

L'ère des hadrons



1947 - 1964

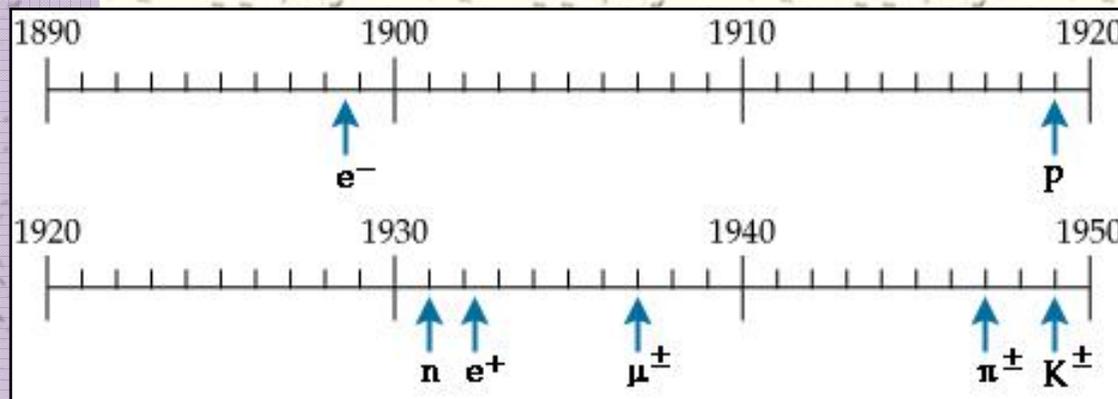
1947 - Bilan



Des théories d'interaction :

- L'électrodynamique quantique (Dirac)
- L'interaction faible (Fermi)
- L'interaction forte (Yukawa)

Les particules élémentaires :



- Électrons / positrons
- Photons (messager e.m.)
- Protons + neutrons
- Hypothèse du neutrino
- Muons !?
- Pions (messager fort)

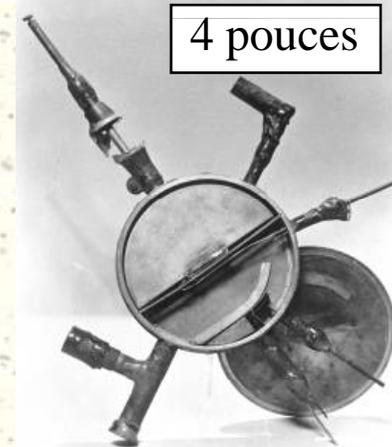
En 1949, arrivent des particules « étranges »

Un nouvel outil : l'accélérateur

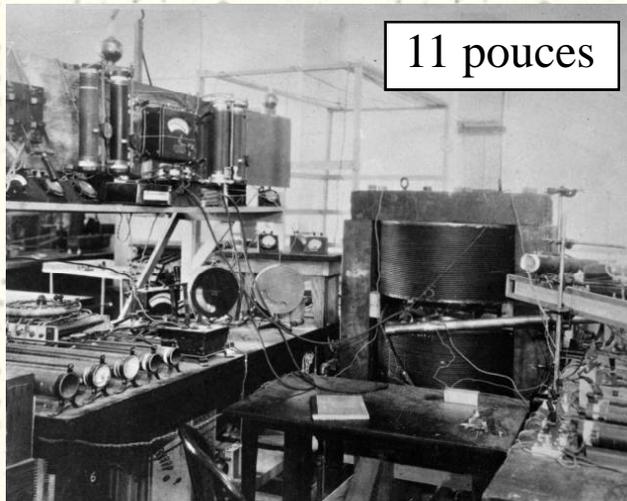


Ernest Lawrence et Milton Livingston inventent le cyclotron à Berkeley

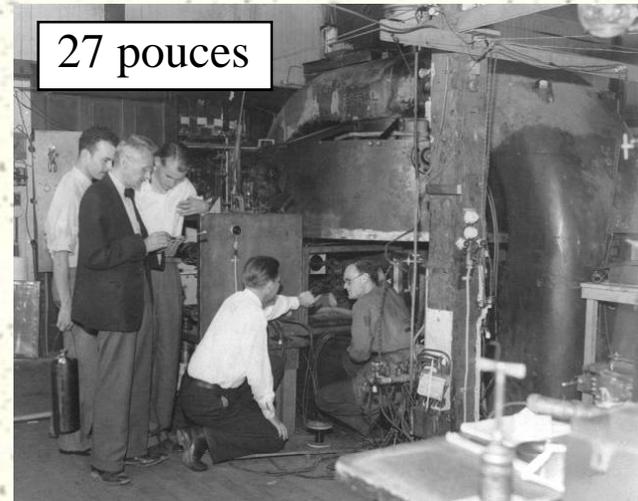
- 1931 : 4 pouces, protons à 80 keV
- 1932 : 11 pouces protons à 1,2 MeV
- 1936 : 27 pouces protons à 3,6 MeV
- 1939 : 60 pouces deutons à 20 MeV
 - Berkelium, Californium, Mendeleevium, Americium, Curium...
- 1941 : 184 pouces protons à 380 MeV
 - Séparation des uraniums (WW2)
- *Lawrence Berkeley National Laboratory*



