

Physique des Particules et Physique Nucléaire

PHYS-F305

Année 2022-2023

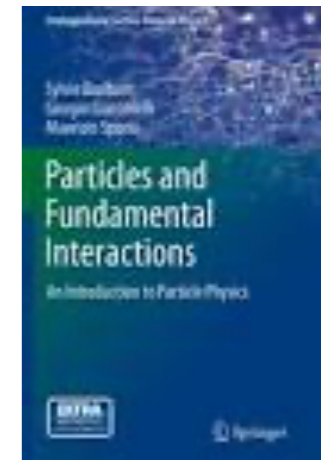
Première partie - L. Favart

II - Moyens d'investigation

Références Bibliographiques

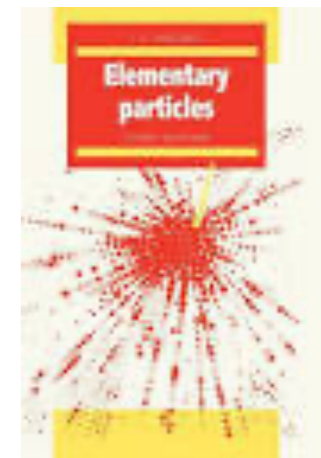
1. Particles and Fundamental Interactions

Sylvie Braibant, Giorgio Giacomelli, Maurizio Spurio
Ed. Springer



2. Elementary particles

I. S. Hughes
Ed. Cambridge University Press



Travaux Personnels

mercredi 14 à 16h - IIHE séminaire J. Sacton 1G003

Max Vanden Bemden <Max.Vanden.Bemden@ulb.be>

	lundi	mercredi
19/09/2022	Cours	Cours
26/09/2022	Cours	Cours
03/10/2022	Cours	TP1
10/10/2022	Cours	TP1
17/10/2022	Cours	Cours
24/10/2022	=====	
31/10/2022	===== tampon =====	
07/11/2022	TP2	Cours
14/11/2022	Cours	TP2
21/11/2022	Cours	=====
28/11/2022	Cours	TP3
05/12/2022	Cours	TP3
12/12/2022	Réserve	
19/12/2022	===== tampon =====	

Contenu Chapitre II

1. Où trouver des particules ?

Sources radioactives

Réacteurs nucléaires

Rayonnement cosmique

Accélérateurs (partie 1)

2. Comment détecter les particules (introduction)?

Nécessité d'une détection indirecte

Détection des particules chargées

Détection des particules neutres

La radioactivité

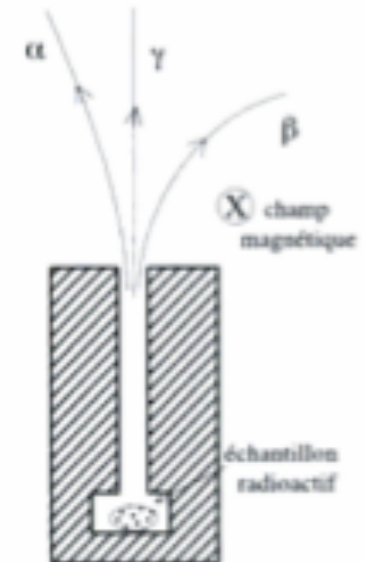
- 1896 Henri Becquerel : découverte de la radioactivité - Uranium
- juste après - Marie Curie - Radium

Sources radioactives

- alpha (α) - émission de particules α , c'est-à-dire des noyaux d'He
- bêta (β) - émission d'électrons (en fait aussi de neutrinos)
- gamma (γ) - émission de photons

Quelques exemples de radiations naturelles et leurs caractéristiques :

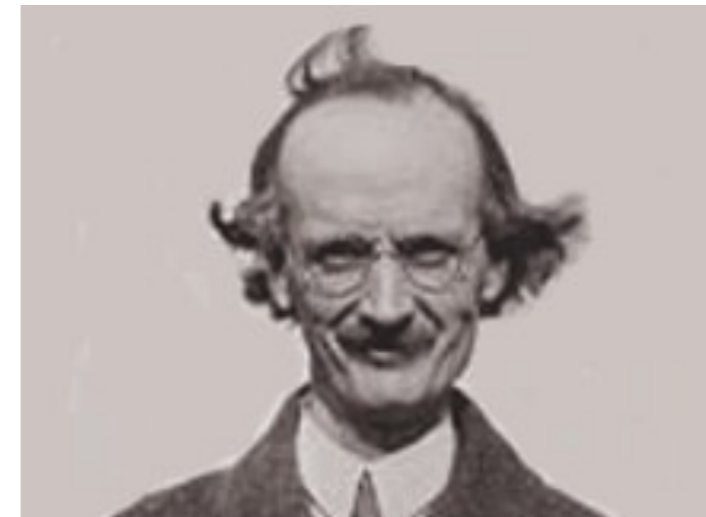
source	type	temps 1/2 vie	émission et énergie
^{90}Sr	β	29 ans	e^- jusqu'à 2.3 MeV
^{60}Co	γ	5.3 ans	γ de 1.2 MeV
^{55}Fe	γ	2,7 ans	γ de 6 keV
^{226}Ra	α	16000 ans	α de 4.8 MeV



Rayonnement cosmique



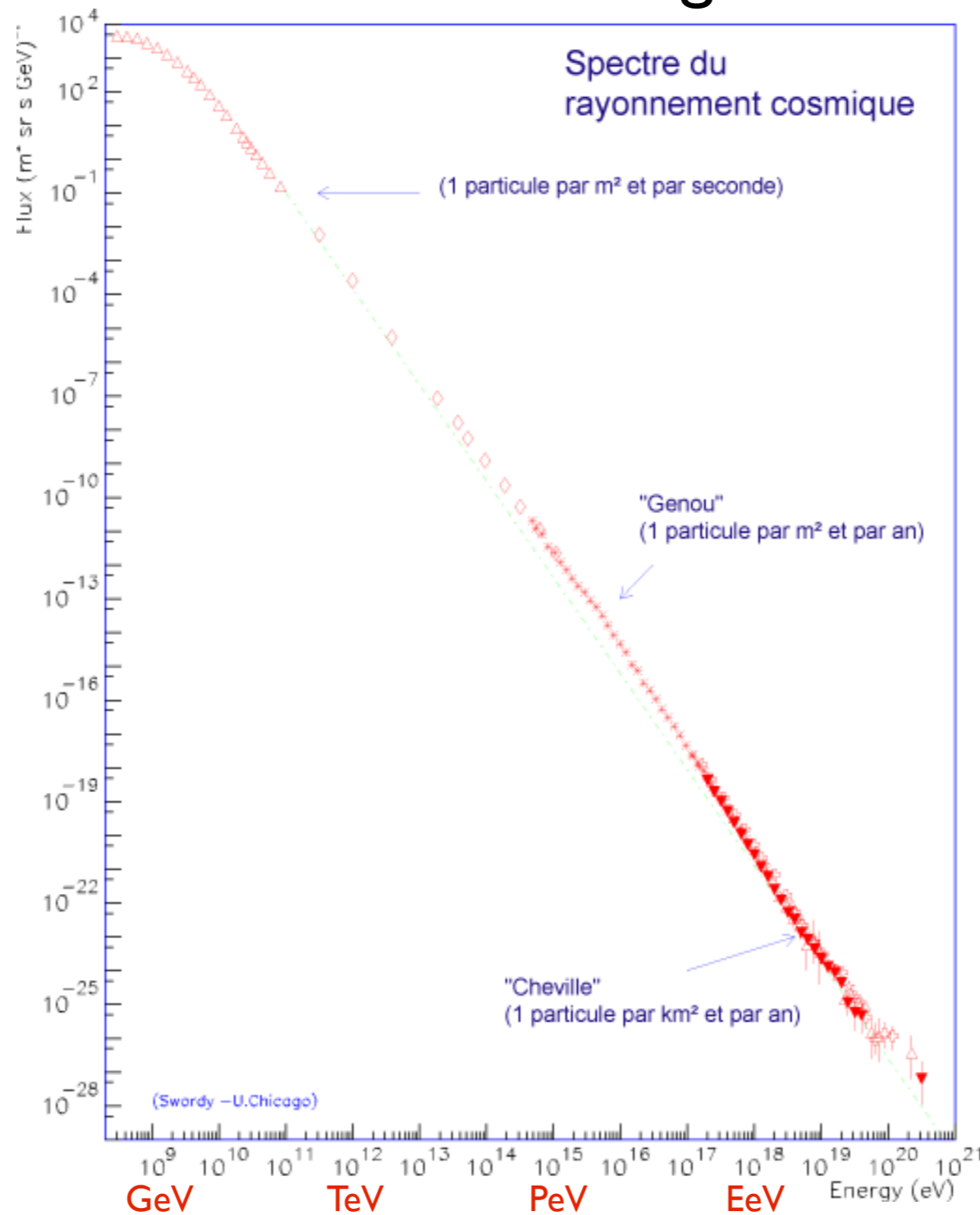
- 1938 Pierre Auger



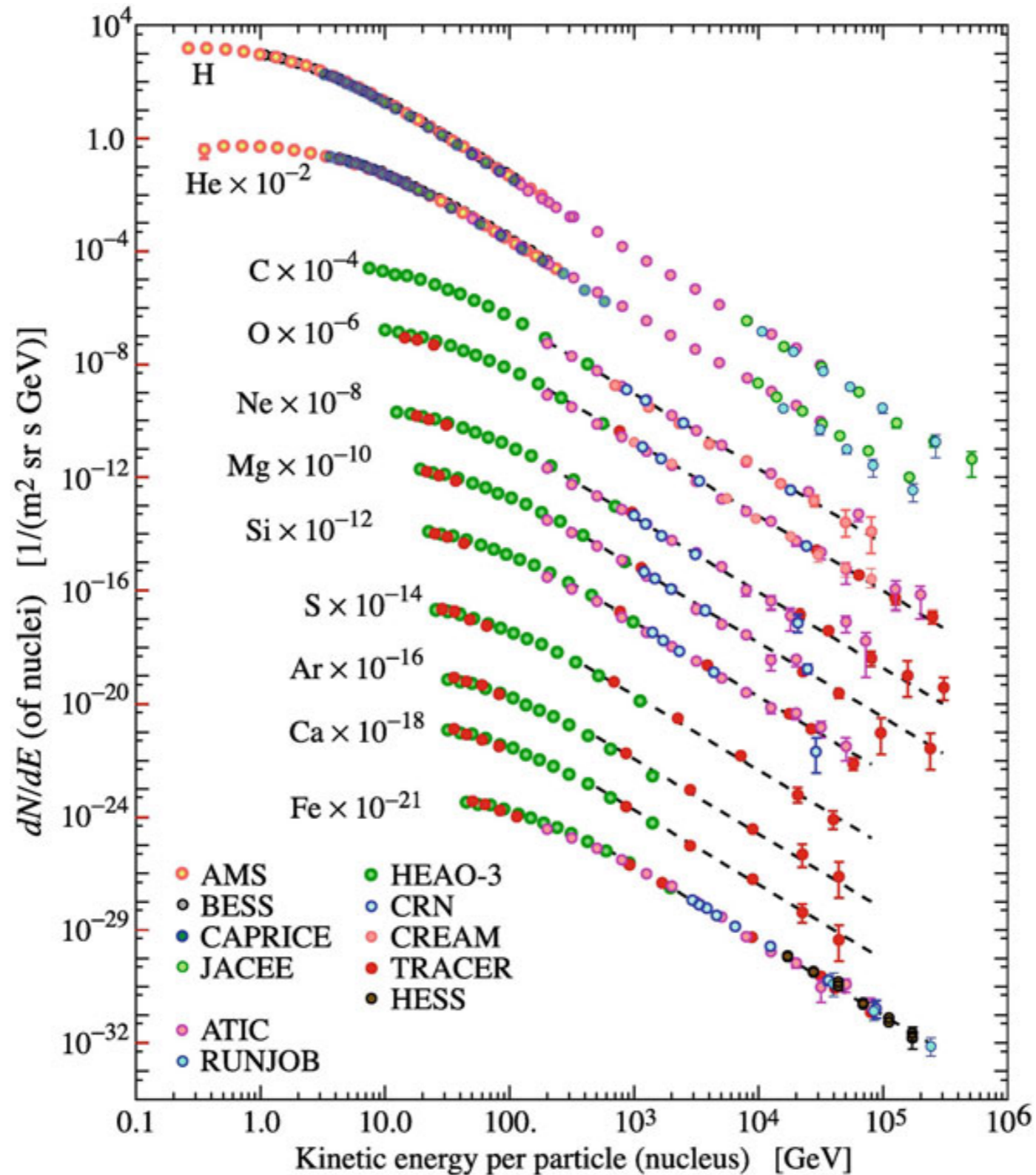
Prof. Piccard (ULB): 1931 premier vol stratosphérique

Rayonnement cosmique

Particules chargées



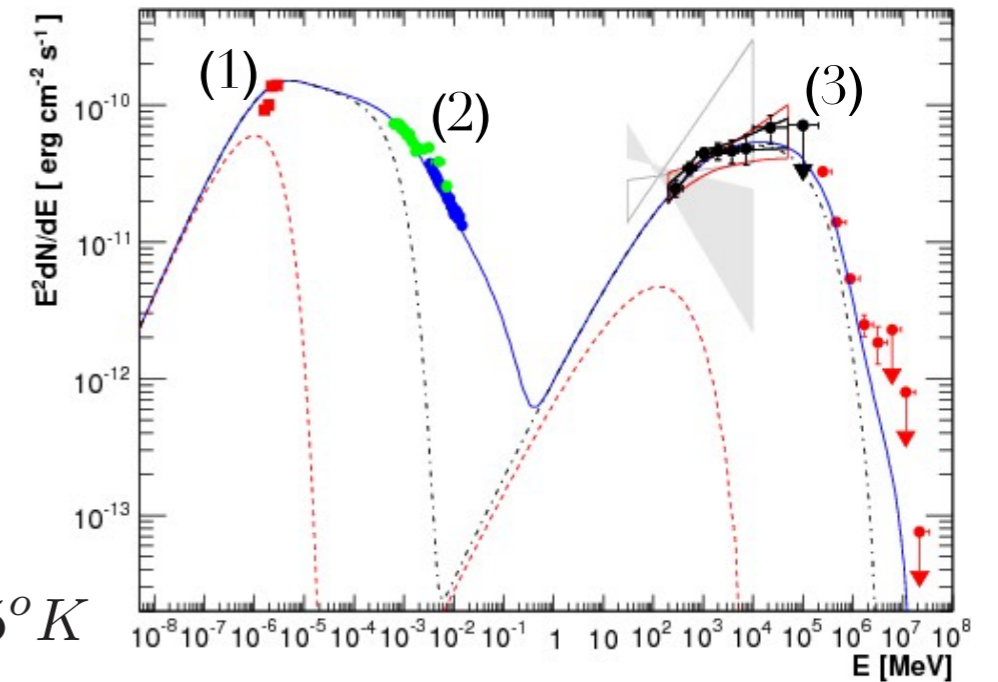
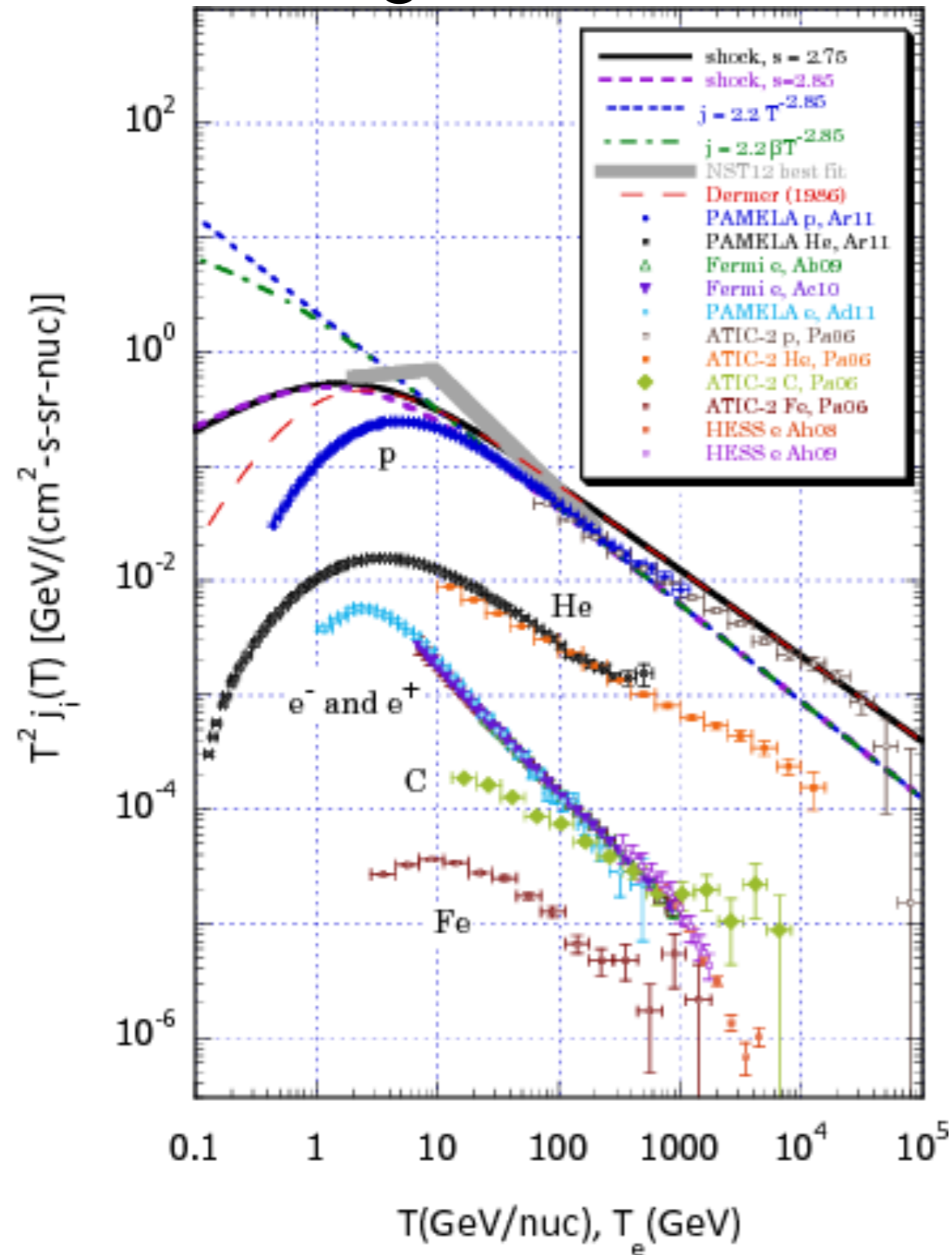
Rayonnement cosmique noyaux (chargés)



