

Chapitre 5

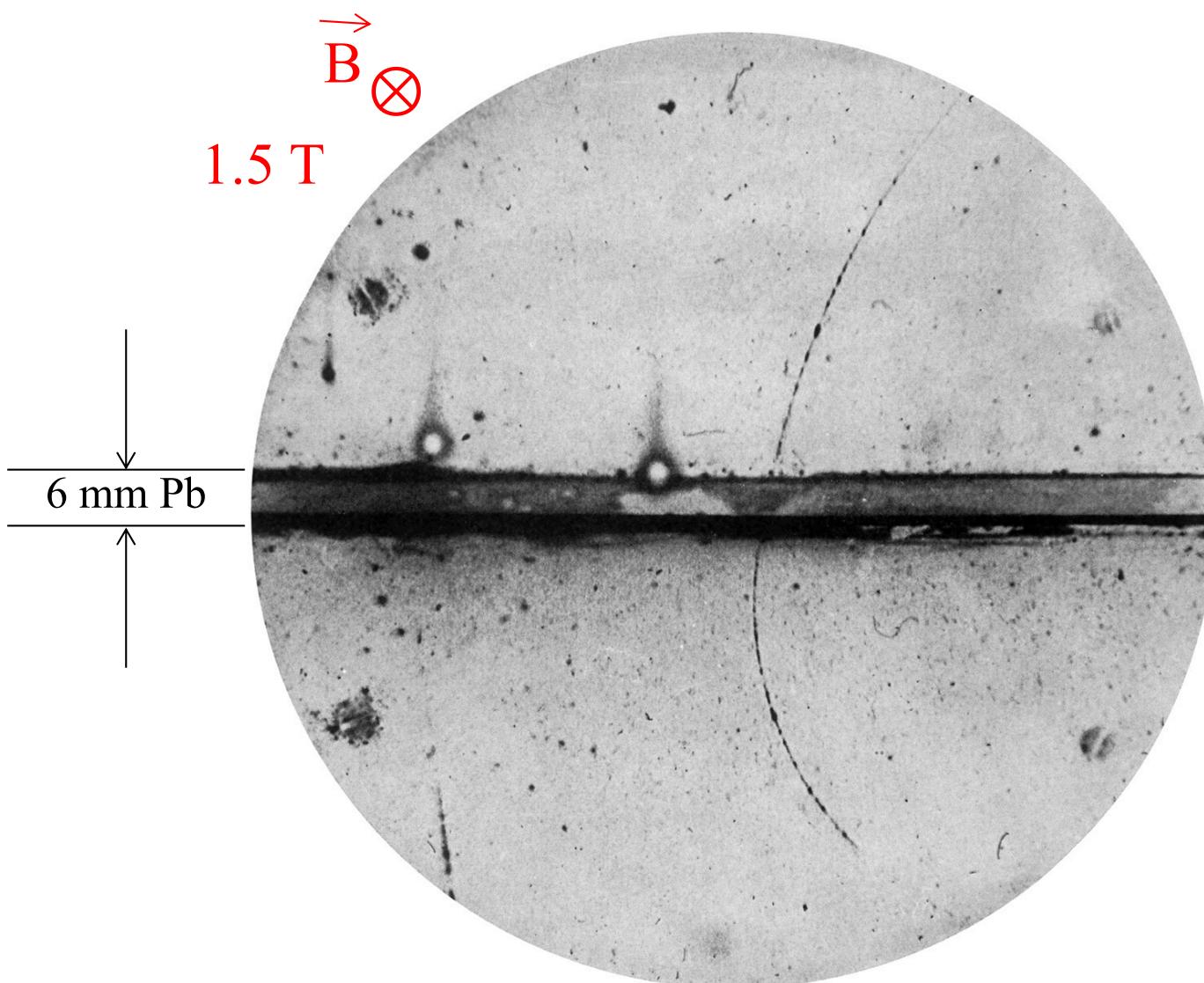
Théoriciens et expérimentateurs à l'oeuvre
à l'aube de la physique des particules

**Prédictions et ...
... découvertes**

e^+	positons (anti-matière)
ν	neutrinos
π	pions
μ	muons

Découverte du positon (1932)

la même année
que le neutron



Chambre de Wilson:



diamètre 14 cm
épaisseur 1 cm

Anderson observe
15 positons
dans 1300 clichés:

$$0 < q_{e^+} < 2 q_p \text{ si } q_{e^+} = q_p, m_{e^+} < 20 m_{e^-}$$

[Carl D. Anderson, "The Positive Electron", Physical Review 43 (1933) 491–494]

Découverte antiproton, ...

