

Les outils de la physique des particules

- **Les accélérateurs**
- **Les détecteurs**

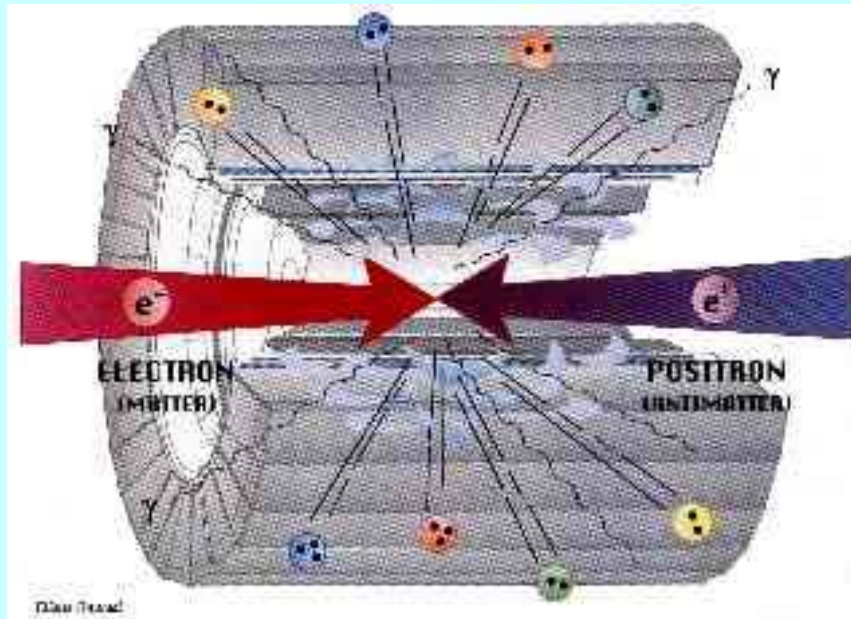
C. Vander Velde

IIHE (ULB-VUB)

2006

Les outils de la physique des particules

Production des particules:



Les particules des faisceaux sont accélérées de manière à acquérir une énergie cinétique colossale.

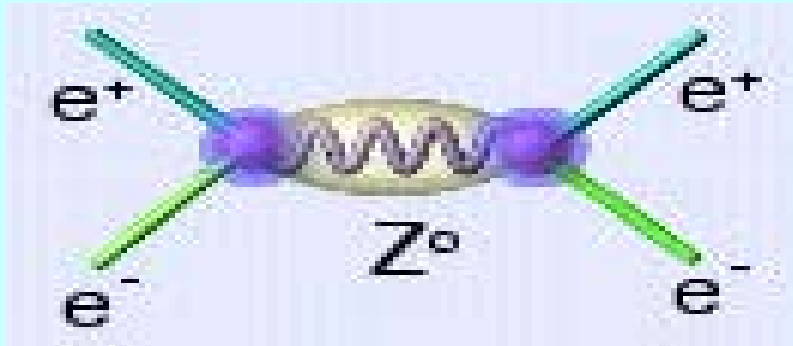
De leurs collisions violentes jaillit une multitude de particules.

Les outils de la physique des particules

Pourquoi de hautes énergies?

Exemple: production du Z^0 dans des collisions e^+e^-

Un des mécanismes de production du Z^0 :



$$m_{e^+} = m_{e^-} = 0,0005 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_{Z^0} = 91 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_{e^+} + m_{e^-} \ll m_{Z^0}$$

$$e^+ + e^- \rightarrow Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$$

Comment créer la masse du Z^0 ?