Rayonnement cosmique

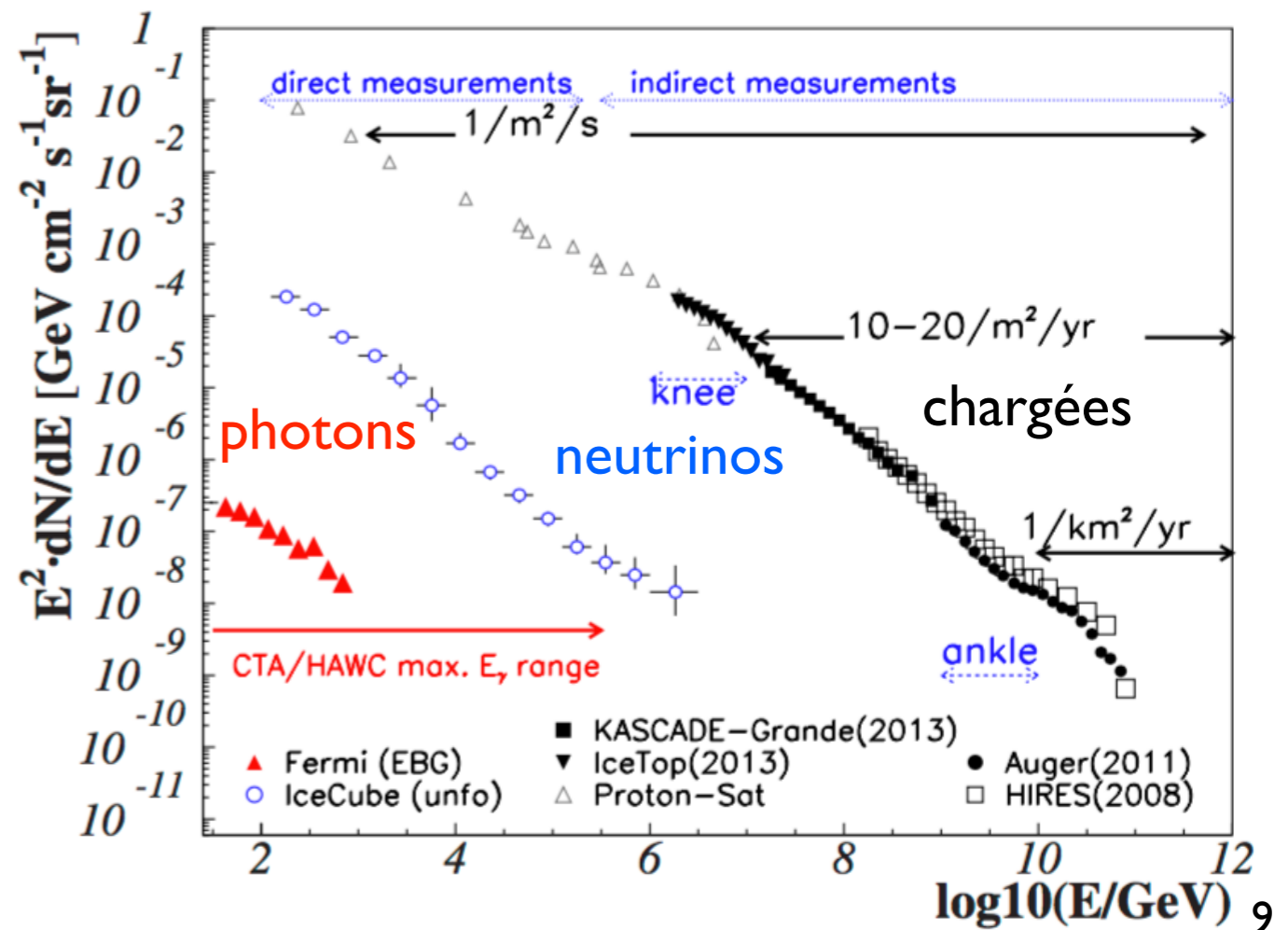
Photons

Chargées



$$1\text{eV}/k_b = 11605^\circ\text{K}$$

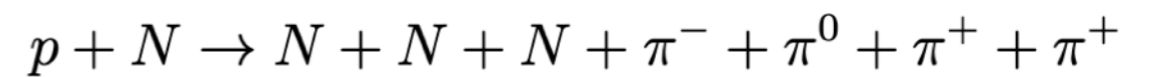
- (1) : fond diffus cosmologique à 3°K
- (2) : rayonnement du corps noir entre 3.10³ et 3.10⁴ °K
- (3) : accélération par processus Compton $\gamma+p \rightarrow \gamma+p$



Rayonnement cosmique

Interaction d'une particule du rayonnement cosmique dans la haute atmosphère

par exemple:

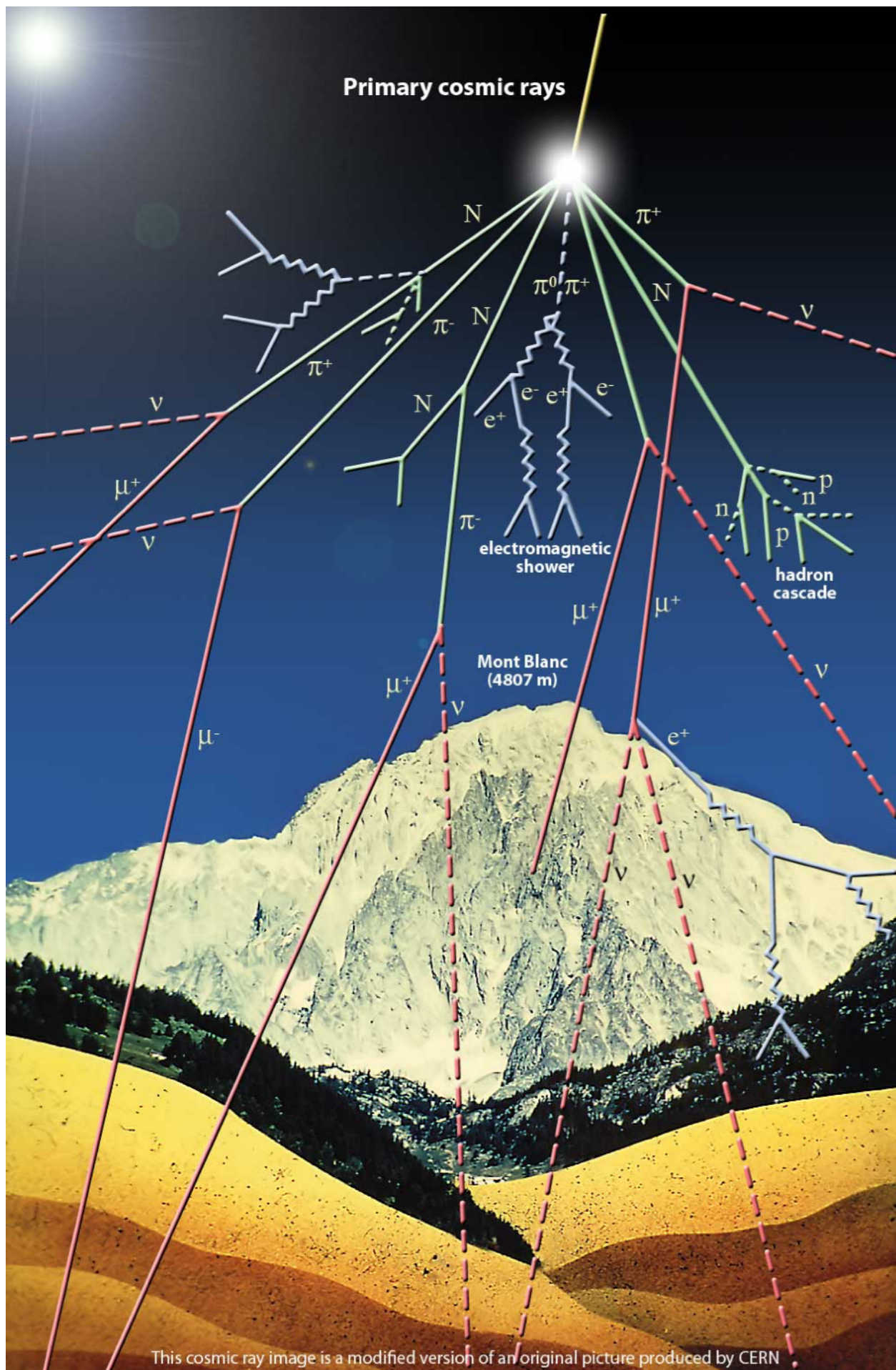


désintégration	temps de vie (τ)
$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$	10^{-16} s
$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	10^{-8} s
$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$	10^{-6} s

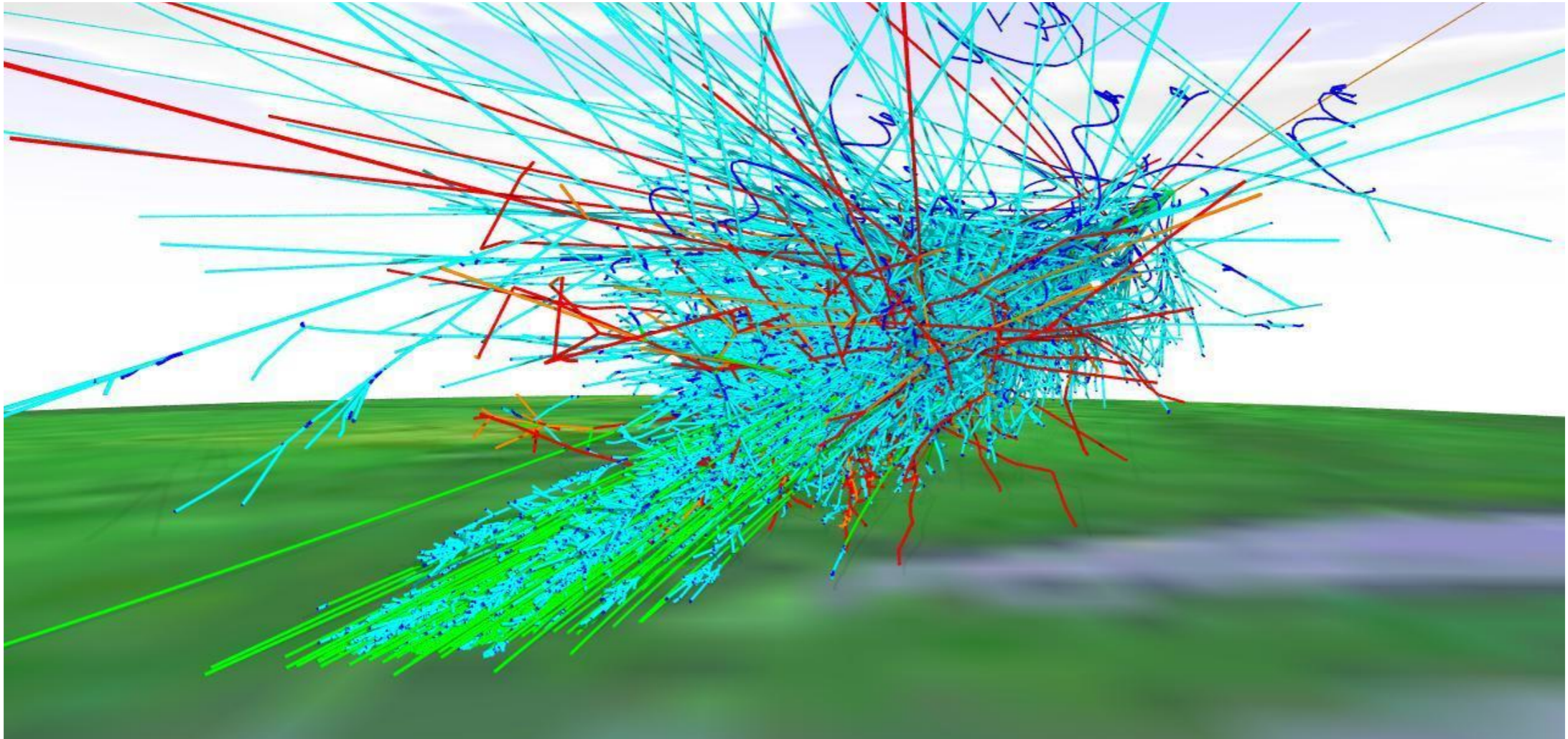
distance parcourue:

$$d = \beta\gamma c\tau \quad \text{où} \quad \beta = v/c \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