- Au Bevatron à Berkeley (USA)

- 1955: $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$

[Phys. Rev. 100 (1955) 947]

- 1956: $\bar{p} + p \rightarrow \bar{n} + n$

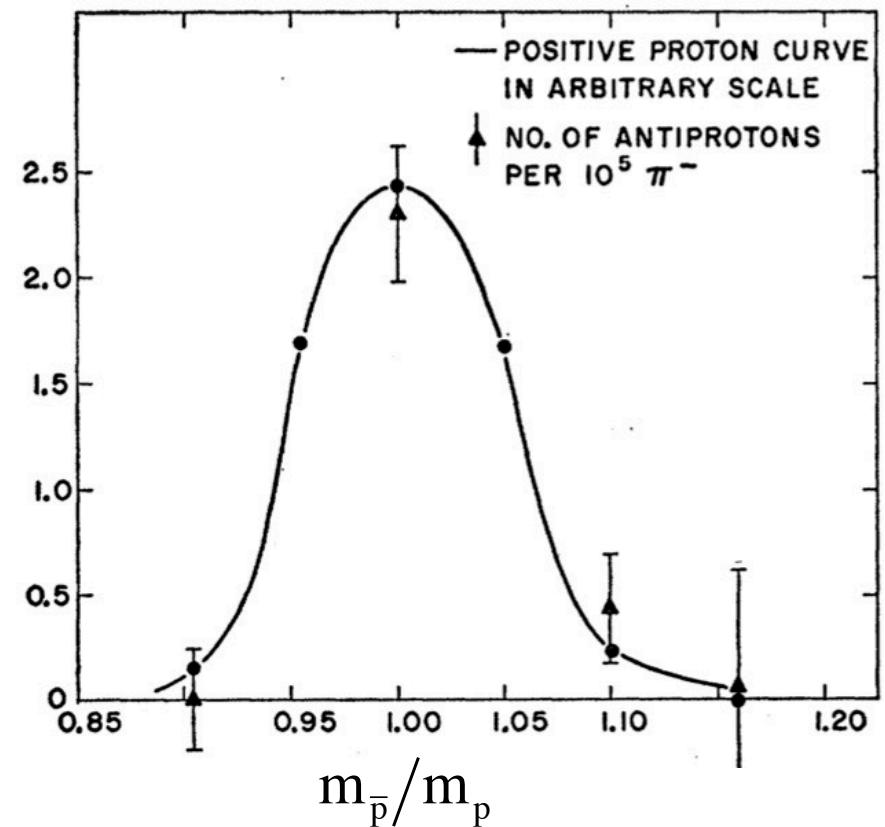
[Phys. Rev. 104 (1956) 1193]

- etc ...

- Au CERN

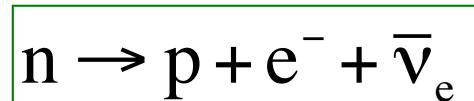
- dès 1995: anti-atome d'hydrogène

état lié $\bar{p} e^+$



Radioactivité β et neutrino

- 1898: Rutherford distingue radioactivités α et β
- ~ 1900: rayons β = électrons
- 1914: Chadwick et Rutherford constatent que la désintégration β viole la conservation de l'énergie
- 1930: Pauli postule l'existence d'une nouvelle particule pour rétablir les lois de conservation de l'énergie et du moment cinétique