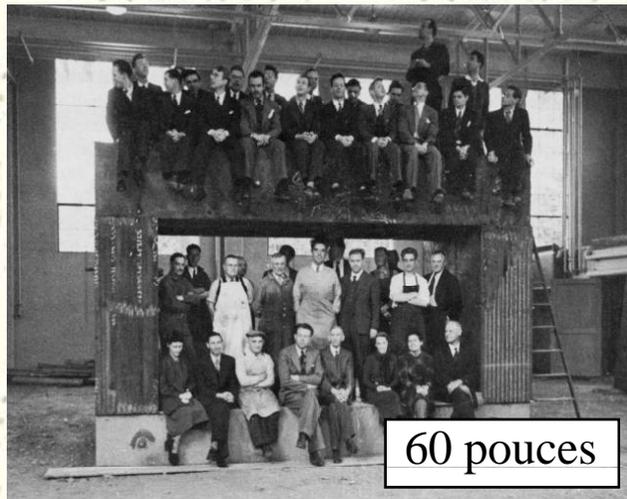
Les cyclotrons de Berkeley



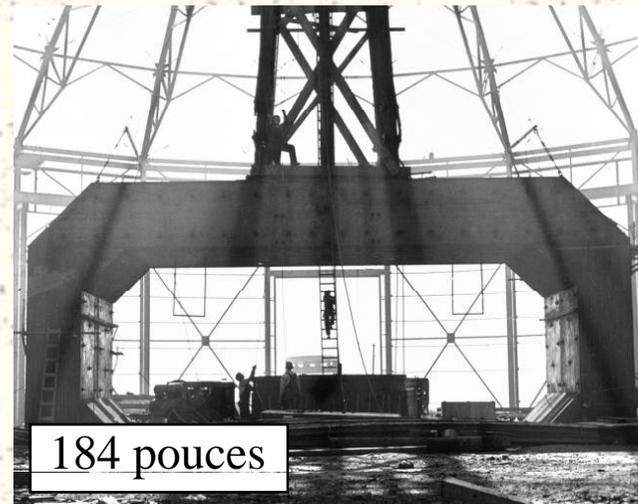
11 pouces



27 pouces

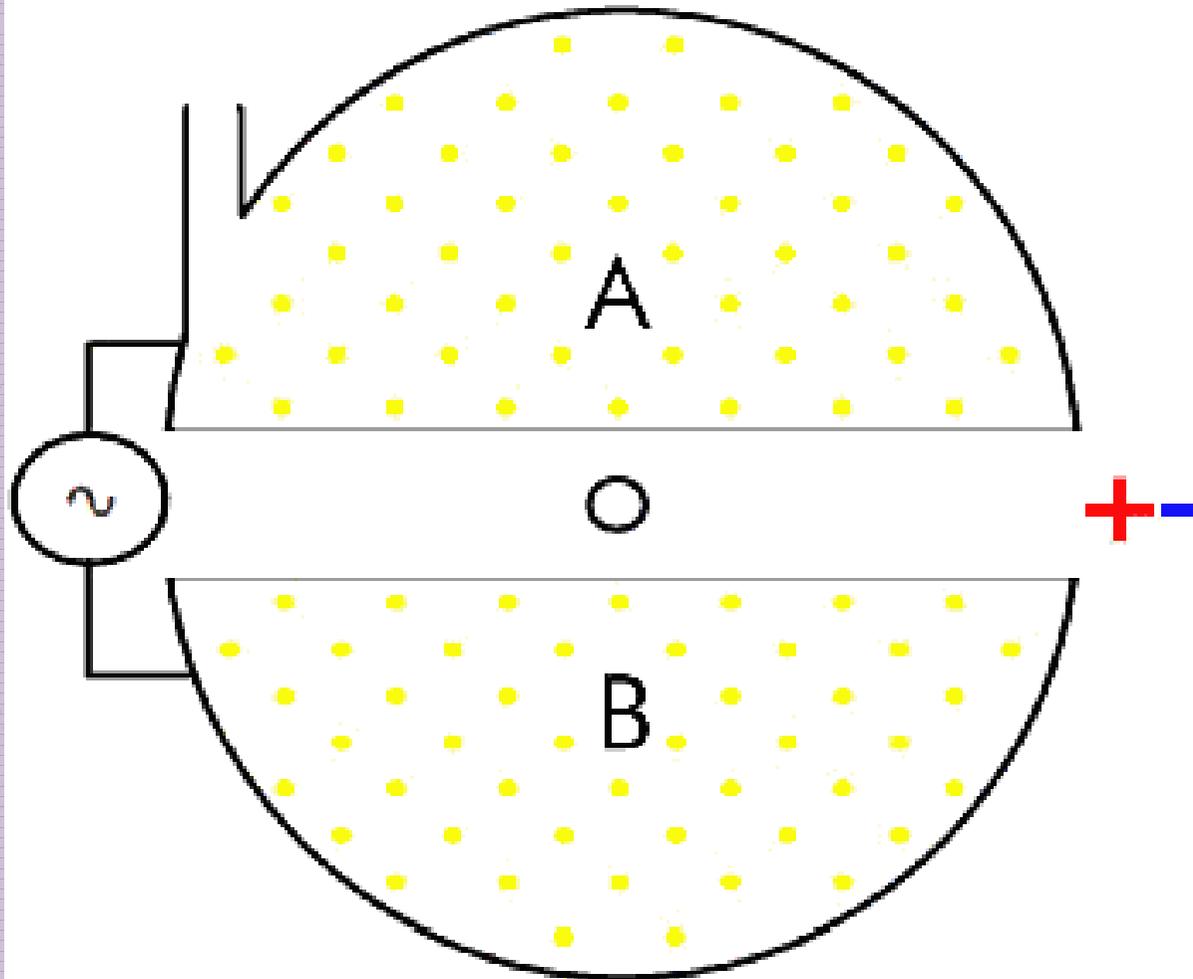


60 pouces



184 pouces

Principe du cyclotron



$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Même temps
de parcours

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Courant
alternatif

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Autres accélérateurs...

1948 **Synchrotron** à Berkeley

■ 1945 McMillan invente le synchrotron

■ Rayon fixe et champ magnétique variable

Ou **Synchro-cyclotron**

■ Fréquence variable (RR)

Preuve de la
relativité
restreinte !

1950 **Cyclotron** à Chicago

1952 « Cosmotron » à Brookhaven (NY)

1954 « Bevatron » à Berkeley (CA)