A haute énergie $\beta \simeq 1$ et $\beta\gamma = P/m$

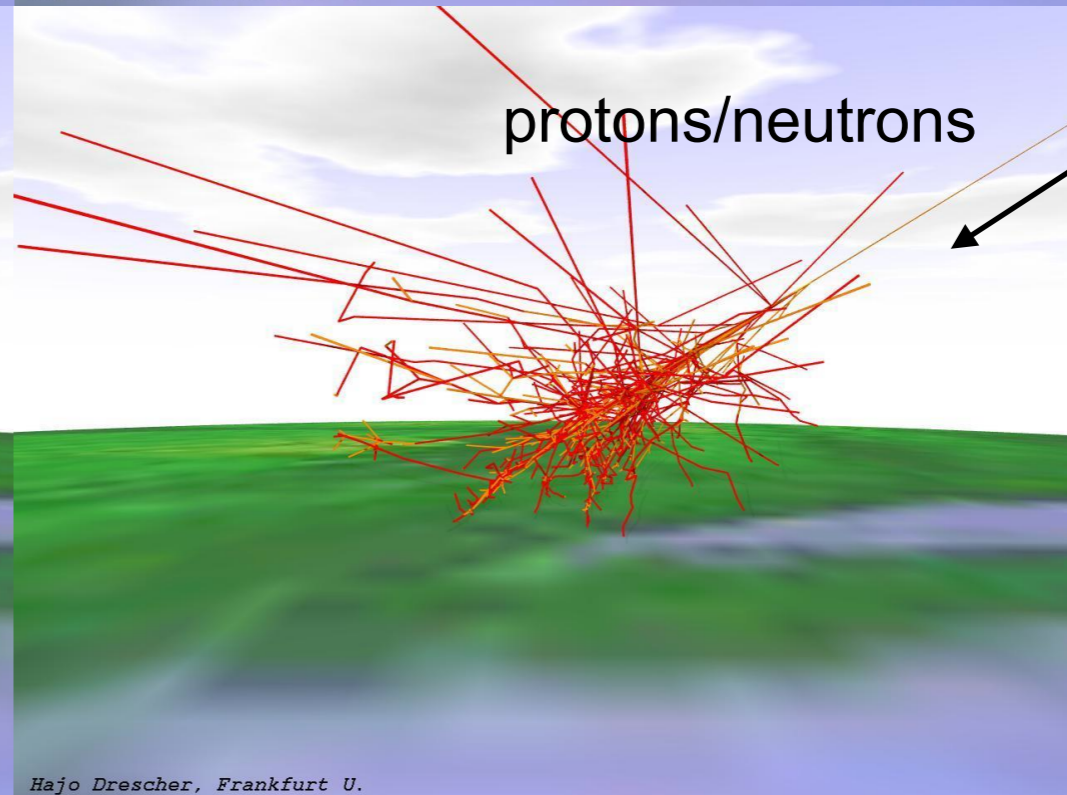
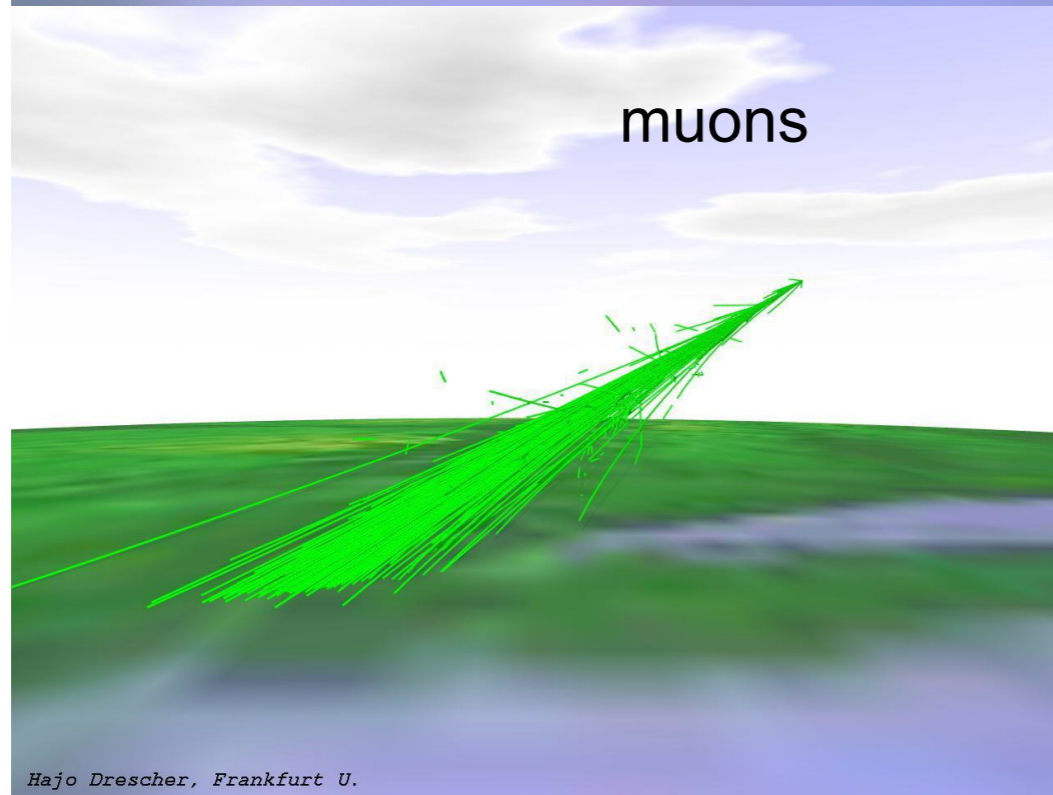
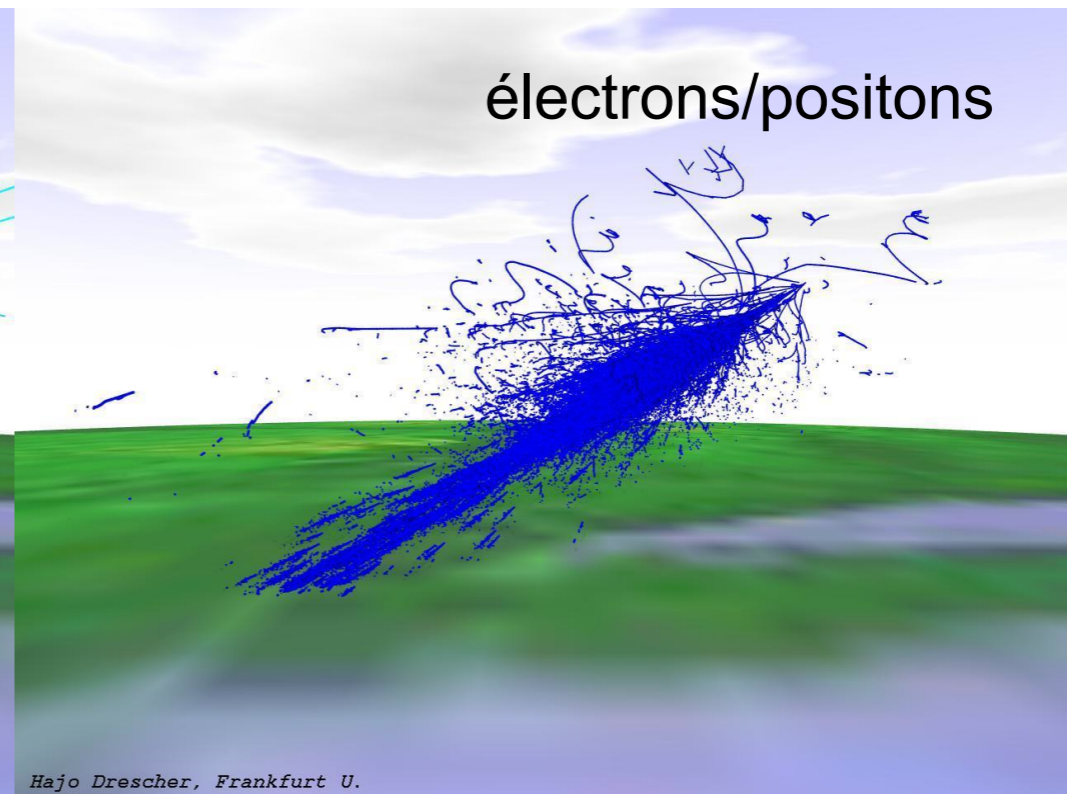
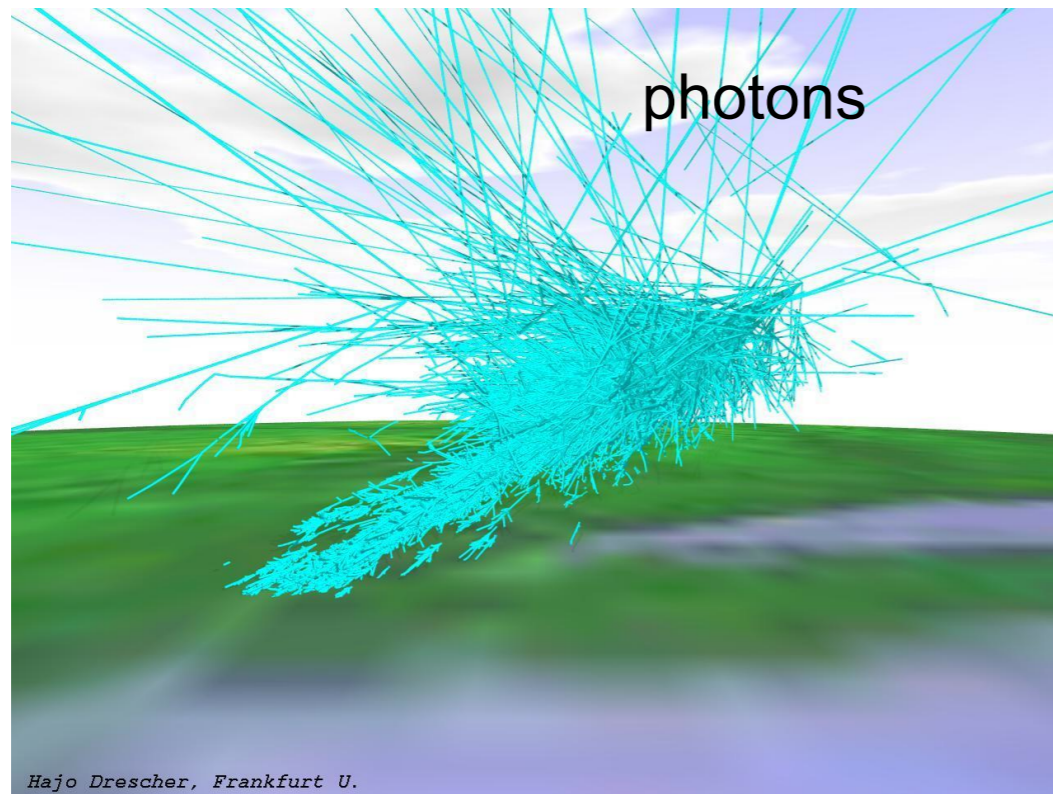


Rayonnement cosmique



Simulation d'une gerbe issue du rayonnement cosmique dans la haute atmosphère

Rayonnement cosmique



Accélérateurs

Objectifs :

- provoquer en abondance et de manière contrôlée des interactions entre particules
- étudier leur structure interne
- étudier leurs interactions
- créer de nouvelles particules

Choix :

- particules chargées et stables
- autres possibilités avec des faisceaux secondaires

Mode opératoire :

- cible fixe
- collisionneur

Principe de fonctionnement :

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{F}_{\text{Lorentz}} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B} \right)$$

seul le champ électrique peut accélérer :

$$\Delta E_{\text{cin}} = \int \vec{F} \cdot \vec{v} dt$$

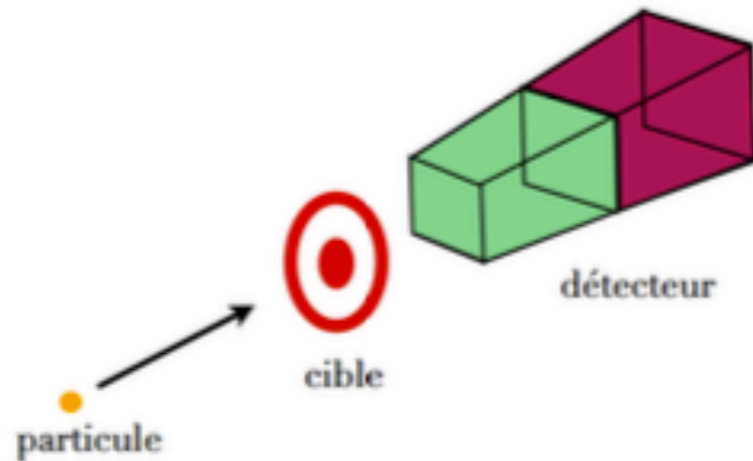
Accélérateurs

Cible fixe

$$p_A = (E_A, 0, 0, E_A)$$

$$p_B = (m_B, 0, 0, 0)$$

$$\rightarrow s = 2E_A m_B$$



Mode collisionneur

$$p_A = (E_A, 0, 0, E_A)$$

$$p_B = (E_B, 0, 0, -E_B)$$

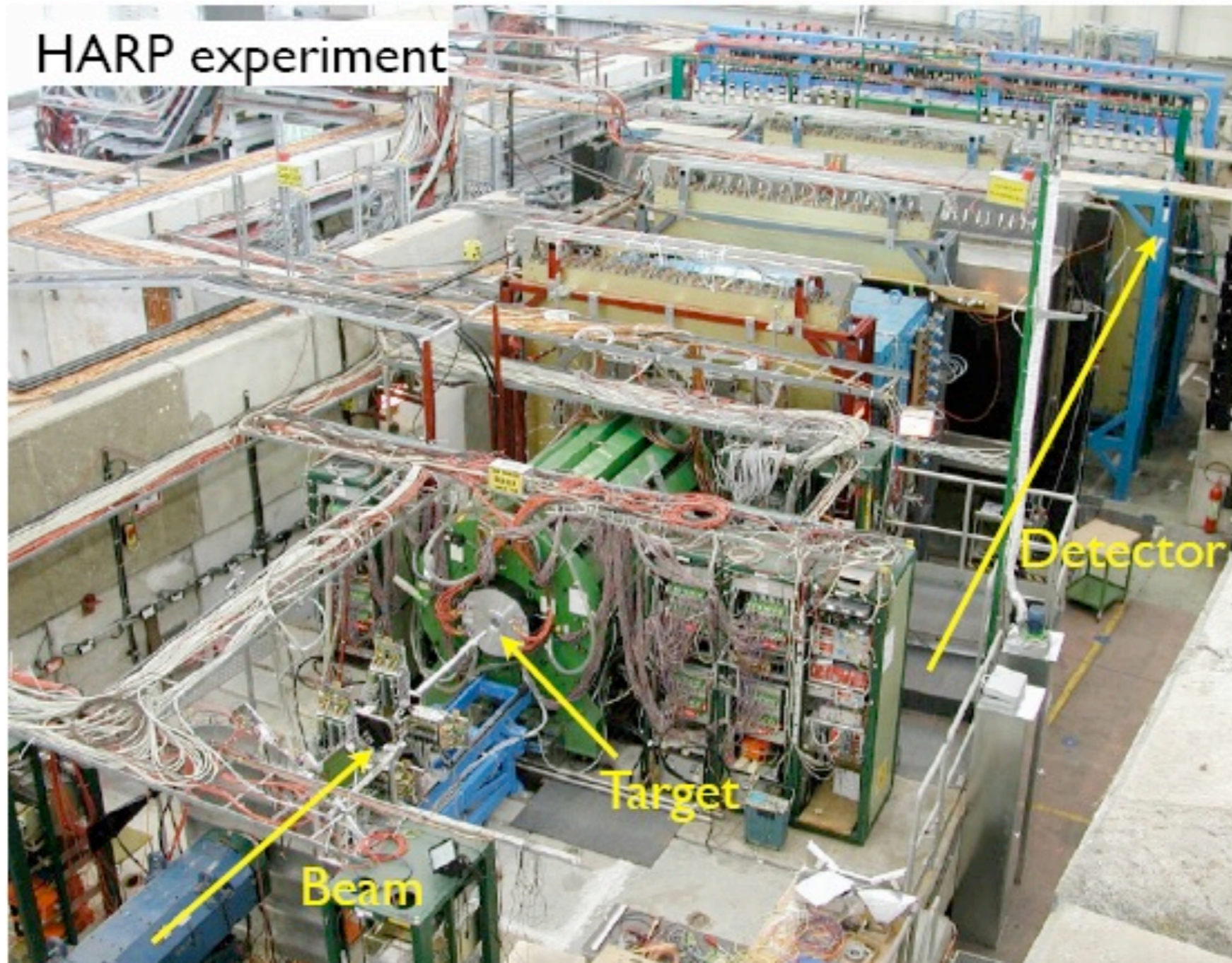
$$\rightarrow s = 4E_A E_B$$

si les faisceaux sont symétriques : $\sqrt{s} = 2E$

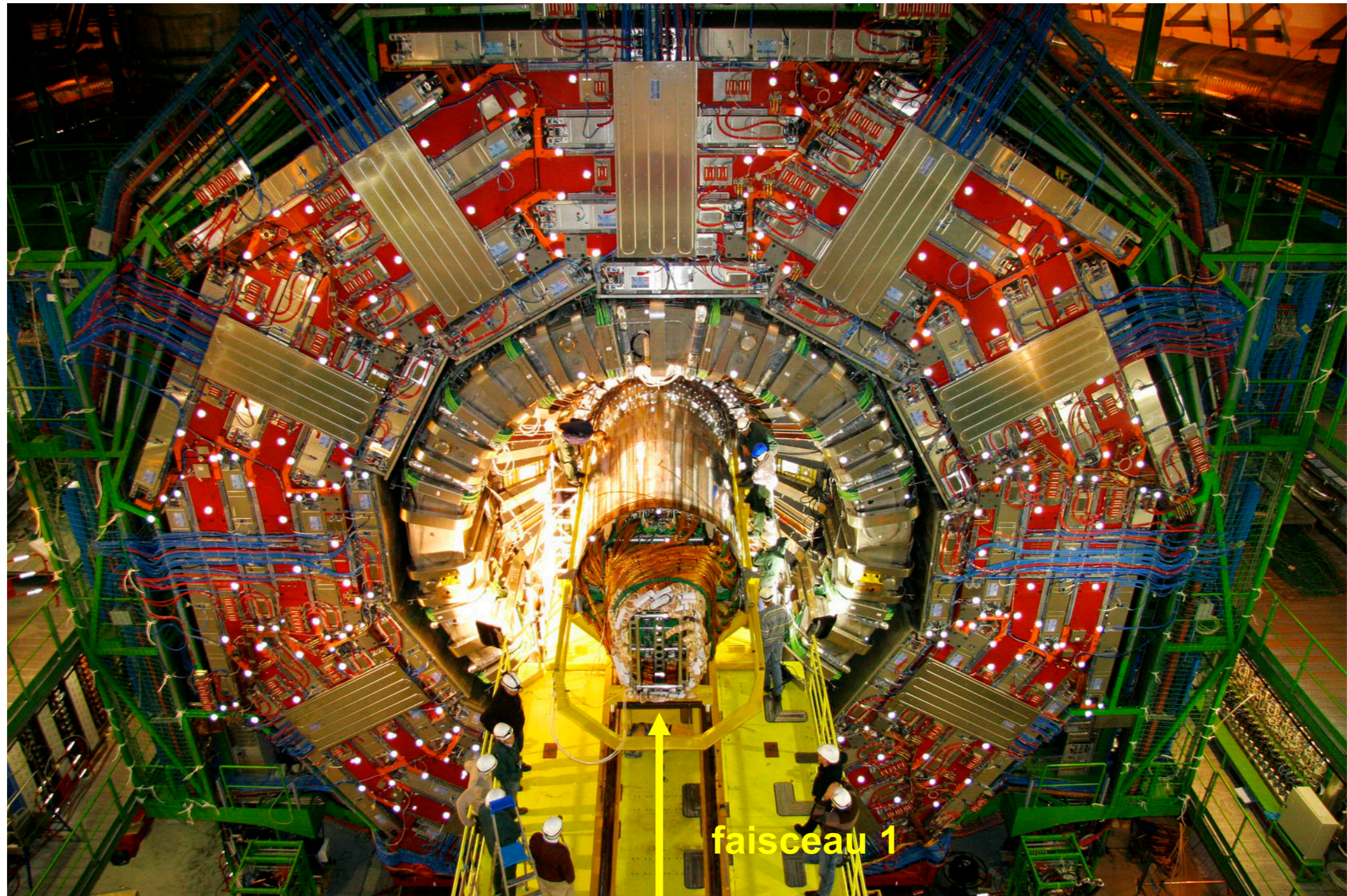


$$s = m_{AB}^2 = (p_{A+B})^\mu (p_{A+B})_\mu = (E_A + E_B)^2 - (\vec{p}_A + \vec{p}_B)^2$$