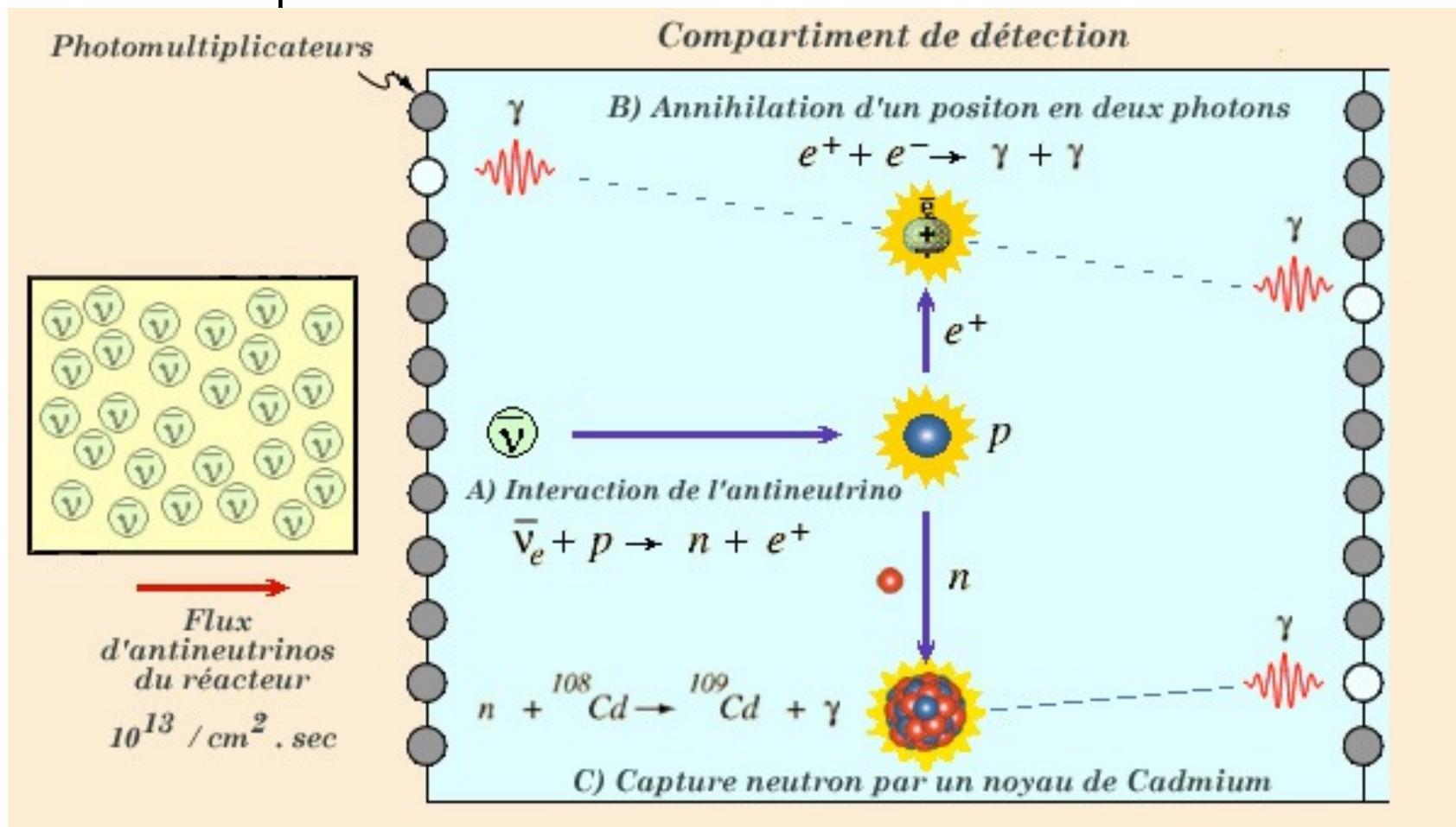


Neutrino: masse nulle
insensible à l'interaction é.m. (charge électrique nulle)
insensible à l'interaction forte
spin 1/2

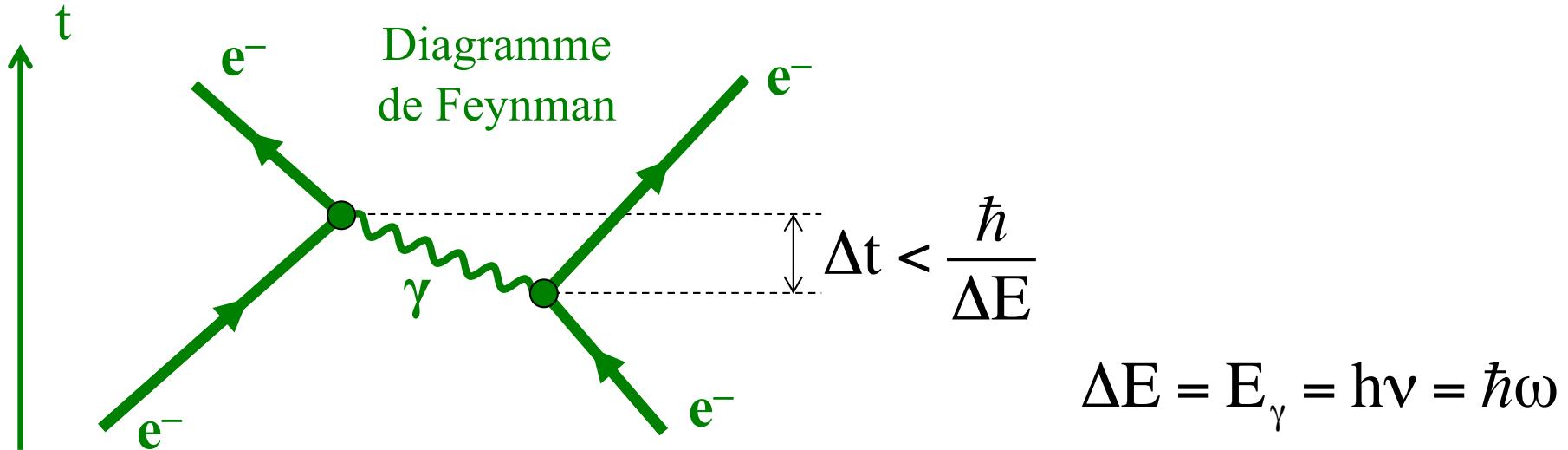
Découverte du neutrino

1956: Reines & Cowan observent directement des anti-neutrinos au réacteur de Savannah River (USA)

- interactions dans un cuve de 200 l d'eau avec scintillateur liquide et chlorure de cadmium



