

Część 2

Fizyka jądra atomowego i cząstek elementarnych

- 1912 Hess - promieniowanie kosmiczne
- 1913 Soddy - izotopy
- 1913 Van den Broek - liczba atomowa = ładunek jądra Z
- 1914-1932 różne elektronowo-protonowe modele jądra
- 1914 Chadwick - ciągłe widmo elektronów w rozpadzie β
- 1919 Rutherford: $\alpha + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^1\text{H} + {}^{17}\text{O}$ (interpretacja późniejsza)
- 1930 Pauli - hipoteza neutrino
- 1932 Anderson - pozyton
- 1932 Chadwick - neutron
- 1932 Iwanienko, Heisenberg - model protonowo-neutronowy jądra
- 1932 Lawrence - cyklotron 1 MeV
- 1932 Cockcroft i Walton: $p + {}^7\text{Li} \rightarrow \alpha + \alpha$
- 1934 Irène i Frederick Joliot-Curie - sztuczna promieniotwórczość
- 1934 Fermi - teoria rozpadu β
- 1934 Fermi et al. - promieniotwórczość wywołana przez neutrony
- 1935 Yukawa - propozycja „mezonów”
- 1936 Anderson i Neddermeyer – „mezon” (μ)
- 1938 Hahn i Strassmann - rozszczepienie jądra uranu
- 1947 Powell et al. - mezon π
- 1947 Rochester i Butler - cząstki V

Szeregi promieniotwórcze

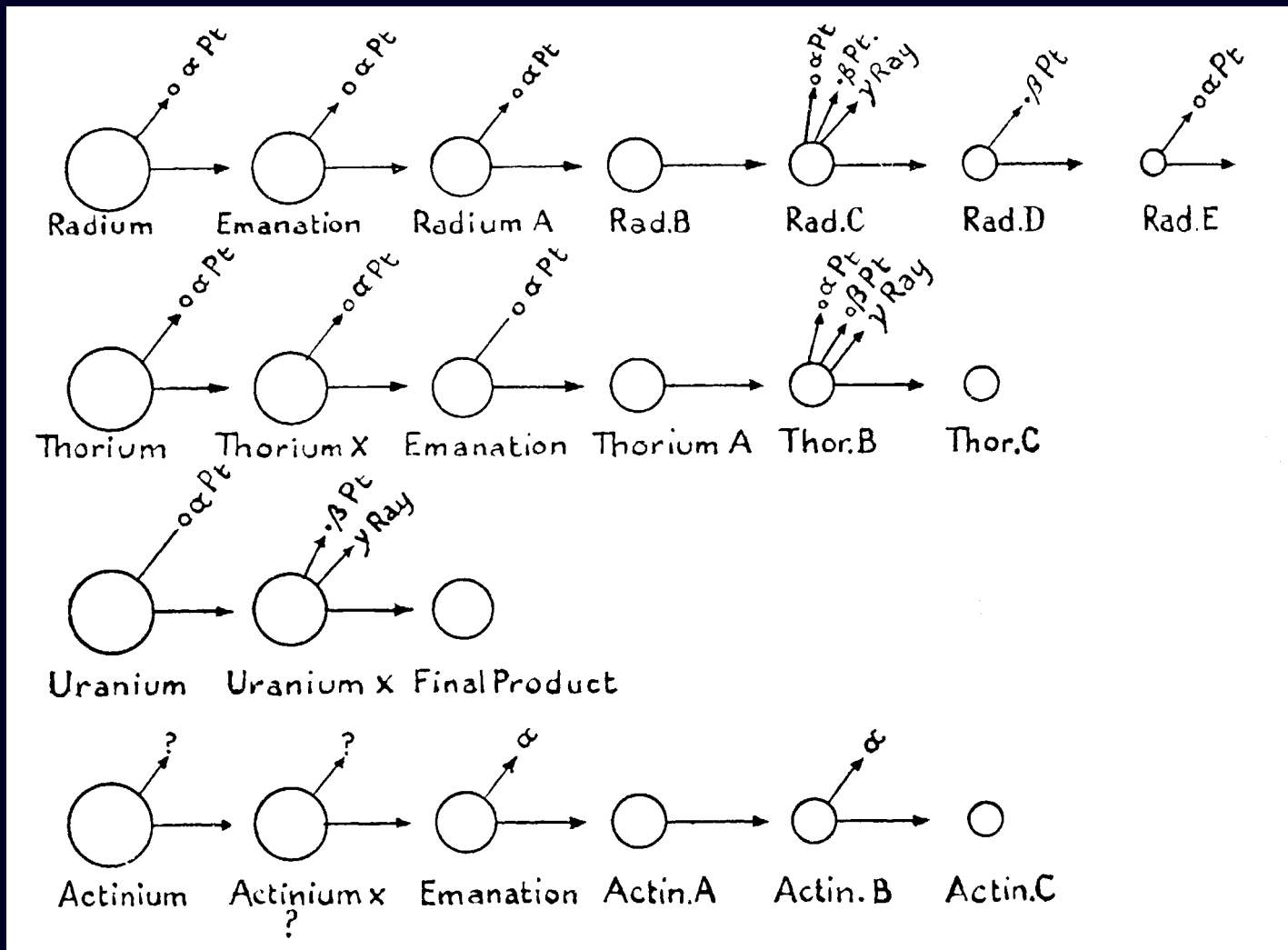
uran $\rightarrow$ uran X $\rightarrow$?

tor $\rightarrow$ tor X $\rightarrow$ emanacja toru $\rightarrow$ tor I $\rightarrow$ tor II $\rightarrow$?

rad $\rightarrow$ emanacja radu $\rightarrow$ rad I $\rightarrow$ rad II $\rightarrow$ rad III $\rightarrow$?

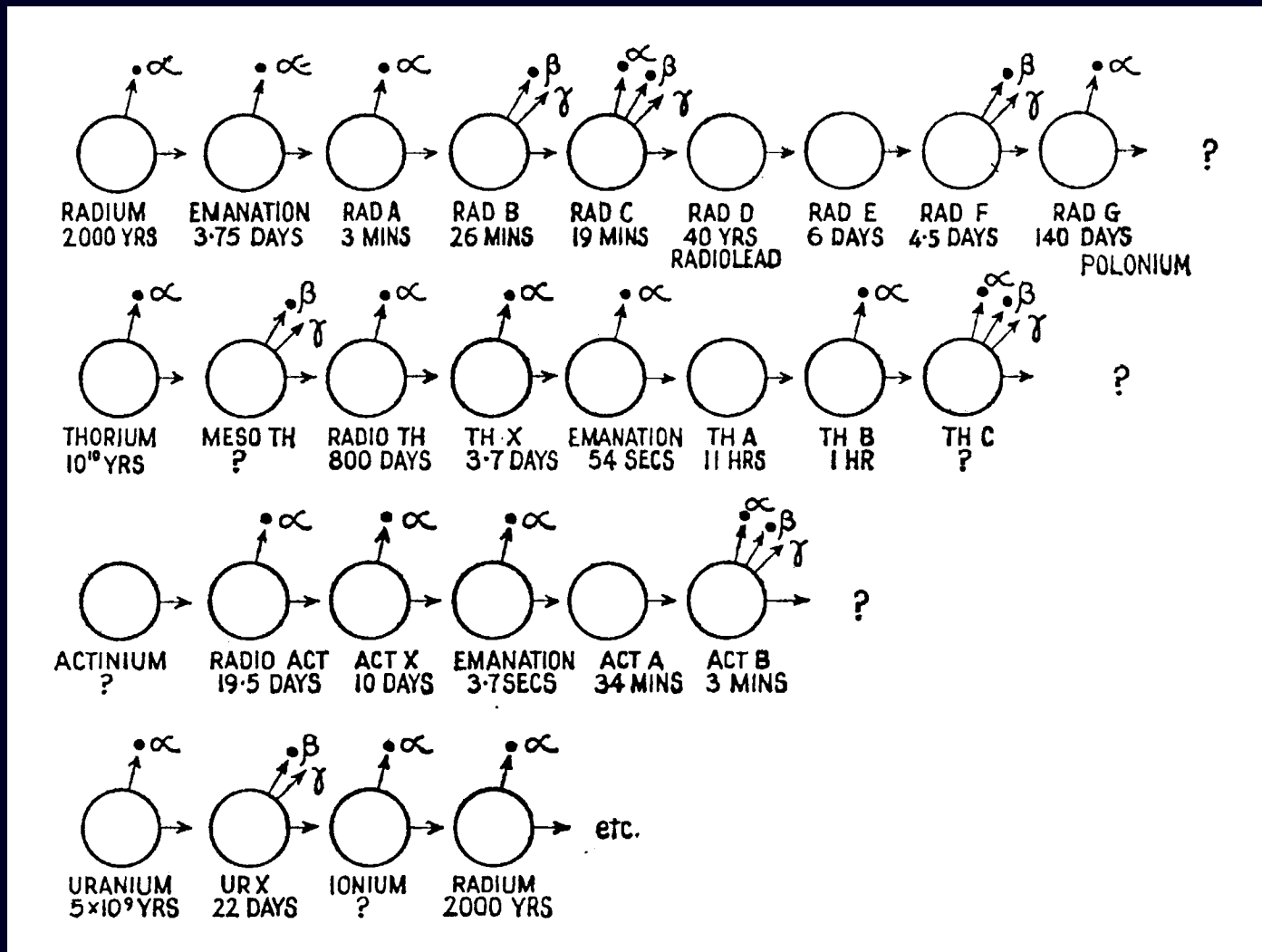
Rutherford i Soddy (1902)

Szeregi promieniotwórcze

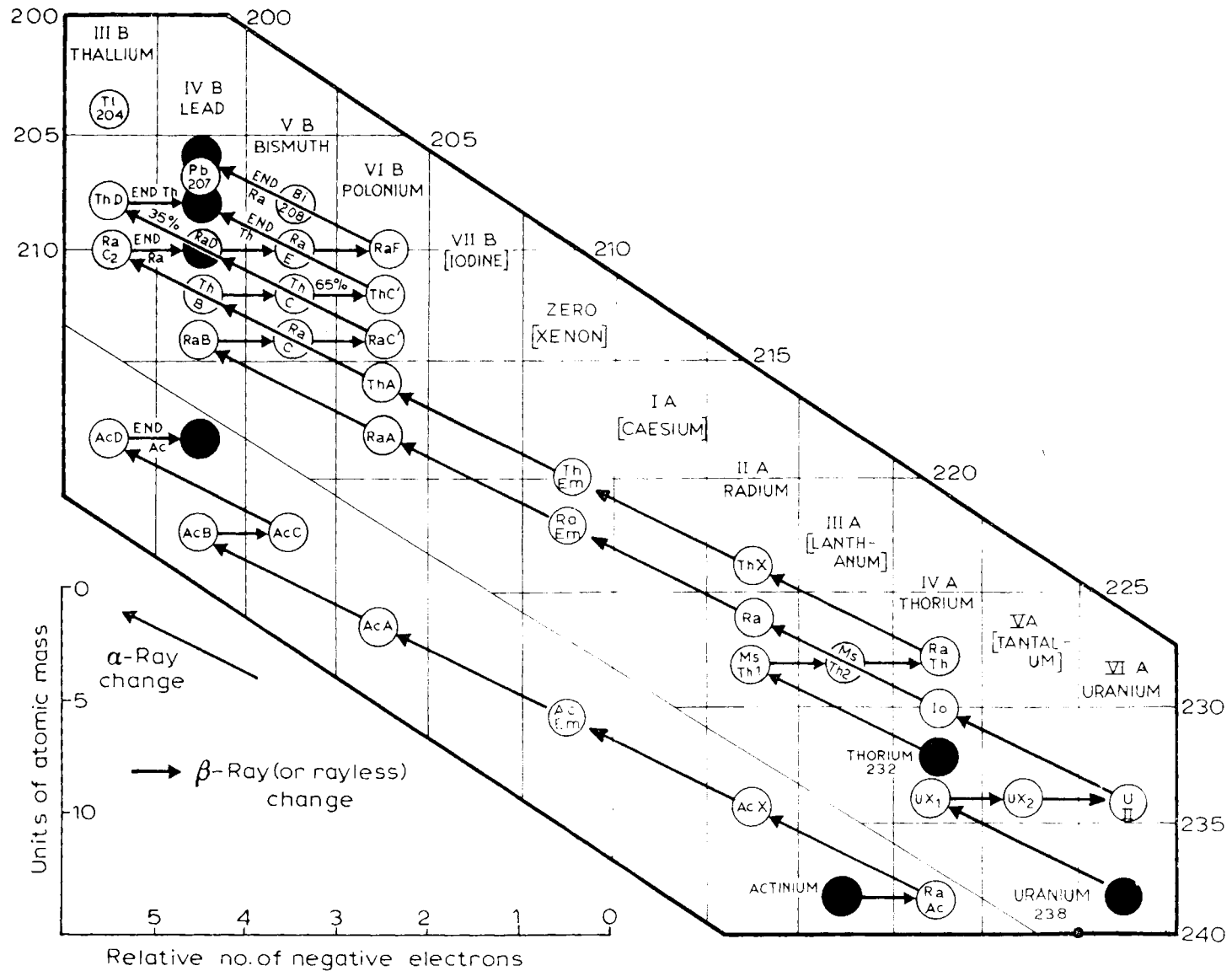


Rutherford (1904)

Szeregi promieniotwórcze



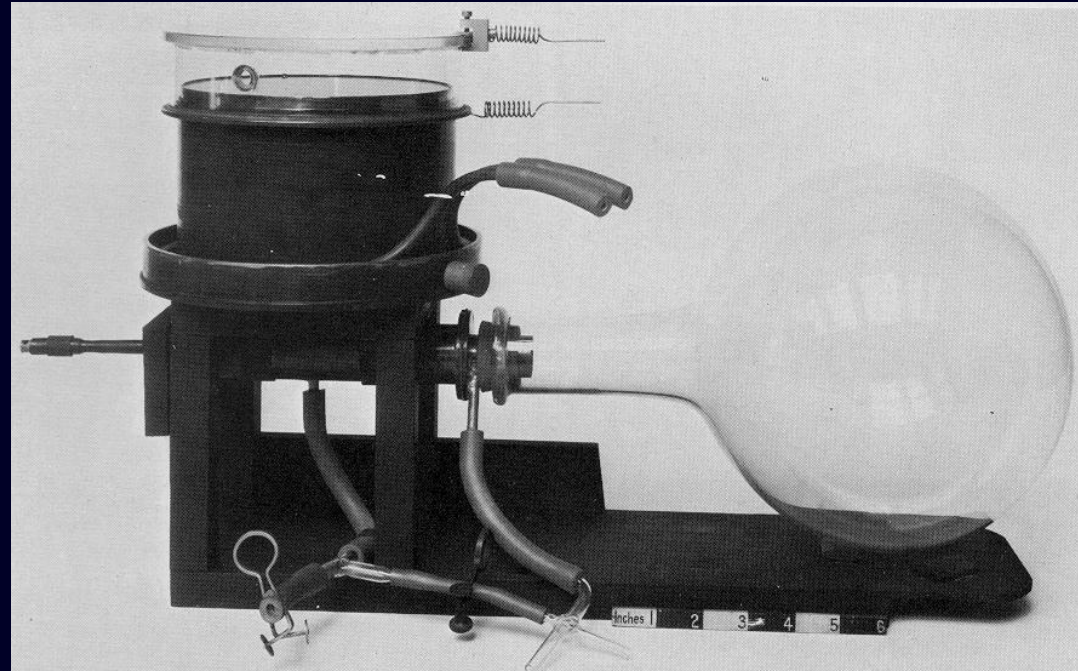
Rutherford (1908)



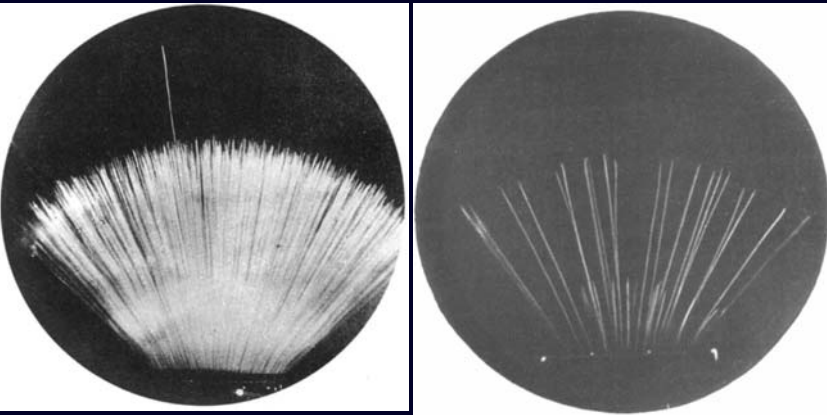
Soddy (1913)



Charles T. R. Wilson (1869 - 1959)



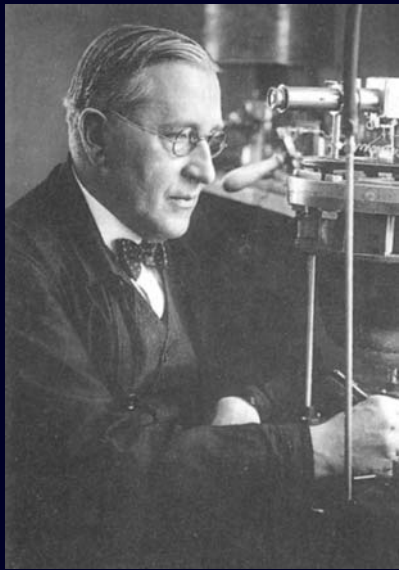
Pierwsza komora Wilsona



Tory cząstek α
ze źródła promieniotwórczego

Promieniowanie kosmiczne

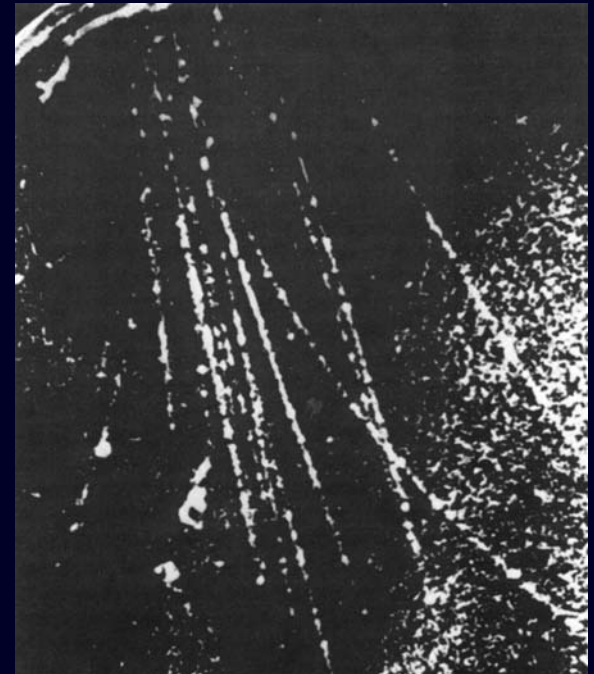
- Odkryte w sierpniu 1912 r. przez Hessa w locie balonem (ponad 5000 m)
- Potwierdzone w latach 1913-1919 przez Kohlhörstera w lotach balonowych (ponad 9000 m)
- Początkowo traktowane jako „*Ultragamastrahlung*”, aż do czasu ogłoszenia wyników badań metodą koincydencji (Bothe i Kohlhörster, 1929; Rossi, 1929), odkrycia asymetrii wschodnio-zachodniej i fotografii z komory Wilsona pokazującej „ulewy” (Blackett i Occhialini, 1933)



**Victor Hess
(1883 - 1964)**

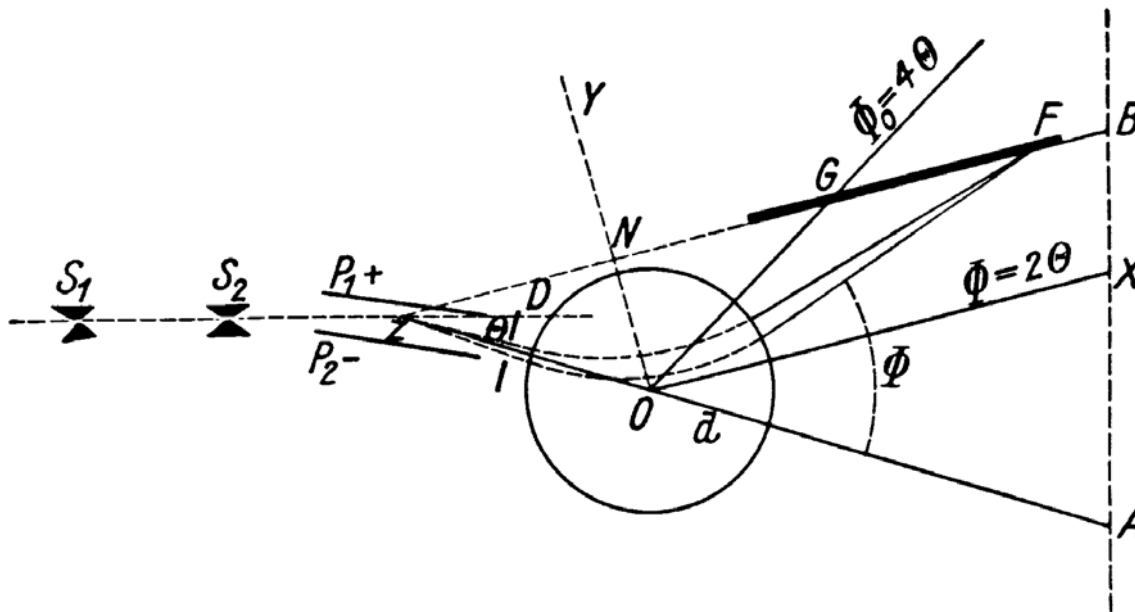


Lądowanie Hessa w 1912 r.

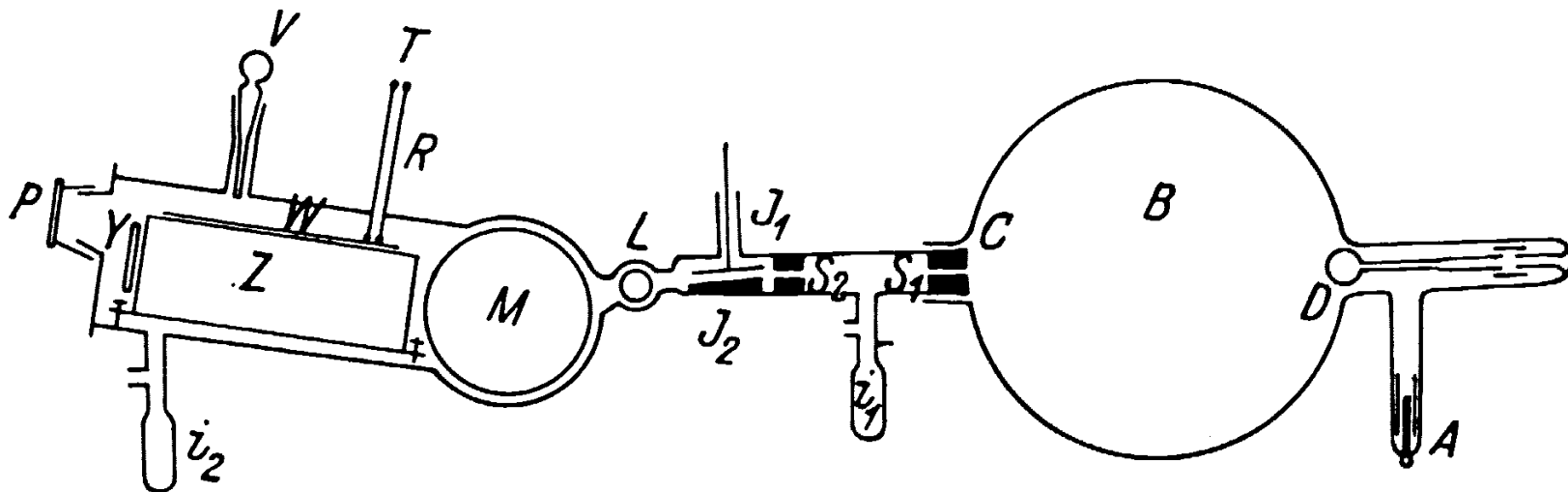


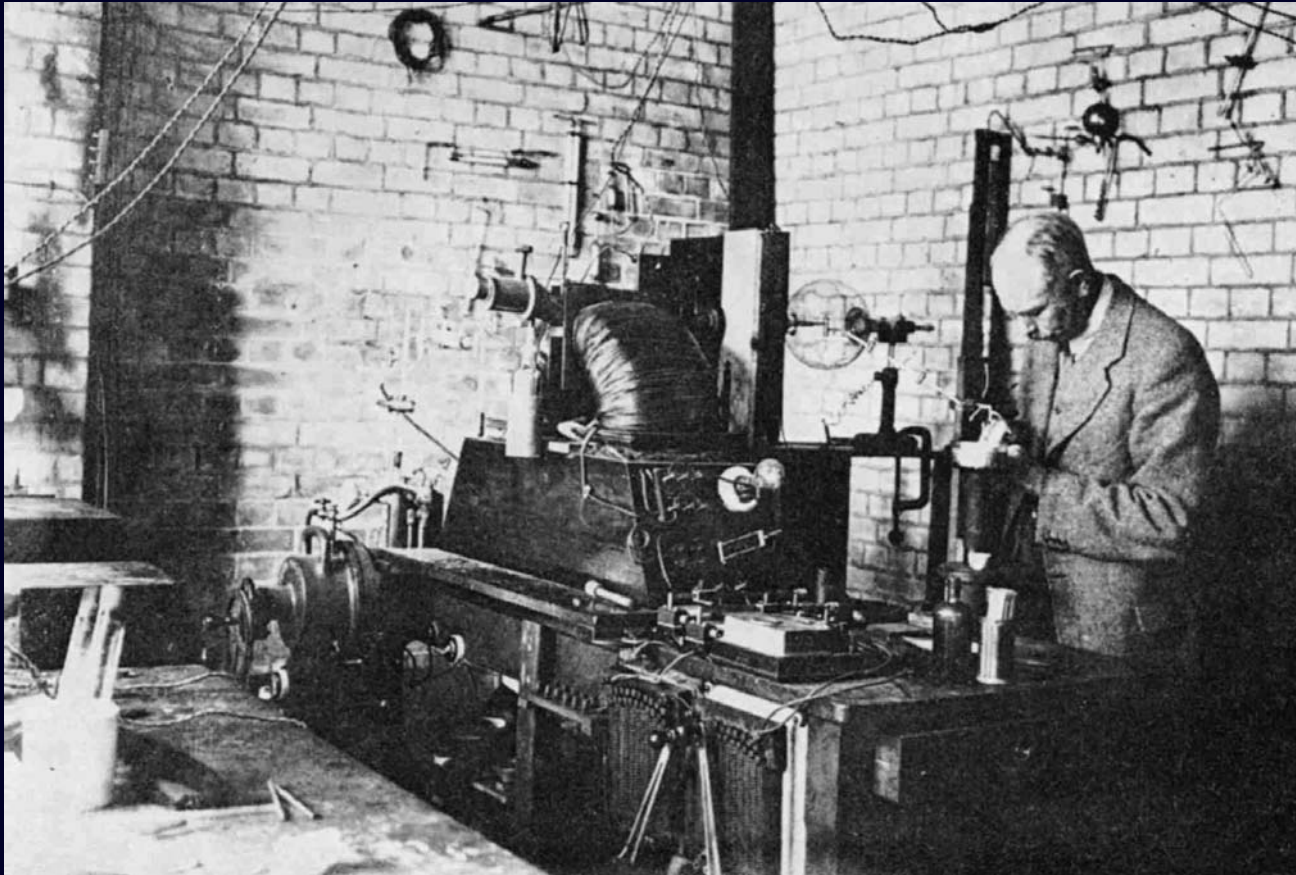
**„Ulewa” kosmiczna na zdjęciu
Blacketta i Occhialiniego**