Accélérateurs - cible fixe



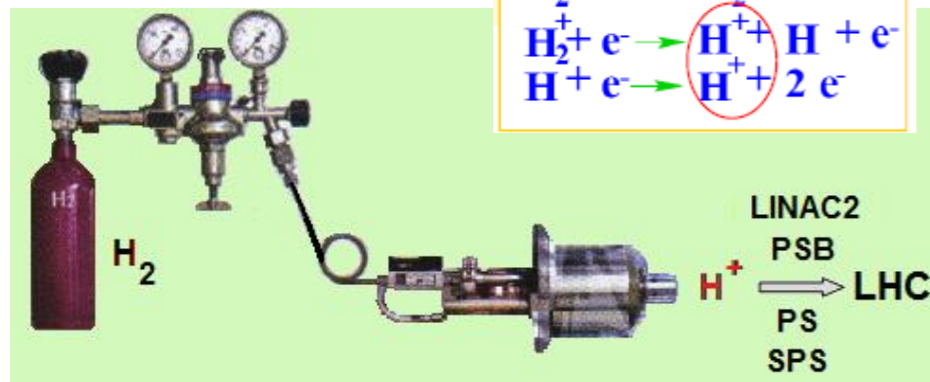
Accélérateurs - collisionneur



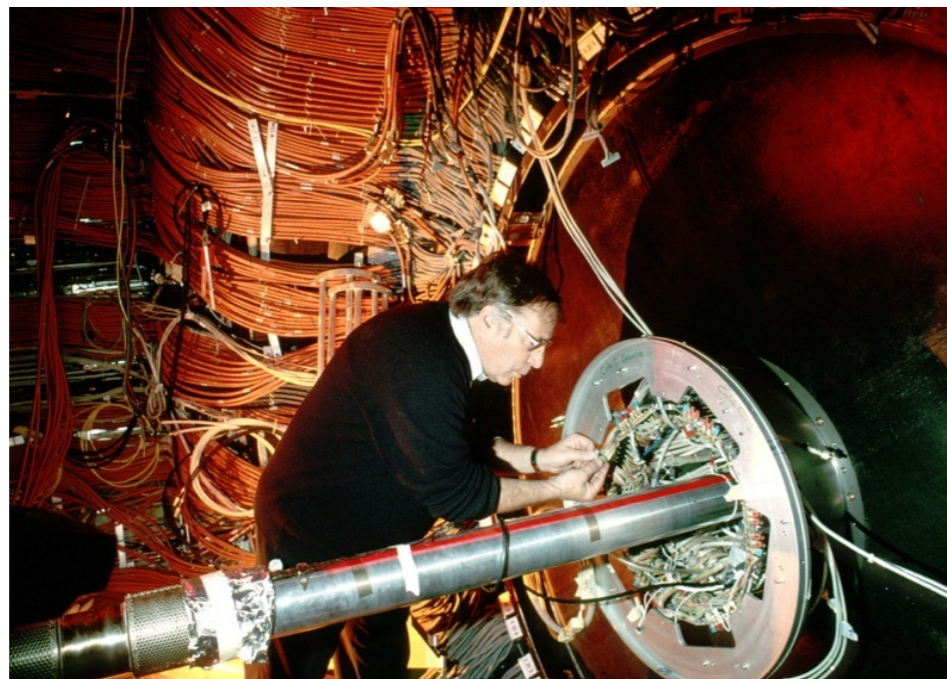
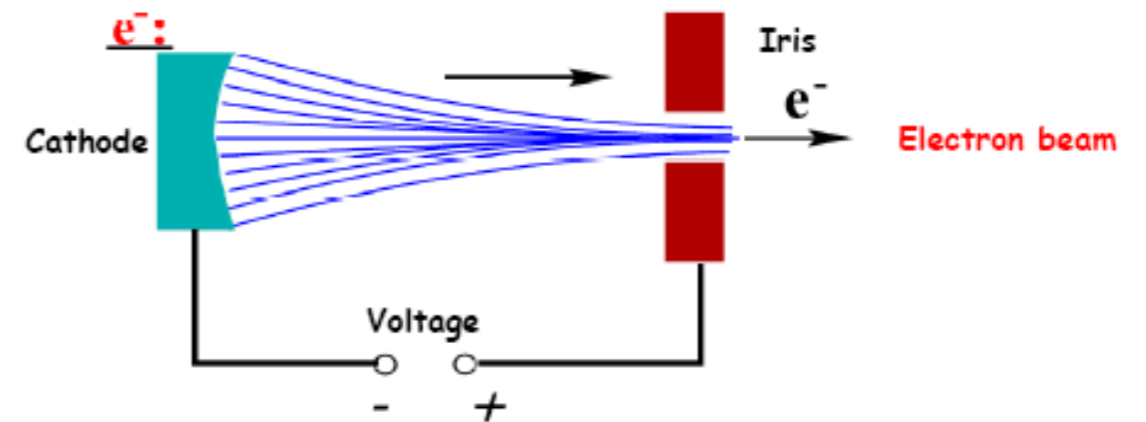
Entrée du tube à vide dans le détecteur CMS

Sources de protons/électrons

source de protons
du CERN

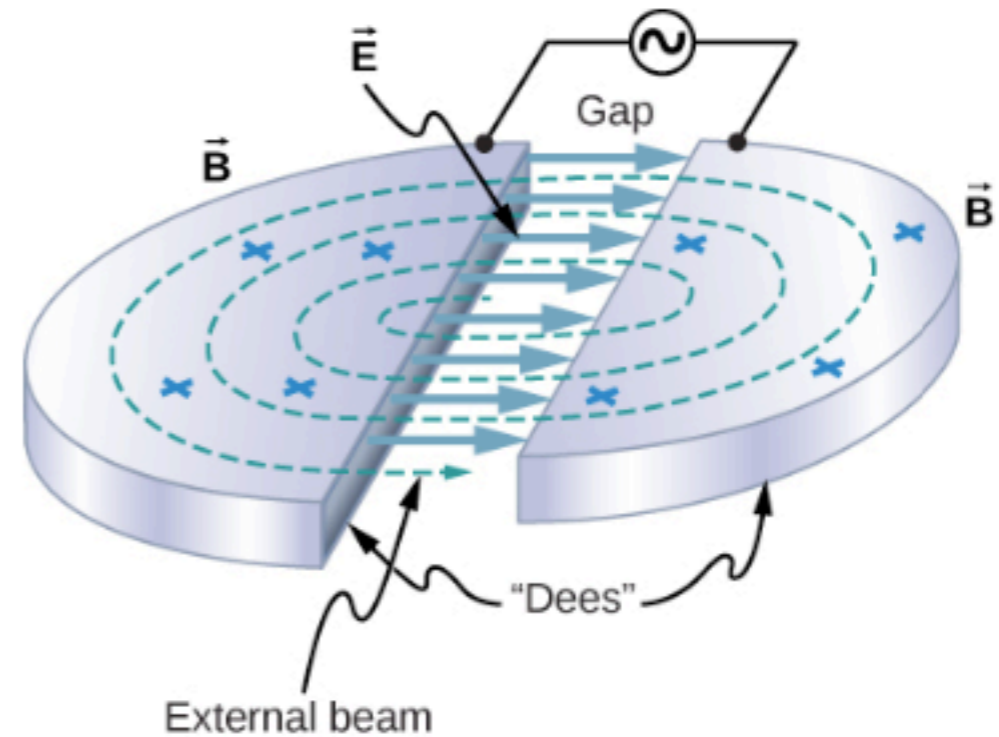
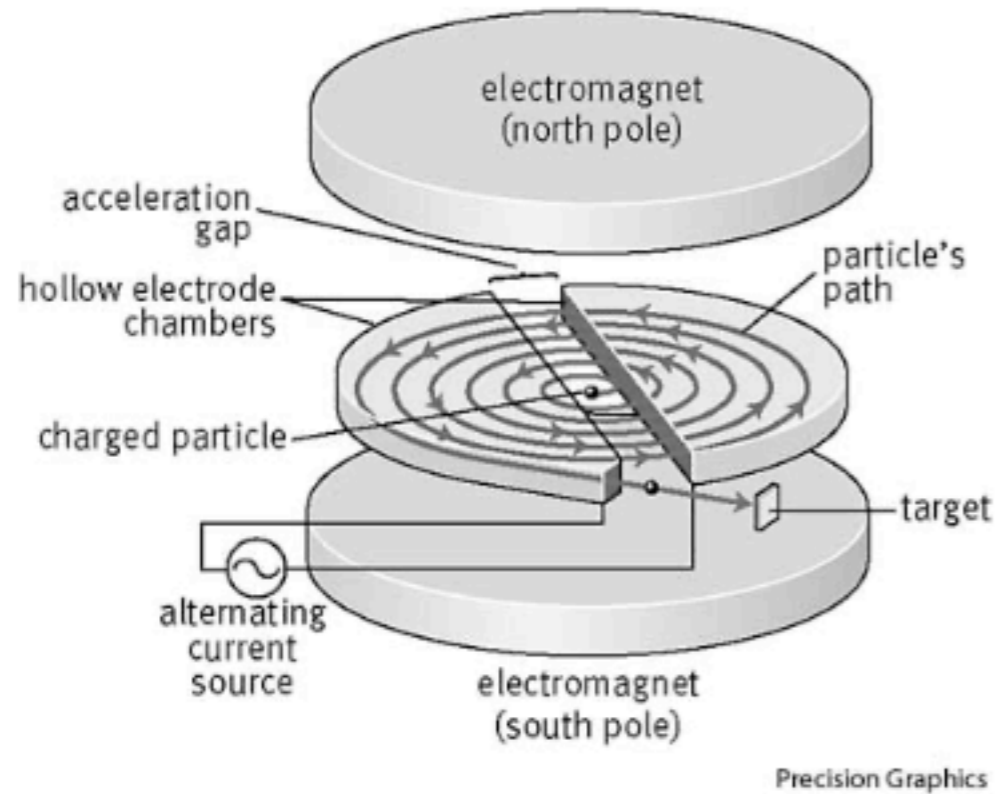


principe d'une
source d'électrons



Tube à vide en
béryllium du LEP, à
l'entrée d'un des
détecteurs

Le cyclotron



dans les D : le champ B génère un accélération dont la force égale la force centripète :

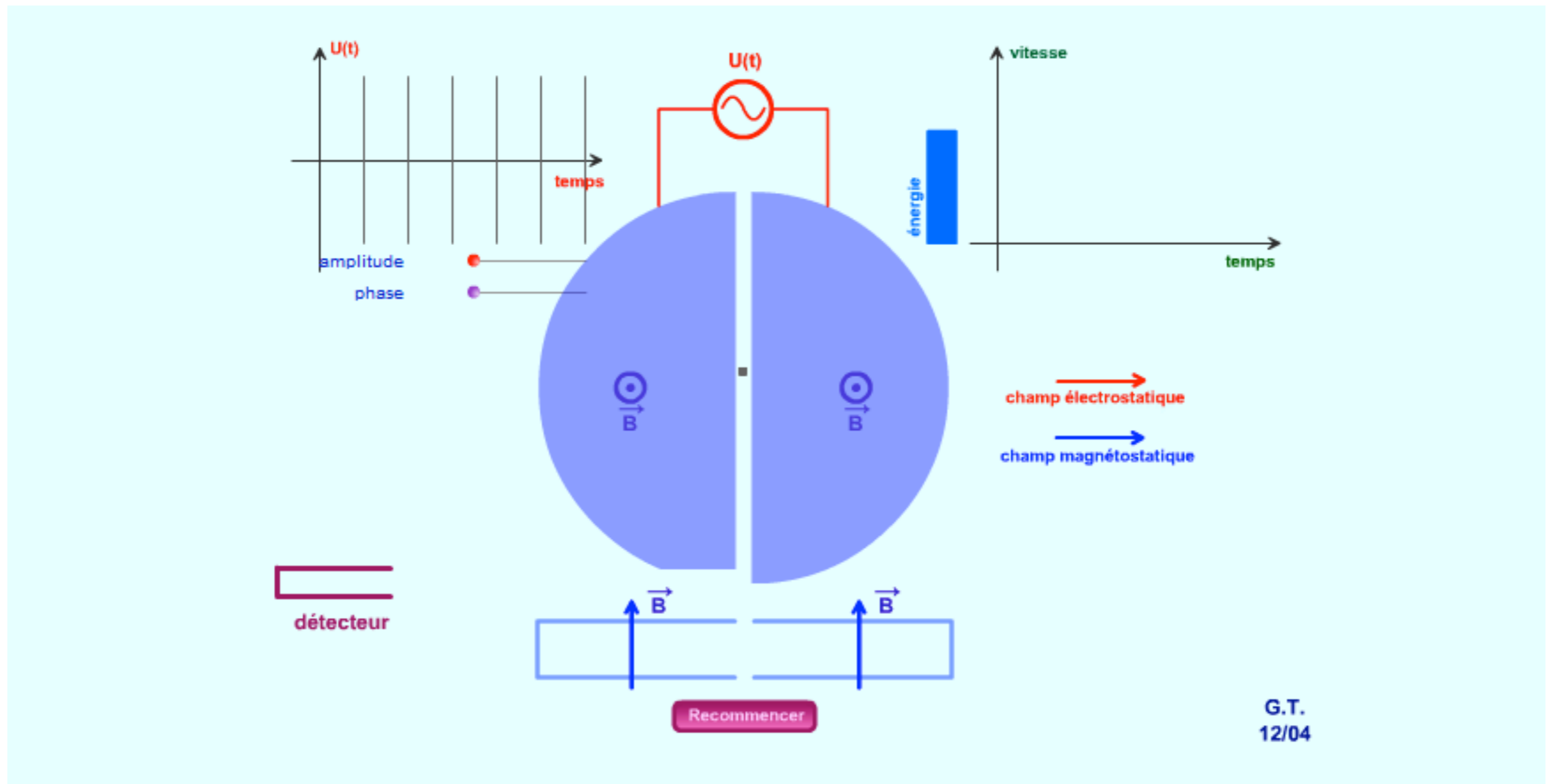
$$m a = m \frac{v^2}{R} = q v B \quad \Rightarrow \quad \omega = 2\pi f = \frac{v}{R} = \frac{q}{m} B \quad \text{vitesse angulaire}$$

rayon de courbure : $R = \frac{m v}{q B}$

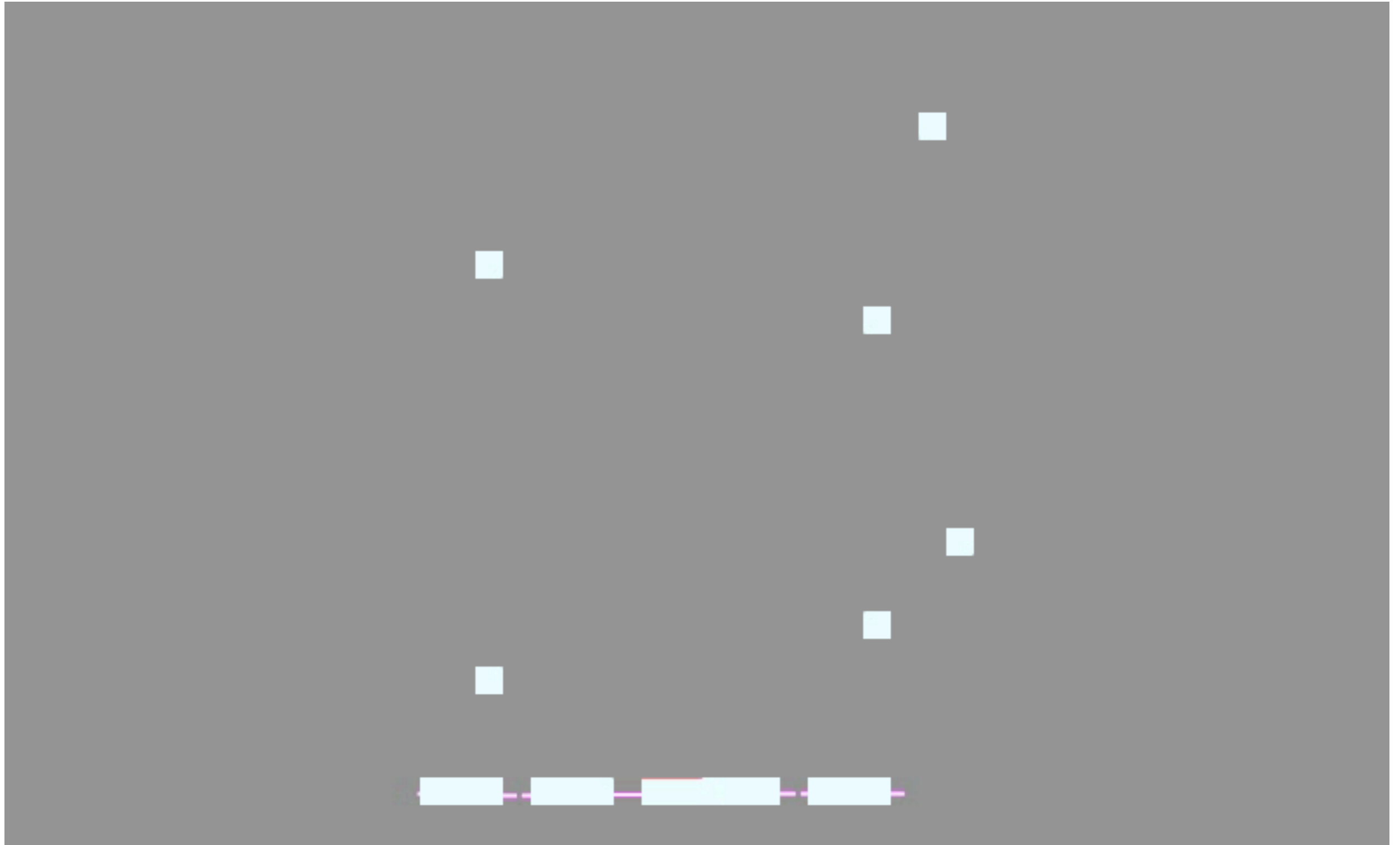
énergie cinétique : $E_{cin} = \frac{m v^2}{2} \quad E_{cin}^{fin} = \frac{m v_{fin}^2}{2} = \frac{q^2 B^2 R_{fin}^2}{2 m}$