Photon = particule d'échange des forces électromagnétiques

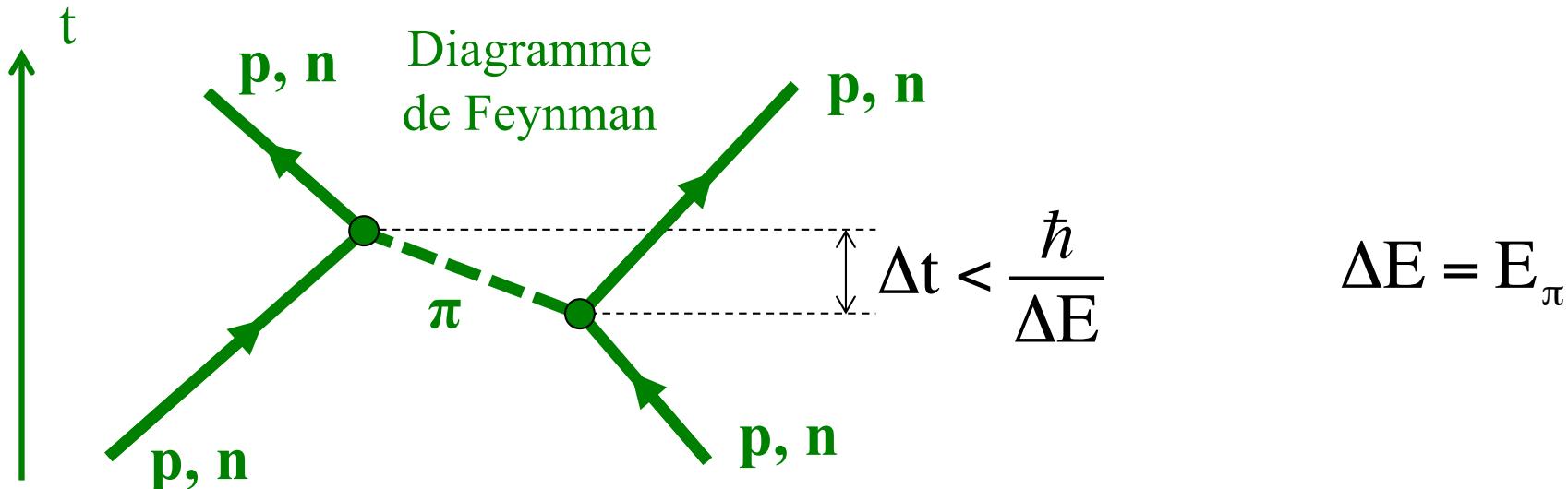


- Effet du photon virtuel se propage sur une distance d :
- Si le photon est de très faible énergie, d est très grande
- Dans la limite $E_\gamma \rightarrow 0$, d n'est plus limitée

$$d = c\Delta t \leq \frac{\hbar c}{\Delta E} = \frac{\hbar c}{\hbar\omega} = \frac{c}{\omega}$$

**L'interaction
électromagnétique
a une portée infinie**

Méson de Yukawa = particule d'échange des forces nucléaires



- 1934: Yukawa décrit les forces entre nucléons (protons, neutrons) par l'échange d'une nouvelle particule virtuelle, le méson π
- Il donne une masse à ce méson pour limiter la portée de l'interaction

$$d \leq c\Delta t \leq \frac{\hbar c}{\Delta E} \leq \frac{\hbar c}{m_\pi c^2} \equiv a$$