Badanie izotopów



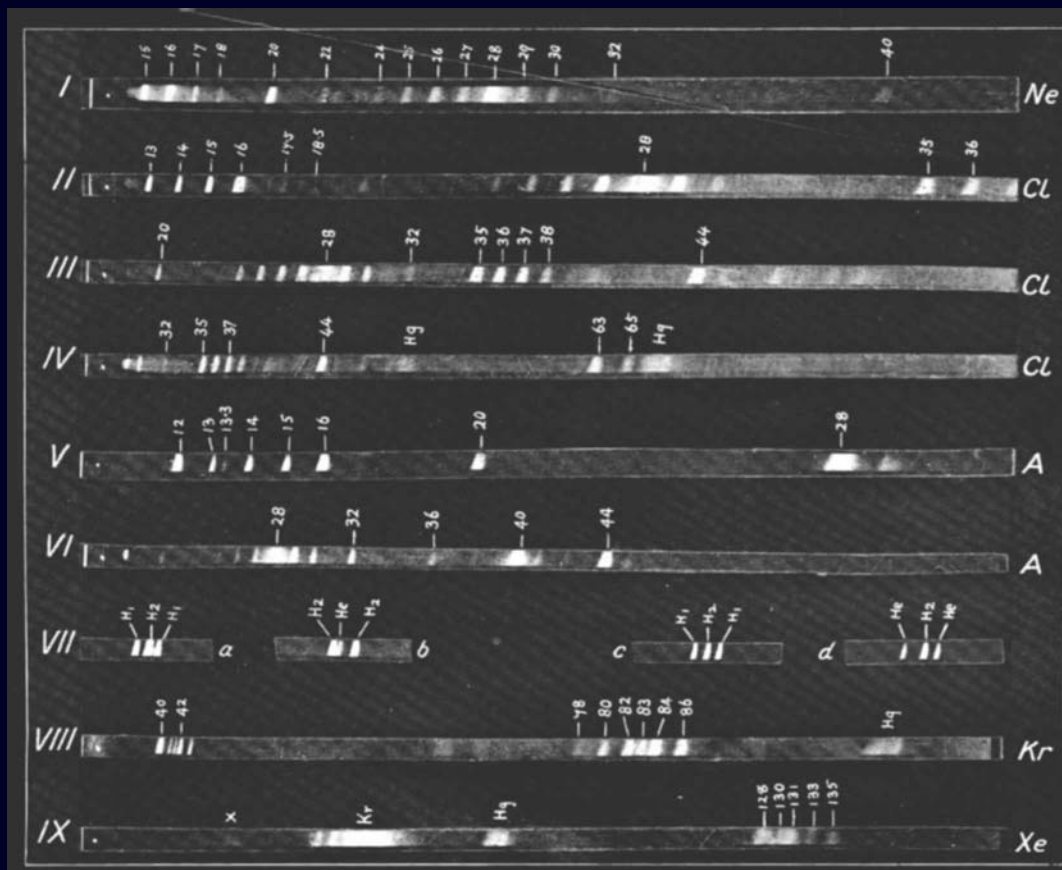
**Zasada działania
i schemat budowy
spektrometru mas
Astona**





Aston przy swoim spektrometrze mas (1920)

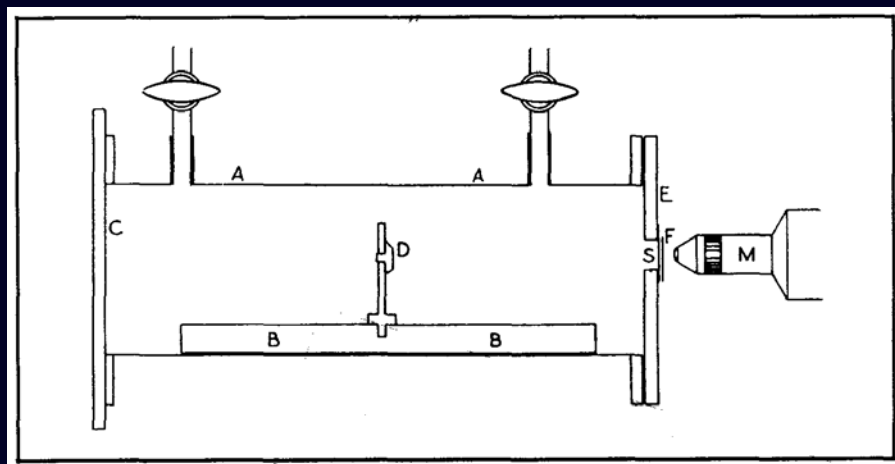
Wyniki uzyskane przez Astona w maju 1920 r.



„Niezwyczajnie małe rozmiary stwierdzone dla jądra wodoru potwierdzają sugestię, że jądro wodoru jest *elektronem dodatnim* i że jego masa jest całkowicie pochodzenia elektromagnetycznego. Według teorii elektromagnetycznej masa naładowanego ciała o kształcie sferycznym wynosi $2e^2/3a$, gdzie e jest ładunkiem, a a promieniem. Jeśli więc masę jądra wodoru mamy wyjaśniać w ten sposób, to musi mieć ono promień około $1/1830$ promienia elektronu. Nie ma obecnie żadnego faktu doświadczalnego, który przeczyłby temu założeniu. Jądro helu ma masę blisko cztery razy większą od masy jądra wodoru. Jeśli przypuszczamy, iż elektron dodatni, tj. atom wodoru, jest jednostką, z której zbudowane są wszystkie atomy, to należy się spodziewać, że atom helu zawiera cztery elektrony dodatnie i dwa ujemne.”

Ernest Rutherford, The Structure of the Atom, *Phil. Mag.* 27, 488 (1914)

Ernest Rutherford (1919)



Pierwsza obserwowana reakcja jądrowa

„Trudno jest uniknąć wniosku, że atomy o długim zasięgu, powstające w zderzeniu cząstek α z azotem, nie są atomami azotu, ale przypuszczalnie atomami wodoru, albo atomami o masie 2... Musimy dojść do wniosku, że atom azotu zostaje rozbity pod wpływem wielkich sił, które się pojawiają w wyniku zderzenia z szybką cząstką α i że atom wodoru, który się uwalnia, był składnikiem jądra azotu...”

Collision of α Particles with Light Atoms (Part IV), *Phil. Mag.* **37**, 581 (1919)

„Powinniśmy uważać jądro H za najprostsze, a jeśli byłby to elektron dodatni, to jego rozmiary byłyby niezmiernie małe w porównaniu z elektronem ujemnym...

Rozważając możliwą budowę pierwiastków naturalne jest przyjąć, że ich ostatecznymi składnikami są jądra wodoru i elektrony. Przyjmując ten punkt widzenia traktuje się jądro helu jako złożone z czterech jąder wodoru i dwóch elektronów ujemnych, o całkowitym ładunku równym dwie jednostki...

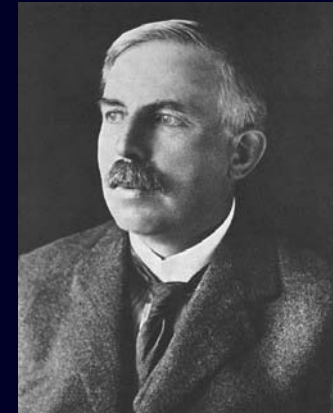
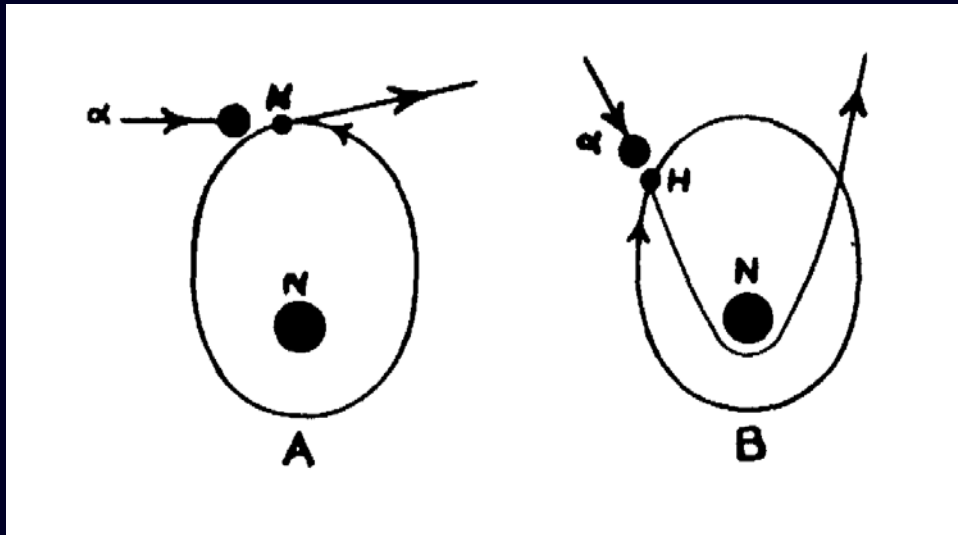
Wykazaliśmy, że cząstki α wybijają z azotu i tlenu atomy o masie około 3, mające dwa ładunki dodatnie i jest naturalne przyjąć, że atomy te są niezależnymi jednostkami struktury gazów...

Przekonaliśmy się, że jako przypuszczalne jednostki budowy atomu zostały rozpoznane eksperymentalnie jądra trzech lekkich atomów, mianowicie



gdzie wskaźniki oznaczają masę pierwiastka.”

Ernest Rutherford, Bakerian Lecture (1920)



Model Rutherforda (1919) jądra azotu: dwa jądra wodoru, „satelity”, miały się znajdować w odległości około dwukrotnie większej niż promień elektronu (7×10^{-13} cm) od centrum głównego układu o masie 12. Padające cząstki α mogły wybijać te „satelity” w różnych punktach ich orbit.

Początkową interpretacją obserwowanej reakcji było zatem:



Ostateczna interpretacja $\alpha + {}^{14}\text{N} \rightarrow \text{H} + {}^{17}\text{O}$ została przyjęta dopiero po uzyskaniu fotografii reakcji w komorze Wilsona przez Blacketta (1925)

„Wyrzucenie z azotu atomu H niosącego pojedynczy ładunek powinno obniżyć masę o 1 i ładunek jądra o 1. Jądro pozostałe powinno więc mieć ładunek jądrowy 6 i masę 13 i być izotopem węgla. Jeżeli zostaje także wyrzucony ujemny elektron, to atom pozostały staje się izotopem azotu.

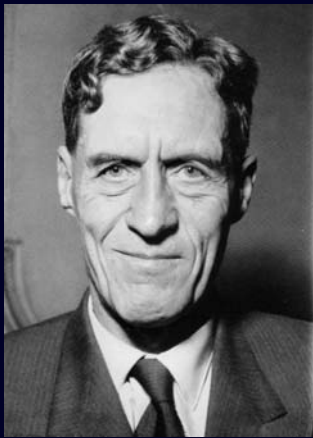
Wyrzucenie z azotu masy 3 niosącej dwa ładunki, przypuszczalnie zupełnie niezależne od emisji atomu H, obniża ładunek jądra o 2, a jego masę o 3. Pozostały atom powinien więc być izotopem boru o ładunku jądrowym 5 i masie 11. Jeśli zostaje także wyrzucony elektron, to pozostaje izotop węgla o masie 11...

Dane dostępne obecnie nie wystarczają do rozróżnienia między tymi możliwościami...”

Rutherford, Bakerian Lecture: *Nuclear Constitution of Atoms*, (3 VII 1920 r.)

W notacji
obecnej:

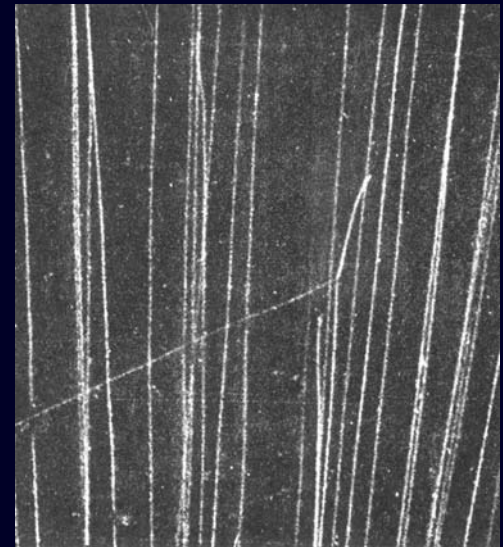


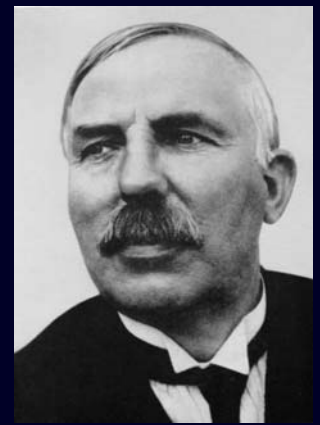


Ejection of Protons from Nitrogen Nuclei
- Photographed by the Wilson Method
Proc. Roy. Soc. **107**, 349 (1925)

P. M. S. Blackett

- 23000 fotografii
 - około 420 000 cząstek α
 - osiem „widełek”
- przedstawiających niewątpliwie
wyrzucenie protonu z jądra azotu



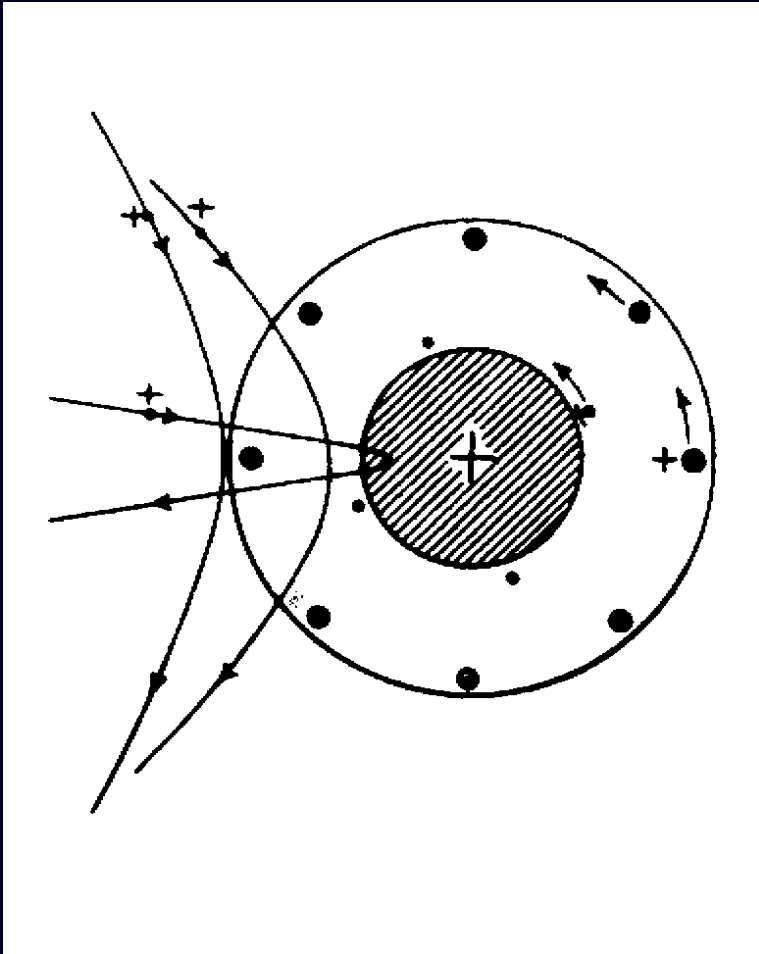


Komentarz Rutherforda na temat wyników Blacketta:

„...Widać wyraźnie cienki ślad protonu oraz jądra odrzutu, ale nie ma śladu trzeciego toru, którego byśmy oczekiwali jeśli cząstka α wylatuje po zderzeniu...

W 1923 r. Prof. W. D. Harkins i R. W. Ryan (*Journ. Amer. Chem. Soc.*, 45, 2095)... zarejestrowali fotografię zderzenia z torem cząstki α rozgałęziającym się w trzy wyraźne odnogi, co wskazywało na rozbitcie, w którym poza jądrem odrzutu pojawiły się dwie cząstki szybkie. Zwróciłem ostatnio uwagę na inną interesującą fotografię, otrzymaną przez M. Akiyame (*Jap. Journ. Phys.*, 2, p. 272, 1923), która także wykazuje trzy odnogi... Trudno jest oczywiście pogodzić te fotografie z ośmioma otrzymanymi przez Blacketta, w których nie było trzeciej odnogi... Jest oczywiste, że trzeba jeszcze wiele pracy w celu wyjaśnienia tych trudności...”

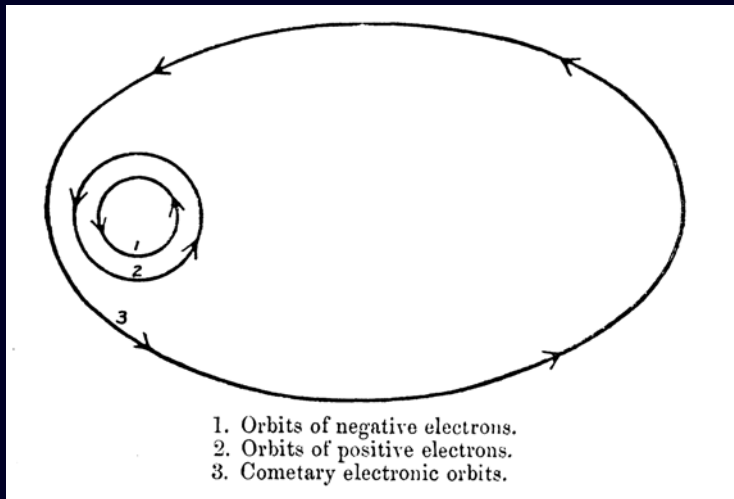
Nature **115**, 493 (1925)



Rozszerzenie (1925) modelu jądrowego Rutherforda zawierało „satelity” (ujemne elektrony i dodatnie protony), które tworzyły ciasno upakowane „duplety neutralne”.

Ten nowy model służył do wyjaśnienia tego, że uran emituje samorzutnie cząstki α o stosunkowo niskiej energii (o zasięgu 2,7 cm), podczas gdy cząstki α o większej energii (o zasięgu 6,7 cm) są przezeń rozpraszane. Emisja cząstek α małej energii była wyjaśniana jako wynik rozpadu ciasno upakowanych „satelitów”.

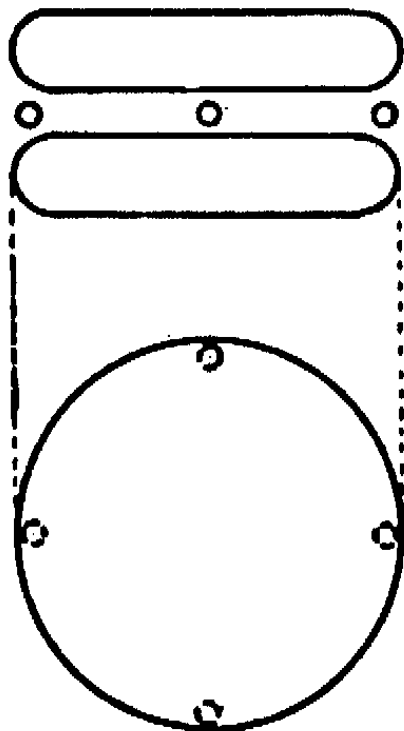
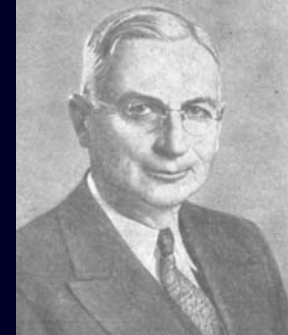
W 1927 r. Rutherford rozszerzył ten model ilościowo wykazując, że szereg linii promieniowania gamma można interpretować jako wynik przejść w takich „satelitach”. Nie zrezygnował z tego modelu nawet po podaniu przez Gamow kwantowej teorii rozpadu α (1928).



Alfred W. Stewart,
Phil. Mag. **36**, 326 (1918)

„W centrum struktury znajduje się grupa ujemnych elektronów poruszających się po zamkniętych orbitach, które dla prostoty możemy przyjąć za kołowe. Blisko tej ujemnej grupy znajduje się inna grupa orbit zajęta przez elektrony dodatnie, które w pewnych wypadkach są stowarzyszone z elektronami ujemnymi w sposób rozpatrzony później. Te orbity także można przyjąć za kołowe. Można przyjąć, za Rutherfordem, że ich największe średnice nie przekraczają 10^{-12} cm. Można założyć, że masa całego układu, tak jak w atomie Rutherforda, jest skupiona w tej części. Jeszcze dalej od centrum są elektrony poruszające się po orbitach eliptycznych, które są bardzo wydłużone, tak że te elektrony biegną po drogach podobnych do dróg komet w układzie słonecznym....”

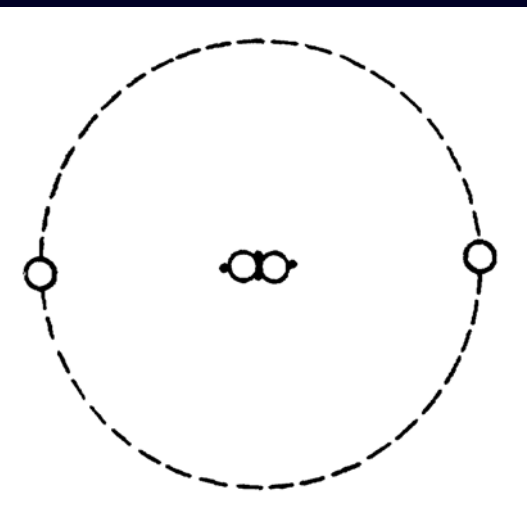
Model cząstki alfa zapropionowany przez Williama D. Harkinsa (1920)



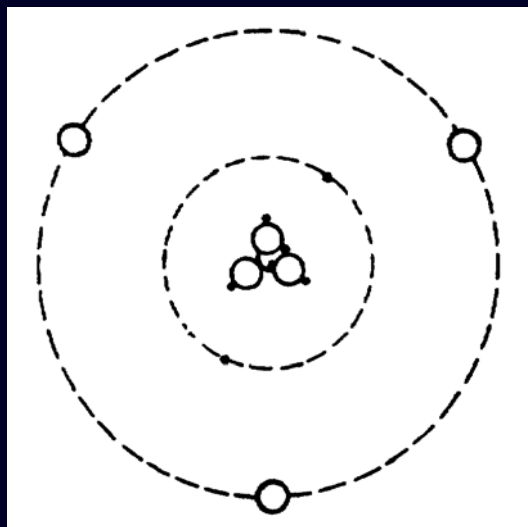
„Jądro helu składa się z dwóch ujemnych elektronów, które mają postać pierścieni lub dysków, albo sfer spłaszczonych do elipsoid. Te pierścienie lub dyski mają swe największe rozmiary prostopadłe do osi jądra i są daleko od siebie w stosunku do swych rozmiarów. Elektrony dodatnie są ustawione symetrycznie w wierzchołkach kwadratu między tymi dyskami i przy ich krawędziach.”

Phys. Rev. **15**, 73 (1920)

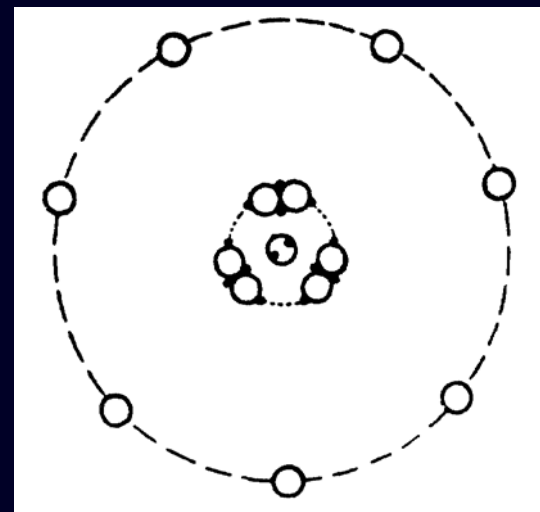
E. Gehrcke, *Ber. Deut. Phys. Ges.* 17, 779 (1919)



He



Li



N

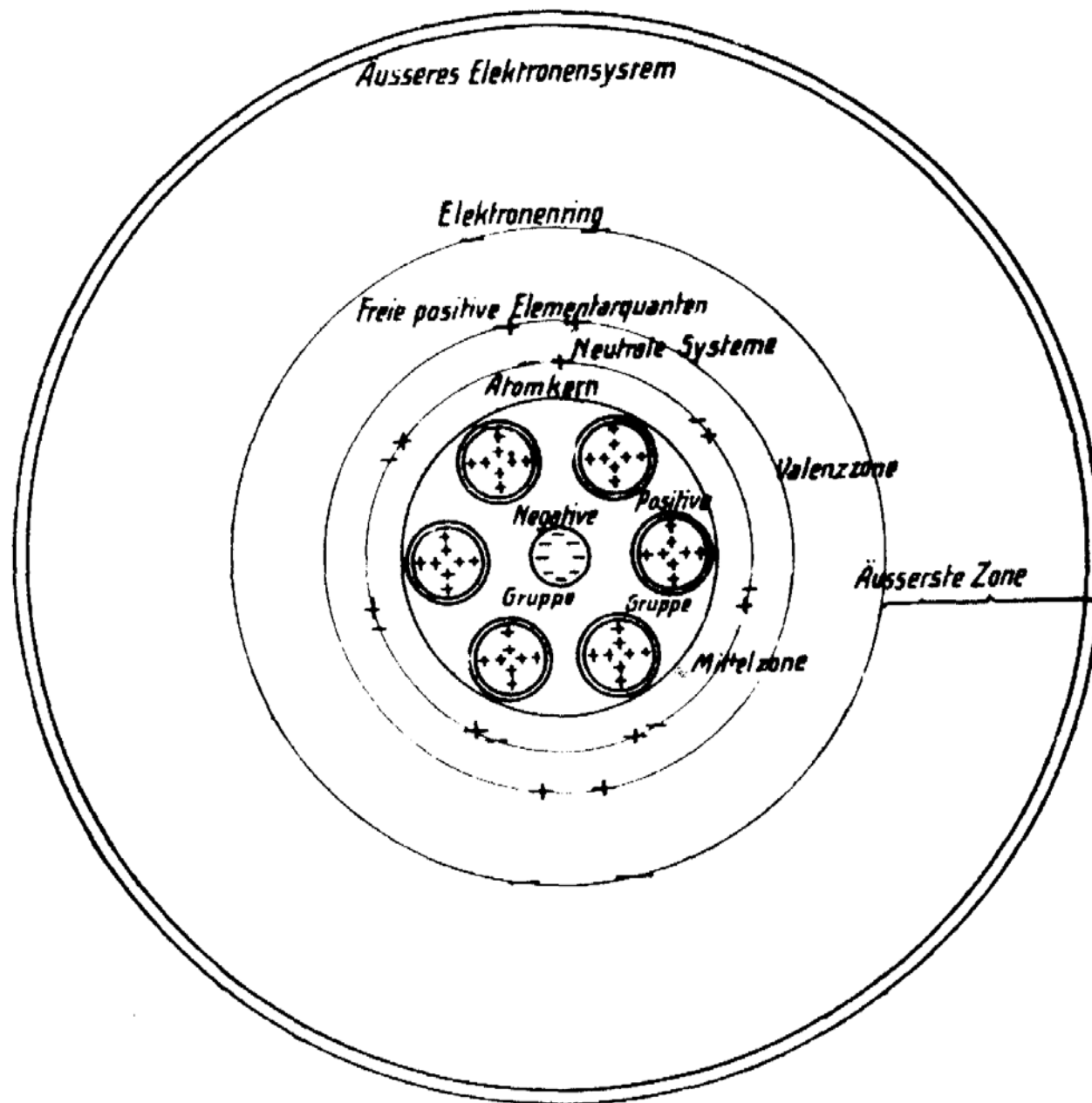
„Cebulowa” struktura jąder cięższych atomów:

Jądro Na = jądro Li i pierścień 4 cząstek α

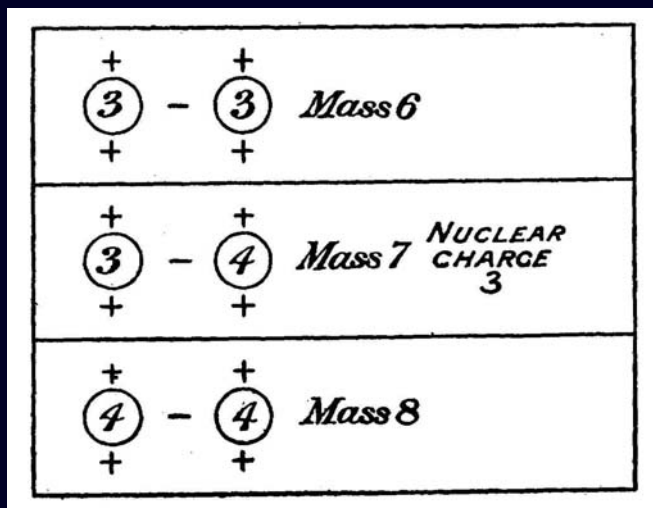
Jądro Cu = jądro Na i pierścień 10 cząstek α oraz 2 elektronów jądrowych

Jądro Ag = jądro Cu i pierścień 11 cząstek α oraz 4 elektronów jądrowych
etc.