Le cyclotron

Ernest O. LAWRENCE (1901-1958).
Prix Nobel 1939

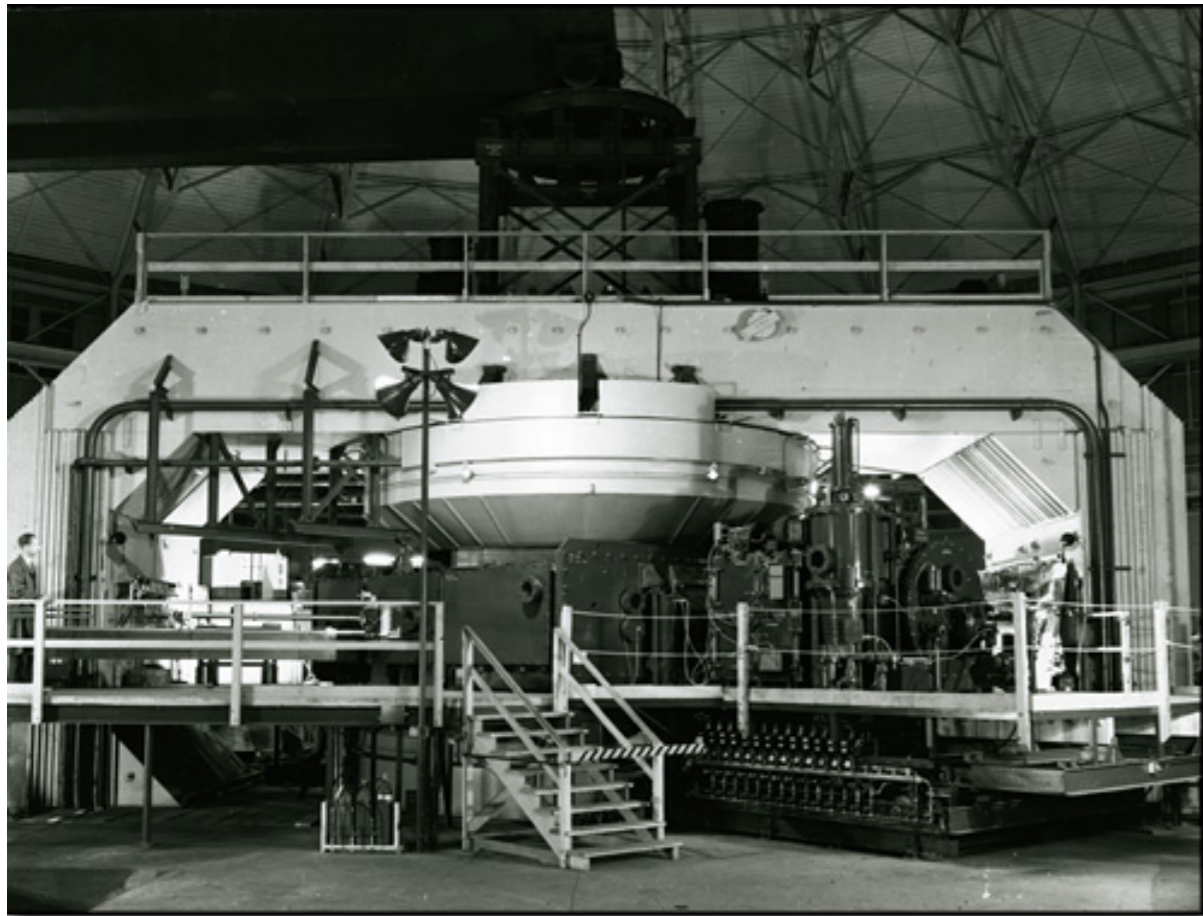


Le cyclotron (animation)



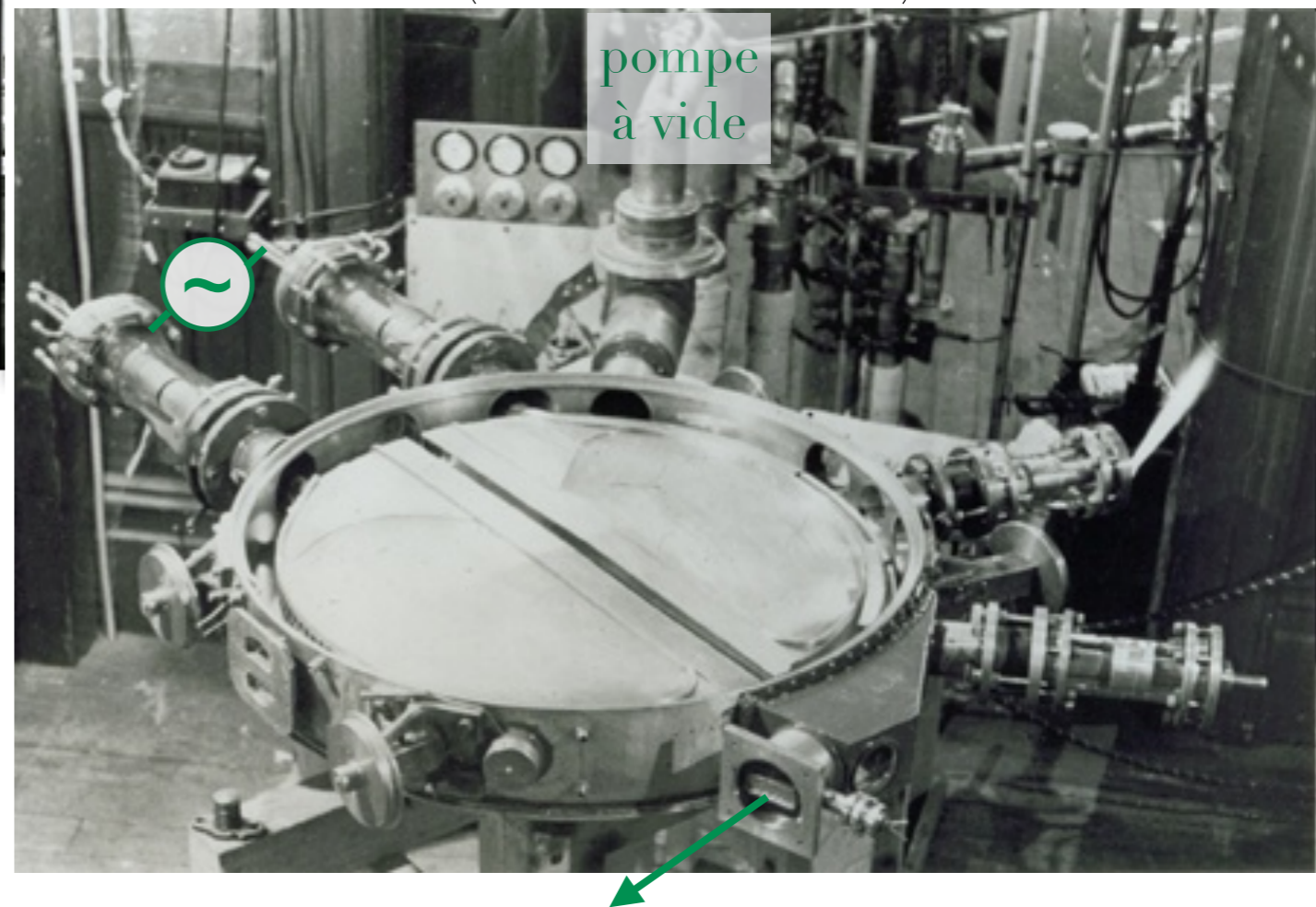
Animation: <https://www.iihe.ac.be/~lfavart/cyclotron.html>

Le cyclotron



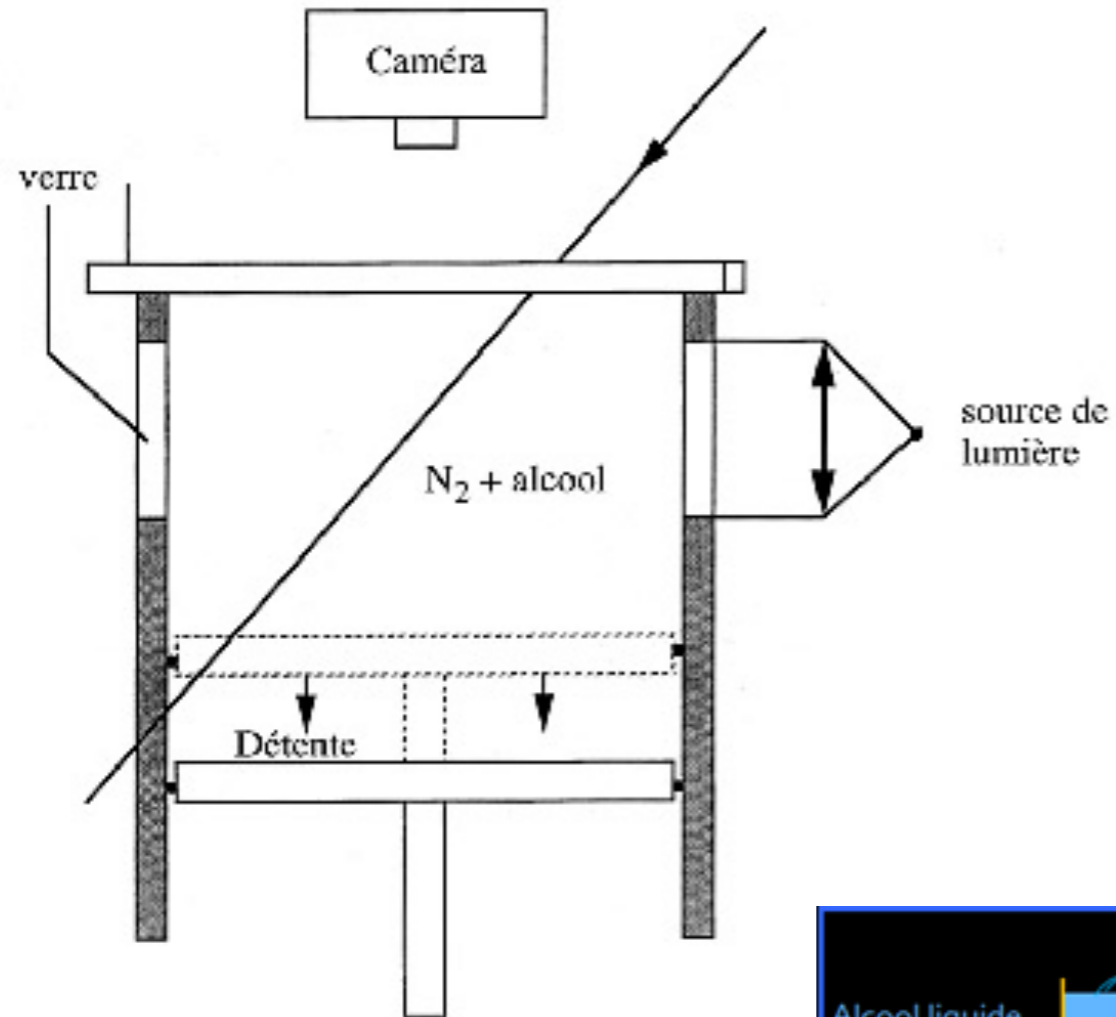
Le Cyclotron de Berkley de 184" (4,6m)
en 1940, lors de son installation

Le Cyclotron de Rutgers de 27" (69cm) - 1932
(sans son aimant)

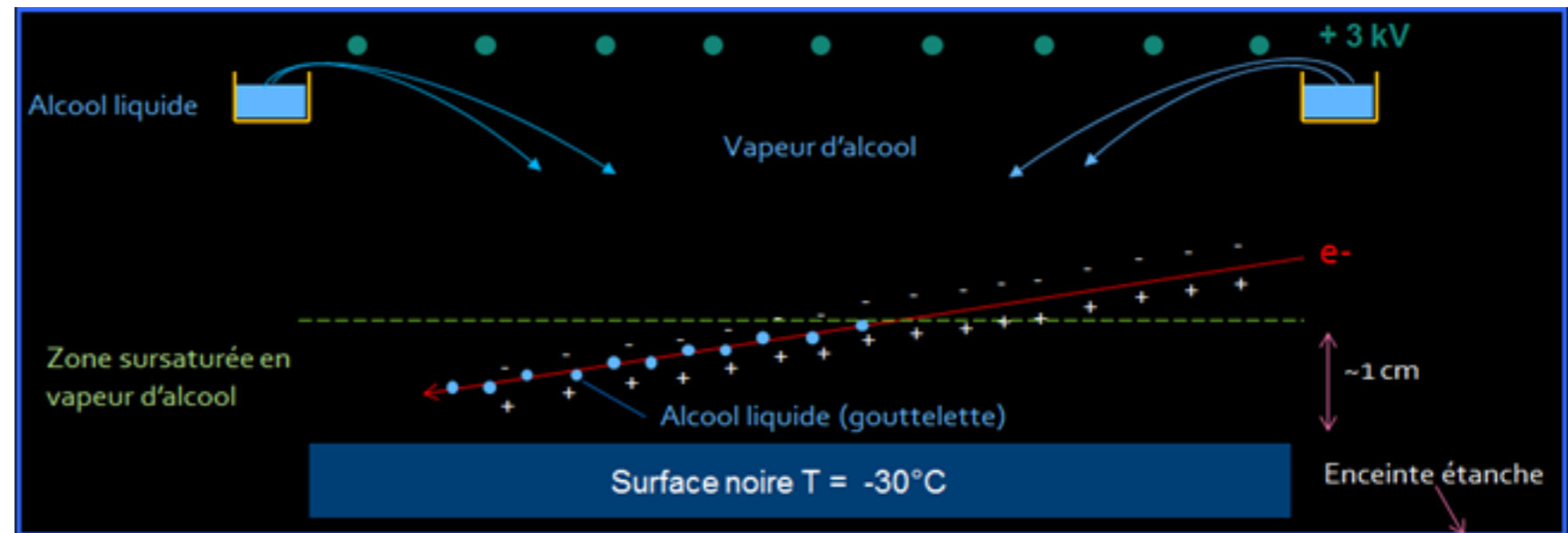
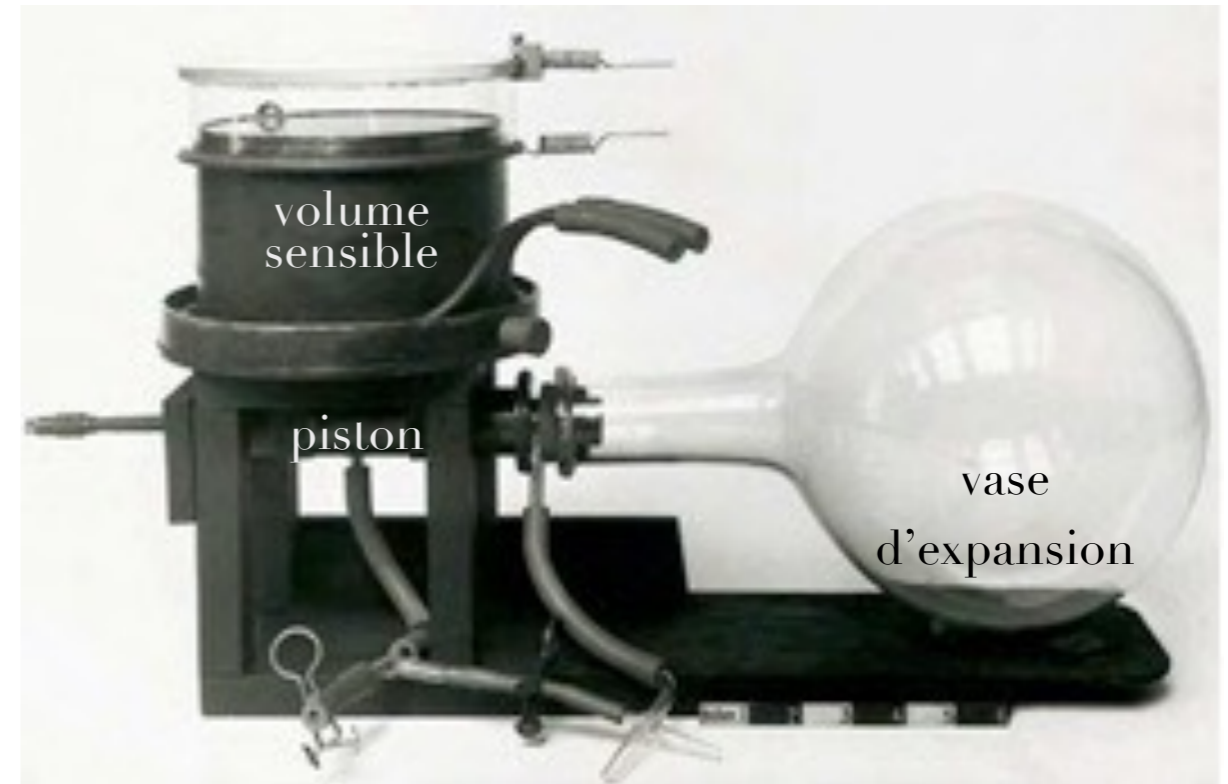