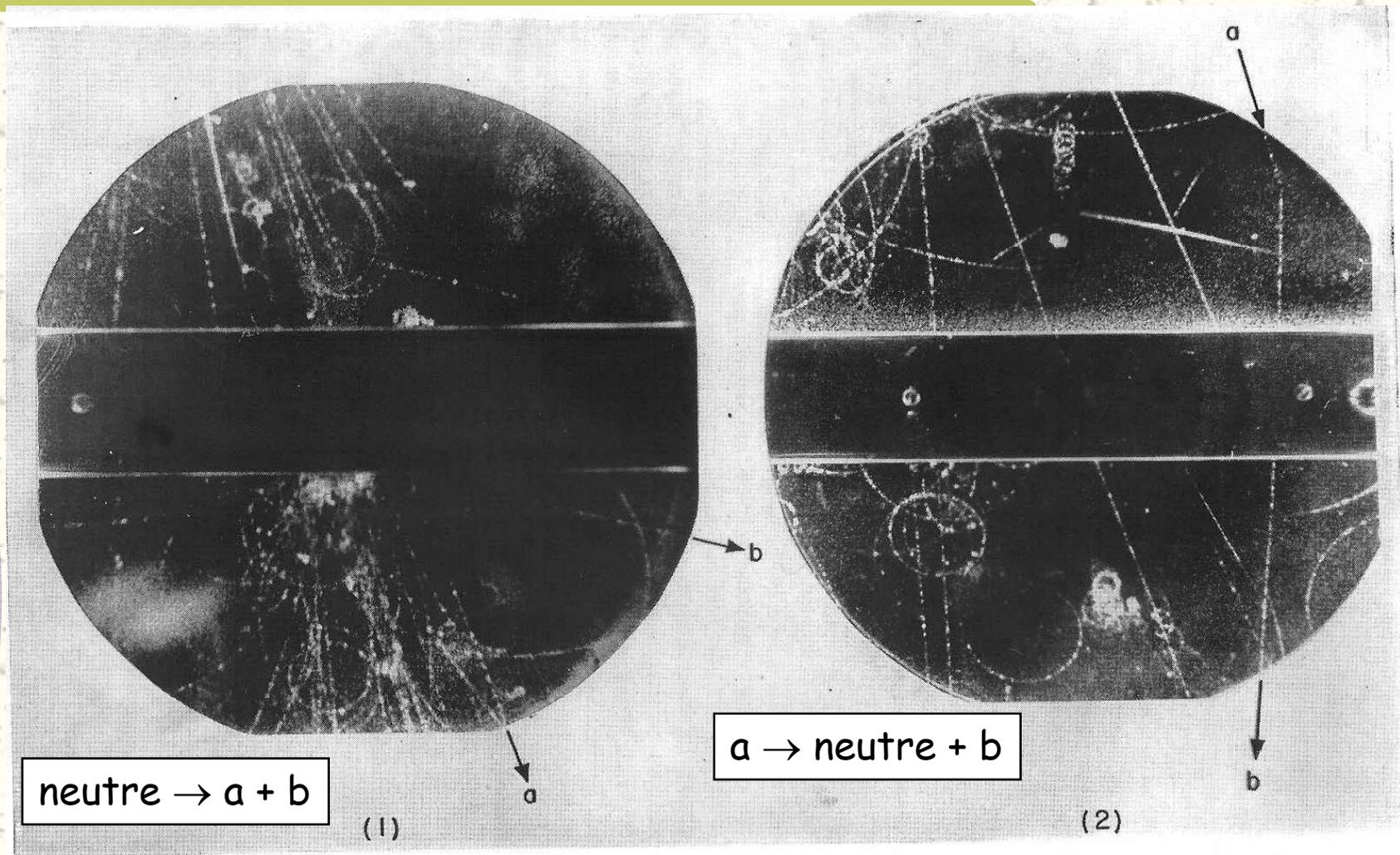
1959 Proton Synchrotron du CERN...

Une particule attendue...

Fin de § 1.1.3

- # Le **pion neutre**, vu en **1950**
 - **Source** : Berkeley cyclotron (184 pouces)
 - **Bjorklund** puis **Steinberger** puis **Panovsky**
 - $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ en 8×10^{-17} seconde
 - Prédit par la théorie de Yukawa de l'int. forte.
- # L'interaction forte semble donc bien portée par trois particules, les « pions » :
 - De charges différentes : **-1 0 +1**
 - Masse des chargés : **$275,2 \pm 2,5 \times m_e$**
 - Neutre plus léger : **$\Delta m = 10,6 \pm 2,0 m_e$**

Des particules inattendues...



Les particules « V » vues par Rochester et Butler en 1947

Des particules inattendues...

Plusieurs observations...

■ 1944 : Leprince-Ringuet & Lheritier

- Collision de rayons cosmiques
- → part. chargée de $m \sim 990 \times m_e$

■ 1947 : Rochester & Butler

- voient des « V » en photo

■ 1951 et + : plusieurs désintégrations

- « τ » → 3π

- « K » → μ

- « θ » → 2π

} Temps de vie ~ 1 ns

Une seule particule : le kaon chargé...

- (au prix de la conservation de P...)

Cf. § 4.2

... plus ou moins lourdes ...

1951 : Armenteros et al. distinguent deux sortes de « V » neutre (cosmique)

■ le kaon neutre $\rightarrow \pi^+ \pi^-$

■ $m \sim 1000 \times m_e$ (proche des kaons chargés)

■ le lambda $\rightarrow p^+ \pi^-$

■ $m \sim 2000 - 2500 \times m_e > m_p$ « hyper-protonic »

1952-53 : autres « hypérons »

■ Anderson et al. Résonances Δ^0, Δ^{++} (Chicago)

■ Armenteros et al. Ξ^- (cosmiques)

■ Bonetti et al. $\Sigma^- \Sigma^+$ (cosmiques)

... plus ou moins lourdes ...

§ 1.1.4

hadrons

Les particules lourdes se conservent...