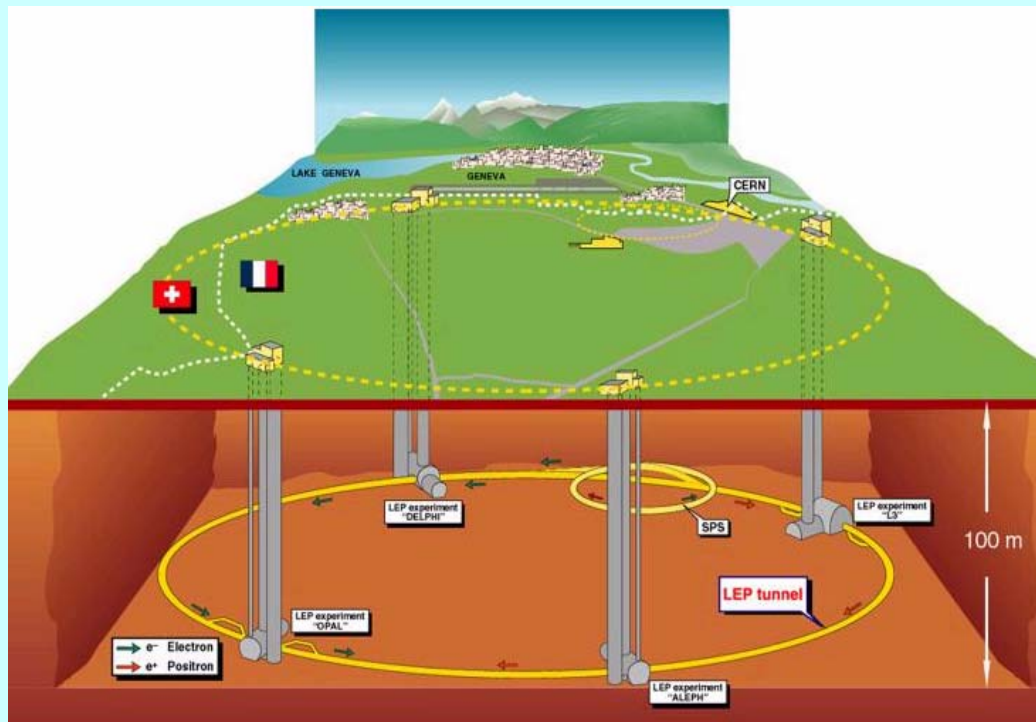
A partir de l'énergie cinétique des particules accélérées, grâce à l'équivalence entre masse et énergie:

$$E = mc^2$$

Les outils de la physique des particules

A quoi ressemble un accélérateur de particules?