$a = \hbar/(m_\pi c)$
= portée (finie) de
l'interaction nucléaire

Maxwell et Yukawa

Théorie de Maxwell

potentiel de Coulomb $\propto \frac{e}{r}$

portée = ∞

photon γ

masse = 0

Théorie de Yukawa

potentiel de Yukawa $\propto \frac{g}{r} \exp\left(-\frac{r}{a}\right)$

portée = a

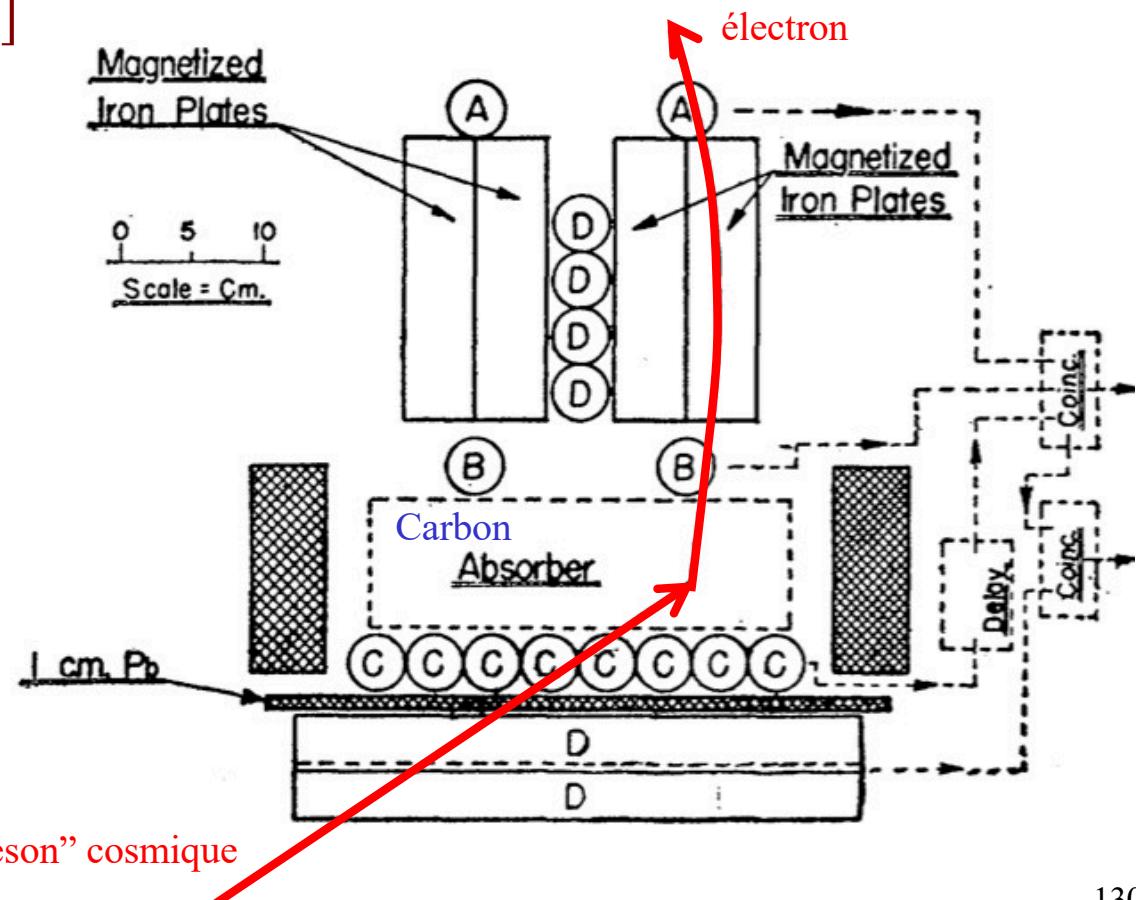
méson π

masse = $m_\pi > 0$

$$a = \frac{\hbar}{m_\pi c}$$

Découverte de “mésons” cosmiques

- 1938–1943: plusieurs expériences confirment l’existence de “mésons” dans les rayons cosmiques
 - mésons instables, se désintègrent en électrons ($\tau \simeq 2 \mu\text{s}$)
- 1947: expérience de Conversi, Pancini, Piccioni
[Phys. Rev. 71 (1947) 209]
 - les “mésons” positifs et négatifs se désintègrent de la même façon
 - “méson⁺” $\rightarrow e^+$
 - “méson⁻” $\rightarrow e^-$



Découverte de “mésons” cosmiques

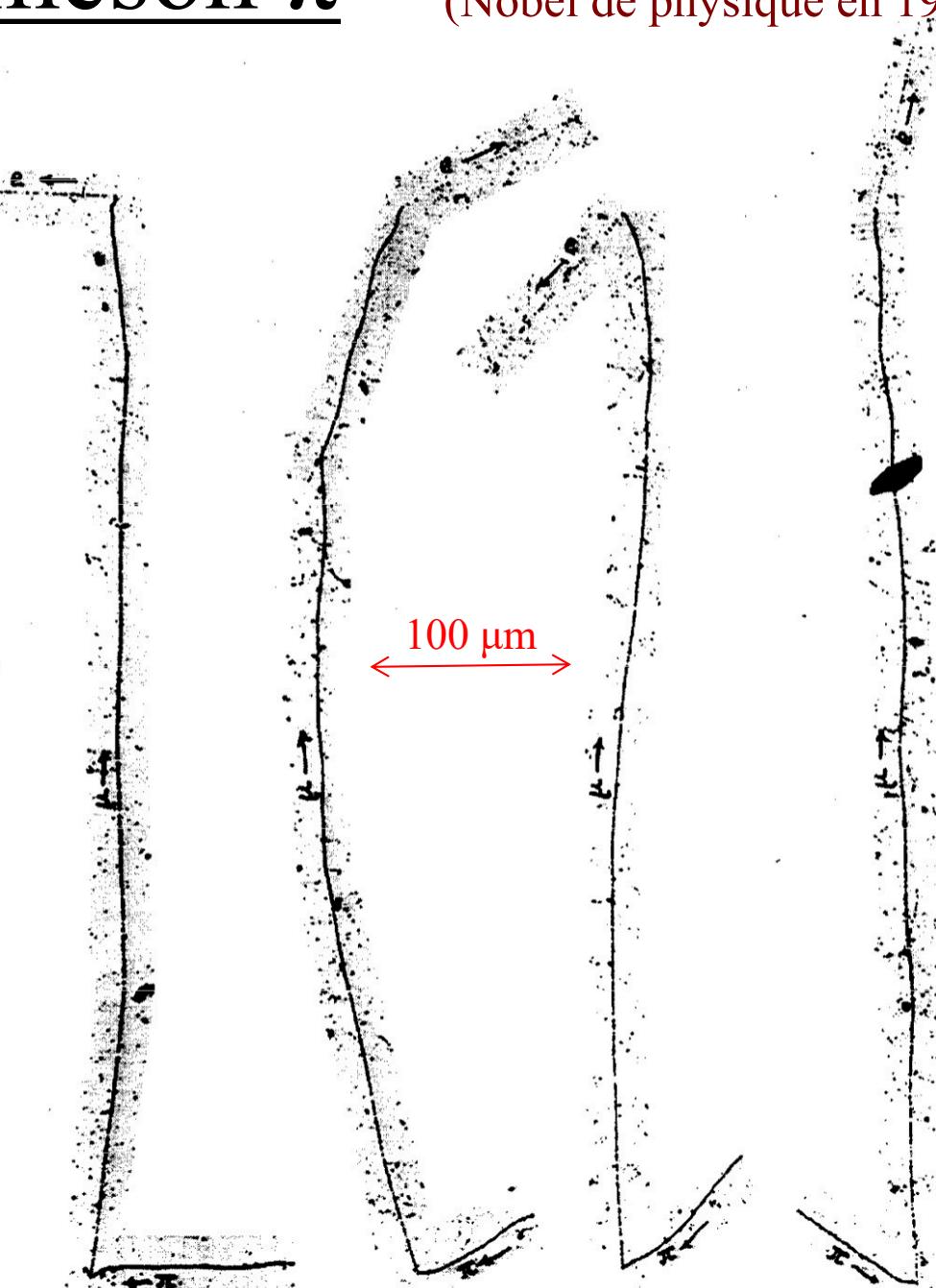
- Pour les théoriciens, ce “méson” cosmique ne peut pas être le méson de Yukawa
- Raisons:
 - temps de vie devrait être ~ 100 fois plus court
 - section efficace de diffusion méson-nucléon devrait être ~ 100 fois plus grande
 - mésons de Yukawa stoppés dans la matière devraient se comporter différemment
 - les π^+ sont repoussés par les noyaux positifs et se désintègrent normalement
 - les π^- sont attirés par les noyaux positifs, capturés sur une orbite de Bohr de rayon r_n , et une fois sur l'orbite la plus interne ($n=1$), sont absorbés par les noyaux (réaction nucléaire)