Sitz. Heidel. Akad. Wiss. 1 - 23 (1920)

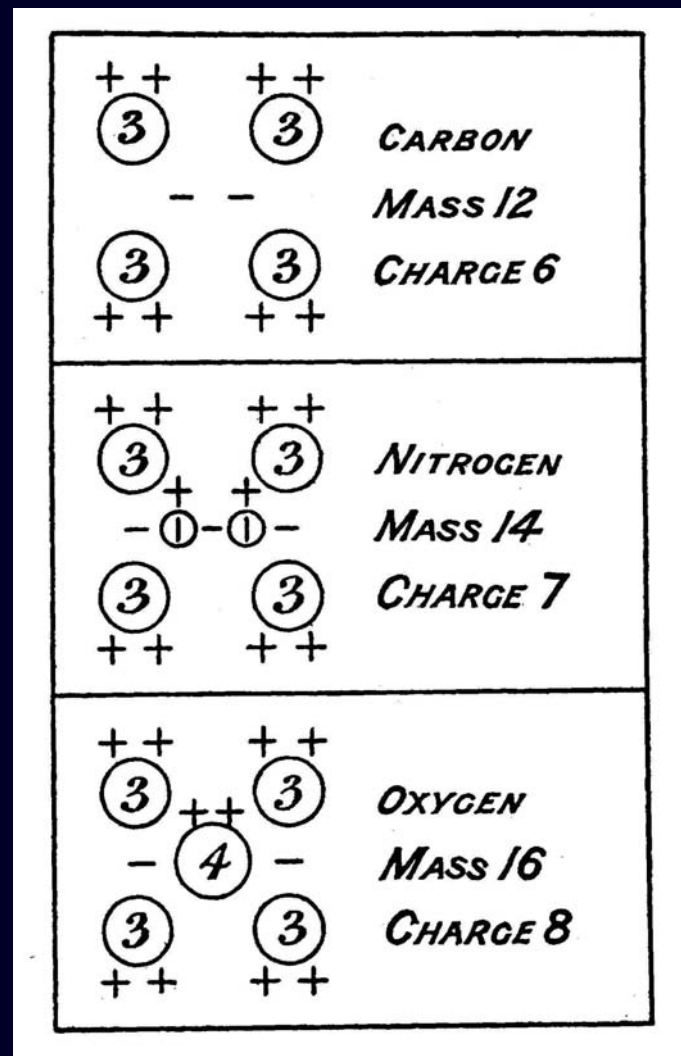


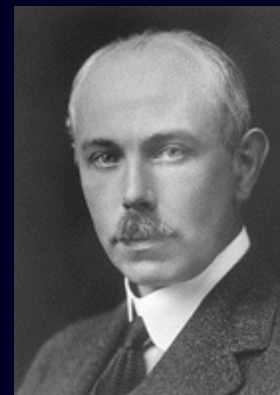
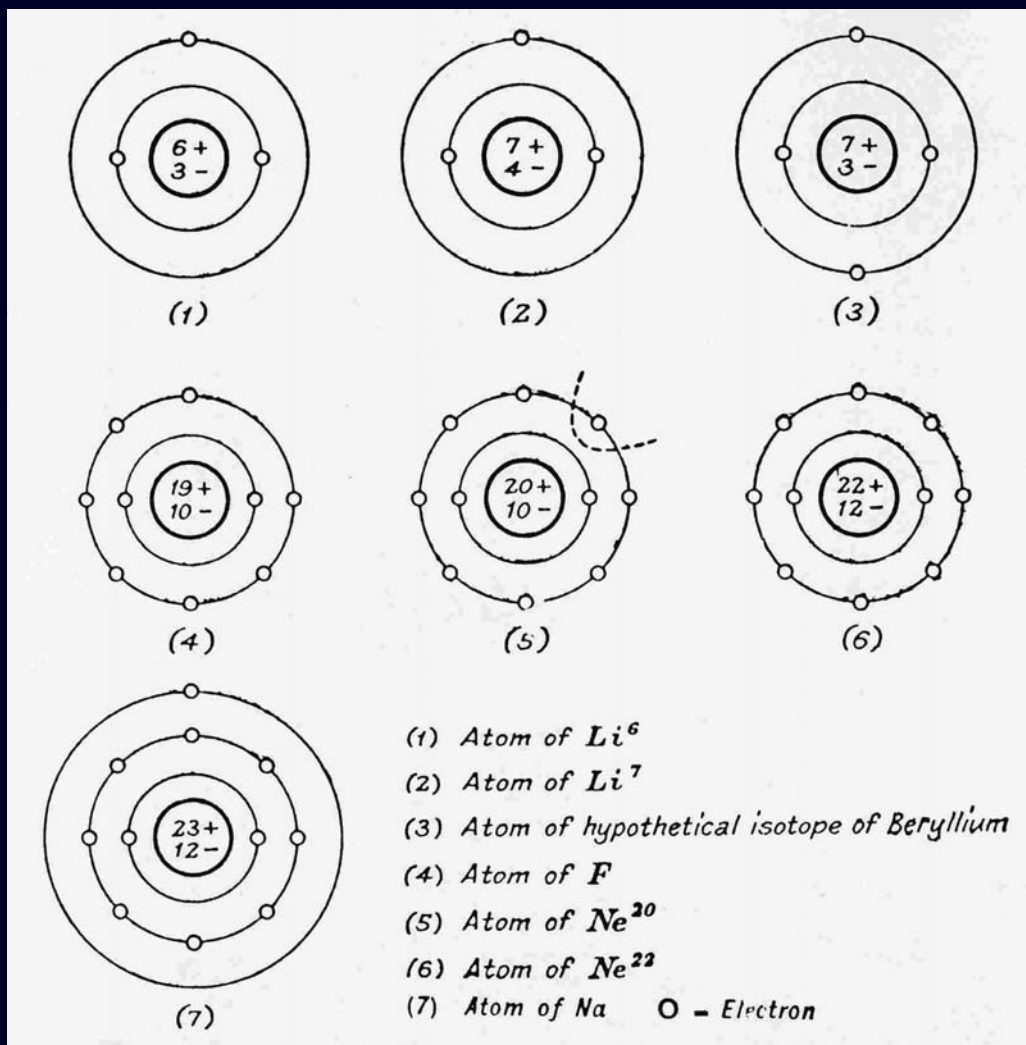
Model atomu
o wartościach
 $Z = 44$, $A = 118$
podany przez
Emila Kohlweilera
Z. Phys. Chemie **93**,
1 (1918)



Modele Rutherforda trzech izotopów
litu oraz ^{12}C , ^{14}N i ^{16}O . Podstawowymi
cegielkami są jądra wodoru, cząstki alfa
i cząstki X_3^{++}

Bakerian lecture (1920)





Francis Aston
(1877 - 1945)

Aston, *Isotopes* (1922)

Number of diagram.		Atomic Number.	Nuclear Constitution.	Charge.	Mass.	Stability.	Description.
12		2	4+2	+1	5.007		Positively charged HeH
13		3	6+3	+1	6.0		Positively charged Li ⁶ atom
14		3	6+3	0	6.0	4.9*	Neutral Li ⁶ atom
15		3	7+4	+1	7.0		Positively charged Li ⁷ atom
16		3	7+4	0	7.0	4.9*	Neutral Li ⁷ atom
17		3	6+3	0	6.0(07)		Neutral Li ⁶ H molecule
18		3	7+4	0	7.0(07)		Neutral Li ⁷ H molecule
19		4	9+5	+1	9.0		Positively charged Be atom
20		4	9+5	0	9.0	3.3*	Neutral Be atom
21		5	10+5	+2	10.00		Doubly charged B ¹⁰ atom
22		5	10+5	0	10.00		Positively charged B ¹⁰ atom
23		5	10+5	0	10.00		Neutral B ¹⁰ atom
24		5	11+6	+2	11.00		Doubly charged B ¹¹ atom

* Calculated from frequency of radiation.

Diagramy Astona dla jąder
różnych izotopów między
 $Z = 2$ i $Z = 5$.

„Skład jądra” każdego izotopu jest
pokazany przez gęsto upakowane
protony (czarne kółka) oraz
elektrony „jądrowe” (białe kółka)

Isotopes (1922)

Model trójpłaszczyznowy- R. Hargreaves, *Phil. Mag.* **50**, 471 (1925)

Założenia: (a) Ciężar atomowy p równa się liczbie dodatnich elektronów w jądrze; (b) Liczba atomowa q to liczba ujemnych elektronów poruszających się jako satelity po orbitach nazewnątrz jądra pod wpływem dodatniego ładunku jądra.

„Różnica $p - q$ jest liczbą ujemnych elektronów, które wiążą składniki dodatnie w jedną strukturę. Jądro jest strukturą w tym sensie, że wszystkie zawarte w nim składniki obiegają wspólną oś, przy czym nie zmieniają się ich wzajemne położenia względne, ustalone przez przyciągania i odpychania zgodnie z prawem elektrostatyki. Zakłada się następnie, że orbity jądrowe mają skalę znacznie mniejszą od satelitów...

Dodatnie elektrony zakreślają jednakowe orbity kołowe w górnej i dolnej z trzech równoległych i równodległych płaszczyzn, elektrony ujemne zakreślają okrąg o mniejszym promieniu w płaszczyźnie środkowej, przy czym środki wszystkich tych okręgów leżą na wspólnej osi prostopadłej do płaszczyzn. Każdy okrąg zawiera n elementów w jednakowych odległościach; dodatnie leżą nad dodatnimi, natomiast elektrony ujemne leżą w azymucie pośrodku między dodatnimi. Obiegi okręgów odbywają się ze wspólną prędkością kątową...”

Jądro ma postać kołowego dysku złożonego z koncentrycznych pierścieni. Dodatkowo naładowane cząstki H i He poruszają się po orbitach kołowych wokół środka atomu. Wokół każdego ładunku dodatniego krążą ujemne elektrony.

H. T. Wolff, *Ann. D. Phys.* 60, 685 (1919)

Jądro helu składa się z czterech protonów na okręgu i dwóch elektronów na jego osi. Aby wytłumaczyć obserwowaną trwałość cząstek α konieczne jest założenie, że prawo Coulomba nie jest tu spełnione.

Y. Takahashi, *Phys. Math. Soc. Japan, Proc.* 5, 137 (1923)

Protony w jądrze atomowym leżą w dwóch strefach, wewnętrznej, zwartej i sferycznej, w której każdemu protonowi towarzyszy pojedynczy elektron oraz zewnętrznej, także sferycznej, w której protony tworzą pary, z jednym elektronem w każdej parze.

S. Ono, *Phys. Math. Soc. Japan, Proc.* 8, 76 (1926)

Jądro jest układem różnie naładowanych koncentrycznych sfer, z których pewne mają ładunek dodatni, a inne - ujemny.

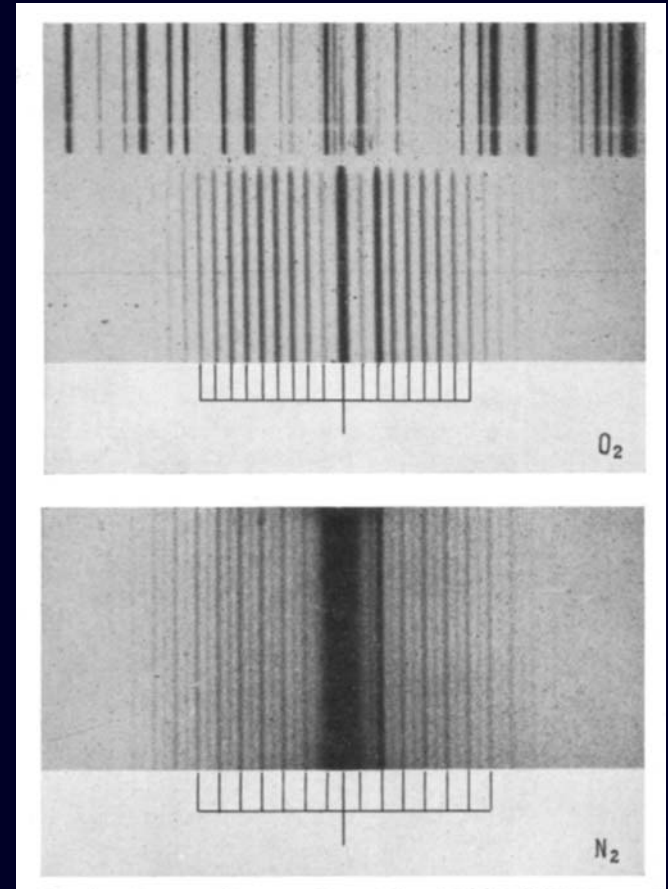
G. I. Pokrowski, *Ann.d. Phys.* 9, 505 (1931)

„Katastrofa azotowa”

W modelu protonowo-elektronowym jądra sądzono, że jądro N jest zbudowane z 14 protonów oraz 7 elektronów, czyli łącznie z 21 cząstek. Nieparzysta liczba cząstek o spinie $1/2$ powinna dawać w sumie spin połówkowy

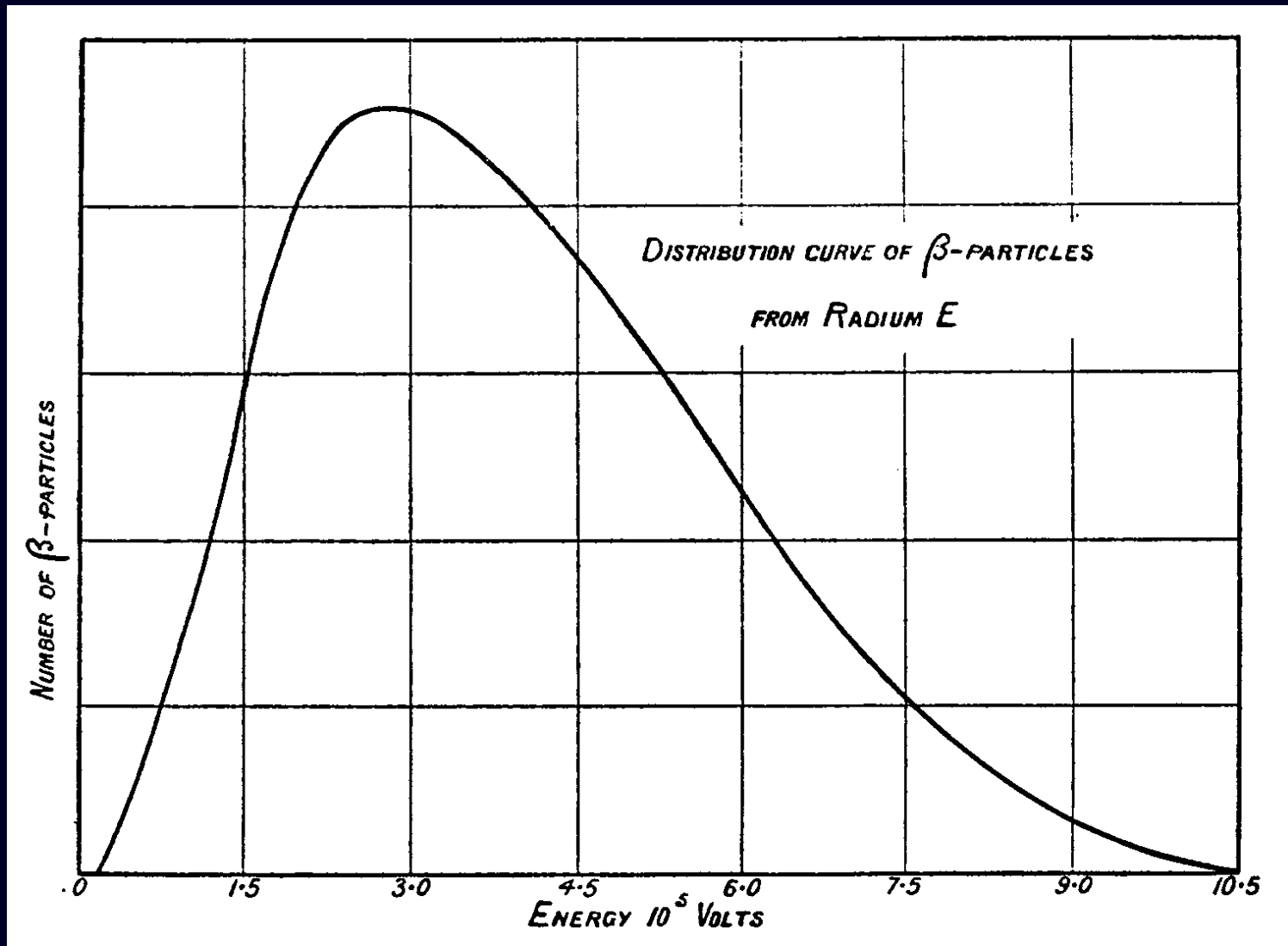
„Należy chyba przyjąć, że wewnątrz jądra protony i elektrony nie zachowują swojej identyczności w taki sam sposób, jak kiedy znajdują się na zewnątrz jądra”

R. de Kronig (1928)



Widma ramanowskie O_2 oraz N_2 stanowiące dowód, że oba jądra podlegają statystyce Bosego-Einsteina
F. Rasetti, *Z.Phys.* **61**, 600 (1930)

Ciągłe widmo energii elektronów z rozpadu β



C. D. Ellis i W. D. Wooster, *Proc. Roy. Soc. A* **117**, 109 (1927)

1930 Pauli - hipoteza neutrino



1930 eksperyment Bothego i Beckera



1932 Urey - deuter



1932 Chadwick - neutron



1932 Anderson - pozyton



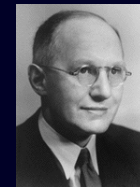
1932 Iwanienko, Heisenberg -
protonowo-neutronowy model jądra



1932 Lawrence - cyklotron 1 MeV



1932 Cockcroft i Walton: $p + {}^7\text{Li} \rightarrow \alpha + \alpha$





„Wpadłem na desperackie rozwiązanie „fałszywej” statystyki jąder ^{14}N i ^6Li oraz ciągłego widma beta... Jest możliwe, że w jądrach występują cząstki neutralne elektrycznie, które nazwę neutronami, mające spin $1/2$ i podlegające zasadzie wykluczania [tj. zasadzie Pauliego], a ponadto różniące się od kwantów światła tym, że nie biegną z prędkością światła. Masa neutronu powinna być tego samego rzędu wielkości co masa elektronu, a w każdym razie nie większa niż $0,01$ masy protonu. Można by wówczas wyjaśnić ciągłe widmo promieniowania β przyjmując, że w rozpadzie β neutron zostaje emitowany wraz z elektronem tak, że suma energii neutronu i elektronu jest stała...

List Pauliego do Hansa Geigera i Lise Meitner, którzy uczestniczyli w konferencji fizyków w Tybindze, 4 XII 1930 r.

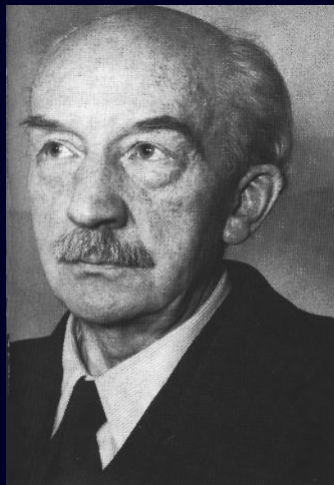


„Jednak nie czuję się dostatecznie pewnie, by coś na temat tego pomysłu opublikować, toteż najpierw zwracam się poufnie do was, drodzy radioaktywni, z pytaniem na temat doświadczalnego potwierdzenia takiego neutronu, jeżeli jego zdolność przenikająca jest około 10 razy większa niż dla promienia γ ... Zastanówcie się i oceńcie. Niestety nie mogę zjawić się w Tybindze, ponieważ wieczorem 6 grudnia odbędzie się w Zurychu bal, w którym muszę uczestniczyć.”

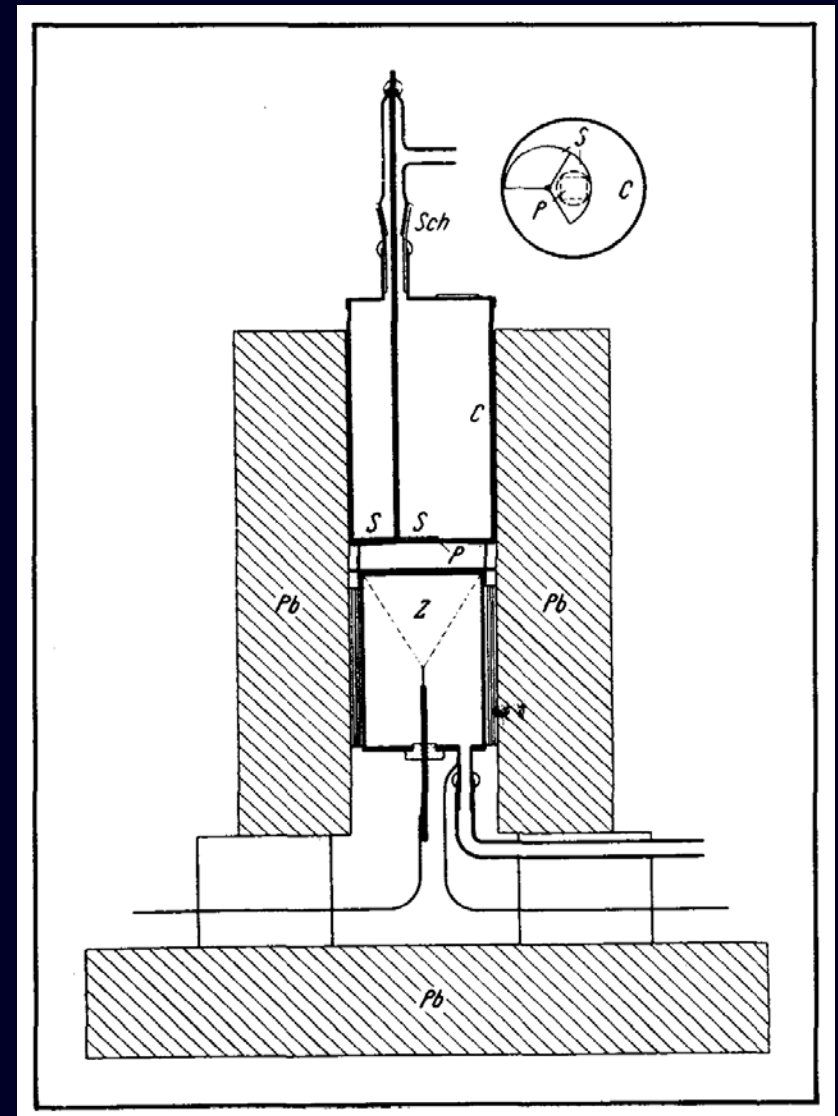
(Po odkryciu neutronu przez Chadwicka w 1932 r. Fermi zaproponował nazwanie hipotetycznej cząstki Pauliego „neutrinem”)

Eksperyment Bothego i Beckera (1930)

„Promieniowanie berylowe”,
bardziej przenikliwe niż zwykłe
promienie γ , powstaje przy
naświetlaniu berylu
cząstkami α z radu
[Z.Phys. 66, 289, 310 (1930)]



Walther Bothe



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 with velocities up to a maximum of nearly $3 \times 10^8 \text{ cm. per sec.}$ They suggested that the transference of energy to the proton was by a process similar to the Compton effect, and estimated that the beryllium radiation had a quantum energy of $50 \times 10^6 \text{ electron volts.}$

I have made some experiments using the valve counter to examine the properties of this radiation excited in beryllium. The valve counter consists of a small ionisation chamber connected to an amplifier, and the sudden production of ions by the entry of a particle, such as a proton or α -particle, is recorded by the deflexion of an oscillograph. These experiments have shown that the radiation ejects particles from hydrogen, helium, lithium, beryllium, carbon, air, and argon. The particles ejected from hydrogen behave, as regards range and ionising power, like protons with speeds up to about $3.2 \times 10^8 \text{ cm. per sec.}$ The particles from the other elements have a large ionising power, and appear to be in each case recoil atoms of the elements.

If we ascribe the ejection of the proton to a Compton recoil from a quantum of $52 \times 10^6 \text{ electron volts,}$ then the nitrogen recoil atom arising by a similar process should have an energy not greater than about 400,000 volts, should produce not more than about 10,000 ions, and have a range in air at N.T.P. of about 1.3 mm. Actually, some of the recoil atoms in nitrogen produce at least 30,000 ions. In collaboration with Dr. Feather, I have observed the recoil atoms in an expansion chamber, and their range, estimated visually, was sometimes as much as 3 mm. at N.T.P.

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 Be^9 nucleus may be supposed to result in the formation of a C^{12} nucleus and the emission of the neutron. From the energy relations of this process the velocity of the neutron emitted in the forward direction may well be about $3 \times 10^8 \text{ cm. per sec.}$ The collisions of this neutron with the atoms through which it passes give rise to the recoil atoms, and the observed energies of the recoil atoms are in fair agreement with this view. Moreover, I have observed that the protons ejected from hydrogen by the radiation emitted in the opposite direction to that of the exciting α -particle appear to have a much smaller range than those ejected by the forward radiation.

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 $14 \times 10^6 \text{ volts.}$ It is difficult to make such a quantum responsible for the effects observed.

