osservazioni sulla stabilità dei nuclei”*.
- Fino al 1932, in base all'ipotesi di elettroni nel nucleo, non si poteva fare altro che scrivere la seguente formula per la massa di una specie isotopica X (dove B è l'energia di legame del nucleo):  $m_X = Am_H + (A - Z)m_e - B/c^2$ .
- Mentre la formula corretta,  $m_X = Zm_p + (A - Z)m_n - B/c^2$  consentì nel **1932** la valutazione dell'energia di legame della molecola  $H^2$ .



© Emplacements to Science Museum

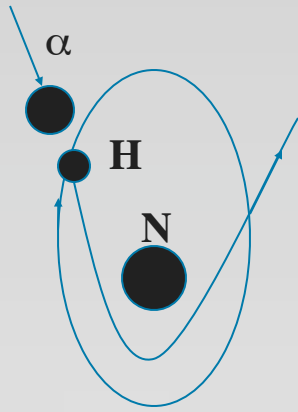
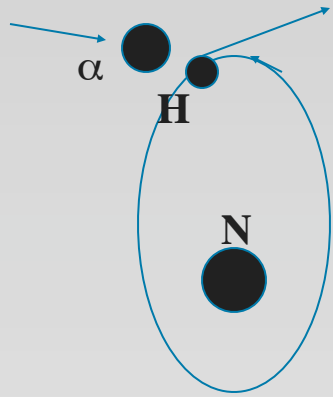


# Il “doppietto neutro” di Rutherford

- **1919** Rutherford e collaboratori trovano che il bombardamento con particelle alfa del nucleo di azoto dava origine a particelle secondarie penetranti, “probabilmente atomi di idrogeno”.
- **1920** Nel corso della Bakerian Lecture davanti alla Royal Society di Londra (“Nuclear Constitution of Atoms”) Rutherford concludeva che i nuclei di idrogeno, di lì a poco denominati protoni, dovevano essere i costituenti fondamentali dei nuclei insieme agli elettroni e alle particelle alfa. All’epoca Rutherford era convinto dell’esistenza di una combinazione formata da tre protoni e un elettrone. Nel corso della conferenza fece la congettura che “*sembra molto probabile che un elettrone possa legare due nuclei di idrogeno e forse anche un solo nucleo*”. Riteneva che quest’ultima fosse una combinazione a legame molto forte, “*una sorta di doppietto neutro*”. Questa combinazione fu subito chiamata neutrone.

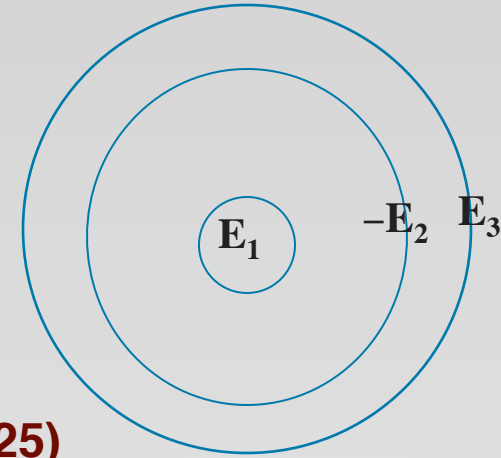
Col tempo i modelli nucleari di Rutherford si faranno sempre più macchinosi.

# Il modello dei satelliti di Rutherford



“...a complex system consisting of a charged central core surrounded by a satellite distribution of positive and negative charges.”

(Rutherford e Chadwick, 1925)



“We may consequently form the following picture of a radioactive nucleus, and of heavy nuclei in general. At the centre is a positively charged nucleus of very small dimensions, of radius about  $1 \times 10^{-12}$  cm. This is probably a compact and well ordered structure of helium nuclei and electrons. In the region between about  $1 \times 10^{-12}$  cm and  $1.5 \times 10^{-12}$  cm positively charged satellites may circulate in orbits controlled largely by the attractive forces due to the distortion of the central nucleus by the charged satellites. Outside this part and extending to a distance of at least  $6 \times 10^{-12}$  cm, there is a region occupied by neutral satellites circulating in orbits controlled mainly by the electric field from the central nucleus”. (E. Rutherford, *Structure of radioactive atoms and the origin of the rays*, Convegno di Como, 1927).

# Alle soglie di grandi cambiamenti

Il 7 febbraio 1929 Rutherford apre la “Discussione sulla struttura dei nuclei atomici” alla Royal Society elencando le principali acquisizioni degli ultimi 15 anni:

1. La prova della costituzione isotopica degli elementi
2. Il lavoro sulla trasmutazione artificiale degli elementi
3. Progressi nella spettroscopia a raggi gamma
4. La deviazione, dalla legge di scattering “alla Rutherford” particolarmente nel caso di nuclei leggeri, osservata da tempo. Rutherford menziona l’interpretazione del decadimento alfa come penetrazione di una barriera di potenziale di altezza finita (Gamow, Gurney e Condon).