$$r_n = n^2 \frac{\hbar c}{z \alpha m_\pi c^2}$$

Découverte méson π

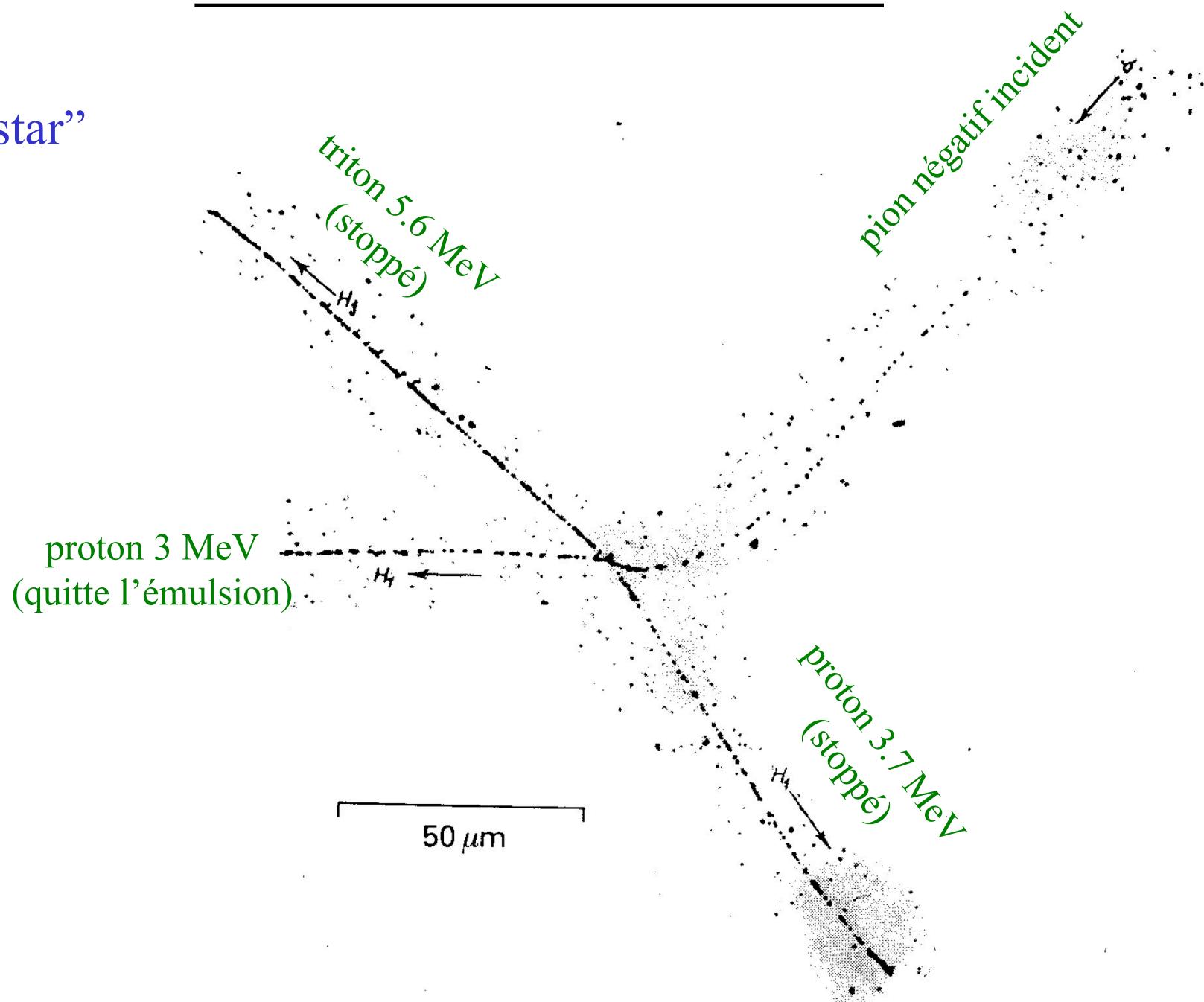
par C. Powell en 1947
(Nobel de physique en 1950)

- rayons cosmiques enregistrés par des émulsions photographiques à haute altitude ($\sim 25\text{--}30$ km)