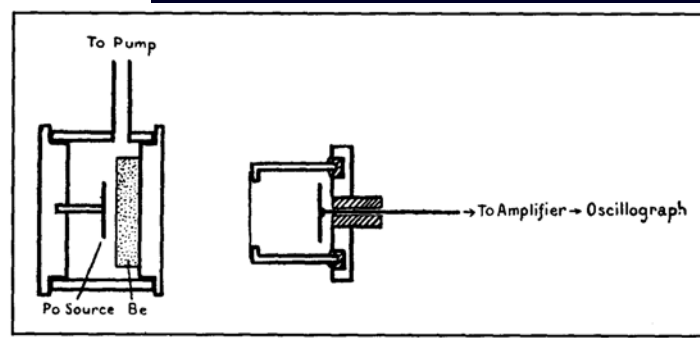
It is to be expected that many of the effects of a neutron in passing through matter should resemble those of a quantum of high energy, and it is not easy to reach the final decision between the two hypotheses. Up to the present, all the evidence is in favour of the neutron, while the quantum hypothesis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

J. CHADWICK.

Cavendish Laboratory,
Cambridge, Feb. 17.



James Chadwick
(1891 - 1974)



Schemat eksperymentu

THE NEUTRON

BY R. M. LANGER AND N. ROSEN
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

(Received May 12, 1931)

ABSTRACT

The writers point out that the postulation of the existence of the "neutron," a combination of an electron and a proton, of small size and low energy would be very useful in explaining a number of atomic and cosmic phenomena. They find that a mathematical treatment based on existing theory leads to indications of such a state but no definite proof.

I. INTRODUCTION

IT IS an attractive speculation to try to describe a process by which the various elements could be formed. In the present state of atomic theory it is really an anomaly that there are elements other than hydrogen; for no one has hitherto attempted to show that quantum systems could exist with the dimensions and energies appropriate to nuclei or constituents of nuclei. Our purpose here is to indicate how such systems may exist on the basis of wave-mechanics, and thus offer a way of describing the process of building up of the heavier elements.

The present article is devoted to a discussion of a combination of an electron and a proton of low energy and very small size which we shall speak of as the "neutron." Such a particle, if it exists, must have a mass but slightly smaller than that of a hydrogen, a diameter of 10^{-12} to 10^{-15} cm, and energy of the order of magnitude of m_0c^2 ($15m_0c^2$ is an upper limit; m_0 =electron mass) less than that of hydrogen in order to account for observed phenomena. It seems proper to begin by pointing out reasons for the assumption of the existence of a neutron and to show how it might help to explain certain phenomena.

Dyskusja o strukturze jąder atomowych, 28 IV 1932 r.

Rutherford: „...Przyjmuje się zwykle, że jądro ciężkiego pierwiastka składa się głównie z cząstek α z niewielką domieszką swobodnych protonów i elektronów, ale nie jest znany dokładny podział na te składniki... Wydaje się, że elektron wewnątrz jądra zachowuje się zupełnie inaczej od elektronu w zewnętrznej części atomu... Wydaje się teraz jasne, że jądrowe promienie γ są wywołane przez przejście cząstki α między poziomami energii w jądrze wzbudzonym...

Idea istnienia „neutronów”, to znaczy ścisłego związku protonu i elektronu o masie bliskiej 1 i zerowym ładunku, nie jest nowa...”

Dyskusja o strukturze jąder atomowych, 28 IV 1932 r.

Chadwick: „Neutron można sobie wyobrażać jako mały dipol, albo lepiej, jako proton osadzony w elektronie. W obu tych obrazach ‘promień’ neutronu będzie między 10^{-13} i 10^{-12} cm....”

Ellis: „Nie należy zapominać, że w jądrze atomowym poza cząstkami α i elektronami są też inne cząstki. Fowler zasugerował, że obecność tam protonów może powodować pewne osobliwości widm, a ostatnie badania pokazują, że możemy także rozważać neutrony jednego lub więcej typów...”

Lindemann: „Musimy zbadać, jak neutron pasuje do schematu współczesnej fizyki. Z punktu widzenia klasycznej teorii kwantowej trudno jest wyjaśnić jego istnienie...”

Odkrycie pozytonu



Carl Anderson
przy aparaturze (1932)

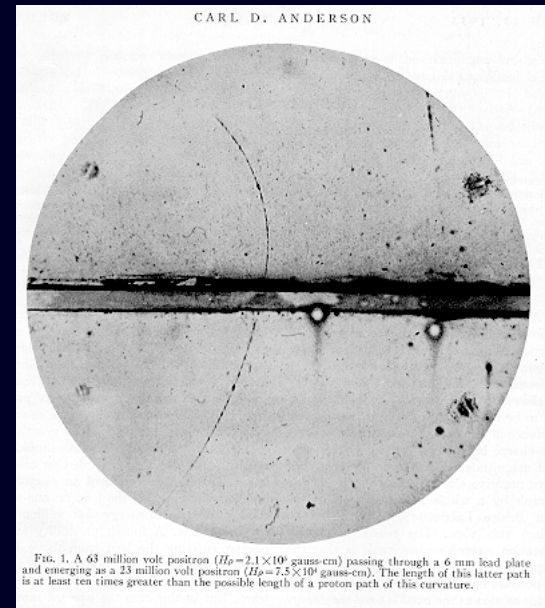
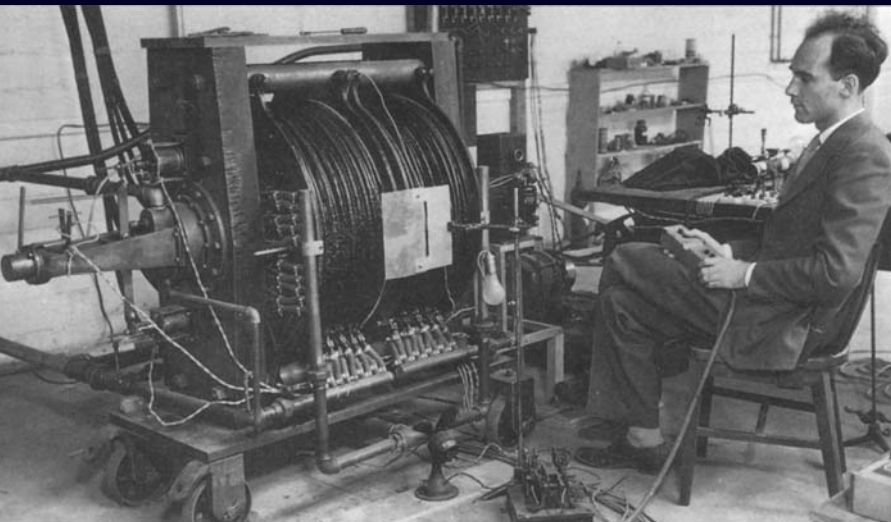
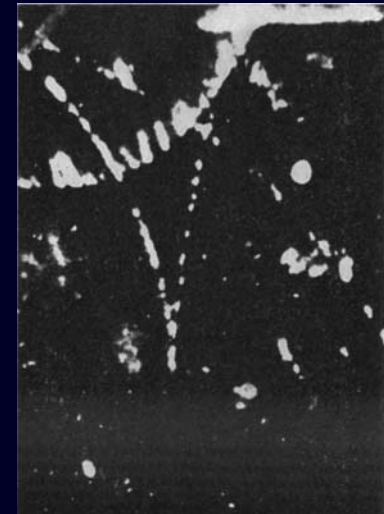


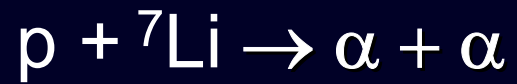
FIG. 1. A 63 million volt positron ($H_p = 2.1 \times 10^6$ gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ($H_p = 7.5 \times 10^5$ gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.



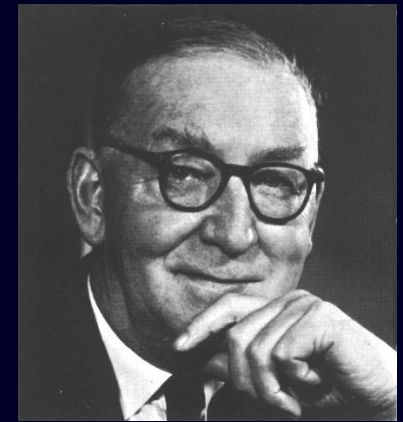
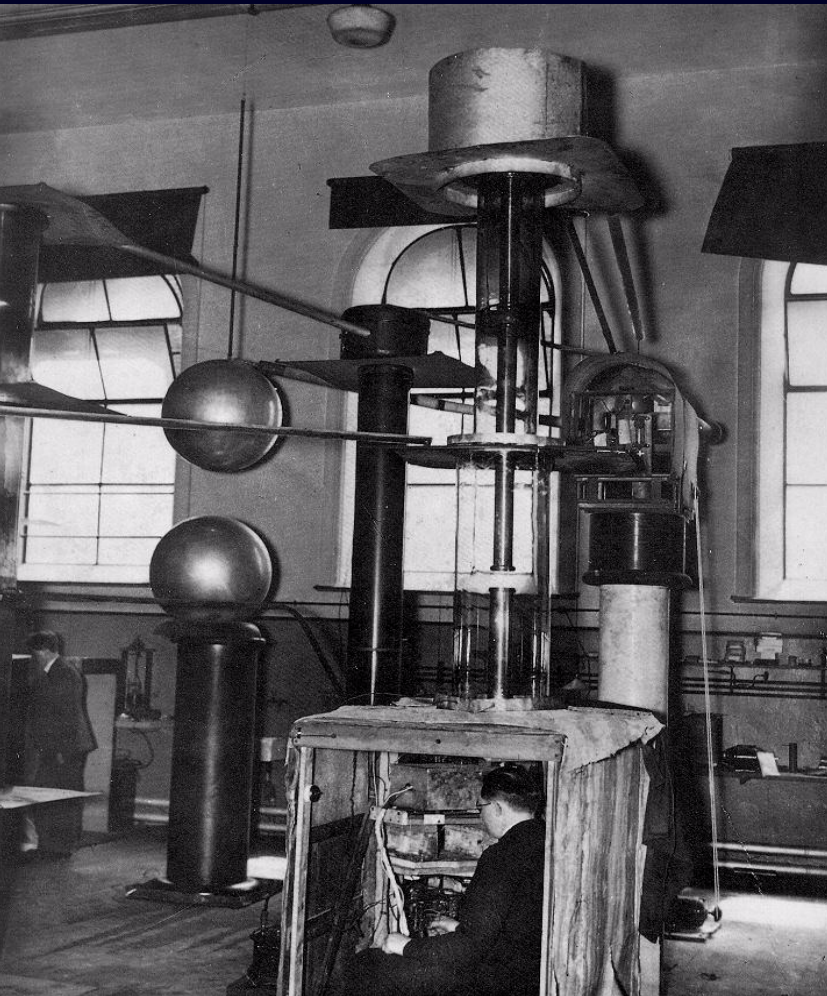
Produkcja par elektronów
(Irène i Frederick Joliot-Curie)

„Często spotyka się w literaturze stwierdzenie, że odkrycie pozytonu było konsekwencją jego teoretycznego przewidzenia przez Diraca, ale tonie jest prawda. Odkrycie pozytonu było całkowicie przypadkowe. Mimo tego, że podana przez Diraca relatywistyczna teoria elektronu była właściwą teorią dla pozytonu, oraz mimo tego, że niemal wszyscy fizycy wiedzieli o istnieniu tej teorii, nie odegrała ona absolutnie żadnej roli w odkryciu pozytonu.”

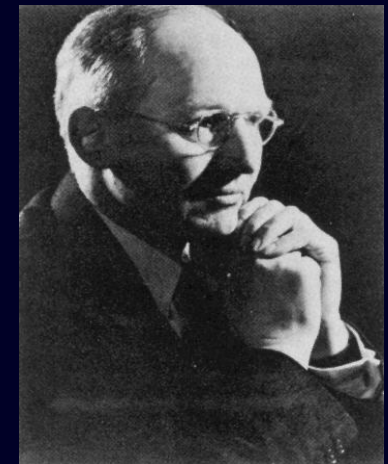
Carl Anderson



Pierwsza reakcja jądrowa wywołana przez cząstki przyspieszone w akceleratorze



**John Cockcroft
(1897-1967)**



**Ernest Walton
(1903-1995)**

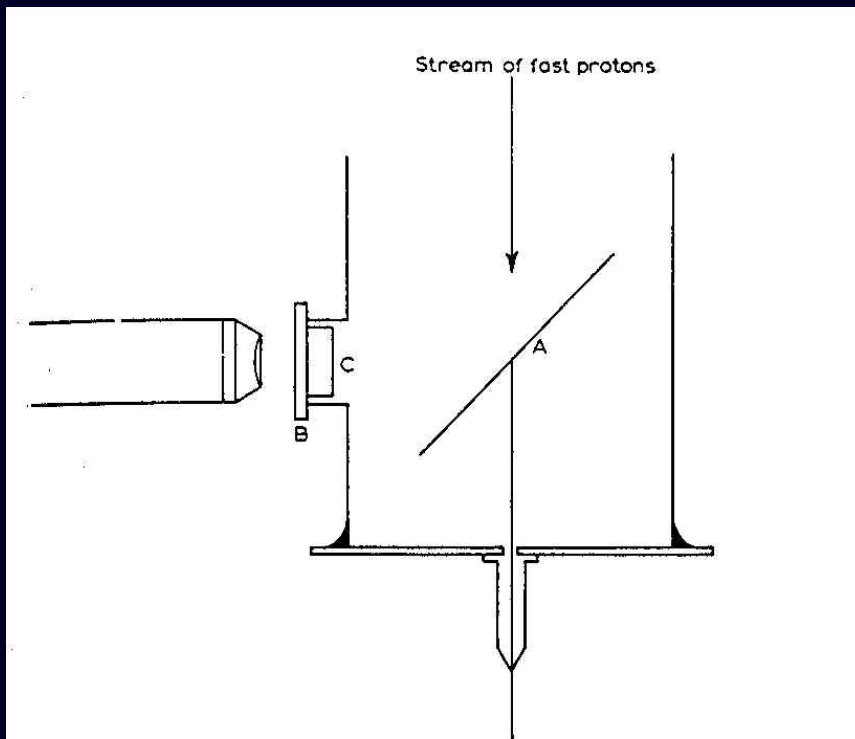


Fig. 2.

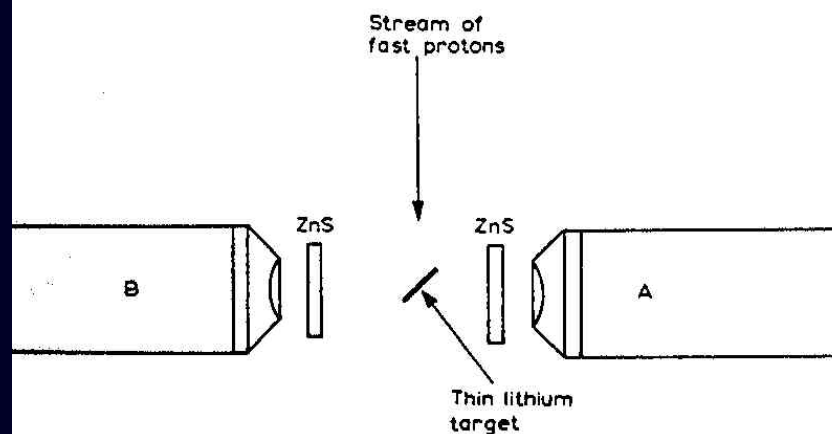


Fig. 3.

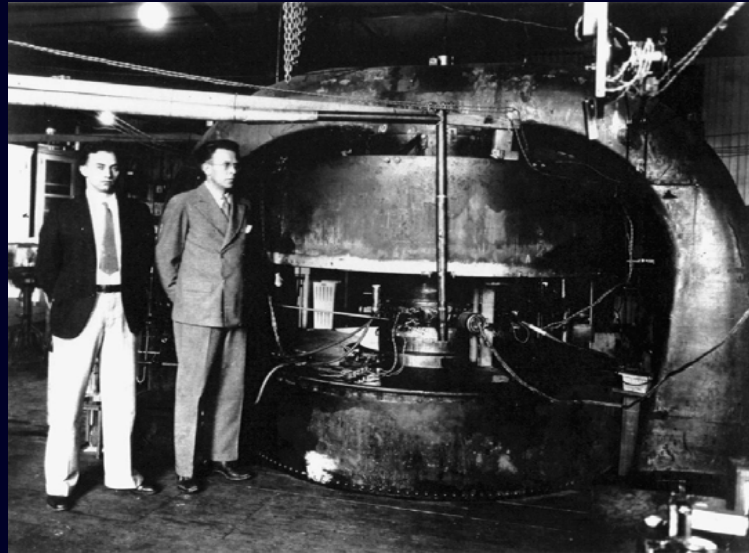
Schemat experimentu Cockcrofta i Waltona



Robert Van de Graaf
przy jednym z pierwszych
swych akceleratorów



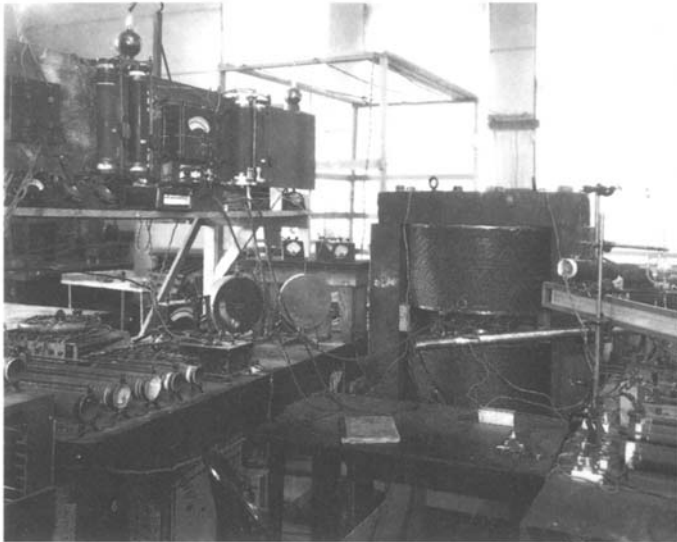
Ernest Lawrence (1901-1958) odkrywca zasady cyklotronu



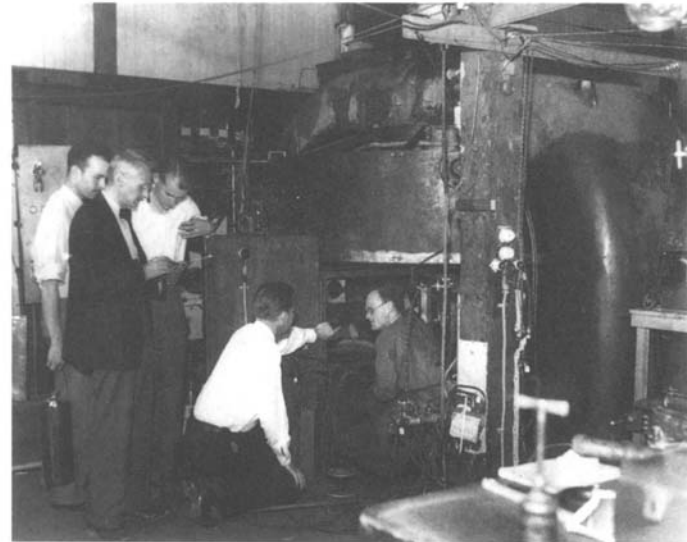
**Lawrence i Livingston
przy cyklotronie**

Cyklotrony Lawrence'a

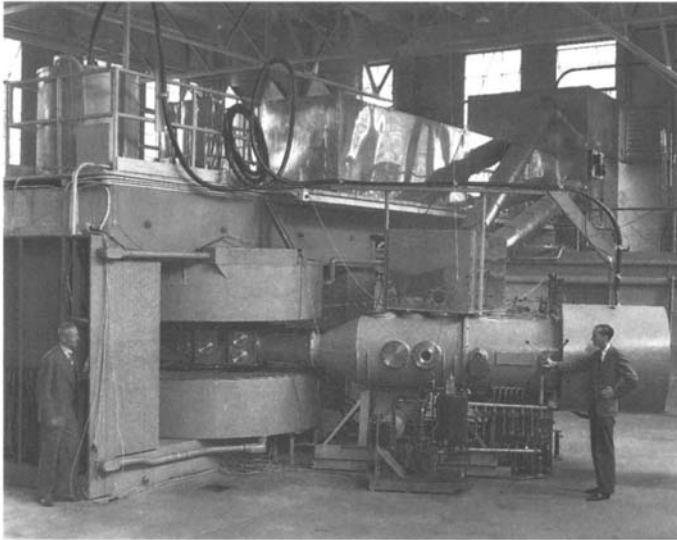
28 cm
I 1932



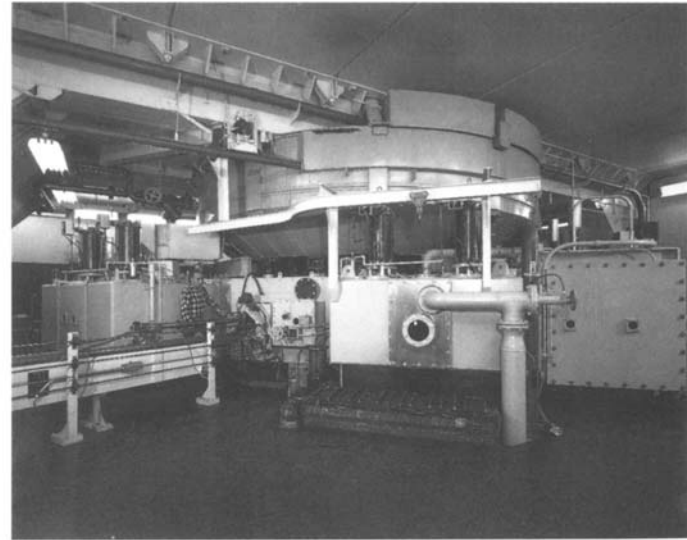
69 cm
XII 1932



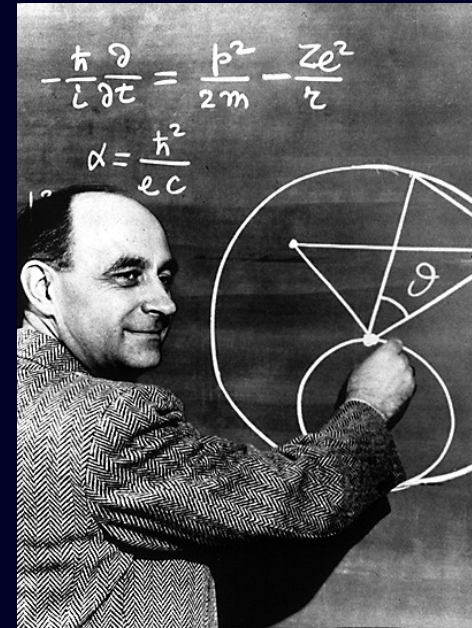
1,5 m
X 1939



4,7 m
1957



Pierwszą teorię rozpadu β (uwzględniającą już hipotetyczne neutrino) zaproponował Enrico Fermi. Jego praca, odrzucona przez redakcję *Nature*, została najpierw opublikowana po włosku, a parę tygodni później jako „Versuch einer Theorie der β -Strahlen”, *Zeit.f. Physik* 88, 161 (1934)



„Przy próbach stworzenia teorii elektronów jądrowych oraz emisji promieni β napotyka się, jak wiadomo, na duże trudności. Pierwsza jest związana z tym, że widmo promieni β jest ciągłe. Jeśli zasada zachowania energii ma być utrzymana, to musimy założyć, że część energii wydzielona w procesie rozpadu β wymyka się naszej obecnej zdolności obserwacji. Zgodnie z propozycją W. Pauliego możemy przyjąć, że przy rozpadzie β emitowany jest nie tylko elektron, lecz także nowa cząstka - tak zwane neutrino (o masie co do rzędu wielkości równej lub mniejszej od masy elektronu i o zerowym ładunku elektrycznym). Przedstawiona tu teoria oparta jest na hipotezie o istnieniu neutrina. Druga trudność teorii elektronów jądrowych wynika stąd, że obecne teorie relatywistyczne cząstek lekkich (elektronów lub neutrin) nie mogą zadowalająco wyjaśnić jak takie cząstki mogą być związane na orbitach o rozmiarach jądra...”

Enrico Fermi

Irène i Frédéric Joliot-Curie

Odkrycie sztucznej promieniotwórczości

Artificial Production of a New Kind of Radio-Element

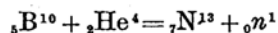
By F. JOLIOT and I. CURIE, Institut du Radium, Paris

SOME months ago we discovered that certain light elements emit positrons under the action of α -particles¹. Our latest experiments have shown a very striking fact: when an aluminium foil is irradiated on a polonium preparation, the emission of positrons does not cease immediately, when the active preparation is removed. The foil remains radioactive and the emission of radiation decays exponentially as for an ordinary radio-element. We observed the same phenomenon with boron and magnesium². The half life period of the activity is 14 min. for boron, 2 min. 30 sec. for magnesium, 3 min. 15 sec. for aluminium.

We have observed no similar effect with hydrogen, lithium, beryllium, carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, sodium, silicon, or phosphorus. Perhaps in some cases the life period is too short for easy observation.

The transmutation of beryllium, magnesium, and aluminium α -particles has given birth to new radio-elements emitting positrons. These radio-elements may be regarded as a known nucleus formed in a particular state of excitation; but it is much more probable that they are unknown isotopes which are always unstable.

For example, we propose for boron the following nuclear reaction:



${}_7\text{N}^{13}$ being the radioactive nucleus that disintegrates with emission of positrons, giving a stable

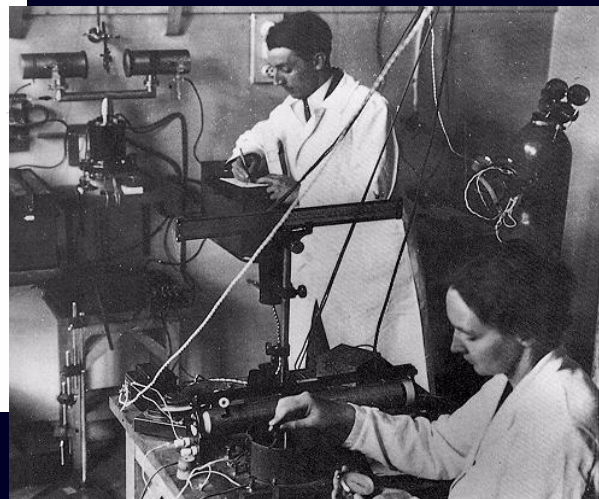
nucleus ${}_7\text{C}^{13}$. In the case of aluminium and magnesium, the radioactive nuclei would be ${}_{13}\text{P}^{30}$ and ${}_{12}\text{Si}^{27}$ respectively.

The positrons of aluminium seem to form a continuous spectrum similar to the β -ray spectrum. The maximum energy is about 3×10^6 e.v. As in the case of the continuous spectrum of β -rays, it will be perhaps necessary to admit the simultaneous emission of a neutrino (or of an antineutrino of Louis de Broglie) in order to satisfy the principle of the conservation of energy and of the conservation of the spin in the transmutation.

The transmutations that give birth to the new radio-elements are produced in the proportion of 10^{-7} or 10^{-6} of the number of α -particles, as for other transmutations. With a strong polonium preparation of 100 millicuries, one gets only about 100,000 atoms of the radioactive elements. Yet it is possible to determine their chemical properties, detecting their radiation with a counter or an ionisation chamber. Of course, the chemical reactions must be completed in a few minutes, before the activity has disappeared.

We have irradiated the compound boron nitride (BN). By heating boron nitride with caustic soda, gaseous ammonia is produced. The activity separates from the boron and is carried away with the ammonia. This agrees very well with the hypothesis that the radioactive nucleus is in this case an isotope of nitrogen.