Le tunnel du LEP/LHC au CERN, à Genève



LEP: $e^+ + e^-$
arrêté en 2001

LHC: $p + p$
entrera en
service en 2007

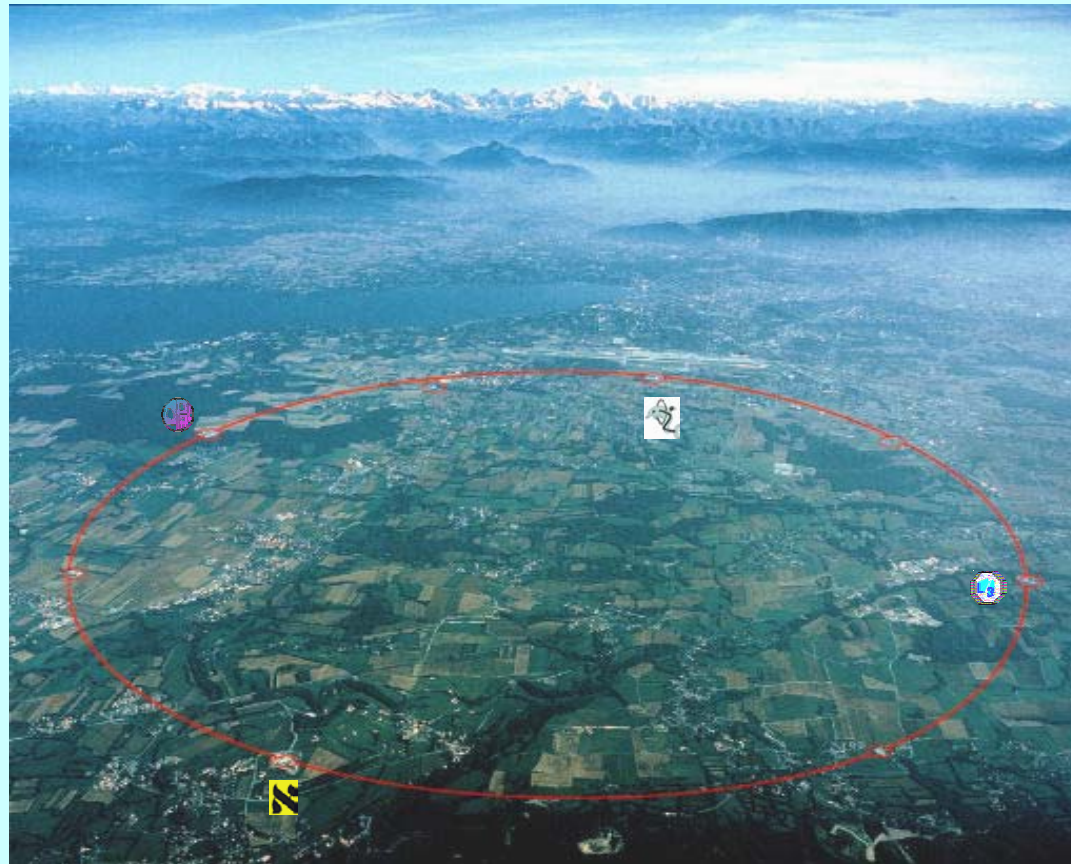
~100 m sous terre

27 km de circonférence

Les outils de la physique des particules

A quoi ressemble un accélérateur de particules?

Vue aérienne du site:



Les outils de la physique des particules

A quoi ressemble un accélérateur de particules?

L'intérieur du tunnel du LEP, 100 m sous terre:



Qu'y a-t-il dans ce tunnel?

Les outils de la physique des particules

De quoi est constitué un accélérateur de particules?

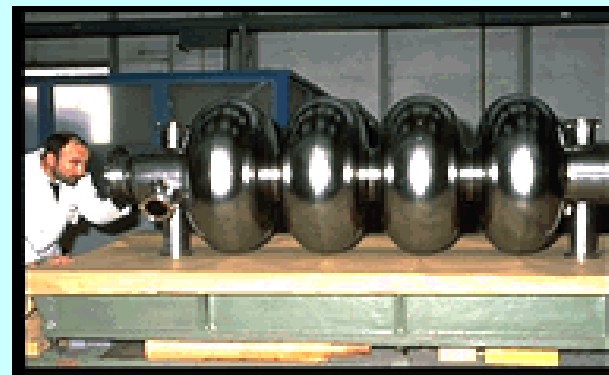
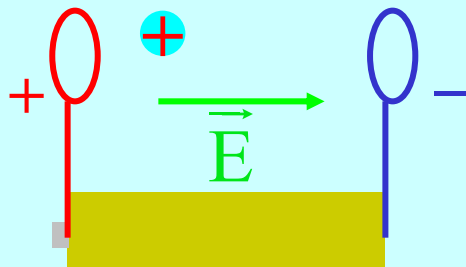
Comment accélérer des particules?

Pour accélérer, il faut une force, quelle force?

La force électrique ou force de Coulomb:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad \vec{E} : \text{champ électrique}$$

On ne peut accélérer que des particules chargées!