- Constatation expérimentale !
- « lourdes » = proton, neutron, hypérons...
- $n \rightarrow p^+ + e^- + \dots$ (et pas $n \rightarrow e^+ + e^- + \dots$)
- Le proton ne se désintègre pas ($\tau > 10^{31}$ années)
 - (le plus léger des lourds)
- $\Lambda \rightarrow p^+ + \pi^-$ (et pas $\Lambda \rightarrow \pi^+ + \pi^-$)

Conservation du nombre baryonique B

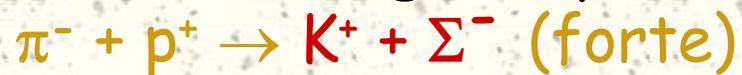
- Les « baryons » $B=+1$
 - (Les antibaryons auront $B=-1$, antiproton, antineutron...)
- Les « mésons » $B=0$
- Les « leptons » $B=0$ (+ insensibles à l'int. forte)

... et étranges !

§ 1.1.5

Certaines particules :

- Produites par paires par int. forte (10^{-23} s)
- Se désintègrent par int. faible (10^{-10} s)



D'autres non ! Comme les résonances :



1955-56 : Nishijima & Gell-Mann introduisent un nouveau nombre quantique : « l'étrangeté »

- Conservée par l'int.forte (production par paire)
- Mais pas par l'int. faible (désintégration possible)
- $p, n, \pi, \Delta : S = 0$ / $\bar{K}^0, K^-, \Lambda^0, \Sigma^\pm : S = -1$ / $\Xi^- : S = -2$
- Prédiction d'un Σ^0 ($S = -1$) et d'un Ξ^0 ($S = -2$)

Particules plus ou moins attendues...

1955 Walker au **cosmotron**



1955 Chamberlain et Segrè

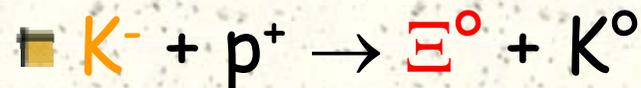
■ **Antiproton** au **bevatron**



1956 Cork et al. **Antineutron**

1958 Prowse et Baldo-Ceolin **Anti- Λ^0**

1959 Alvarez et al. **Ξ^0** au **bevatron**

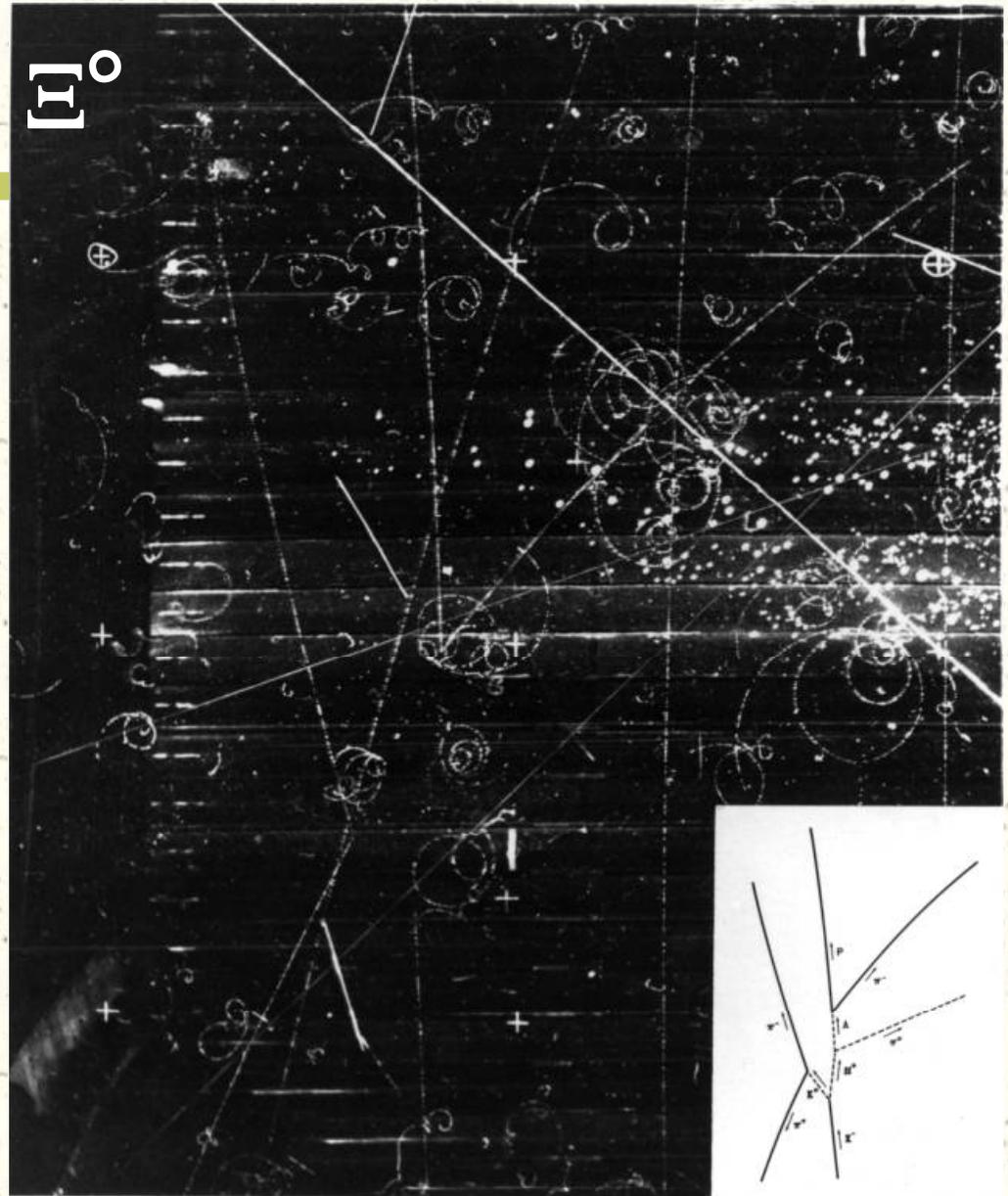
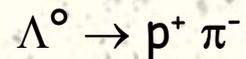
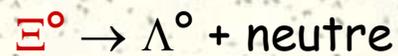
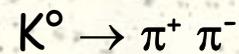
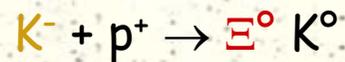