When irradiated aluminium is dissolved in



1934



Fermi et al. doszli do wniosku, że odkryli
pierwiastki transuranowe:
 ^{93}Au (Ausonium) i ^{94}Hs (Hesperium)

1934



Wnioski Fermiego poddane krytyce przez
Idę Noddack

1938



Irène Curie i Pavel Savitch ogłosili
odkrycie pierwiastków transuranowych
w reakcji $n + \text{U} \rightarrow \text{transuranowce}$

1938

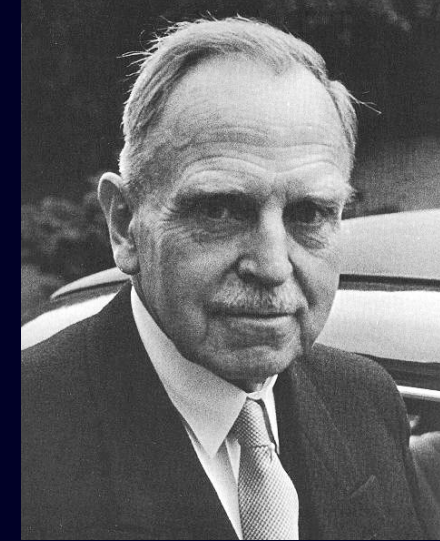


22 grudnia Hahn i Strassmann ogłosili, że
uran bombardowany powolnymi
neutronami daje bar

1939



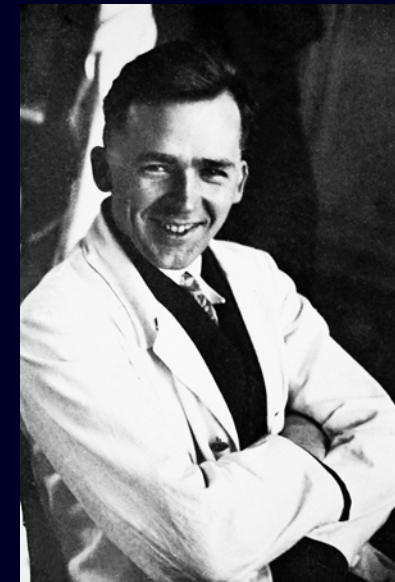
W styczniu Otto Frisch i Lise Meitner
opublikowali swój pogląd, że uran
bombardowany neutronami ulega
rozszczerpieniu



Otto Hahn

„Jako chemicy musimy, na podstawie przytoczonych tu krótko wyników doświadczalnych, zmienić nazwy w powyższym schemacie i zamiast Ra, Ac, Th, użyć symboli Ba, La, Ce. Jako „chemicy jądrowi” ściśle związani z fizyką, nie możemy się jeszcze zdecydować na ten skok, który przeczy wszystkim dotychczasowym doświadczeniom w fizyce jądrowej.”

Naturwissenschaften 27, 11 (1939)



Fritz Strassmann

denn andere Elemente als Radium oder Barium kommen nicht in Frage.

Schließlich haben wir auch einen Indikatorversuch mit unserem rein abgeschiedenen „AcII“ (H.Z. rund 2,5 Stunden) und dem reinen Actiniumisotop MsTh_2 gemacht. Wenn unsere „Ra-Isotope“ kein Radium sind, dann sind die „Ac-Isotope“ auch kein Actinium, sondern sollten Lanthan sein. Nach dem Vorgehen von Mme CURIE¹ haben wir eine Fraktionierung von Lanthanoxalat, das die beiden aktiven Substanzen enthielt, aus salpetersaurer Lösung vorgenommen. Das MsTh_2 fand sich, wie von Mme CURIE angegeben, in den Endfraktionen stark angereichert. Bei unserem „Ac II“ war von einer Anreicherung am Ende nichts zu merken. In Übereinstimmung mit CURIE und SAVITCH² über ihren allerdings nicht einheitlichen 3,5-Stunden-Körper finden wir also, daß das aus unserem aktiven Erdalkalimetall durch β -Strahlenemission entstehende Erdmetall kein Actinium ist. Den von CURIE und SAVITCH angegebenen Befund, daß sie die Aktivität im Lanthan anreicherten, der also gegen eine Gleichheit mit Lanthan spricht, wollen wir noch genauer experimentell prüfen, da bei dem dort vorliegendem Gemisch eine Anreicherung vorgetäuscht sein könnte.

Ob die aus den „Ac-La-Präparaten“ entstehenden, als „Thor“ bezeichneten Endglieder unserer Reihen sich als Cer herausstellen, wurde noch nicht geprüft.

Was die „Trans-Urane“ anbelangt, so sind diese Elemente ihren niedrigeren Homologen Rhenium, Osmium, Iridium, Platin zwar chemisch verwandt, mit ihnen aber nicht gleich. Ob sie etwa mit den noch niedrigeren Homologen Masurium, Ruthenium, Rhodium, Palladium chemisch gleich sind, wurde noch

¹ Mme PIERRE CURIE, J. Chim. physique etc. 27, 1 (1930).

² I. CURIE u. P. SAVITCH, C. r. Acad. Sci. Paris 206, 1643 (1938).

nicht geprüft. Daran konnte man früher ja nicht denken. Die Summe der Massenzahlen Ba + Ma, also z. B. 138 + 101, ergibt 239!

Als Chemiker müßten wir aus den kurz dargelegten Versuchen das oben gebrachte Schema eigentlich umbenennen und statt Ra, Ac, Th die Symbole Ba, La, Ce einsetzen. Als der Physik in gewisser Weise nahe-stehende „Kernchemiker“ können wir uns zu diesem, allen bisherigen Erfahrungen der Kernphysik widersprechenden, Sprung noch nicht entschließen. Es könnten doch noch vielleicht eine Reihe seltsamer Zufälle unsere Ergebnisse vorgetäuscht haben.

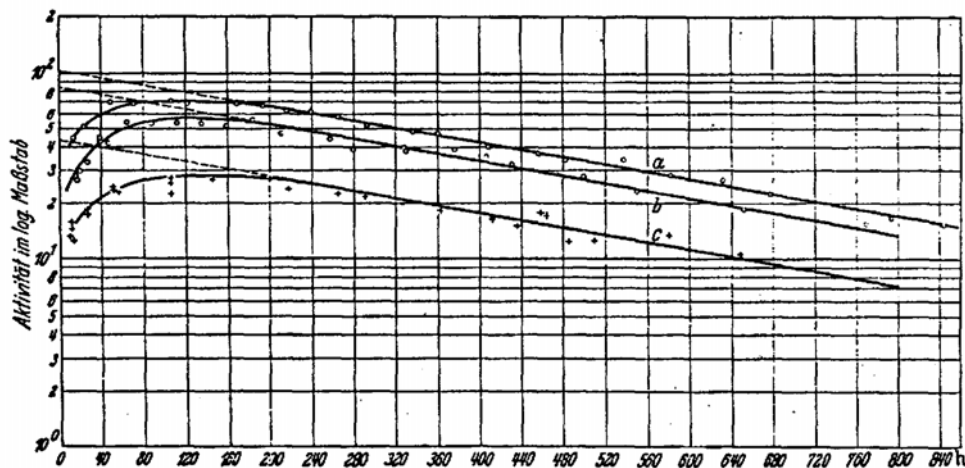


Fig. 4. Bestimmung der Halbwertszeit von Ra IV bei verschiedener Bestrahlungszeit und -art.

$a = \text{Ra IV [} \sim 4 \text{ Tage bestrahlt]} \left. \begin{array}{l} \text{verstärkt,} \\ \text{Ra-Abtrennung 15 Std. nach Ende} \\ \text{der Bestrahlung,} \end{array} \right\}$
 $b = \text{Ra IV [} \sim 2,6 \text{ '' '']}$
 $c = \text{Ra IV [} \sim 2,6 \text{ '' '']}$ unverstärkt,
 $a \text{ H.Z.} = \sim 311 \text{ Stunden, } b \text{ H.Z.} = \sim 310 \text{ Stunden, } c \text{ H.Z.} = \sim 300 \text{ Stunden.}$

Es ist beabsichtigt, weitere Indikatorenversuche mit den neuen Umwandlungsprodukten durchzuführen. Insbesondere soll auch eine gemeinsame Fraktionierung der aus Thor durch Bestrahlen mit schnellen Neutronen entstehenden, von MEITNER, STRASSMANN und HAHN¹ untersuchten Radiumisotope mit unseren aus dem Uran entstandenen Erdalkalimetallen versucht werden. An Stellen, denen starke künstliche Strahlenquellen zur Verfügung stehen, könnte dies allerdings wesentlich leichter geschehen.

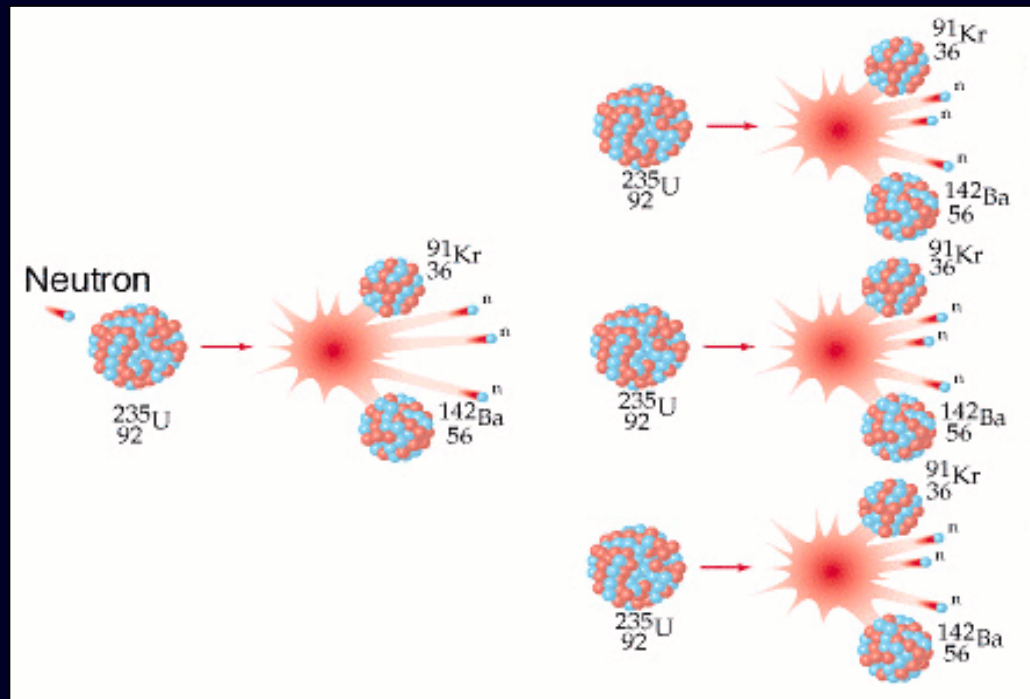
Zum Schlusse danken wir Frl. CL. LIEBER und Frl. I. BOHNE für ihre wirksame Hilfe bei den sehr zahlreichen Fällungen und Messungen.

¹ L. MEITNER, F. STRASSMANN u. O. HAHN, l. c.

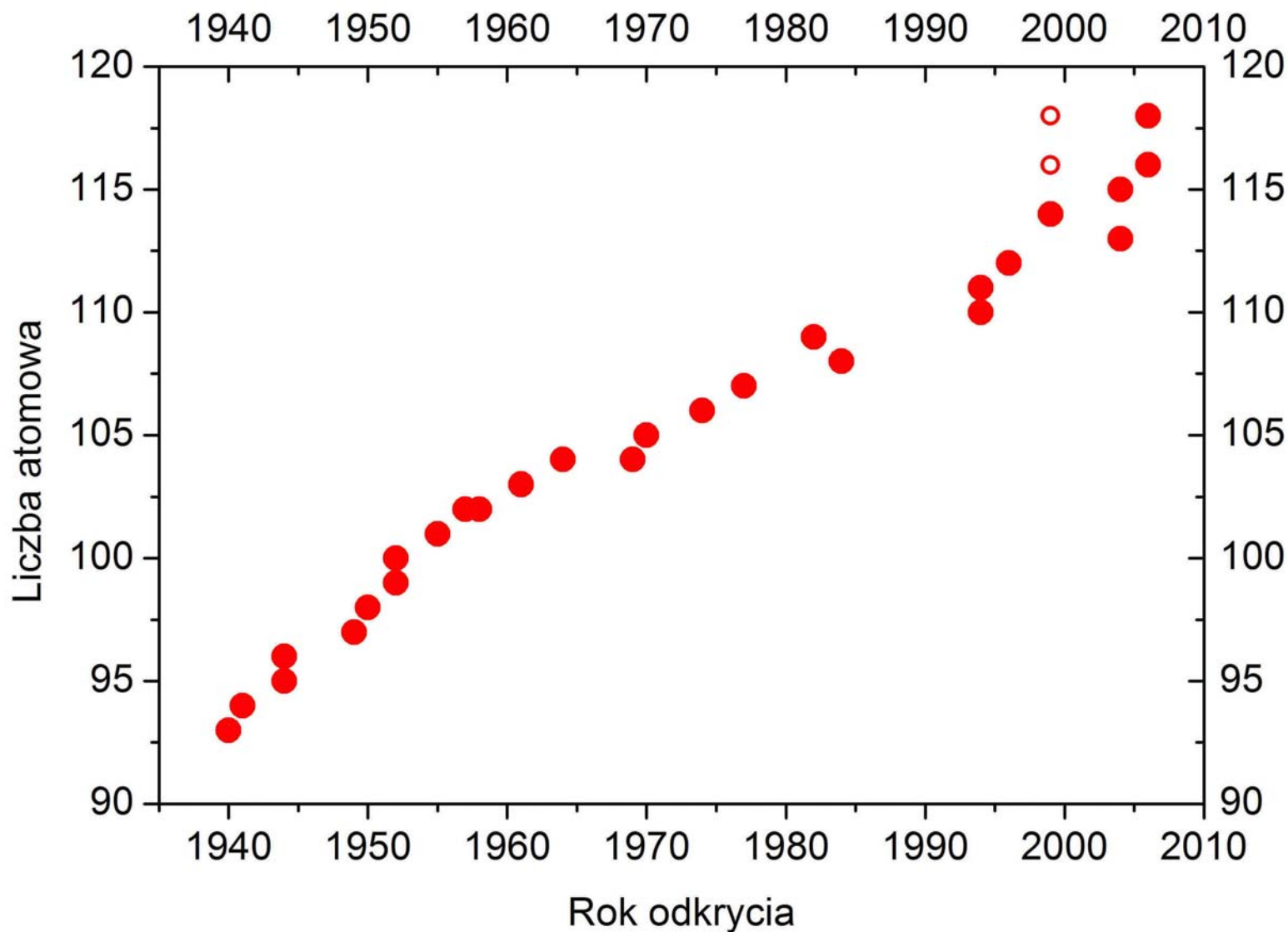
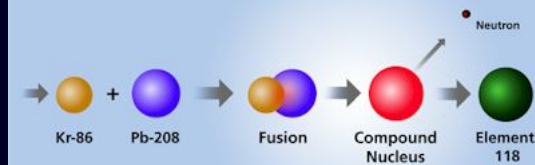


Otto Hahn
i
Fritz Strassmann

Rozszczepienie jądra uranu

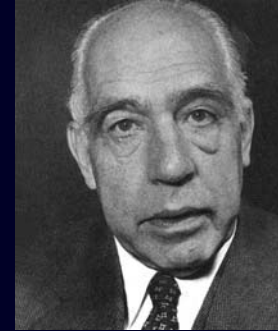


Pierwiastki transuranowe

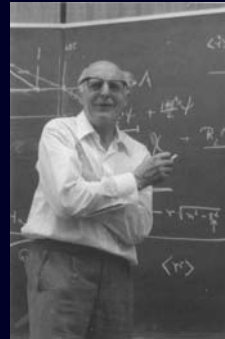


Modele jądrowe

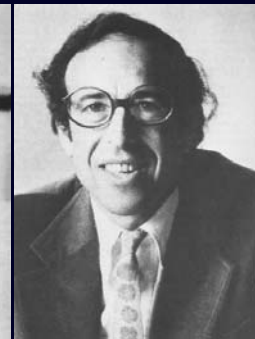
1939 Model kropłowy (Niels Bohr i John Archibald Wheeler)



1949 Model powłokowy (Maria Goeppert-Mayer, Hans Jensen (także Otto Haxel i Hans Suess))



1950 Model kolektywny (Aage Bohr, Ben Mottelson i James Rainwater)



Propozycja nośników sił jądrowych



Hideki Yukawa
(1907 - 1981)

„On the interaction of elementary particles”,
Proc. Phys.-Mat. Soc. Japan 14, 48 (1935)

Wymiana cząstek o masie około 200 razy
większej od masy elektronu może wyjaśnić
oddziaływanie między nukleonami w jądrze

„Ponieważ taki kwant o dużej masie
i dodatnim lub ujemnym ładunku nie
został nigdy znaleziony
w doświadczeniu, przedstawiona
teoria wydaje się być nieprawdziwa.”

Odkrycie „mezonów”

C. D. Anderson, S. H. Neddermeyer, *Phys. Rev.* **51**, 884 (1937)

J. C. Street, E. C. Stevenson, *Phys. Rev.* **51**, 1005 (1937)

ogłosili o odkryciu w promieniowaniu kosmicznym cząstki
o masie około 200 mas elektronowych

„Jest bardzo prawdopodobne, że Street i Stevenson oraz Anderson i Neddermeyer odkryli nową cząstkę elementarną, która została przewidziana przez teorię.”

E. C. G. Stueckelberg, *Phys. Rev.* **52**, 41 (1937)

{proponowane nazwy: *barytron*, *yukon*, *mesotron*, *meson*}

Okazało się jednak wkrótce, że „mezony” promieniowania kosmicznego oddziałują z powietrzem co najmniej 100 razy słabiej niż to jest wymagane dla cząstki Yukawy.

Tomonaga i Araki (1940), Sakata i Inoue (1943), Marshack i Bethe (1947) postulowali istnienie **dwóch** mezonów

Zahlentafel 1. Elementarteilchen und Photonen.¹

Name des Teilchens, Entdecker und Jahr der Entdeckung	Zeichen	Ruhmasse in Gramm	Atomgewicht $1 \text{ ME} = \frac{m_O}{16} = 1,661 \cdot 10^{-24} \text{ g}$	Elektrische Ladung in e. st. E. ($\text{cm}^{\frac{3}{2}} \text{ g}^{\frac{1}{2}} \text{ sec}^{-1}$)	Beobachter
<i>Elektron</i> (β -Teilchen): J. W. Hittorf, 1869 J. Perrin, 1895 P. Lenard, 1899	β, e^-	$m_e = (9,118 \pm 0,010) \cdot 10^{-28}$	$A_e = 0,000549$	$-e$ $e = (4,805 \pm 0,005) \cdot 10^{-10}$	
<i>Positron</i> : P. A. M. Dirac, 1928 C. D. Anderson, 1932	e^+	m_e	A_e	$+e$	
<i>Proton</i> (H^+ -Teilchen): Marsden, 1914	${}_1^1p, {}_1^1H$	$m_p = (1,673 \pm 0,010) \cdot 10^{-24}$ $m_H = (1,674 \pm 0,010) \cdot 10^{-24}$	$A_p = 1,00758 \pm 0,00002$ $A_H = 1,00813 \pm 0,00002$	$+e$	Bainbridge und Jordan
<i>Neutron</i> : J. Chadwick, 1932	${}_0^1n$	$m_n = (1,676 \pm 0,010) \cdot 10^{-24}$	$A_n = 1,00897 \pm 0,00006$	0	
<i>Deuteron</i> (Deuton): H. C. Urey, F. G. Brickwedde, G. M. Murphy, 1932	${}_1^2d, {}_1^2H, {}_1^2D$	$m_d = (3,345 \pm 0,020) \cdot 10^{-24}$ $m_D = (3,346 \pm 0,020) \cdot 10^{-24}$	$A_d = 2,01418 \pm 0,00002$ $A_D = 2,01473 \pm 0,00002$	$+e$	Bainbridge und Jordan
α -Teilchen (Heliumkern): H. Becquerel, 1896	${}_2^4\alpha, {}_2^4He$	$m_\alpha = (6,647 \pm 0,040) \cdot 10^{-24}$ $m_{He} = (6,649 \pm 0,040) \cdot 10^{-24}$	$A_\alpha = 4,00279 \pm 0,00007$ $A_{He} = 4,00389 \pm 0,00007$	$+2e$	Bainbridge und Aston
<i>Photon</i> (Lichtquant, γ -Quant): M. Planck, 1900 A. Einstein, 1905	γ	$Masse m_\nu = \frac{h\nu}{c^2} = 7,36 \cdot 10^{-48} \nu$ $h = (6,62 \pm 0,01) \cdot 10^{-27}$ erg . sec $c = (2,99774 \pm 0,00001) \cdot 10^{10}$ cm . sec ⁻¹	$A_\nu = \frac{16 m_\nu}{m_O} = \frac{16 h\nu}{m_O c^2} =$ $= 4,42 \cdot 10^{-24} \nu,$ ν in Hertz (sec ⁻¹)	0	

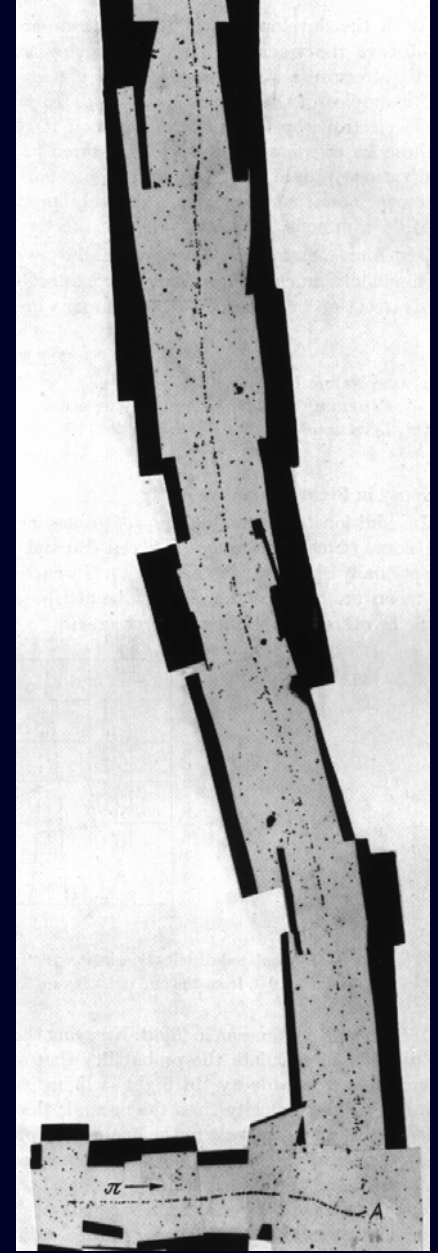
¹ Die Massenzahlen, e , h und c nach „Tables annuelles des constantes et données numériques“. Paris, Hermann & Cie. 1937; die Atomgewichte nach M. Stanley Livingston und H. A. Bethe, Reviews of Modern Physics, 9, 380, 1937. Über das Neutrino s. S. 79.

Odkrycie pionów



Cecil Powell
(1903-1969)

Conversi, Pancini i Piccioni,
(*Phys. Rev.* **71**, 209 (1947)) odkryli, że
mezony dodatnie zatrzymujące się
w żelazie ulegają rozpadowi, natomiast
mezony ujemne są wychwytywane przez
jądra żelaza zanim zdążą się rozpaść



Pierwszy rozpad $\pi \rightarrow \mu$

„Istnieje zatem silny dowód, że występuje produkcja pojedynczej jednorodnej grupy wtórnych mezonów o stałej masie i energii kinetycznej. To silnie sugeruje, że istnieje proces fundamentalny, a nie oddziaływanie mezonu pierwotnego ze szczególnym rodzajem jądra w emulsji. Wygodnie jest nazywać niżej ten proces rozpadem μ . Mezony pierwotne oznaczamy symbolem π , a wtórne μ .

...Nasze wstępne pomiary zdają się zatem wskazywać, że emisji wtórnych mezonów nie można traktować jako wynik samorzutnego rozpadu cząstki pierwotnej, w którym pęd jest równoważony przez foton, albo inną cząstkę o małej masie spoczynkowej. Z drugiej strony, wyniki są zgodne z założeniem, że [w rozpadzie tym] wysłana jest cząstka neutralna o prawie takiej samej masie jak mezon μ ."