**Nemmeno una parola sul decadimento beta.**

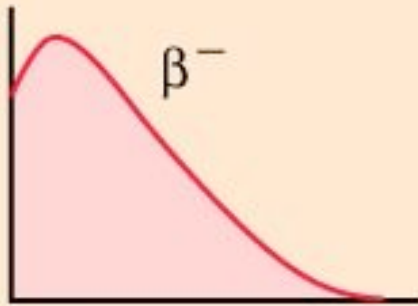
Nel 1931 Gamow pubblica il primo libro sulla fisica nucleare scritto da un fisico teorico, *Constitution of Atomic Nuclei and Radioactivity*. Nella prima pagina definisce il suo modello di nucleo:

*“In accordo con i concetti della fisica moderna assumiamo che tutti i nuclei siano costituiti da particelle elementari - protoni ed elettroni”.*  
*“Le usuali idee della meccanica quantistica falliscono completamente nella descrizione del comportamento degli elettroni nucleari”.*

# L'era dei paradossi

La nuova meccanica quantistica si confronta con il nucleo. Emergono una serie di paradossi, ciascuno conseguenza della supposizione che gli elettroni siano costituenti del nucleo:

- Confinamento degli elettroni nel nucleo
- Spin e statistica nucleare:  
“la catastrofe dell’azoto”
- Momento magnetico del nucleo
- Paradosso di Klein



Tutti questi paradossi andavano di pari passo con il mistero parallelo: perché gli spettri beta sono continui?

**Nel periodo 1929-1933 i fisici sono alla ricerca di una cura per due problemi: lo spettro continuo del decadimento beta e la struttura del nucleo.**

# La parola ai teorici: le inquietudini di Bohr

Febbraio 1929

**Bohr a Fowler:** *“Di recente ho riflettuto molto sulle possibili limitazioni ai teoremi di conservazione nella teoria quantistica relativistica”.*

**Pauli a Oskar Klein:** *“Con le sue considerazioni riguardo a una possibile violazione della conservazione dell'energia, Bohr si è messo su una strada completamente sbagliata”*

**Pauli a Bohr:** *“Hai intenzione di maltrattare ancora per molto la povera legge dell'energia?”*

Novembre 1929

**Rutherford a Bohr:** *“Ho sentito dire che sei sul sentiero di guerra [...] Attenderò prima di esprimere un'opinione, anche se la mia impressione è sempre che ci sono più cose in Cielo e in Terra di quante ne sogni la tua filosofia”.*

1° luglio 1929

**Bohr a Pauli:** *“Il decadimento beta non si colloca fuori della meccanica quantistica?”.*

**Debye:** la crescente evidenza a favore della distribuzione continua in energia degli elettroni primari emessi nel decadimento beta era diventato un argomento *“di cui è meglio non parlare, come le nuove tasse”.*

**Dirac:** *“Preferirei mantenere la conservazione rigorosamente valida, costi quel che costi”.*

# Roma, 1931. Primo Convegno dedicato alla fisica nucleare

Gli elettroni confinati nel nucleo per giustificare fenomeni come il decadimento  $\beta$  e la diffusione anomala di raggi  $\gamma$  ed altri processi radiativi di alta energia sembravano perdere una serie di "diritti" ormai consolidati, come quello di essere dotati di spin.

*«Gli elettroni nucleari mostrano una incredibile passività», notava Bohr: «Siamo indotti a considerare la cattura o l'espulsione di un elettrone da parte di un nucleo semplicemente come la morte o la creazione, rispettivamente, dell'elettrone come entità meccanica. Non possiamo quindi sorprenderci se questi processi non dovessero obbedire a principi come le leggi di conservazione dell'energia e dell'impulso, la cui formulazione si basa essenzialmente sull'idea di particelle materiali». (N. Bohr, Atomic Stability and Conservation Laws).*





## Un “rimedio disperato”

«Care Signore e Signori radioattivi,

*sono giunto a una disperata via di uscita [...] per salvare la legge della statistica e la legge dell'energia. Vale a dire la possibilità che possano esistere nel nucleo particelle elettricamente neutre, che chiamerò neutroni, che hanno spin  $1/2$  e soddisfano il principio di esclusione [...] La massa dei neutroni dovrebbe essere dello stesso ordine di grandezza della massa degli elettroni [...] Lo spettro  $\beta$  continuo diventerebbe allora comprensibile assumendo che nel decadimento  $\beta$  un neutrone venga emesso insieme all'elettrone, in modo che la somma delle energie del neutrone e dell'elettrone rimanga costante. Non oso per ora pubblicare nulla su questa idea e mi rivolgo a voi confidenzialmente, cari radioattivi, con la domanda di come si possa fornire la prova sperimentale di questo neutrone, nel caso dovesse avere un potere di penetrazione uguale o circa dieci volte maggiore rispetto a quello di un raggio  $\gamma$ . [...] Ammetto che la mia via di uscita può apparire piuttosto improbabile a priori poiché se questi neutroni esistono li avremmo forse già visti da tempo. Ma solo chi osa riesce vincitore...» (Pauli ai fisici riuniti a Tübingen, 4 dicembre 1930)*