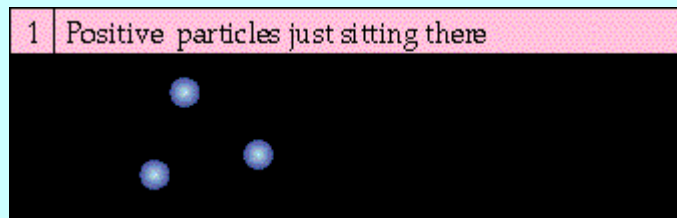
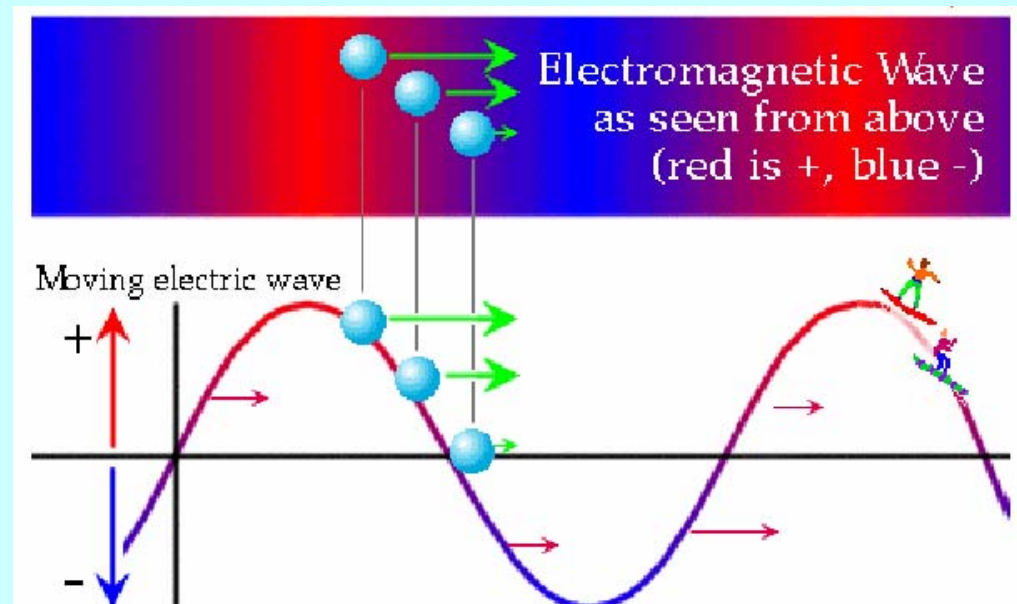


cavités accélératrices

Les outils de la physique des particules

Le champ électrique accélérateur:

Le champ électrique accélérateur varie en fait de manière sinusoïdale: c'est une onde é.m.



Les outils de la physique des particules

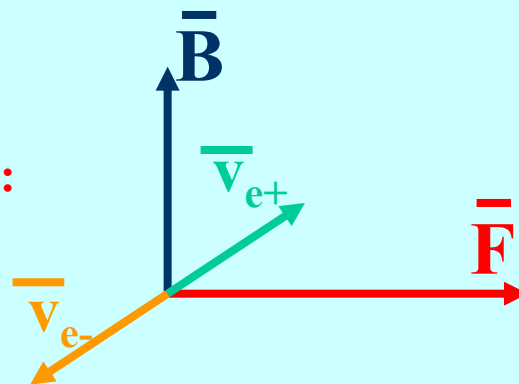
De quoi est constitué un accélérateur de particules?

Entre 2 cavités accélératrices, les particules vont-elles naturellement suivre le tunnel incurvé?

Non, naturellement elles vont tout droit (1^{ère} loi de Newton).

Que faire pour les obliger à tourner?

force de Lorentz:



**\vec{B} : champ magnétique
provoqué par des aimants**

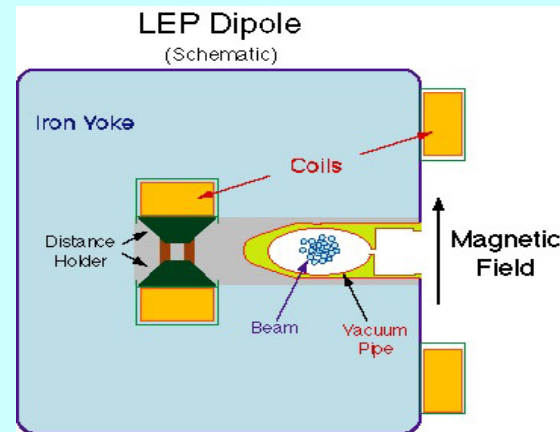


Les outils de la physique des particules

De quoi est constitué un accélérateur de particules?

d'aimants de guidage:

**aimants bipolaires
pour incurver la
trajectoire
des particules**



**de quadrupoles et de
sextupoles pour focaliser
les faisceaux**



Les outils de la physique des particules

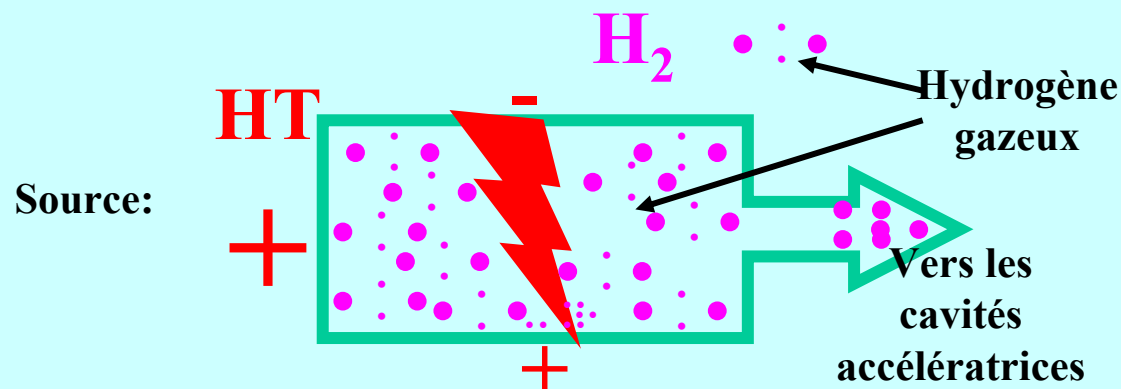
De quoi est constitué un accélérateur de particules?

Où trouve-t-on les particules à accélérer?

Dans les atomes: protons, électrons ou ions.

Comment les obtient-on?

Par ionisation:



<http://cern50.web.cern.ch/cern50/multimedia/LHCGame/StartGame.html>

Les outils de la physique des particules

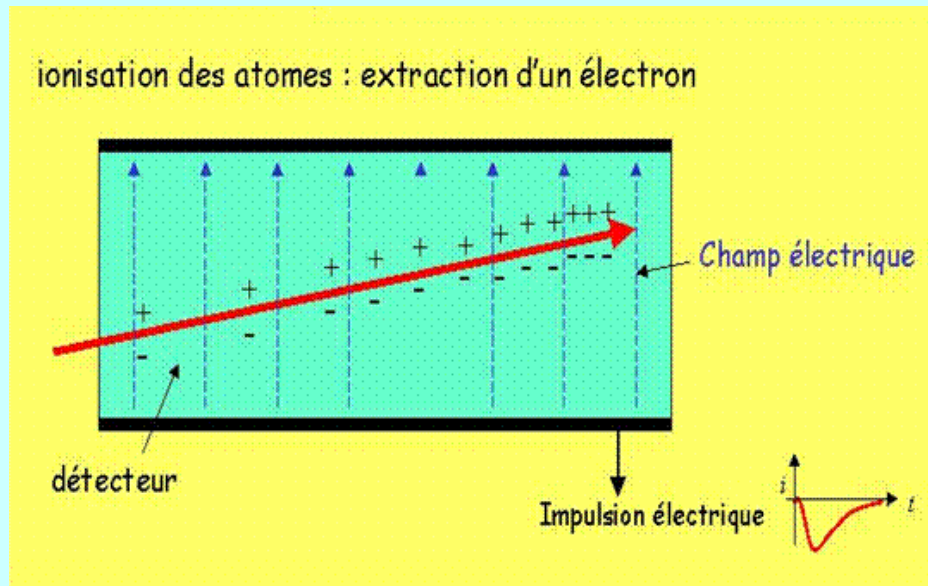
Comment peut-on détecter une particule?

On ne peut pas la voir directement: elle trop petite!