1960-63 : Et ça continue...

■ **Anti- Σ^0 , Anti- Σ^- , K^* , ρ , ω , Anti- Ξ^+ , η , ϕ ...**

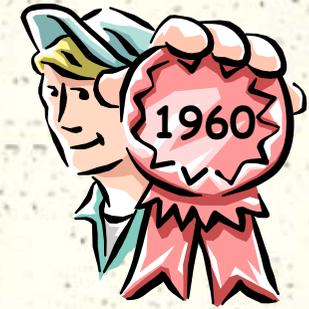
Découverte du Ξ^0

1959 Luis W. Alvarez met en évidence le Ξ^0 prédit par Gell-Mann et Nishijima, $S = -2$



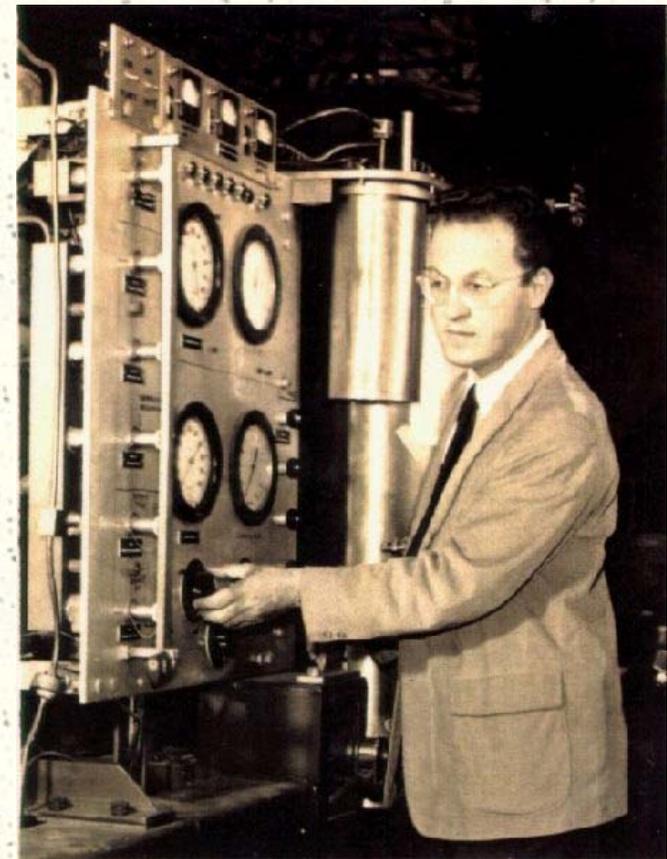
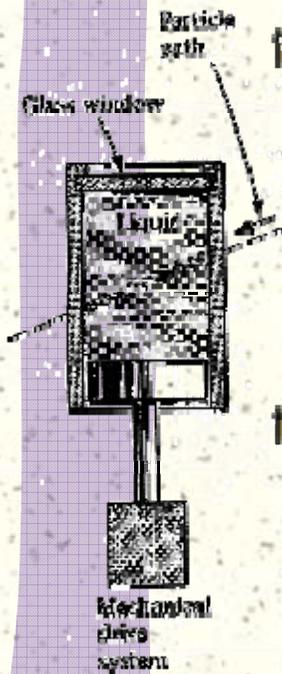
Production and decay of a neutral cascade hyperon (Xi zero).