Chambre à brouillard

ionisation d'un gaz sursaturé en alcool



Chambre à brouillard de Wilson - 1911

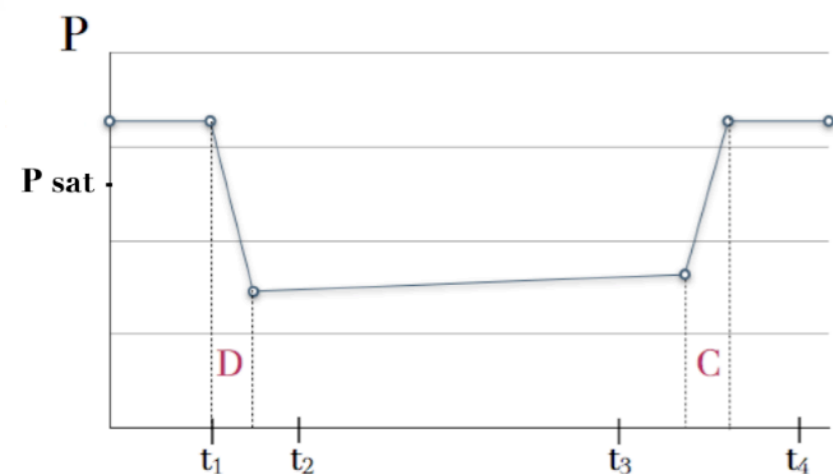
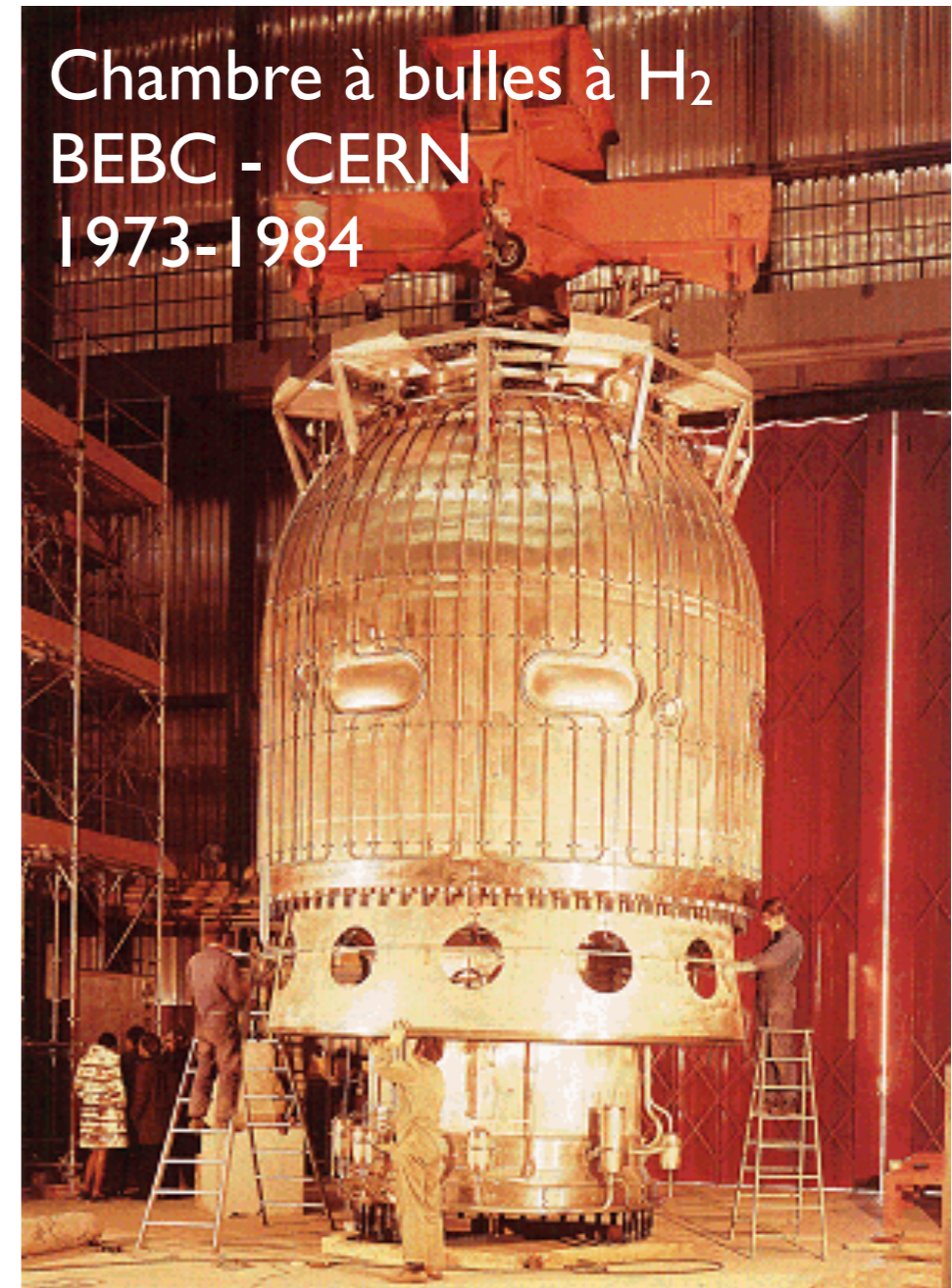
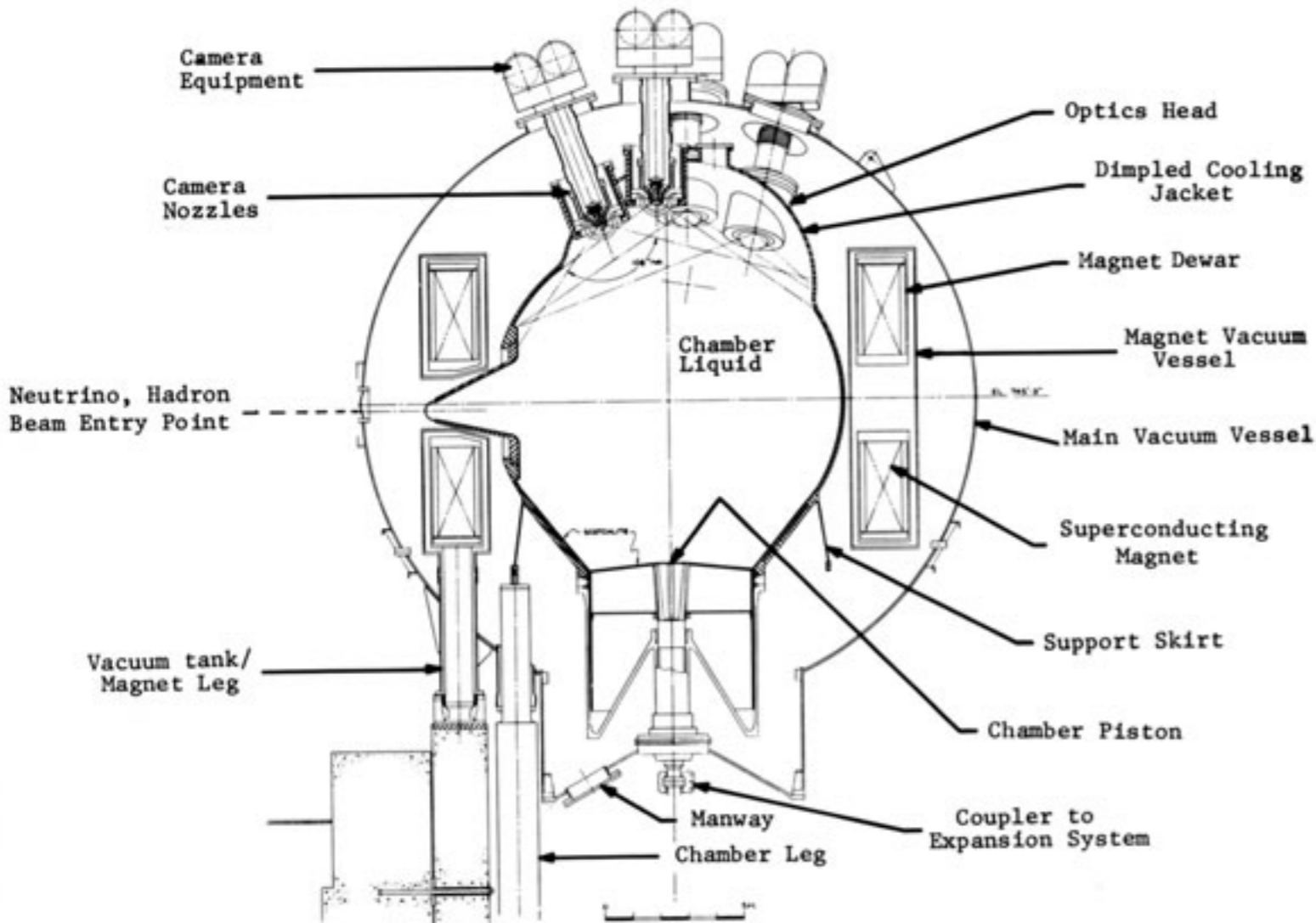


Chambre à brouillard (vidéo)



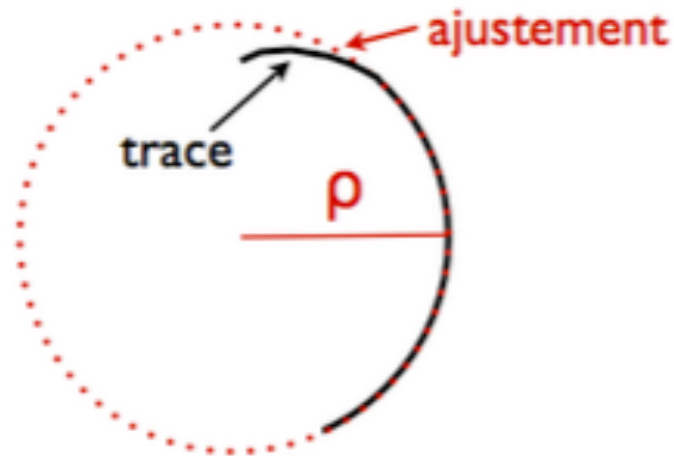
La chambre à bulles

ionisation \rightarrow ébullition locale par d'un liquide dans un état métastable



- D décompression
- C compression
- t₁ signal arrivée faisceau moins 1 ms
- t₂ arrivé du faisceau
- t₃ prise des clichés photographiques
- t₄ avancement du film

Mesure de l'impulsion



ρ : le rayon de courbure

$\rho = \infty$ pour $\vec{B} = 0$

$$p_T \text{ (MeV/c)} = 299.8 Z \rho \text{ (m)} B \text{ (T)}$$

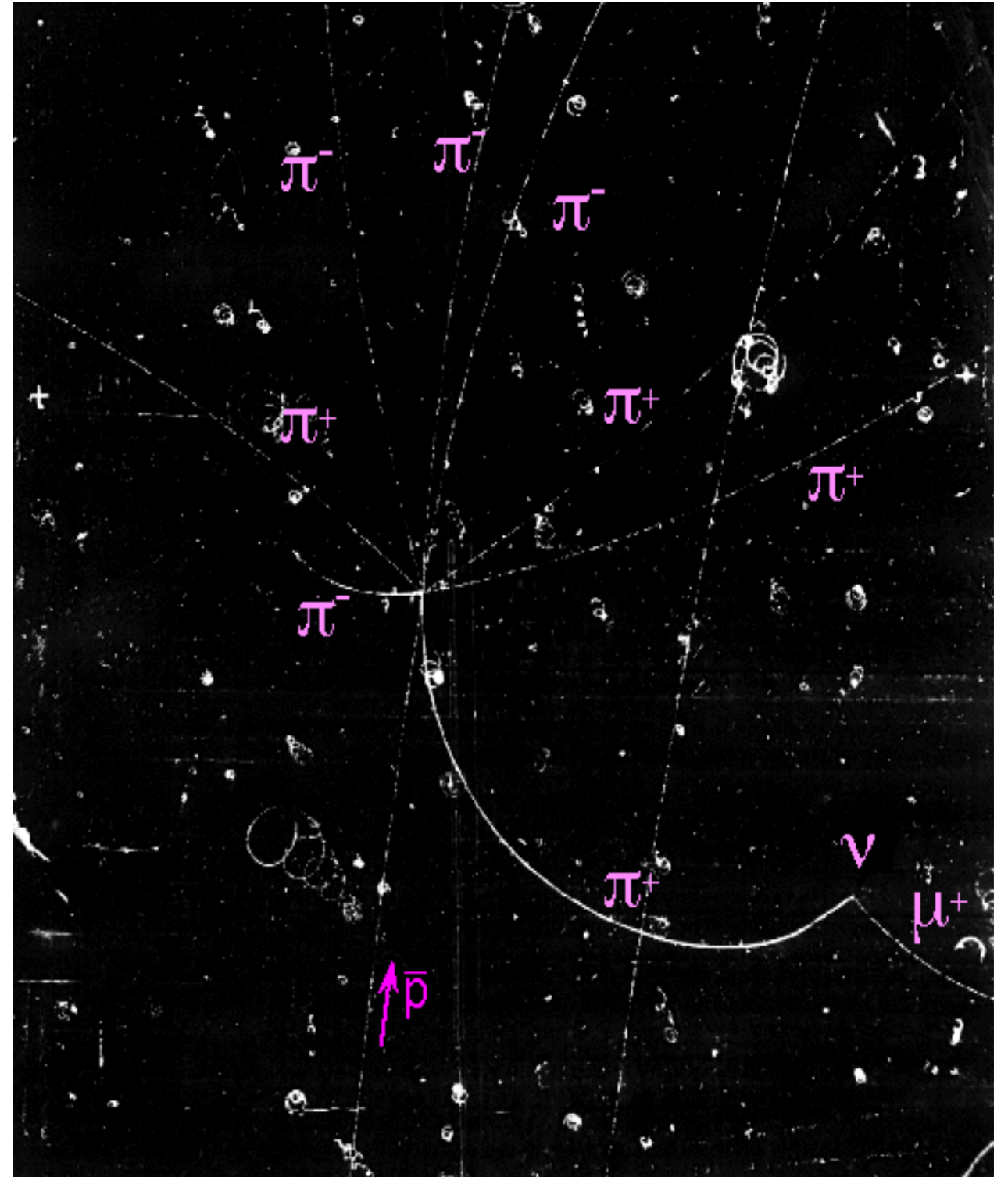
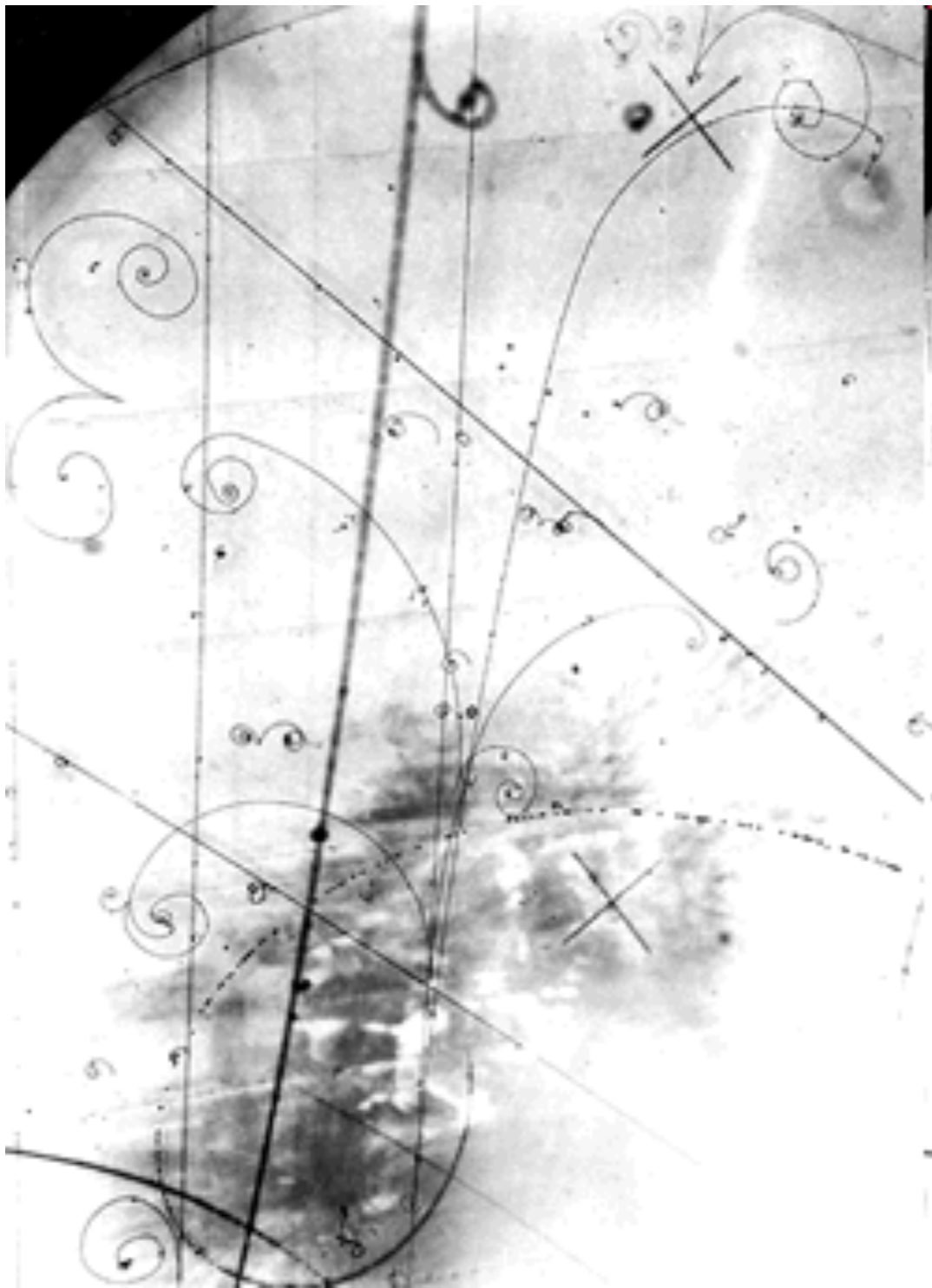
pour une charge Z en unité de charge électrique