# Possible Existence of a Neutron

Il 17 febbraio 1932 Chadwick invia a *Nature* una nota in cui propone la seguente reazione nucleare  $\alpha$ -Be.



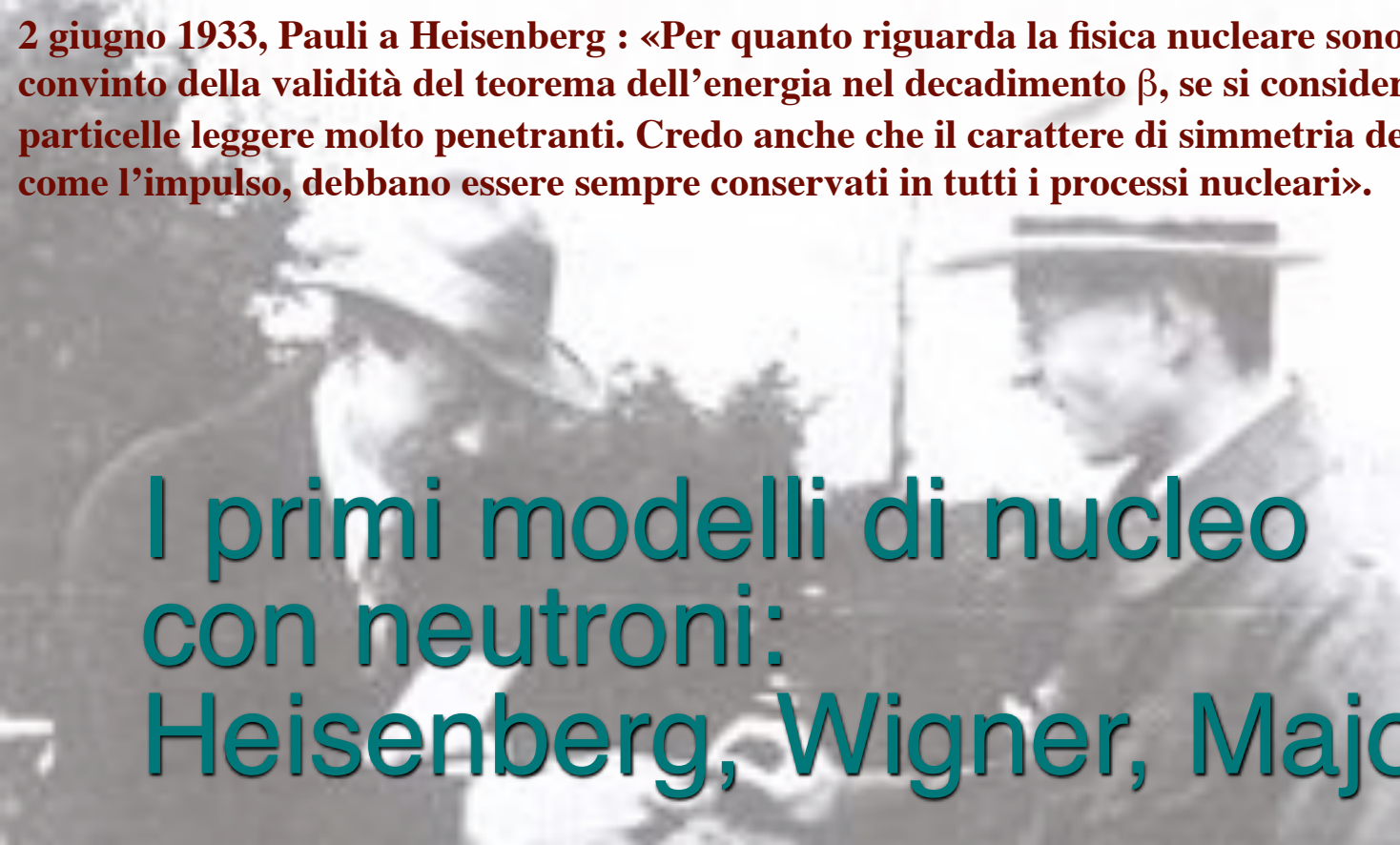
Chadwick osserva che il neutrone ha una massa approssimativamente uguale alla massa del protone.