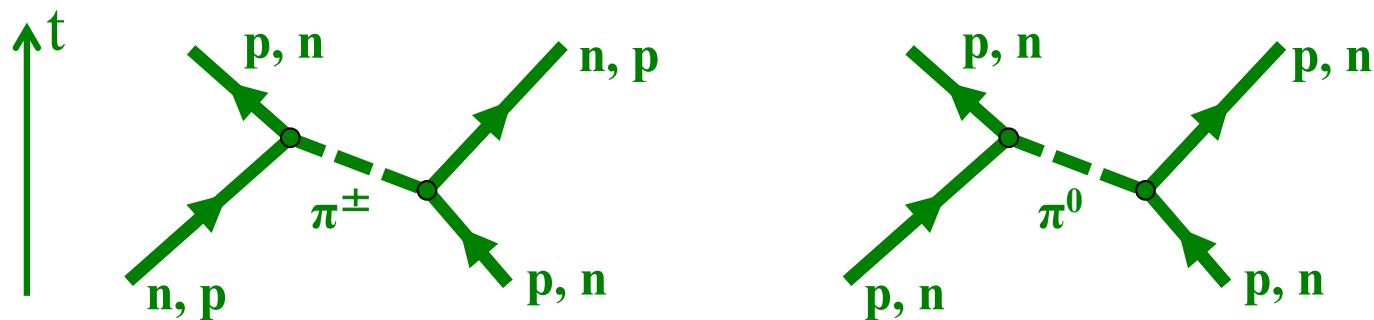
Découverte méson π

- “star”



Pion neutre: π^0

- Première particule à être
 - prédite par des arguments de symétrie
(indépendance de charges des forces nucléaires)
 - ~ 1938 : la force nucléaire s'exerçant entre deux nucléons ne dépend pas de leurs charges électriques

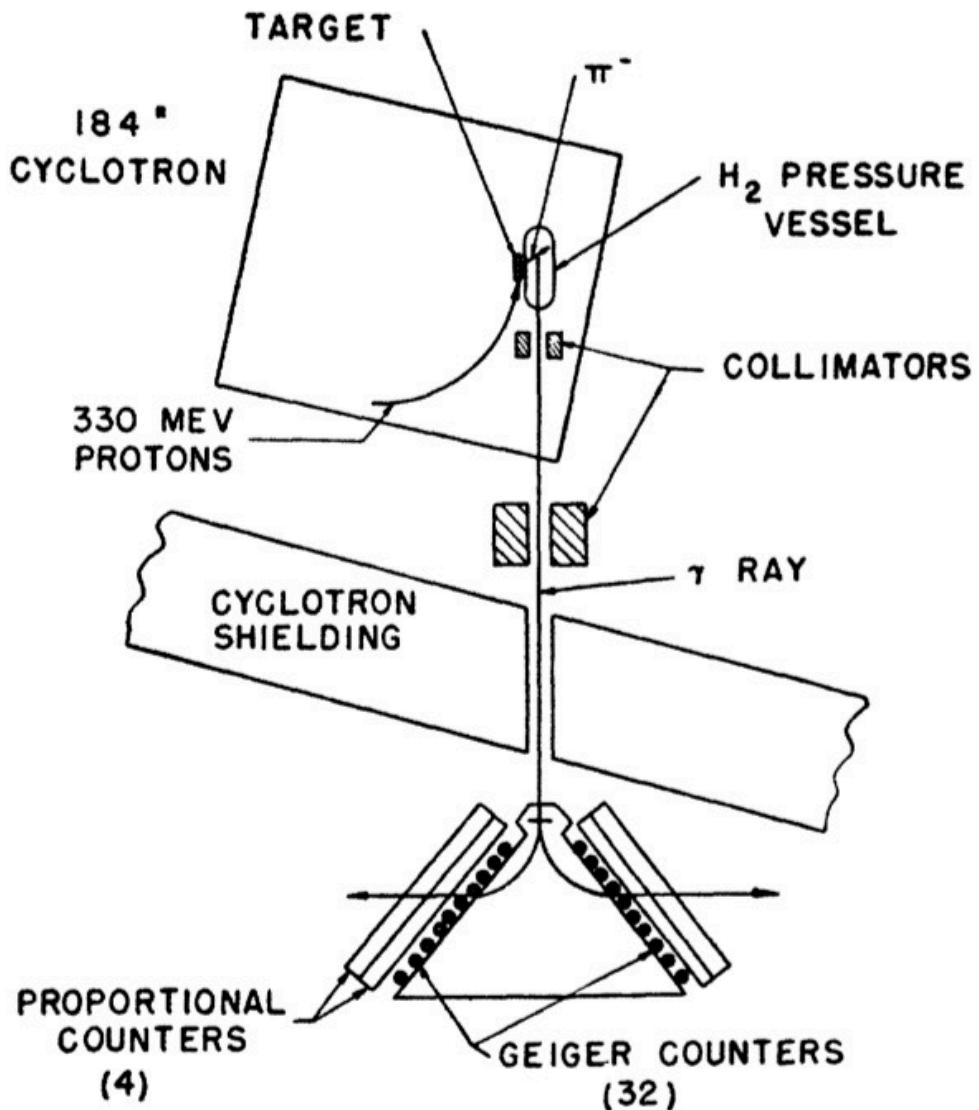
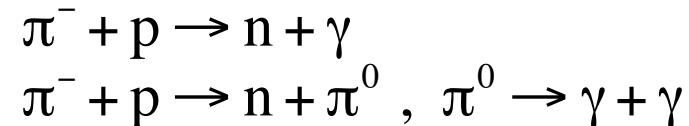