C. M. G. Lattes, H. Muirhead, G. P. S. Occhialini, C. F. Powell,
„Processes involving charged mesons”, *Nature* **159**, 694, May 24 (1947)

Fizyka cząstek elementarnych po 1947 roku

Zadziwiające odkrycie w 1947 roku

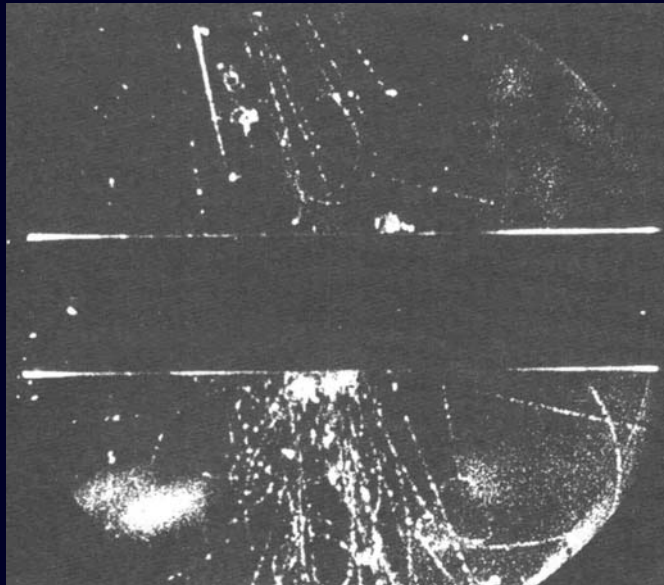
W grudniu 1947 r.
Rochester i Butler
z Manchesteru odkryli
pierwsze „cząstki V”.
Okazało się wkrótce, że
są one produkowane
tylko w parach
Nature 160, 855 (1947)



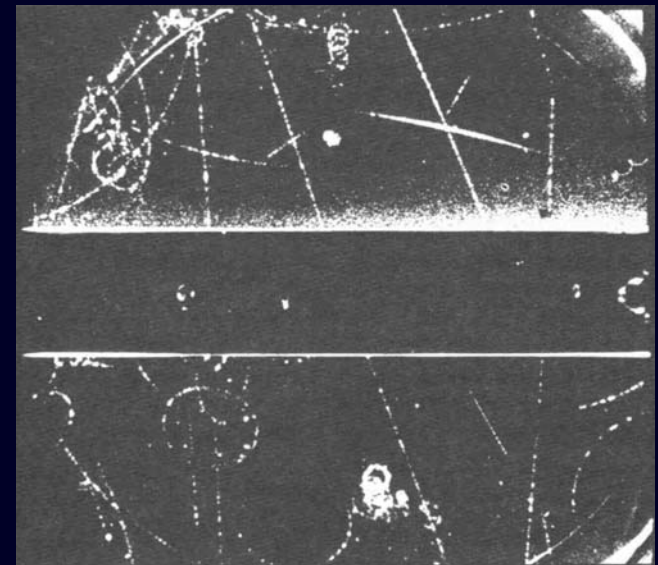
George Rochester



Clifford Butler



Neutralna cząstka V

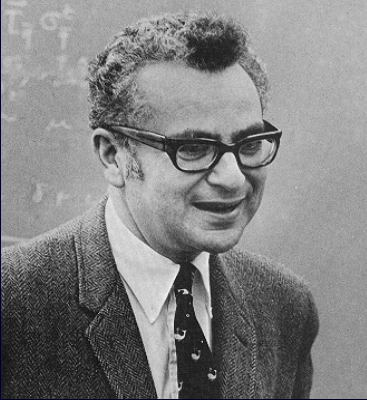


Naładowana cząstka V

Solvay Congress 1948



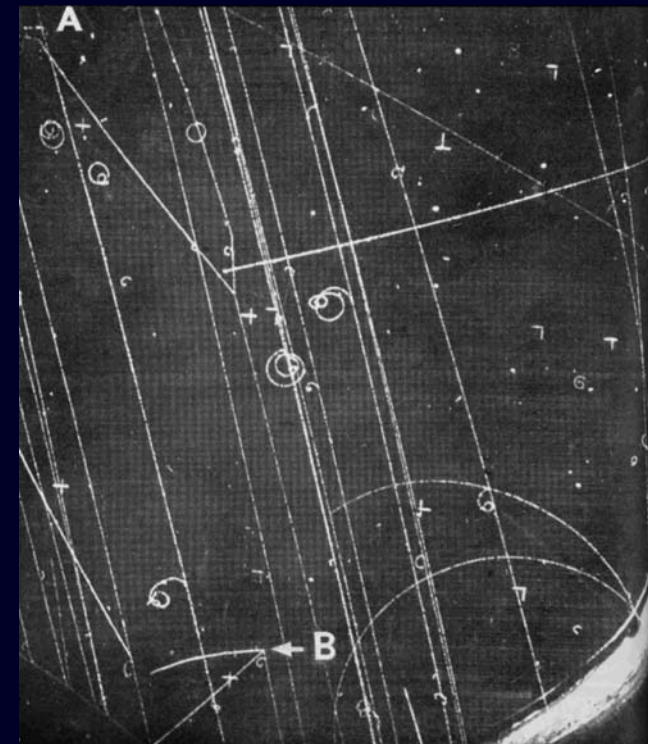
W celu wyjaśnienia faktu, że cząstki V produkowane są zawsze w parach, Gell-Mann i Nishijima niezależnie zaproponowali nową liczbę kwantową nazwaną (przez Gell-Manna) „dziwnością” (1953)

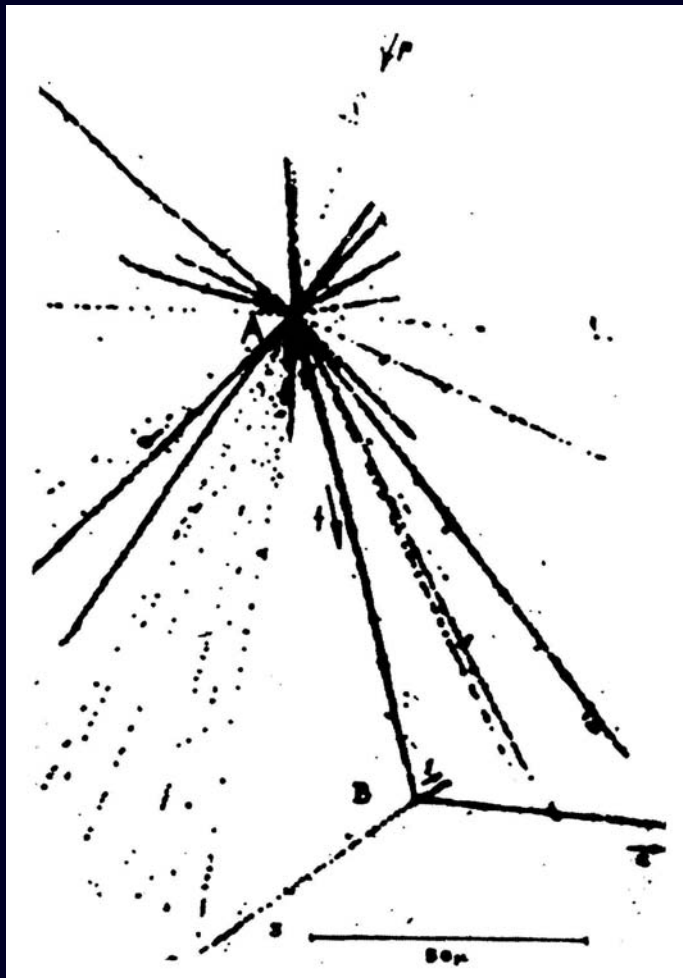


Murray Gell-Mann



Kazuhiko Nishijima



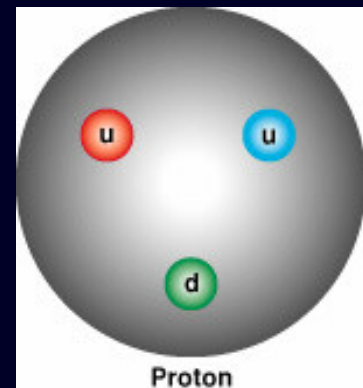


Pierwsze hiperjądro odkryli w 1952 roku w Warszawie (na Hożej)
Marian Danysz i Jerzy Pniewski

Wzrost liczby cząstek dziwnych

K_n K^+ K^- Λ Σ^+ Σ^0 Σ^- Ξ^0 Ξ^- Ω^- (podlegające rozpadowi słabemu)
wielka liczba „rezonansów” (podlegających rozpadowi silnemu)

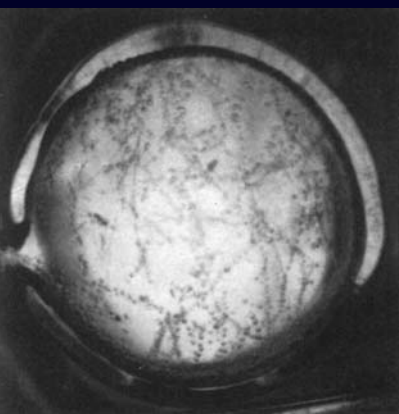
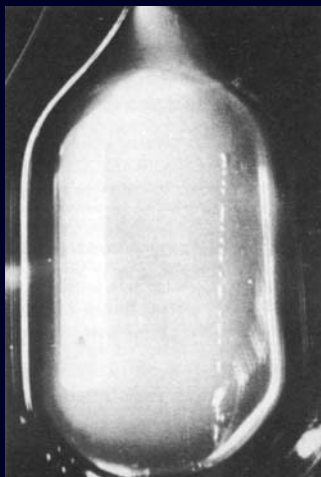
- 1956 Model Shoichi Sakaty
 (cząstki budowane z p, n, Λ)
- 1961 Murray Gell-Mann; Yuval Ne'eman -
 model symetrii grupy SU(3)
 „The Eightfold Way”
- 1964 Murray Gell-Mann (kwarki);
 George Zweig (asy)
- 1964-65 Oscar Greenberg,
 Yoichiro Nambu, Moo-Young Han
 - kwarki obdarzone kolorem



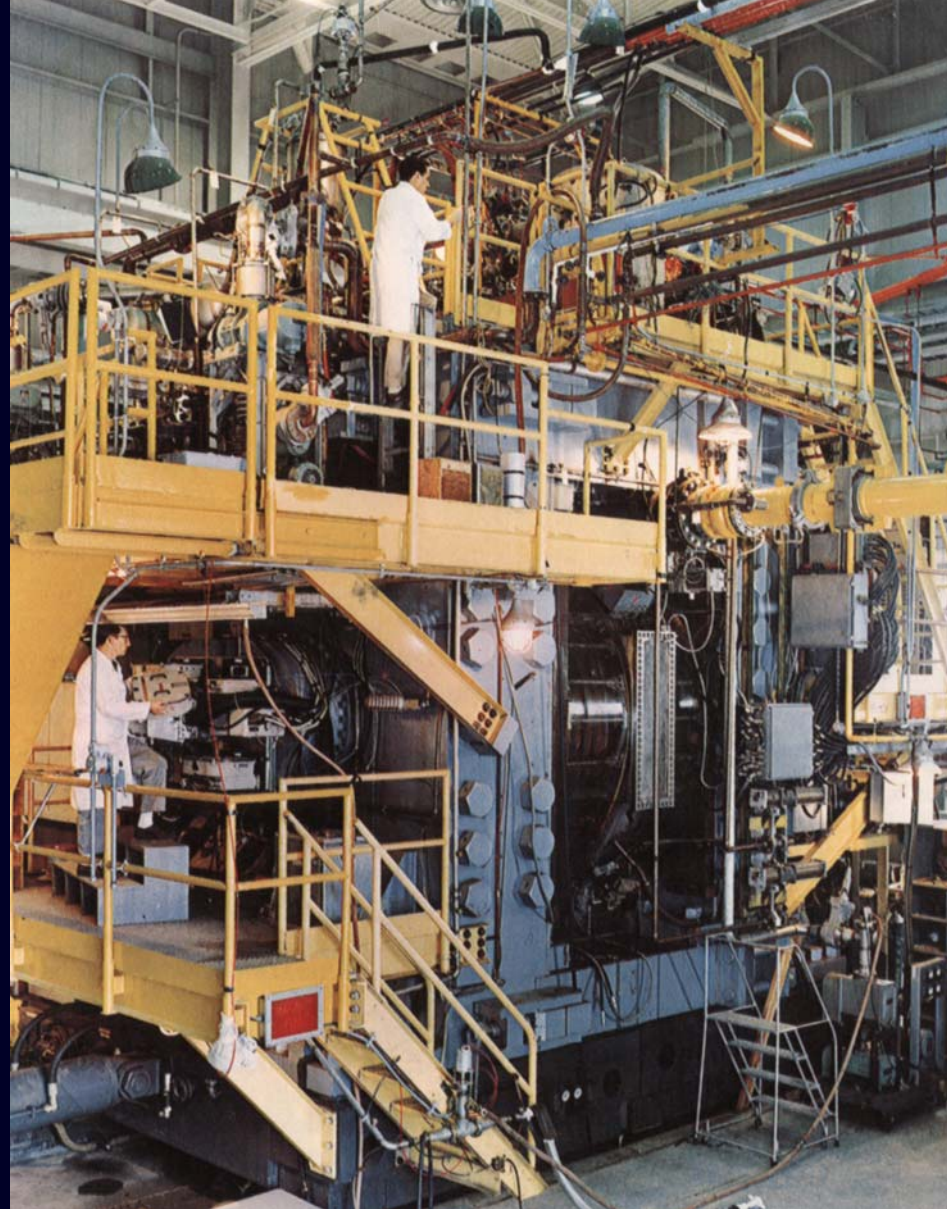


**Donald
Glaser**

Pierwsza komora
pęcherzykowa
Glaser

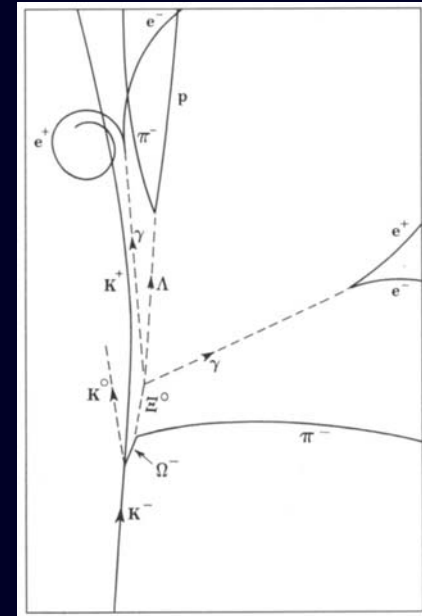
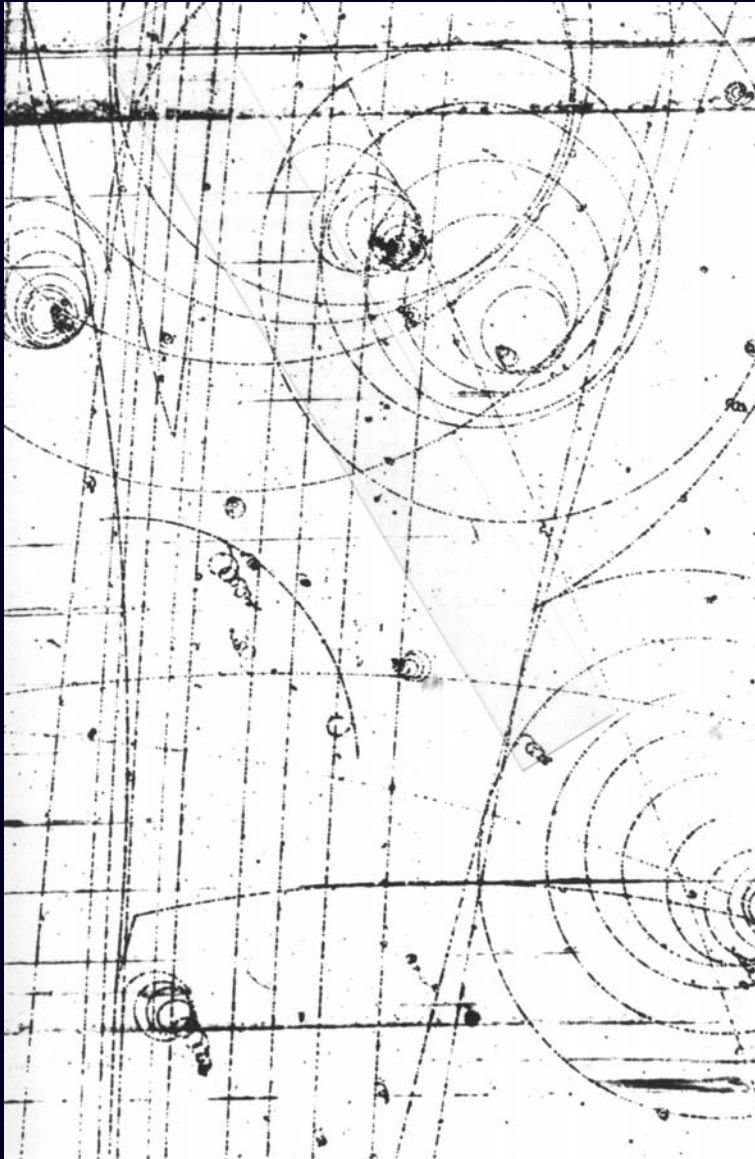


Tory w wodorowej
komorze o średnicy
3,5 cm (1954)



80-calowa wodorowa komora
pęcherzykowa w BNL (1965)

Odkrycie hiperonu Ω^-



Spektakularne potwierdzenie
przewidywania Gell-Manna

„Nie istnieje praktycznie żadna metoda zaobserwowania neutrino”
Bethe i Peierls, *Nature*, IV 1934

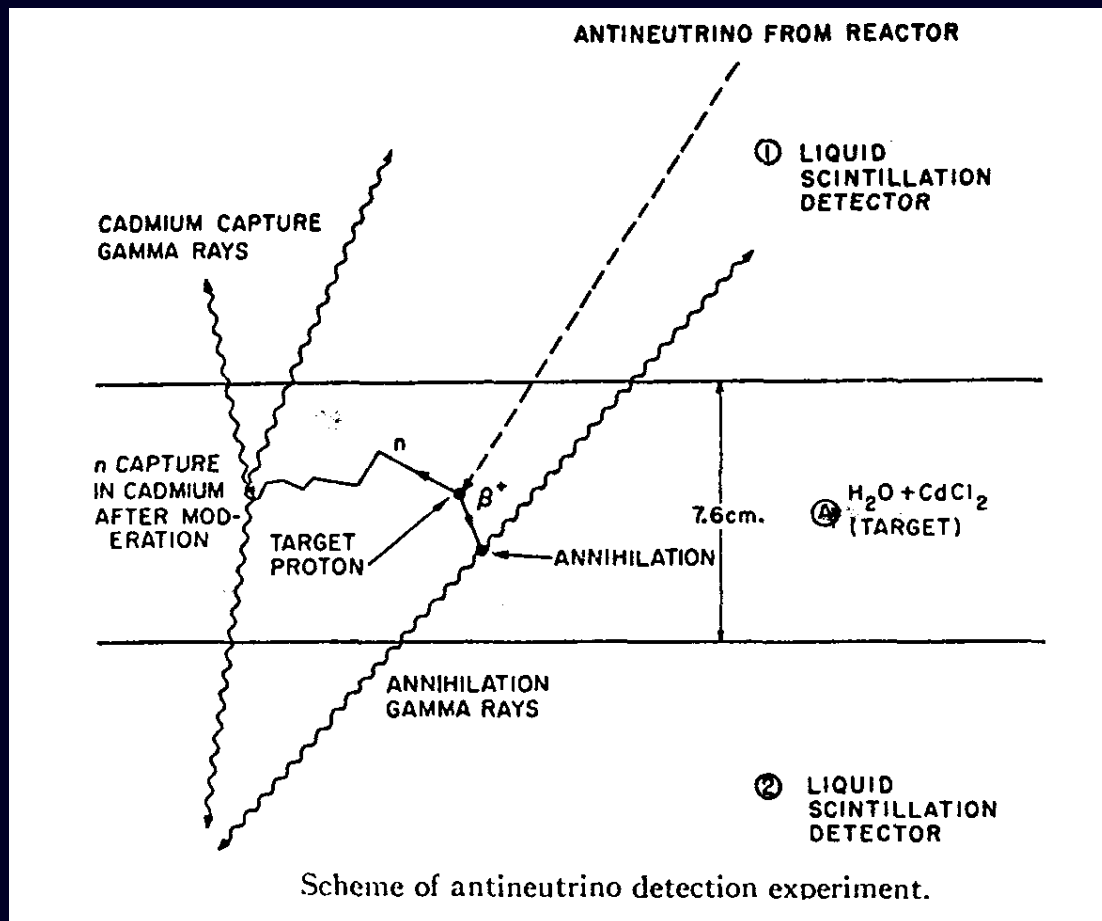
Eksperyment Reinesa i Cowana przy reaktorze Savannah River



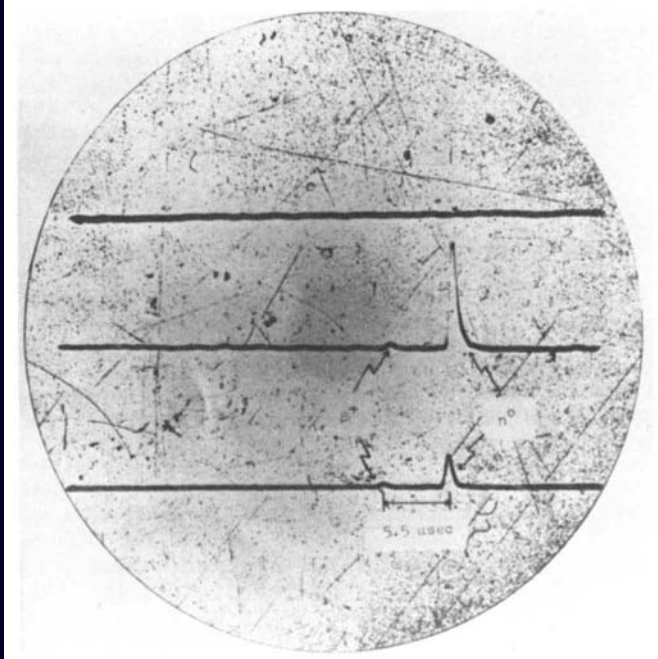
Fred Reines i Clyde Cowan



Zbiornik wypełniony
4500 litrami ciekłego
scyntyлятора



Eksperyment Reinesa i Cowana



Sygnał detekcji
odwrotnego rozpadu β





Telegram Reinesa i Cowana do Pauliego 14 VI 1956 r.

DOMESTIC SERVICE		WESTERN UNION		INTERNATIONAL SERVICE	
Check the class of service desired otherwise this message will be sent as a full-rate telegram		WESTERN UNION TELEGRAMS		Check the class of service desired otherwise this message will be sent as a full-rate telegram	
FULL RATE TELEGRAM				FULL RATE	
DAY LETTER				LETTER TELEGRAM	
NIGHT LETTER				NIGHT RADIOGRAM	
NO. WTS. C.T. OF SVC.	PD NO. BOLD	Order NO.	CHARGE TO THE ACCOUNT OF		TIME FILED
Send the following message, subject to the terms on back hereof, which are hereby agreed to					
To		Professor W. Pauli		14 June 1956	
Street and No.		Zürich University			
Care of or Apt. No.		Switzerland			
We are happy to inform you that we have definitely detected neutrinos from fission fragments by observing inverse beta decay of protons. Observed cross section agrees well with expected value. Ten to fifteen fast fission square centimeters.					
With letter		Frederick Reines, Cowan		Box 1663 Los Alamos, New Mexico	
Cost \$8.95		Sender's name and address (For reference)		Sender's telephone number	

„Jesteśmy radzi poinformować pana, że bezspornie zaobserwowaliśmy neutrino z fragmentów rozszczepienia przez obserwację odwrotnego rozpadu beta protonów. Obserwowany przekrój czynny dobrze się zgadza z przewidywaną wartością sześć razy dziesięć do minus czterdziestej czwartej centymetra kwadratowego.”



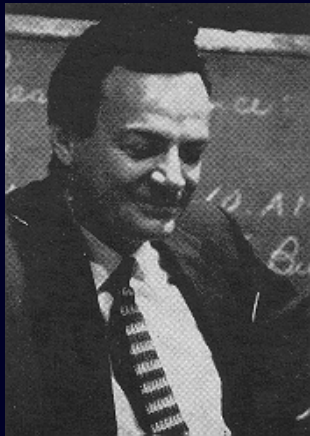
Elektrodynamika kwantowa

W 1947 roku Willis Lamb i Robert Retherford odkryli rozszczepienie poziomów $2S_{1/2}$ i $2P_{1/2}$ wodoru (w teorii Diraca energia tych poziomów powinna być identyczna).

W latach 1948-1951 Schwinger, Feynman i Tomonaga niezależnie rozwinęli nowy formalizm QED, unikając nieskończoności w rachunkach dzięki wprowadzeniu procedury renormalizacji.



Willis Lamb



Richard
Feynman

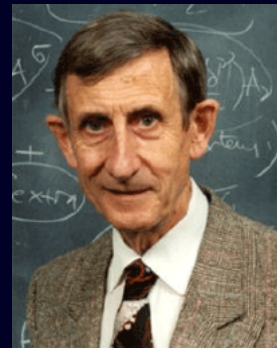


Julian
Schwinger



Sin-Itiro
Tomonaga

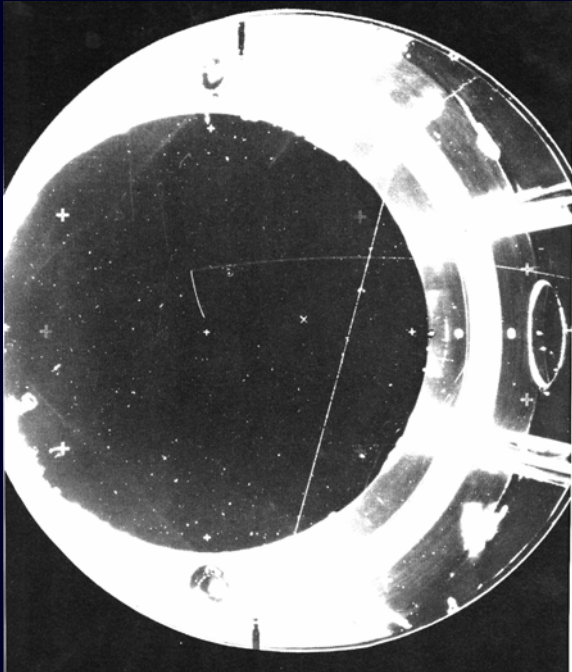
Dyson dowiódł,
że te trzy
podejścia do
QED są
równoważne



Freeman
Dyson

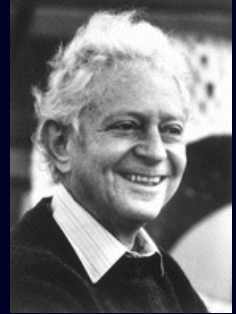
Odkrycie drugiego neutrina (1962)

Brak rozpadu $\mu \rightarrow e + \gamma$
dozwolonego przez inne prawa
zachowania sugerował istnienie
dwóch różnych neutrino



Neutrino
z rozpadu pionu
okazało się różne
od neutrino
z jądrowego
rozpadu beta

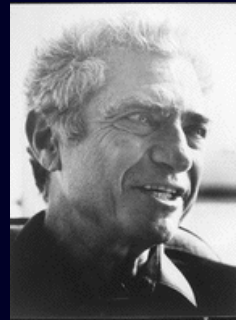
Leon
Lederman



Melvin
Schwartz



Jack
Steinberger



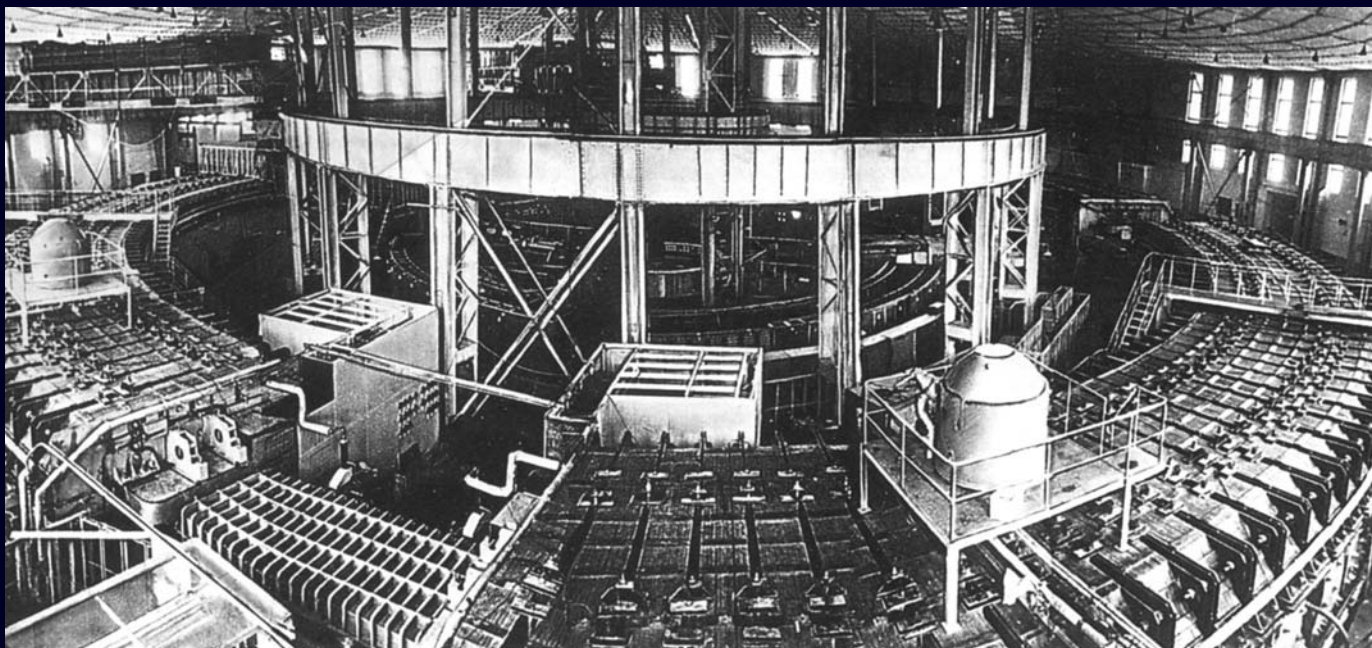
Synchrotrony protonów



Cosmotron (3 GeV)
BNL 1952



Bevatron (6 GeV)
LBL 1954



Synchrotron w Dubnej przyspieszający protony
do energii 10 GeV
(słabe ogniskowanie, magnes o masie 36 000 ton)

Observation of Antiprotons*

OWEN CHAMBERLAIN, EMILIO SEGRÈ, CLYDE WIEGAND,
AND THOMAS YPSILANTIS

*Radiation Laboratory, Department of Physics, University of
California, Berkeley, California*

(Received October 24, 1955) ✓

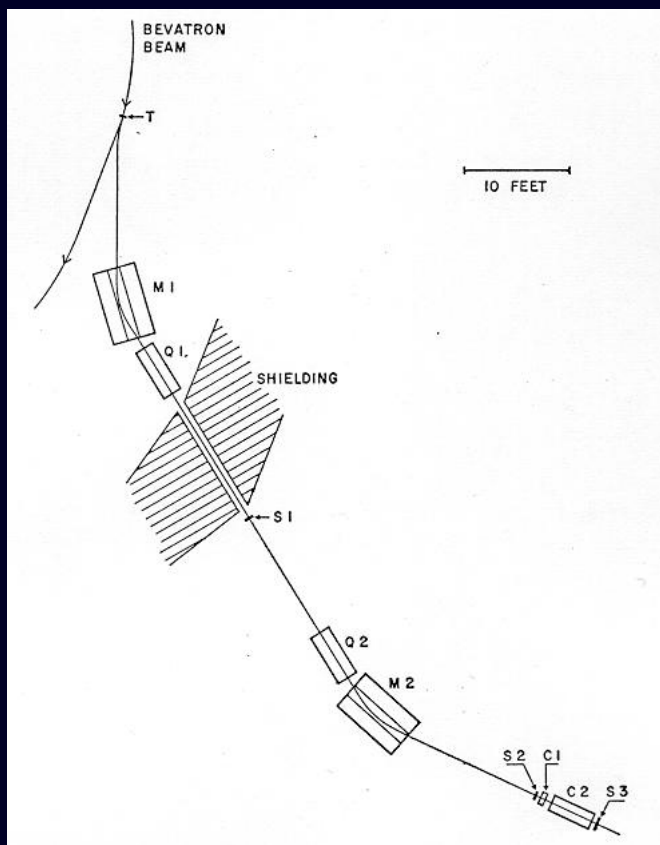
ONE of the striking features of Dirac's theory of the electron was the appearance of solutions to his equations which required the existence of an anti-particle, later identified as the positron.