- reconstruction des traces en 3D \rightarrow mesure de θ et ϕ
- reconstruction de la 3-impulsion :

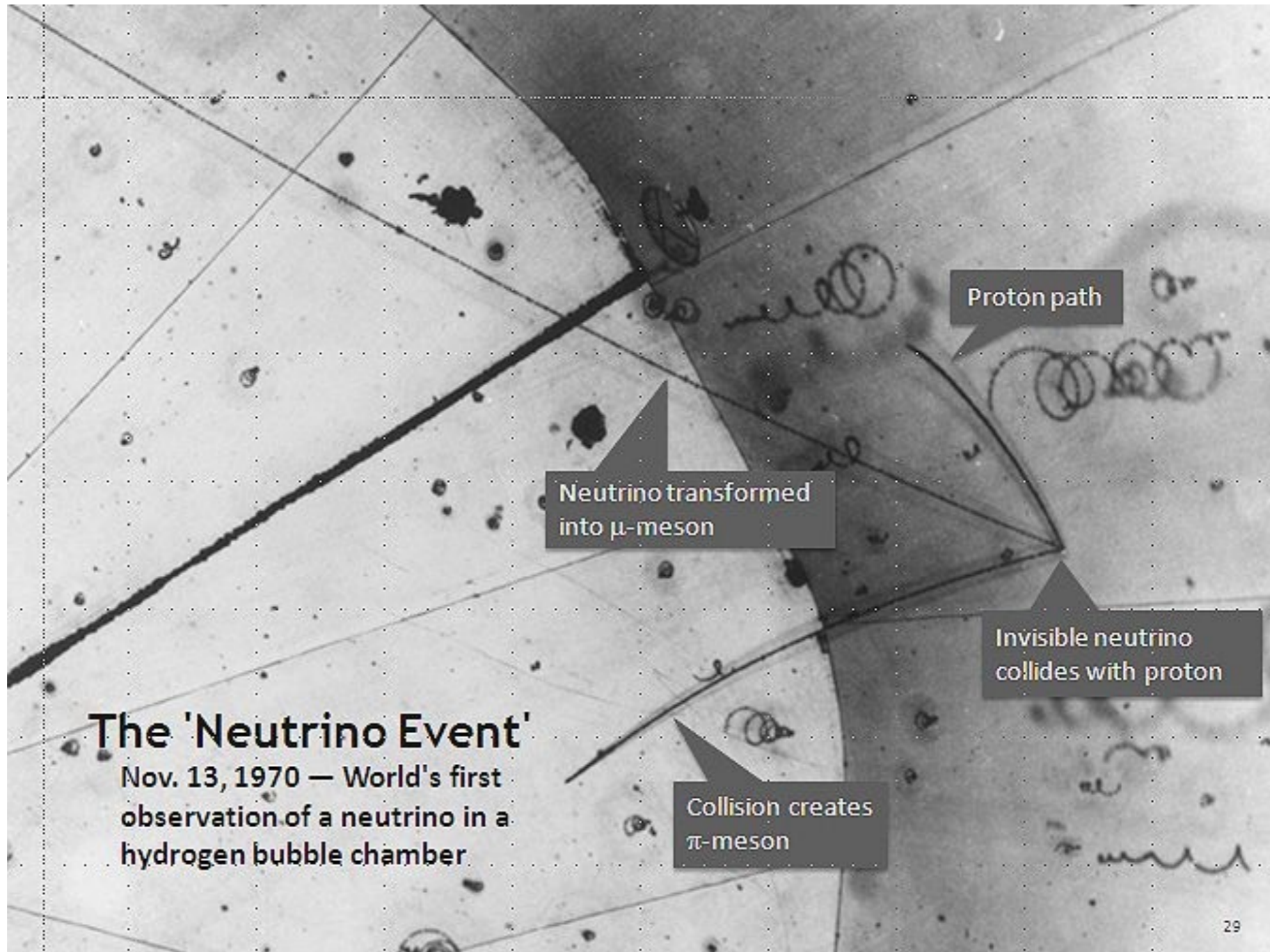
$$\begin{aligned} |p| &= p_T / \sin \theta & p_x &= |p| \sin \theta \cos \phi \\ p_z &= |p| \cos \theta & p_y &= |p| \sin \theta \sin \phi \end{aligned}$$

- reconstruction de l'énergie si identification de la particule ou par perte d'énergie par unité de longueur

Clichés de chambre à bulles

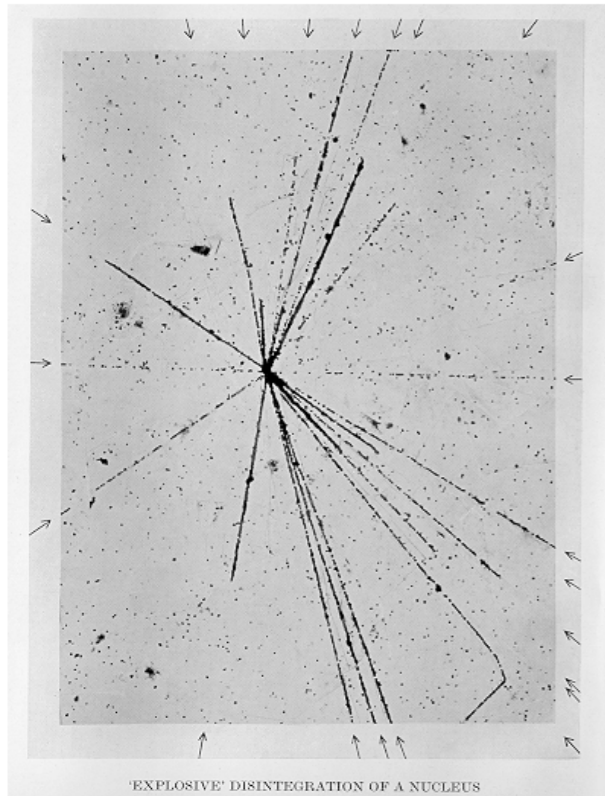


Clichés de chambre à bulles

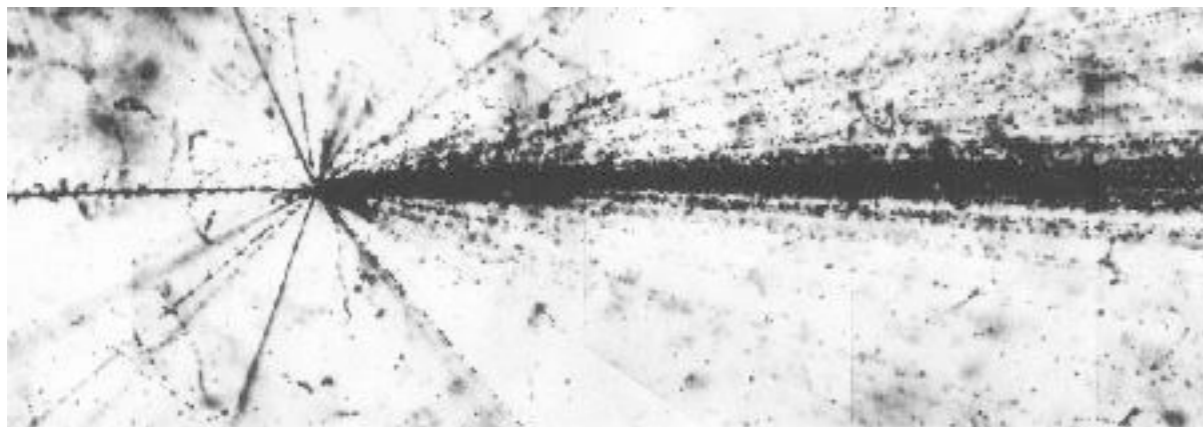
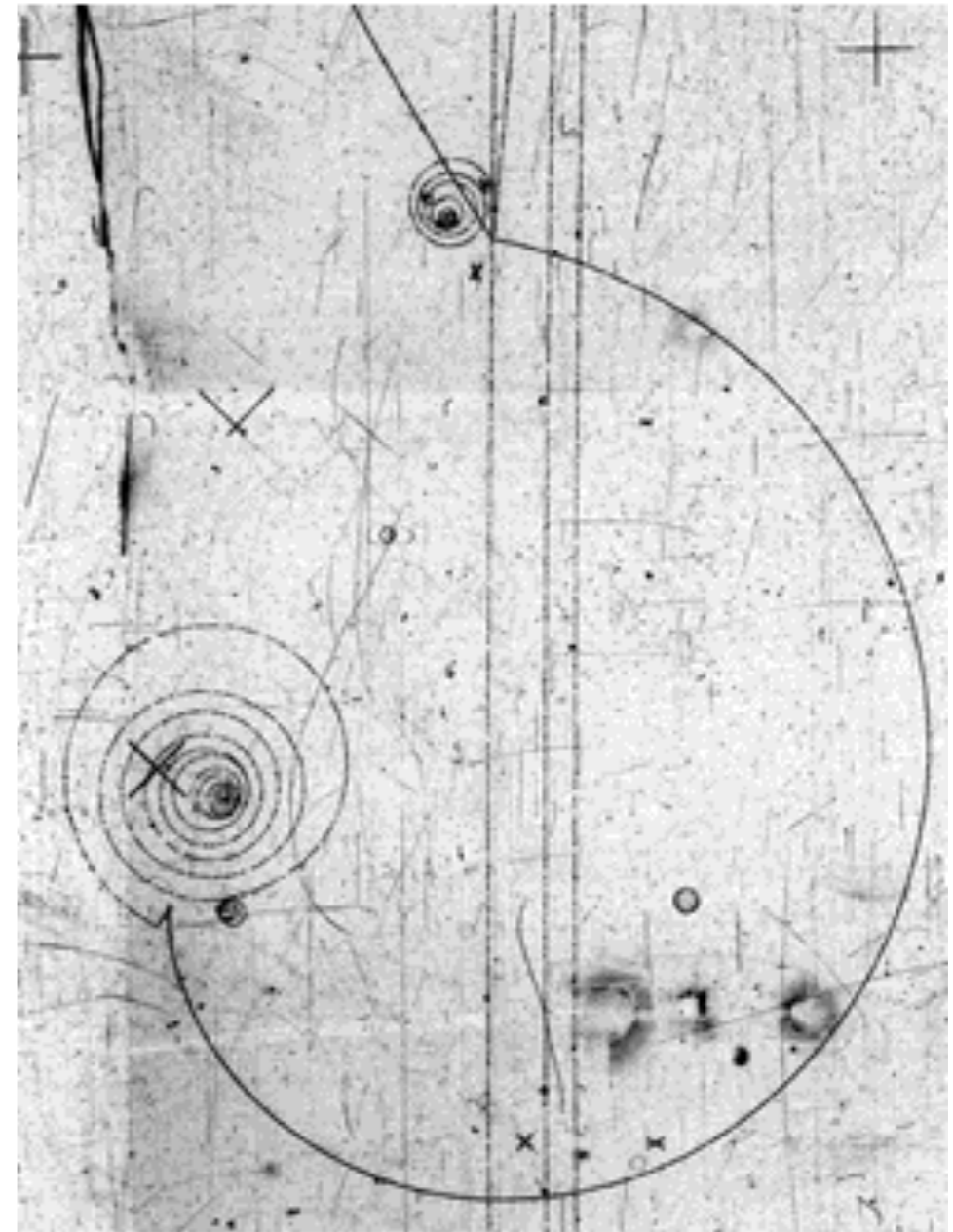


Emulsion nucléaire

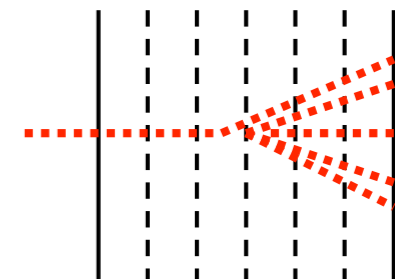
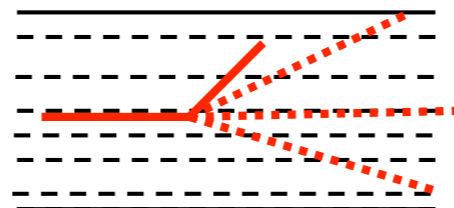
Effet chimique : noircissement des halogénures d'argent (AgBr) sous l'action de la lumière



Eclatement d'un noyau de la haute atmosphère en plusieurs fragments nucléaires, suite à une interaction avec un rayon cosmique - 1937