Nouveau détecteur



La chambre à bulles inventée en 1953 par Donald Glaser

- Les particules chargées vaporisent un liquide brusquement détendu (hydrogène)
- Remplace la chambre à brouillard de Wilson



Quoi de neuf au pays des leptons ?



Rappels des épisodes précédents :

1896 Thomson découvre l'électron

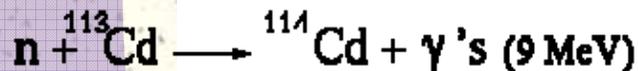
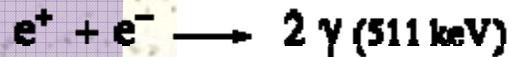
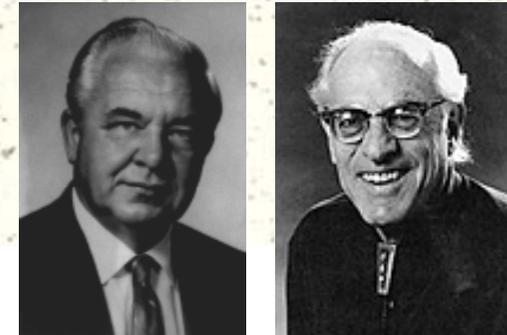
1930 Pauli invente le neutrino

1947 Il y a des muons dans les cosmiques !

Observation du neutrino

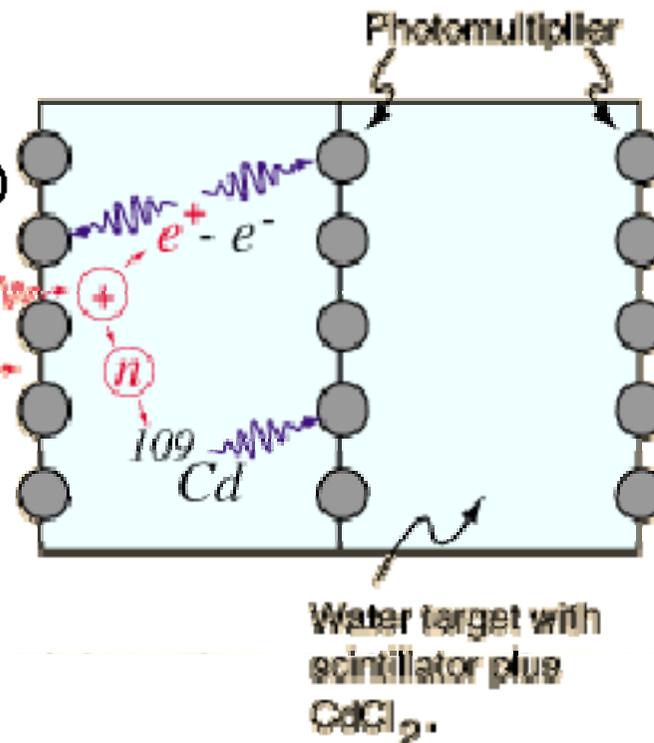


1956 : Frederick Reines et Clyde Cowan (†1974) voient des neutrinos sortir du réacteur nucléaire de Savannah River



Port from nuclear reactor

Neutrino flux
 $10^{13} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$



Delayed coincident detection of γ from ${}^{109}\text{Cd}$ with pair of γ 's from e^+e^- annihilation.

Réacteur arrêté
 ~ 1 evt/heure
 Réacteur allumé
 ~ 4 evt/heure

Le neutrino du muon...