- ~ 1940 : prédiction désintégration $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ avec $\tau \sim 10^{-16}$ s
 - découverte à l'aide d'un accélérateur
 - ~ 1950 : synchrocyclotron de 184 pouces (4.7 m) de diamètre à Berkeley avec protons de 330 MeV

Mesure de la masse du π^0

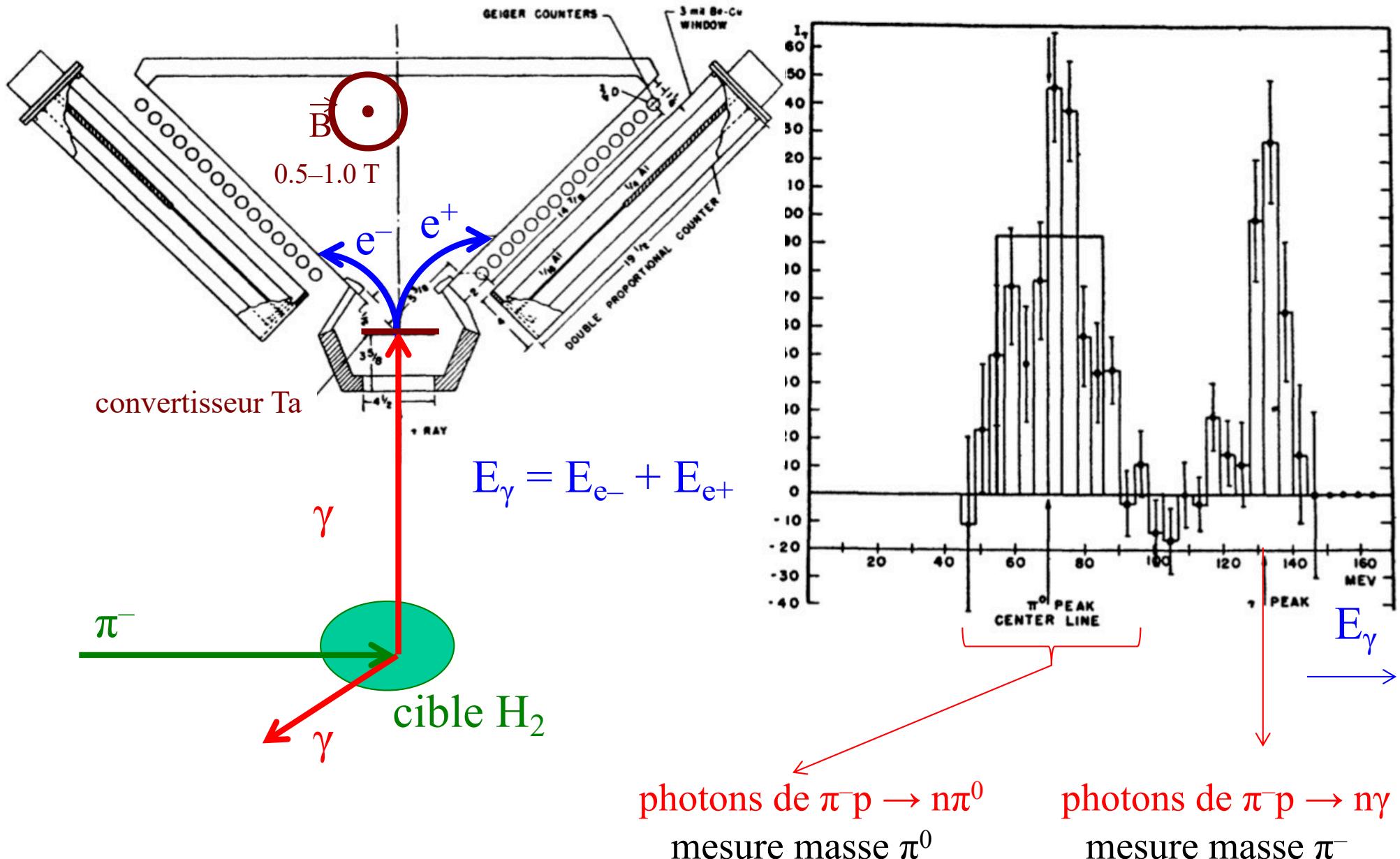
[Panofsky, Aamodt, Hadley, Phys. Rev. 81 (1951) 802]

- Pions négatifs
 - produits par les protons de 330 MeV
 - puis stoppés dans une cible d'hydrogène
 - puis capturés sur l'orbite de Bohr la plus basse
- Réactions:



Mesure de la masse des pions

[Panofsky, Aamodt, Hadley, Phys. Rev. 81 (1951) 802]



Mésons et muons

- Mésons de Yukawa = mésons π = pions

	Contenu en quarks	Masse (MeV/c ²)	Temp de vie (s)	Mode de désintégration
π^-	$\bar{u}d$	139.57	2.6×10^{-8}	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
π^+	$u\bar{d}$			$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
π^0	$u\bar{u}$ ou $d\bar{d}$	134.98	8.4×10^{-17}	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

antiparticules

- Muons = leptons μ (\neq mésons)

	Masse (MeV/c ²)	Temp de vie (s)	Mode de désintégration
μ^-	105.66	2.2×10^{-6}	$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
μ^+			$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

antiparticules