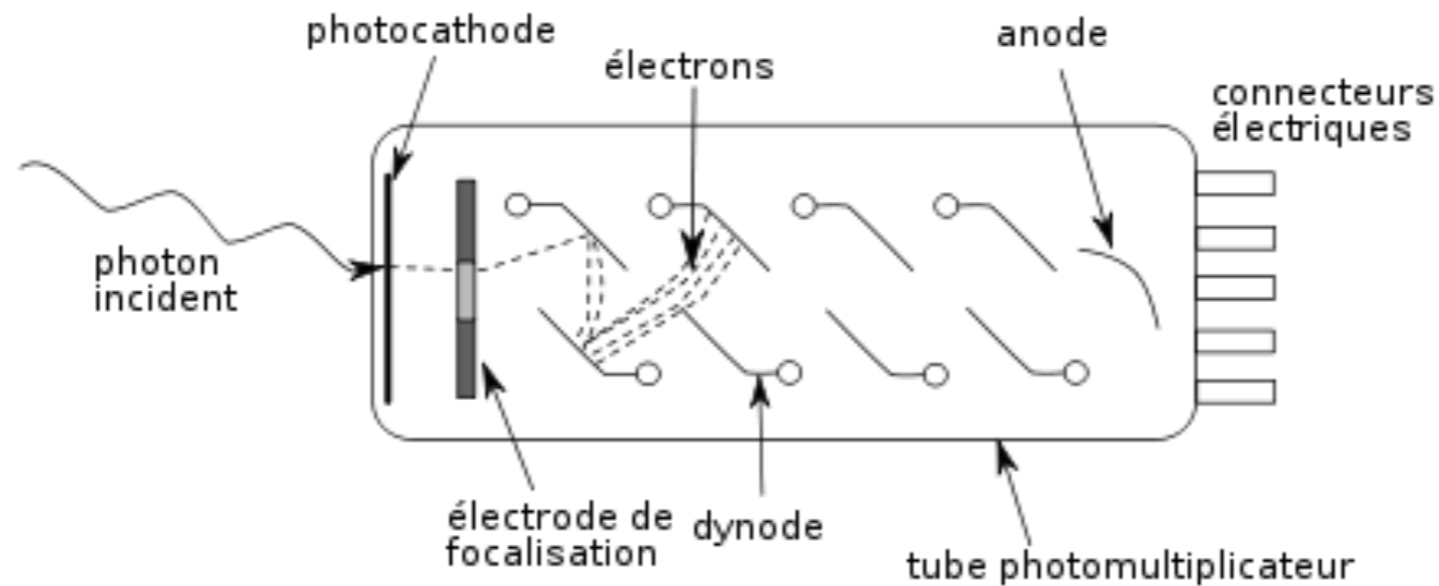
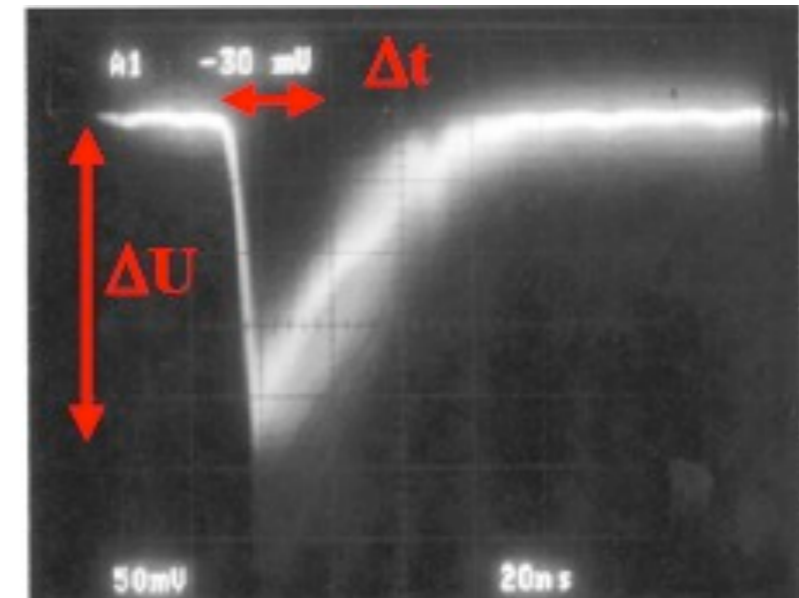
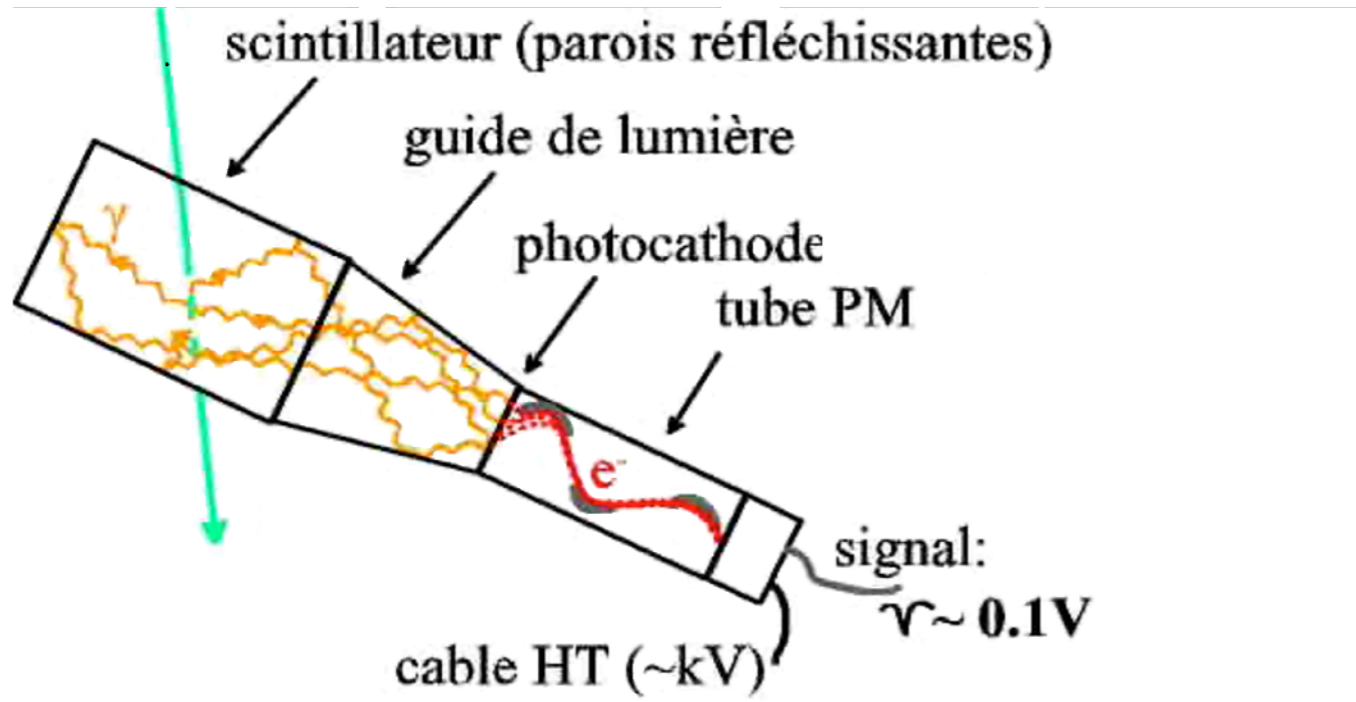


Faisceau
→

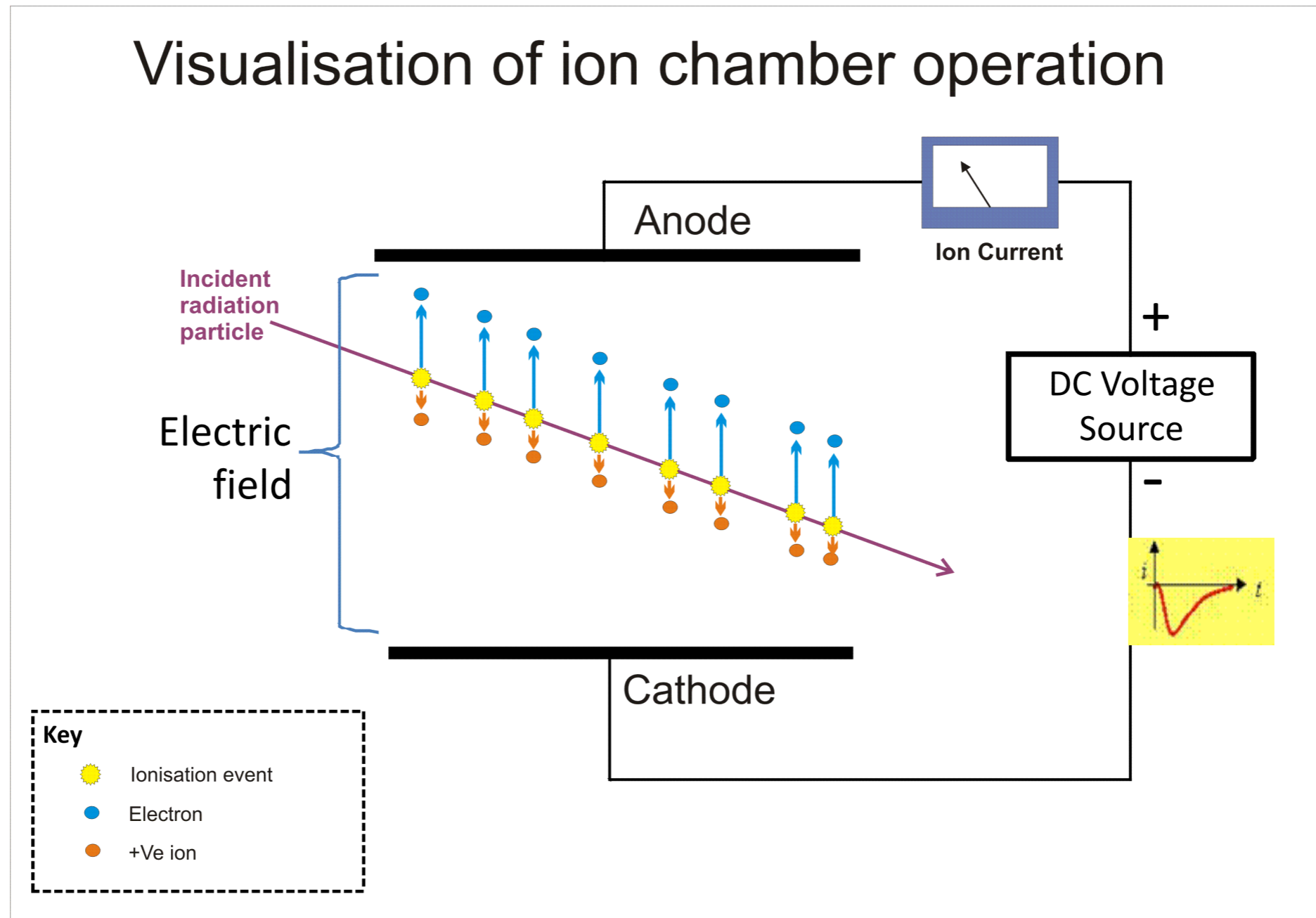


Détecteurs électroniques: Scintillateur

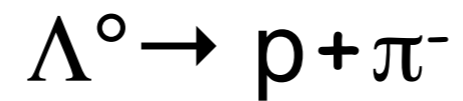
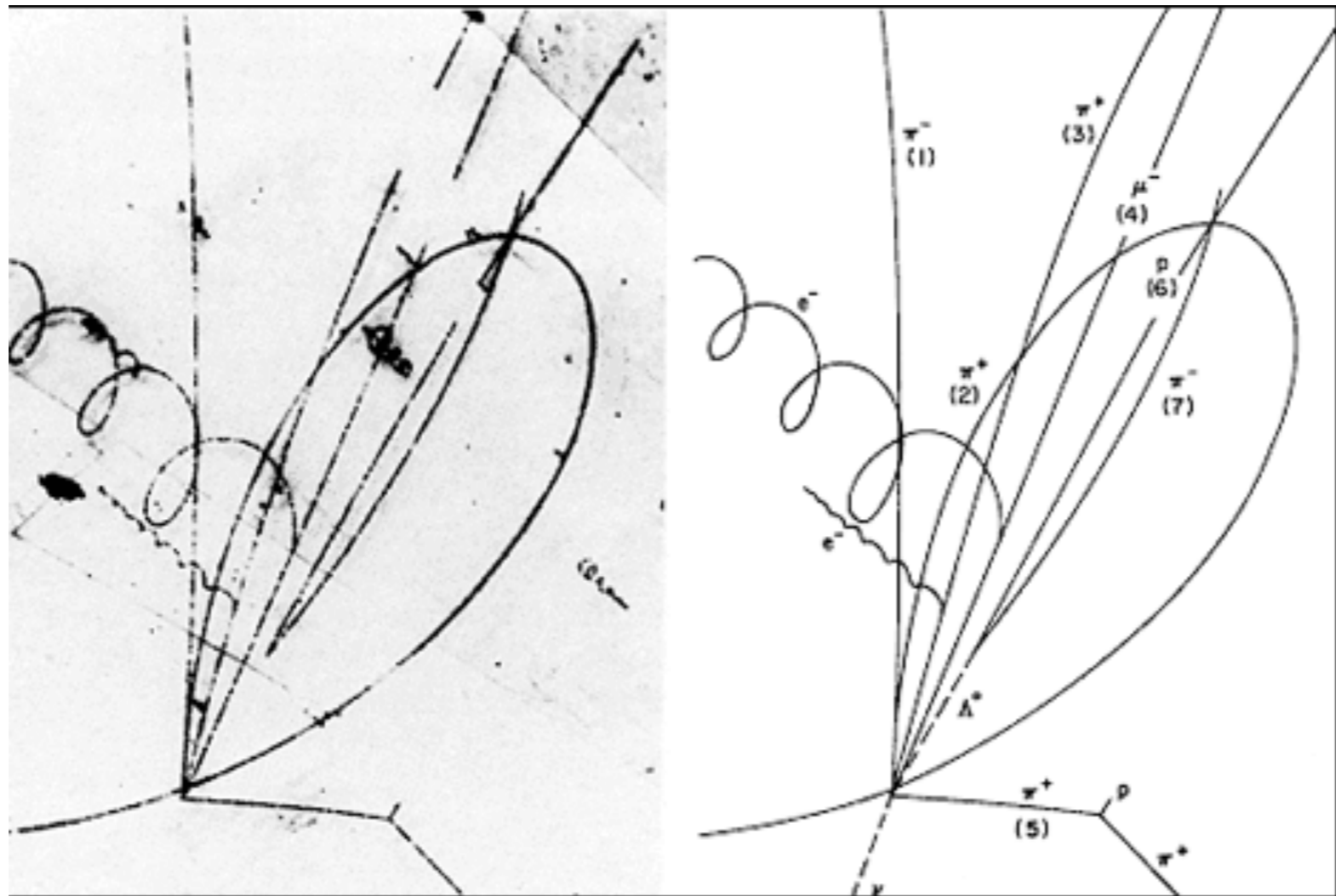
excitation d'un réseau cristallin par la particule chargée incidente



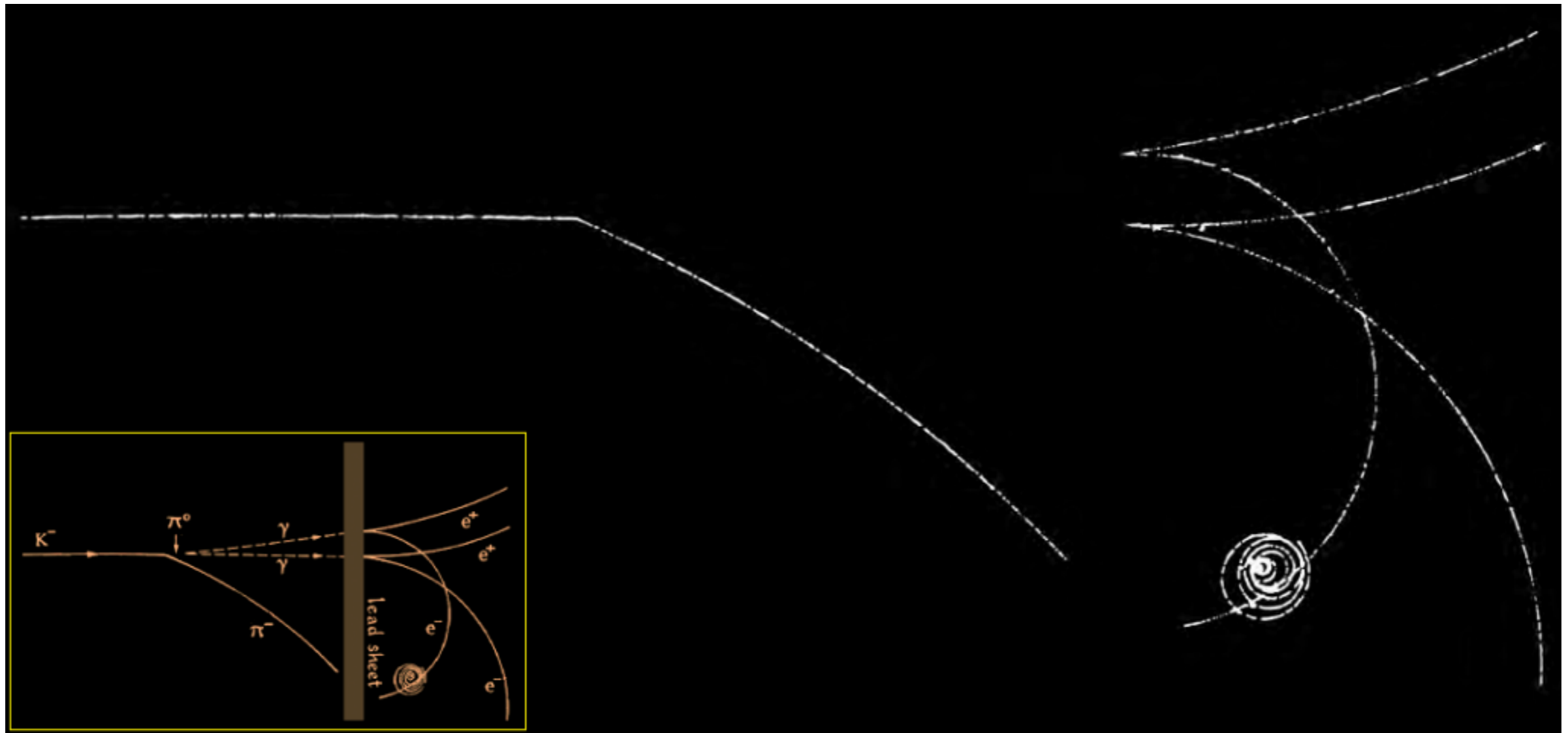
Détecteur à volume sensible gazeux



Détection particules neutres



Détection de particules neutres



matérialisation de photons

- Back-up

Rayonnement cosmique

Particules chargées