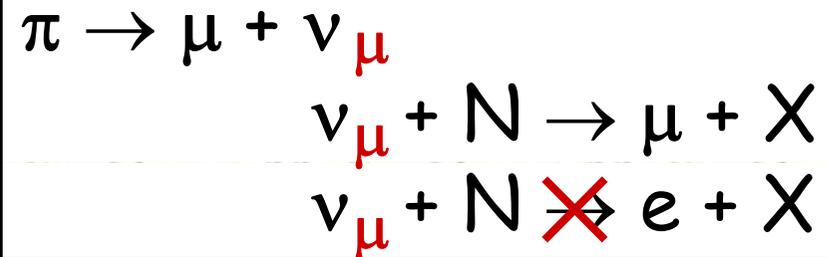
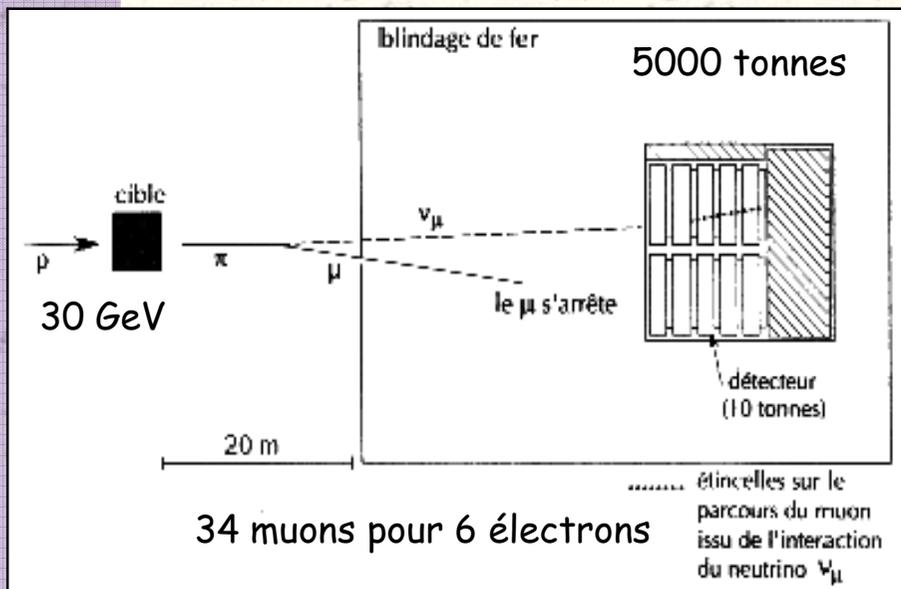
§ 1.2.2



- # Muon découvert en 1937 et identifié en 1947
- # En 1962, faisceau de neutrinos à Brookhaven



Leon Lederman
Melvin Schwartz
Jack Steinberger

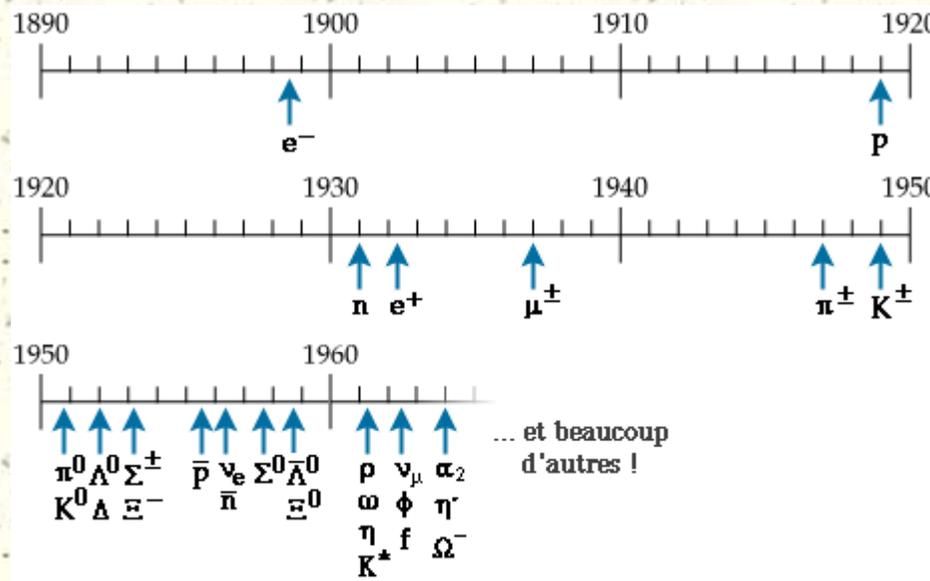


Ce neutrino, associé au muon, est différent du précédent !

1964 - Bilan



- # Fantastique succès de la QED* (Feynman)
- # Doutes sur :
 - L'interaction faible (Fermi)
 - L'interaction forte (Yukawa)
- # Une foultitude de particules élémentaires !



2 familles de leptons
 (e, ν_e) (μ, ν_μ)
 + Plein de hadrons

* Electrodynamique quantique, voir séance sur modèle standard