“Il neutrone può essere descritto come un piccolo dipolo o, meglio, come un protone immerso in un elettrone”.



**2 giugno 1933, Pauli a Heisenberg : «Per quanto riguarda la fisica nucleare sono tuttora fortemente convinto della validità del teorema dell'energia nel decadimento  $\beta$ , se si considera l'emissione di altre particelle leggere molto penetranti. Credo anche che il carattere di simmetria dell'intero sistema, così come l'impulso, debbano essere sempre conservati in tutti i processi nucleari».**



# I primi modelli di nucleo con neutroni: Heisenberg, Wigner, Majorana

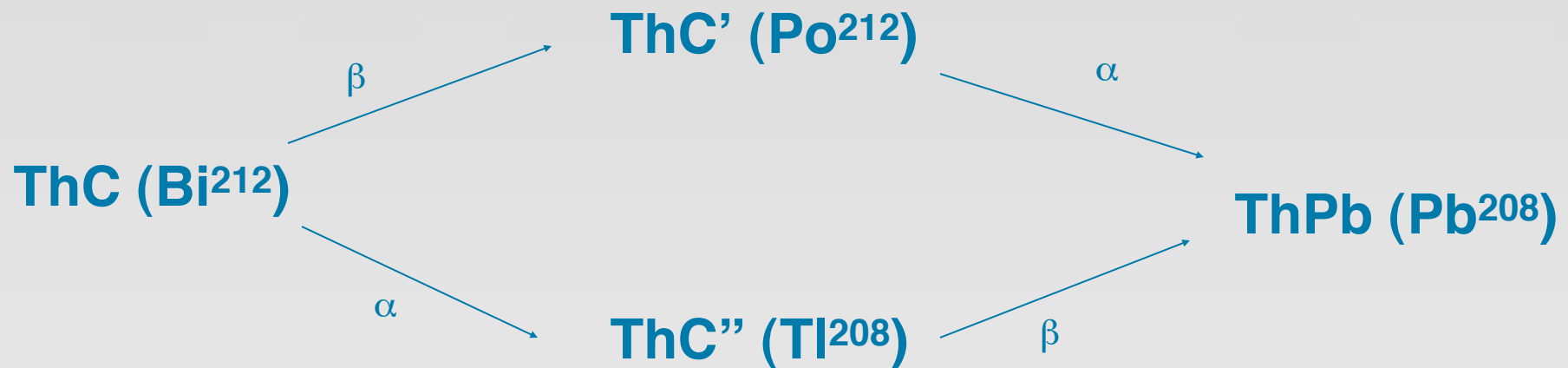
**Gli elettroni diventano ospiti imbarazzanti nel nucleo, ma nonostante la scoperta del neutrone non significa che subito venga messo da parte il modello  $e-p$ . Ancora è difficile rinunciare all'idea che nei processi beta gli elettroni vengano fuori dai nuclei se non si trovano già là.**

**Nonostante la natura puramente fenomenologica di questi primi modelli di nucleo dopo la scoperta del neutrone il soggetto era ormai abbastanza lanciato. Tuttavia rimaneva il mistero non risolto dell'origine dinamica del decadimento  $\beta$ .**

# Ellis e Mott: qualcosa si conserva nel decadimento beta!

**Maggio 1933** “Facciamo la nuova assunzione che EP-EQ sia uguale al limite superiore dello spettro beta...”. Con questa supposizione Ellis e Mott considerano la serie del torio.

Aggiungendo l'energia massima dello spettro beta all'energia monocromatica delle alfa trovano una sostanziale uguaglianza tra la differenza di energia ThC - ThPb calcolata attraverso i due processi di



**Giugno 1933**, Pauli a Heisenberg: “Ancora una volta credo fermamente nella legge dell'energia”.

**Luglio 1933**, “a Bruxelles insisterò sul fatto che *un neutrone non può mai decomporsi...in un elettrone e in un protone*”.

# 22-29 ottobre 1933 VII Convegno Solvay



**“Così, durante il convegno Solvay sui nuclei atomici, a Bruxelles nell’ottobre 1933, ebbe luogo una chiarificazione generale...Ormai era evidente che, sulla base di questa concezione della struttura nucleare, i neutrini, come ora venivano chiamati, dovevano essere fermioni per conservare la statistica nel decadimento beta. Inoltre Ellis ci mise al corrente di un nuovo esperimento effettuato dal suo studente W. J. Henderson, che stabiliva un limite superiore netto allo spettro beta e ne consolidava la sua interpretazione. Alla luce delle nuove circostanze, le mie precedenti precauzioni nel differire la pubblicazione ora apparivano non necessarie. Alla fine della relazione di Heisenberg comunicai le mie idee sul neutrino”.**

Bonolis AIF 2004