The extension of the Dirac theory to the proton requires the existence of an antiproton, a particle which bears to the proton the same relationship as the positron to the electron. However, until experimental proof of the existence of the antiproton was obtained, it might be questioned whether a proton is a Dirac particle in the same sense as is the electron. For instance, the anomalous magnetic moment of the proton indicates that the simple Dirac equation does not give a complete description of the proton.

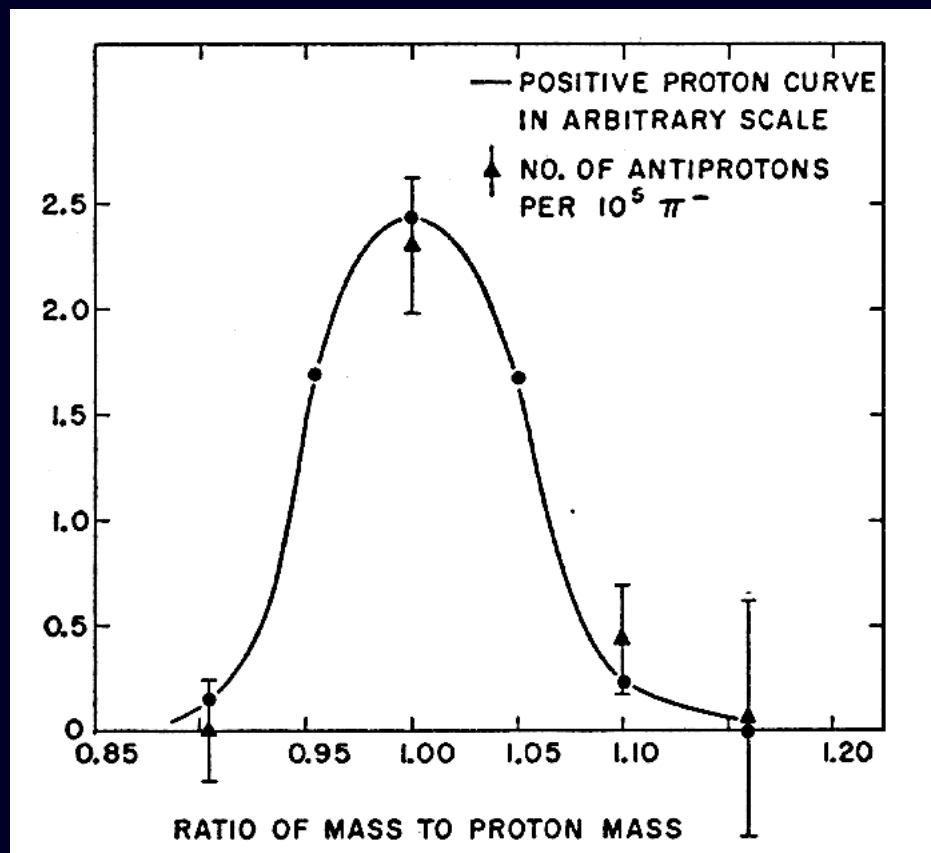
The experimental demonstration of the existence of antiprotons was thus one of the objects considered in the planning of the Bevatron. The minimum laboratory kinetic energy for the formation of an antiproton in a nucleon-nucleon collision is 5.6 Bev. If the target nucleon is in a nucleus and has some momentum, the



Odkrywcy
antyprotonu

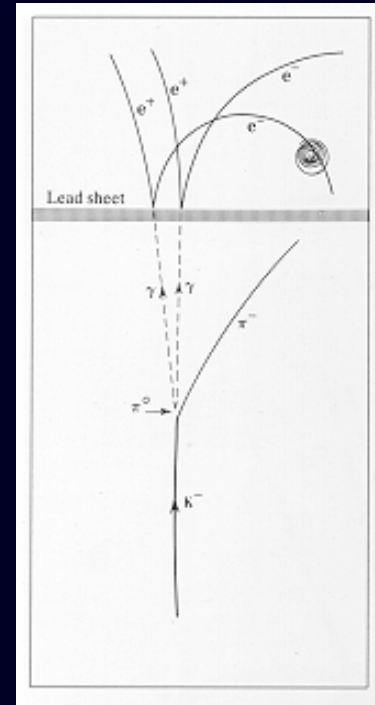
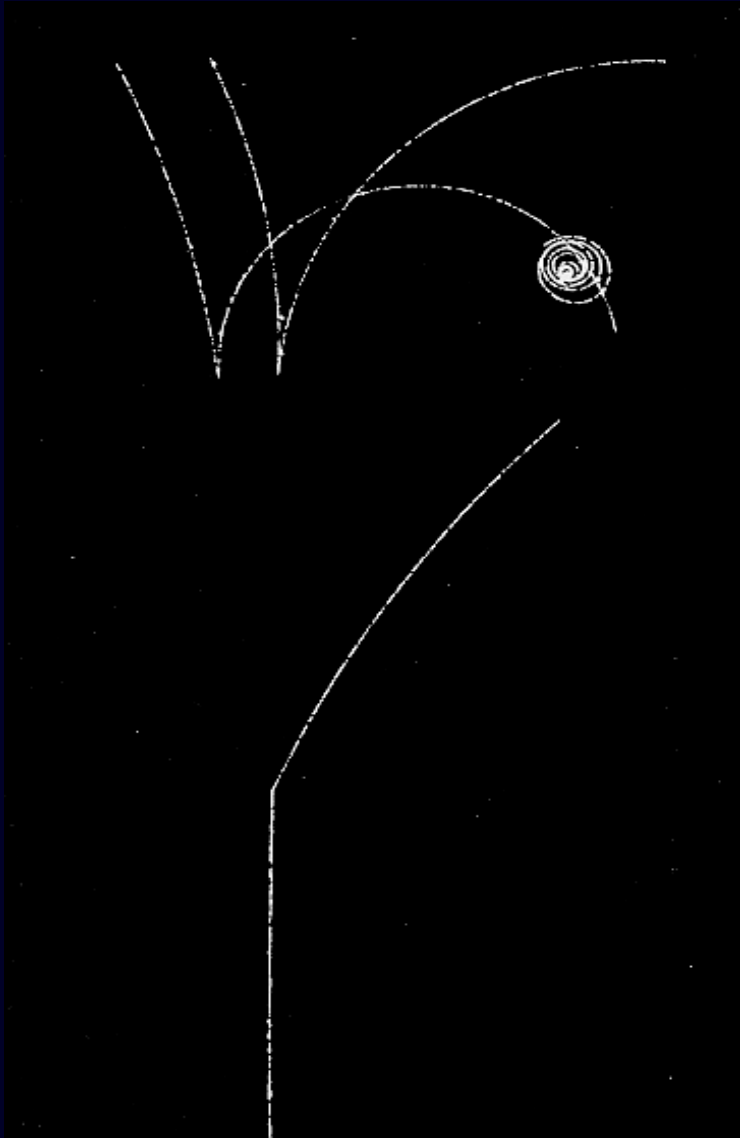


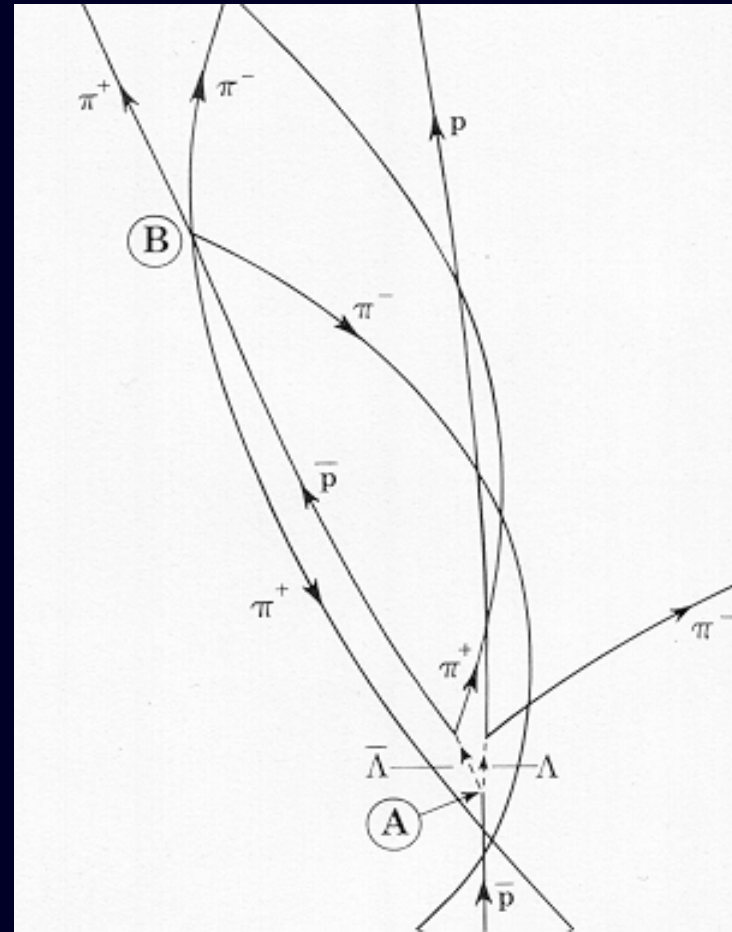
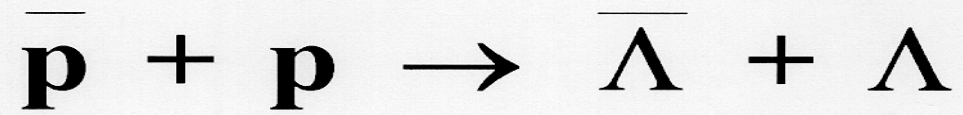
Schemat wiązki
i detektorów



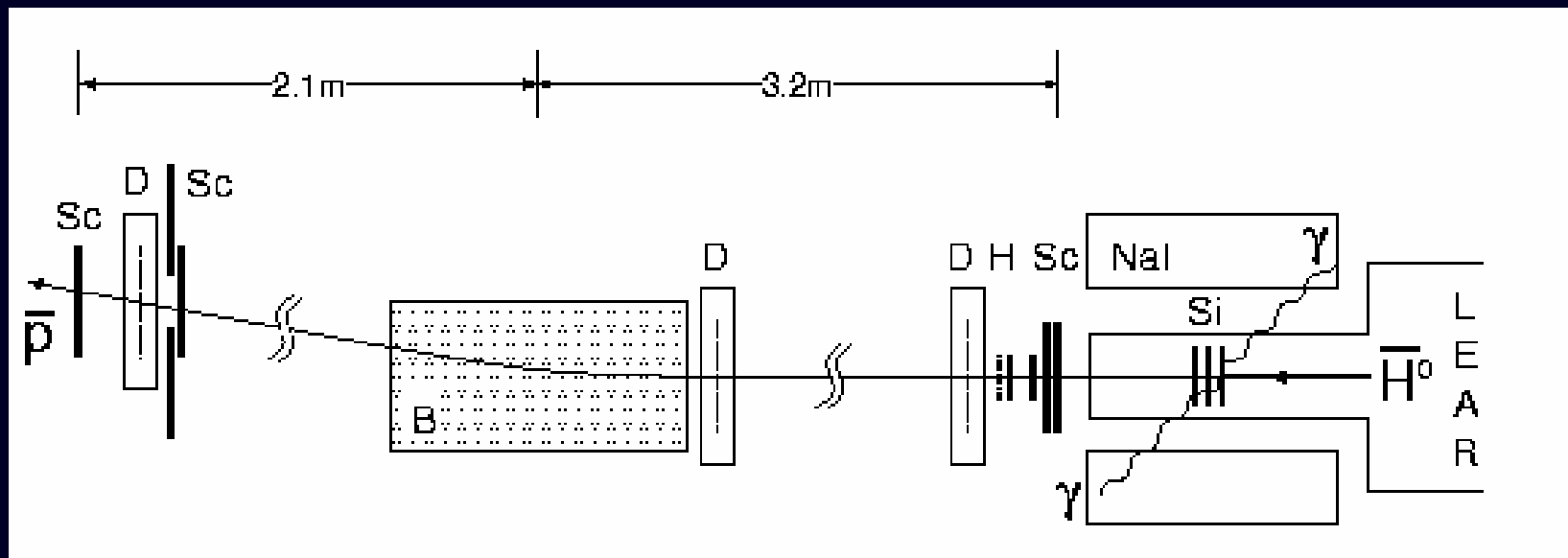
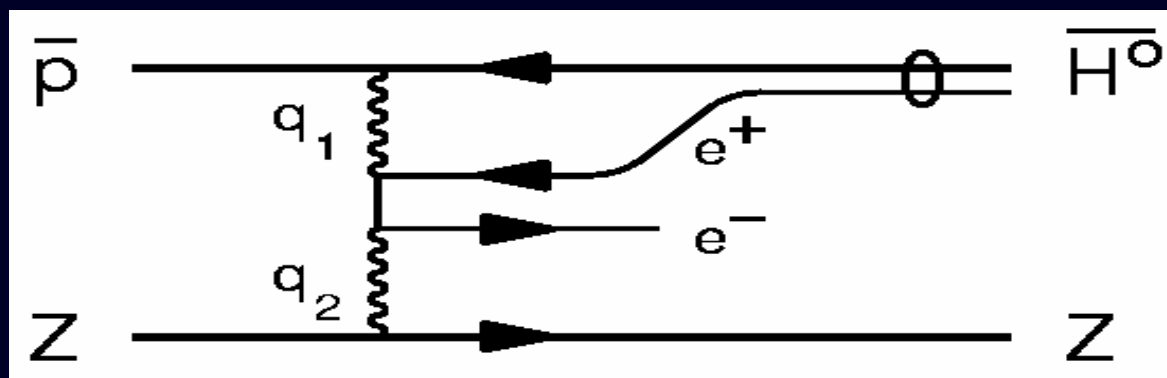
Pomiar masy antyprotonu

Produkcja pary elektron - pozyton





Produkcja antywodoru w CERN



Production of antihydrogen

G. Baur^a, G. Boero^b, S. Brauksiepe^a, A. Buzzo^b, W. Eyrich^c, R. Geyer^a, D. Grzonka^a,
J. Hauffe^c, K. Kilian^a, M. LoVetere^b, M. Macri^b, M. Moosburger^c, R. Nellen^a,
W. Oelert^a, S. Passaggio^b, A. Pozzo^b, K. Röhrich^a, K. Sachs^a, G. Schepers^c, T. Sefzick^a,
R.S. Simon^d, R. Stratmann^d, F. Stinzing^c, M. Wolke^a

^a IKP, Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany

^b Genoa University and INFN, Italy

^c PI, Universität Erlangen-Nürnberg, Germany

^d GSI Darmstadt, Germany

^e IKP, Universität Münster, Germany

Received 8 December 1995; revised manuscript received 21 December 1995

Editor: L. Montanet

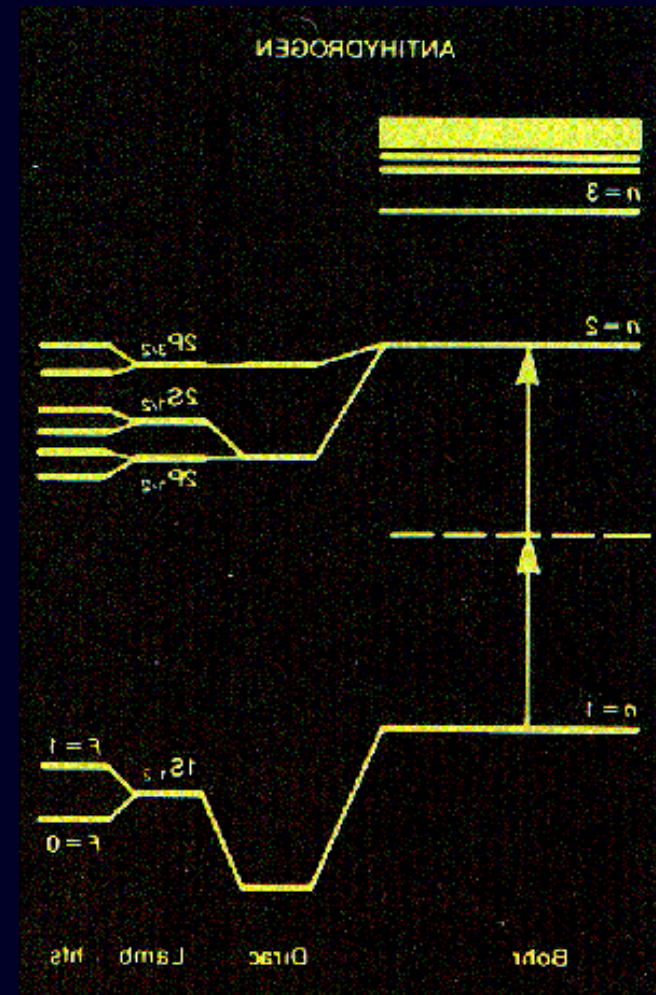
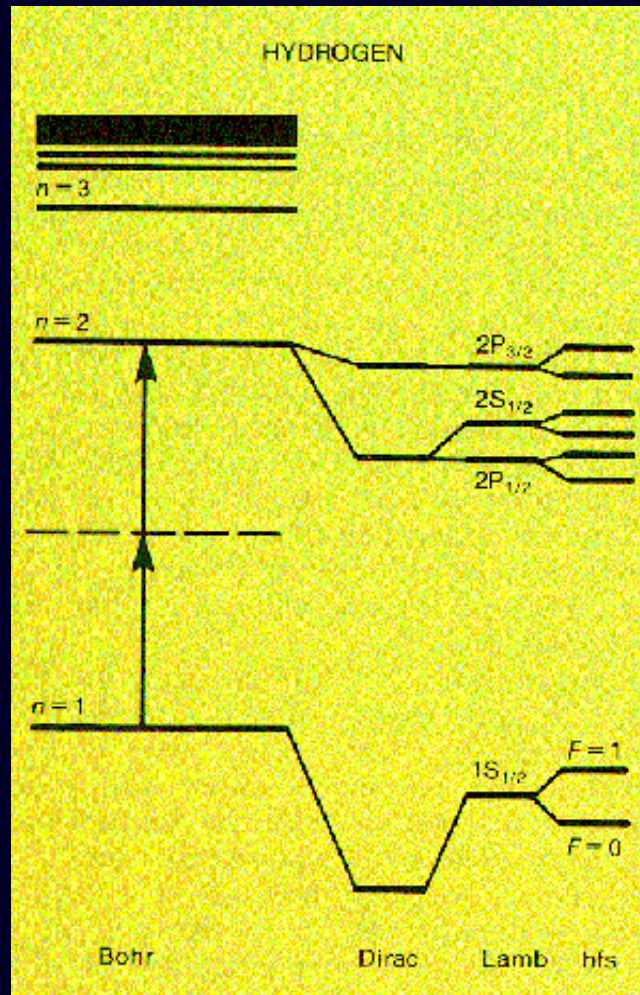
Abstract

Results are presented for a measurement for the production of the antihydrogen atom $\bar{H}^0 \equiv \bar{p}e^+$, the simplest atomic bound state of antimatter.

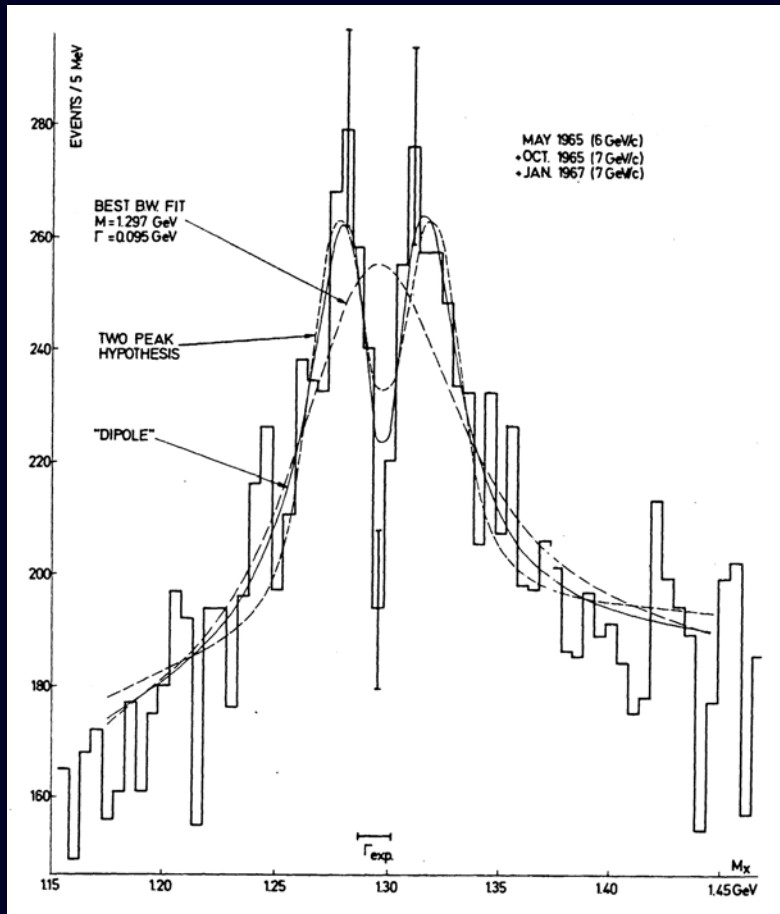
A method has been used by the PS210 collaboration at LEAR which assumes that the production of $\bar{H}^0$ is predominantly mediated by the e^+e^- -pair creation via the two-photon mechanism in the antiproton-nucleus interaction. Neutral $\bar{H}^0$ atoms are identified by a unique sequence of characteristics. In principle $\bar{H}^0$ is well suited for investigations of fundamental CPT violation studies under different forces, however, in our investigations we concentrate on the production of this antimatter object, since so far it has never been observed before.

The production of 11 antihydrogen atoms is reported including possibly 2 ± 1 background signals, the observed yield agrees with theoretical predictions.

Poziomy energetyczne wodoru i antywodoru



Błędne eksperymenty



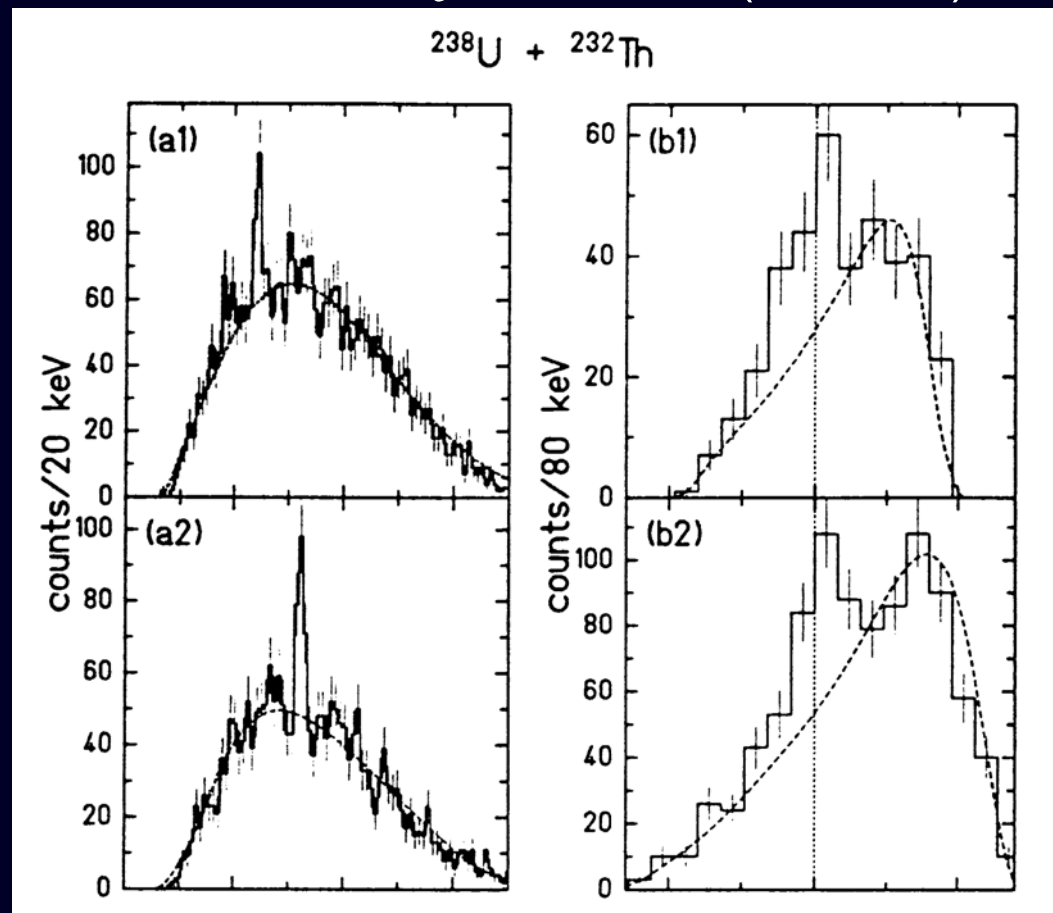
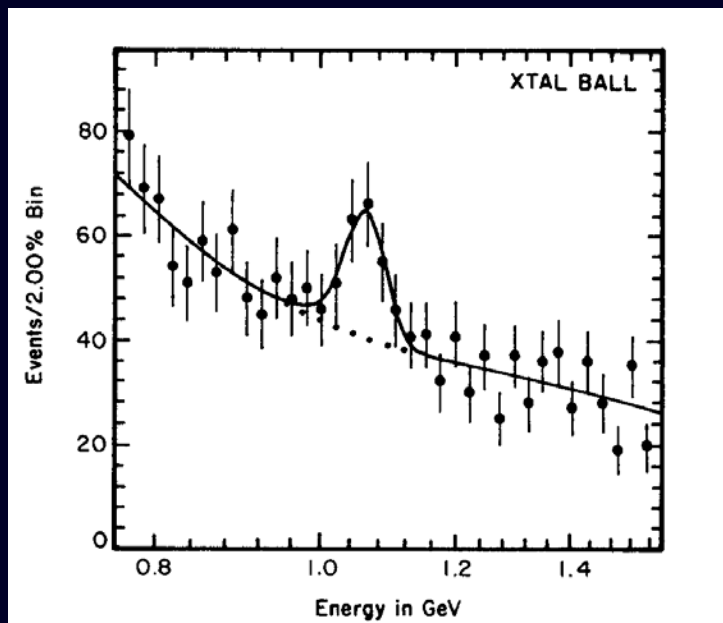
Dane uzyskane w latach 1965-1967 przy użyciu CERN-owskiego Spektrometru Masy Brakującej (Missing Mass Spectrometer) zdawały się wykazywać „rozszczenie” mezonu A_2

Mimo „potwierdzenia” uzyskanego w niektórych innych eksperymentach i bardzo wielu prac teoretycznych na temat „modelu dipolowego”, okazało się wkrótce, że był to tylko wynik niewłaściwej analizy danych

Błędne eksperymenty (cd.)

Neutralna cząstka $\rightarrow e^+e^-$ (1983-95)

„Cząstka ζ ” (1984)



Czasem eksperymentatorzy nie pamiętają o tym, że przy ogromnej liczbie prób muszą być obserwowane nawet bardzo mało prawdopodobne czysto przypadkowe fluktuacje 4σ lub 5σ

Błędny zakręt teorii

Około roku 1960 niektórzy teoretycy zaczęli powątpiewać w prawdziwość Kwantowej Teorii Pola i rozpoczęli rozwijanie „teorii analitycznej macierzy S”. Geoffrey Chew wysunął ideę „demokracji jądrowej”, która zawierała mechanizm „*bootstrap*” (wszystkie hadrony powinny być generowane przez matematyczną strukturę teorii).

„Nie chcę zapewniać (jak czyni to Landau), że konwencjonalna teoria pola jest oczywiście błędna, lecz tylko - że jest ona bezpłodna, jeśli chodzi o oddziaływania silne i że, jak stary żołnierz, nie ma umrzeć, lecz po prostu przemiąć.”

Geoffrey Chew, *S-matrix Theory of Strong Interactions* (1962)



(To podejście zostało stopniowo zarzucone w latach 1970-tych)

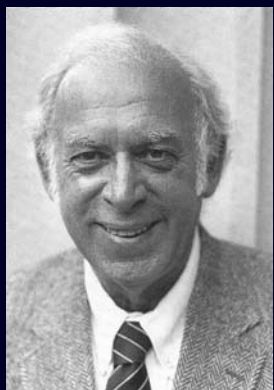
Struktura nukleonów



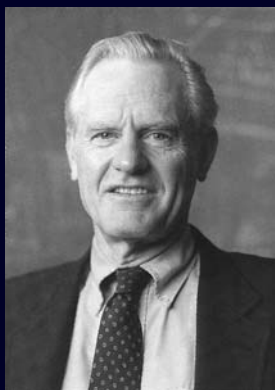
Robert Hofstadter (1954)
wyznaczył promień ładunku protonu,
neutronu i jąder

W 1967 roku rozpoczęto w SLAC eksperymenty głęboko nieelastycznego rozpraszania elektronów na protonach.

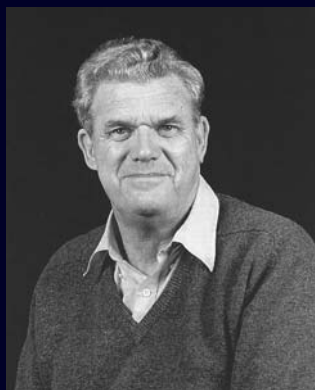
Wolfgang Panofsky na konferencji w Heidelbergu (1967): „Odnosi się wrażenie, że przyroda stara się nam powiedzieć coś prostego, czego nikt nie dostrzega”



**Jerome
Friedman**



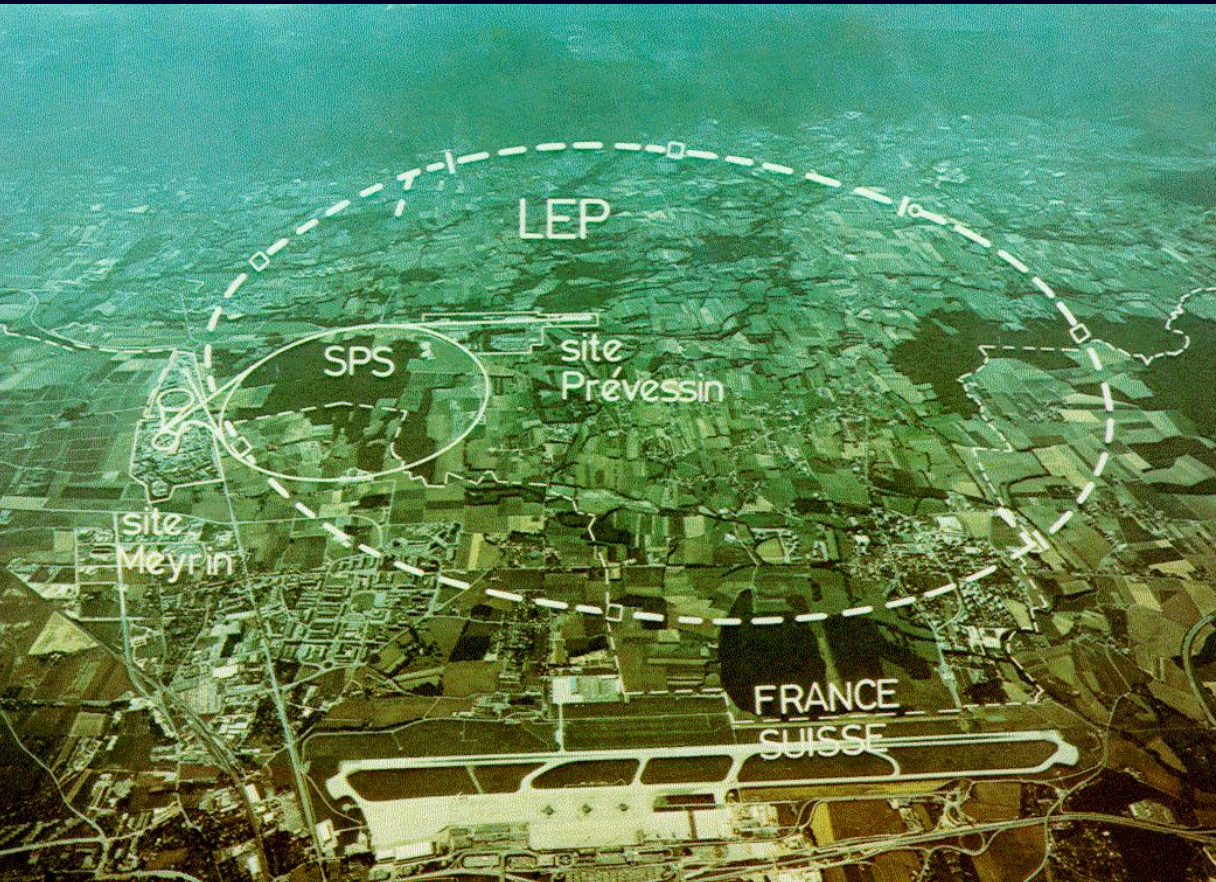
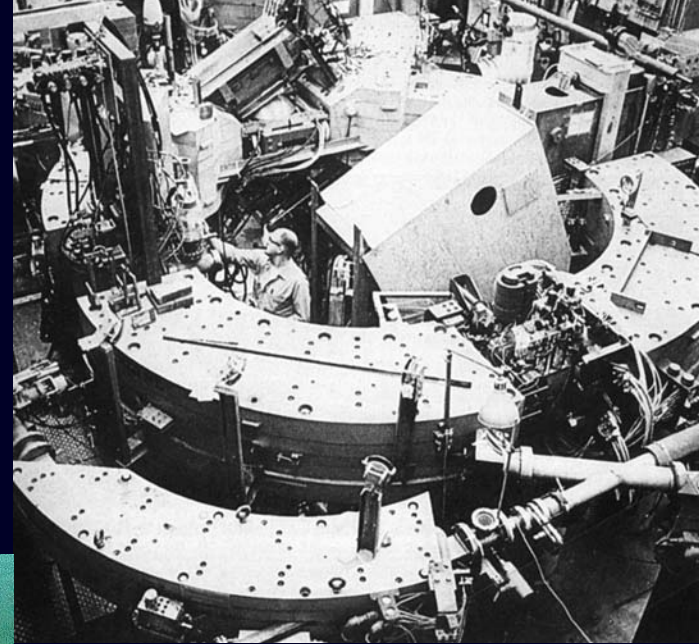
**Henry
Kendall**



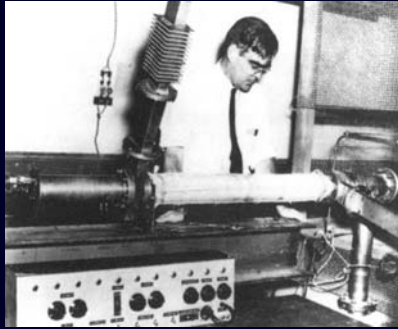
**Richard
Taylor**

Odkrycie struktury
partonowej protonu

Pierwszy akcelerator wiązek przeciwbieżnych
elektronów w Stanford
Princeton-Stanford team (1965)



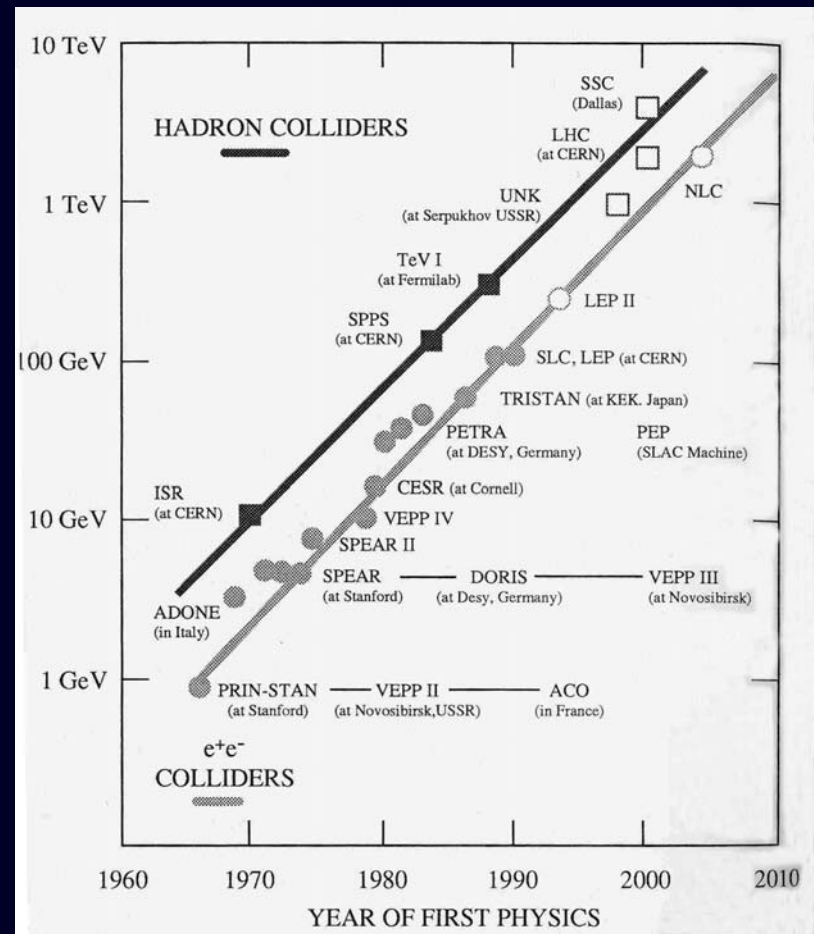
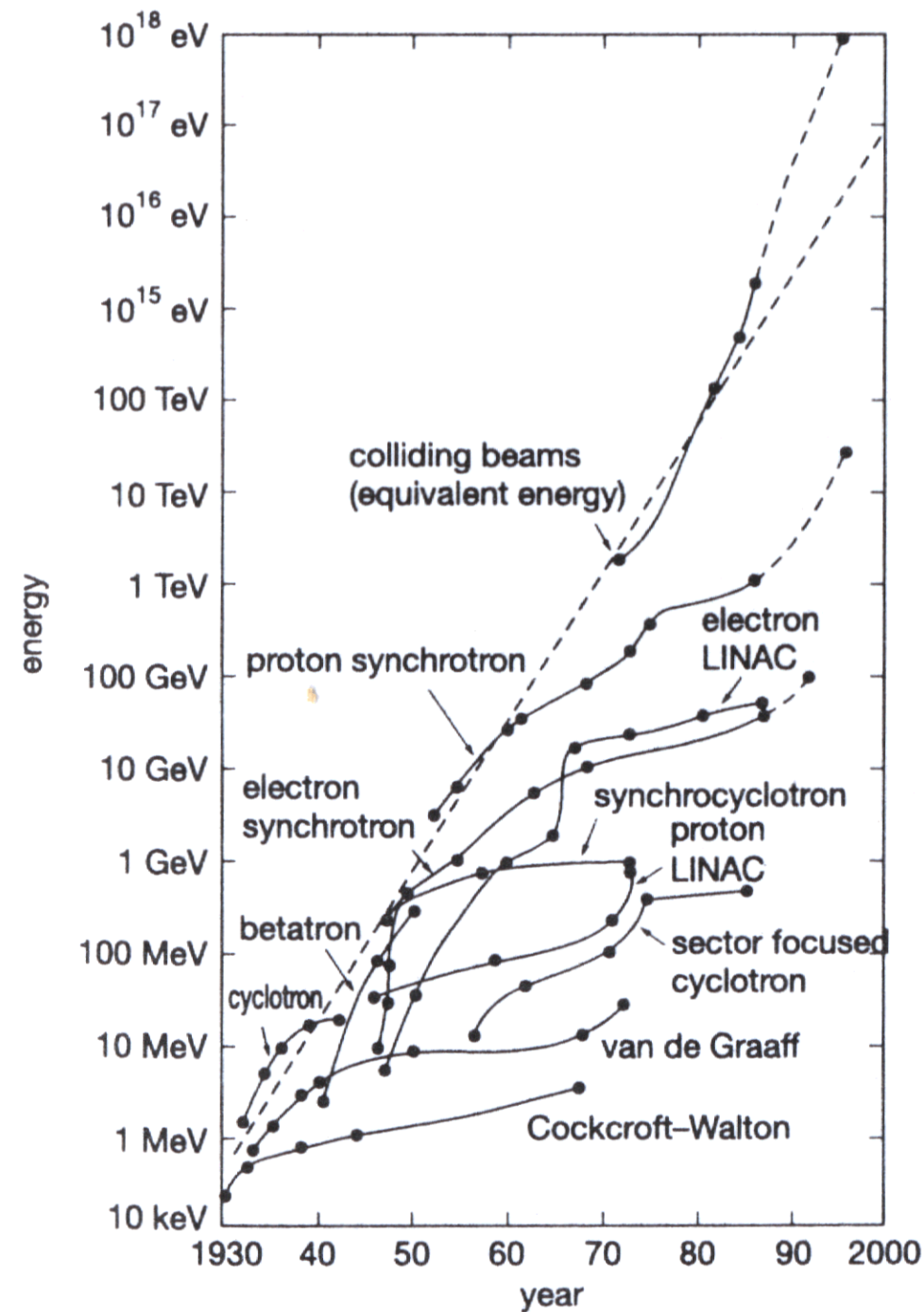
Europejskie Laboratorium
Fizyki Cząstek (CERN)



Pierwszy liniowy akcelerator
elektronów zbudowany przez
Williama Hansena
w Stanford w 1947 r.
(długość 3,6 m, energia 6 GeV)



Akcelerator liniowy
o długości 3 km w SLAC
(na energię 30 GeV)



Wykres Livingstona

Niektóre ważne fakty w rozwoju Modelu Standardowego

1954 teoria Yanga-Millsa pól z cechowaniem

1962 Odkrycie drugiego neutrina

1964-65 Greenberg, Han i Nambu - kolor kwarków

1964 Mechanizm Higgsa generacji masy

1964 Odkrycie niezachowania CP w BNL

1967 Teoria oddziaływań elektroślabych (Glashow, Salam, Weinberg)

1970 Mechanizm GIM (Glashow, Iliopoulos, Maiani)

1971 't Hooft - renormalizowalność teorii z cechowaniem

1973 Gell-Mann i Fritzsche - chromodynamika kwantowa

1973 Gross i Wilczek, Politzer - asymptotyczna swoboda

1973 Odkrycie prądów neutralnych w CERN

1974 Odkrycie kwarku c w BNL i Stanford

1975 Odkrycie trzeciego leptonu w Stanford

1977 Odkrycie kwarku b w FNAL

1979 Odkrycie gluonów w DESY

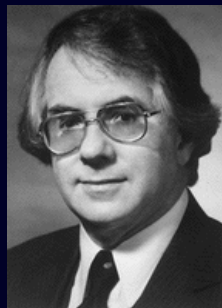
1982 Obserwacja bozonów $W^\pm$ w CERN*

1983 Obserwacja bozonu Z^0 w CERN*

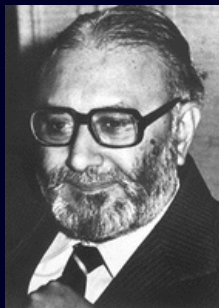
1995 Obserwacja kwarku t w FNAL*

* Było kilka wcześniejszych „odkryć” bozonów wektorowych i kwarku t

Unifikacja oddziaływań elektromagnetycznych i słabych



**Sheldon
Glashow**



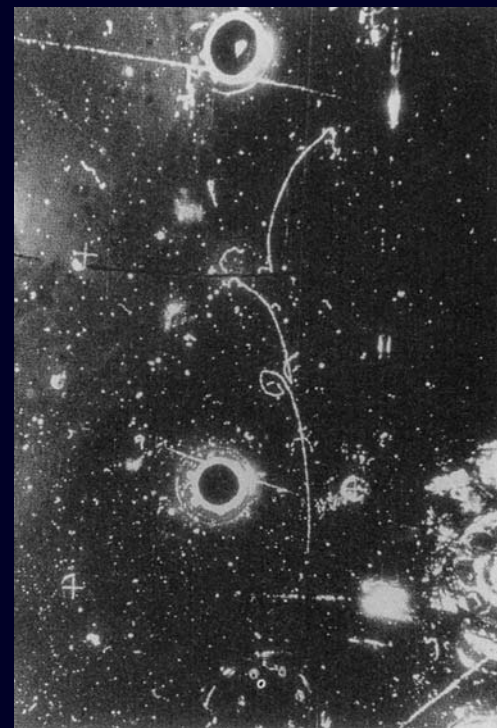
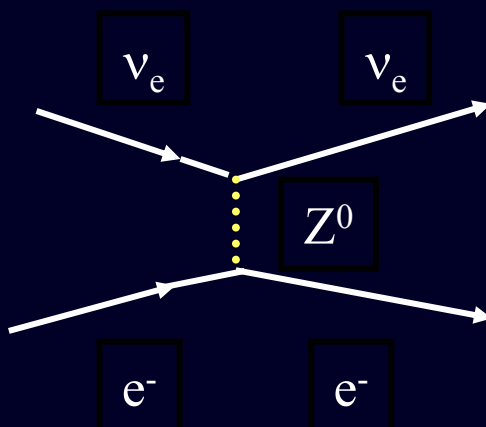
**Abdus
Salam**



**Steven
Weinberg**

**Oddziaływania elektroslabe
są przenoszone przez cztery
pośredniczące bozony wektorowe
 W^+, W^-, Z^0, γ
(1967)**

**Potwierdzenie doświadczalne:
odkrycie słabych prądów
neutralnych w CERN przez
Gargamelle Collaboration (1973)**



Pierwszy przypadek NC

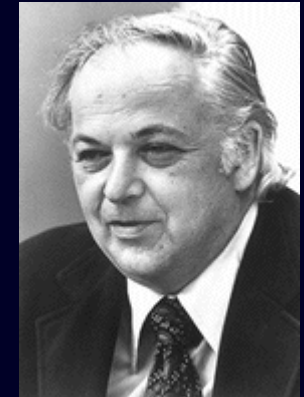
Druga i trzecia generacja kwarków i leptonów

„Rewolucja listopadowa” w 1974 roku

Odkrycie cząstki J/ψ przez Richtera i Tinga stanowiło potwierdzenie istnienia czwartego kwarku c przewidzianego w 1964 i 1970 r.

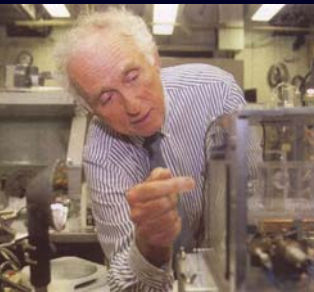


Samuel Ting



Burton Richter

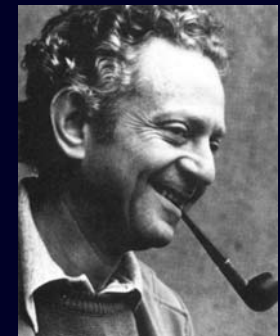
Trzecią generację kwarków przewidzieli Kobayashi i Maskawa (1973)



Trzeci lepton τ
odkrył Perl
(1975)

Martin Perl

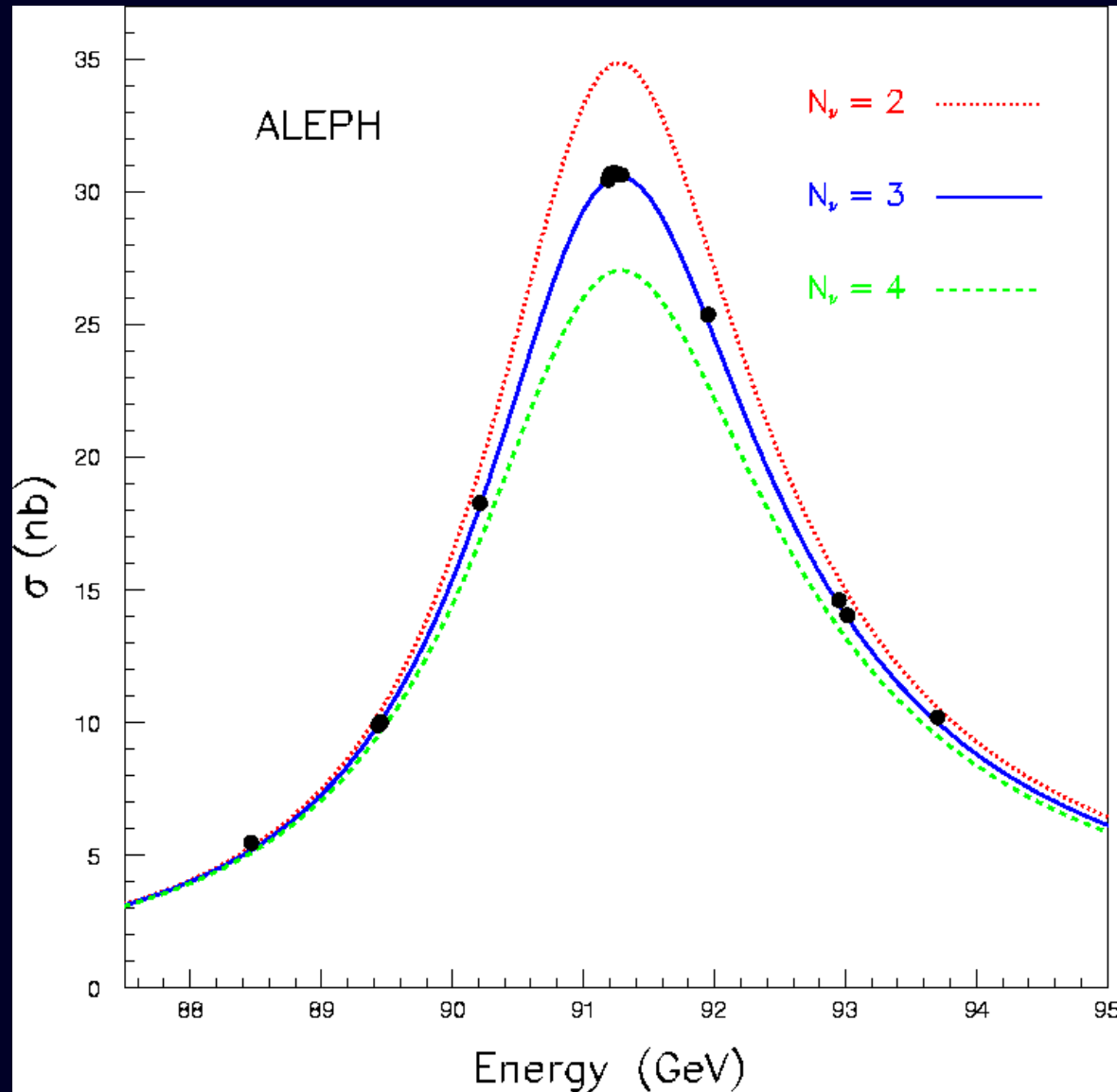
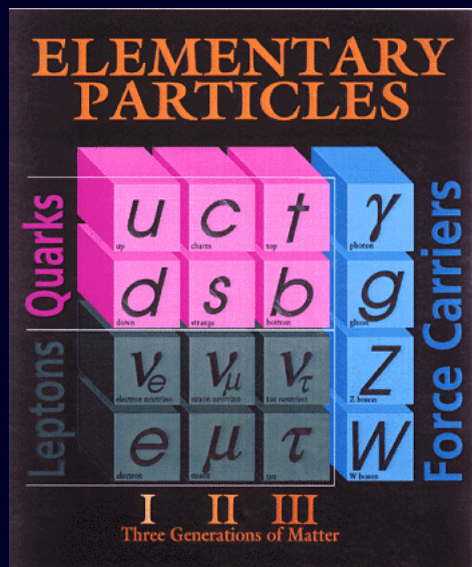
Piąty kwark b
odkrył
Lederman
(1977)



Leon Lederman

Szósty kwark t odkryto w 1995 r. (CDF, D0) w ośrodku Fermilab
Trzecie neutrino zaobserwowano w 2000 r. (DONUT) w ośrodku Fermilab

W 1989 roku w czterech eksperymentach przy LEP ustalono, że istnieją tylko trzy generacje kwarków i leptonów



Cząstki elementarne

(1938)

e^-

p

γ

e^+

n

d

α

(~ 1970)

e^-

1897

p

1911 - 1919

γ

1923 (1905)

e^+

1932

n

1932

$\mu^\pm$

1937

$\pi^\pm$

1947

$K^0, K^\pm$

1947

π^0

1949

Λ

1951

Δ

1952 - 1953

Σ, Ξ

1952 - 1959

p^-

1955

ν_e

1956 (1930)

ρ, ω, η

1961

ν_μ

1962

Ω

1964

.....

(obecnie)

e^-

1897

e^+

1932

μ^-, μ^+

1937

τ^-, τ^+

1975

ν_e

1956 (1930)

ν_μ

1962

ν_τ

2000 (1975)

u, d, s

1964

c

1974 (1964)

b

1977

t

1995

γ

1923 (1905)

$W^\pm$

1983 (1967)

Z

1983 (1967)

g

1979 (1973)