On va observer les perturbations qu'elle laisse dans la matière qu'elle traverse:

Pour les particules chargées:

(comme le sillage d'un avion très haut dans le ciel)

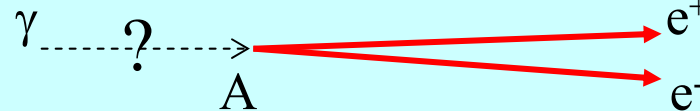
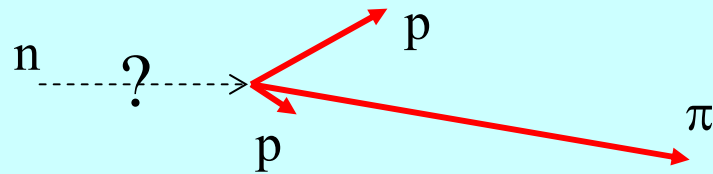
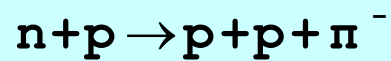


Les outils de la physique des particules

Comment peut-on détecter une particule?

Pour les particules neutres:

neutrons et photons: par leurs interactions secondaires



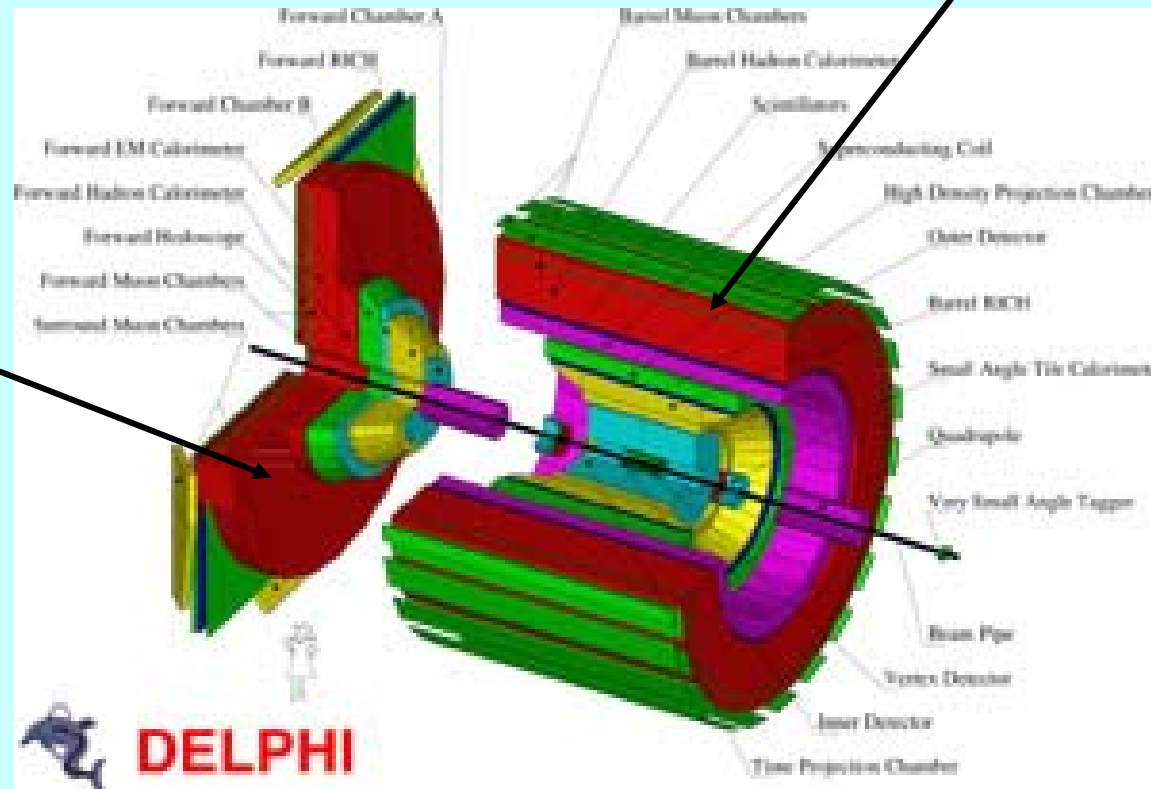
neutrinos: ils interagissent très rarement; on ne peut donc compter sur leurs interactions secondaires pour les détecter. On déduit leur présence par l'observation **d'énergie manquante**: toute l'énergie des faisceaux ne se retrouve pas dans les produits observés de l'interaction; il en manque!

Les outils de la physique des particules

Comment se présente un détecteur à un collisionneur?

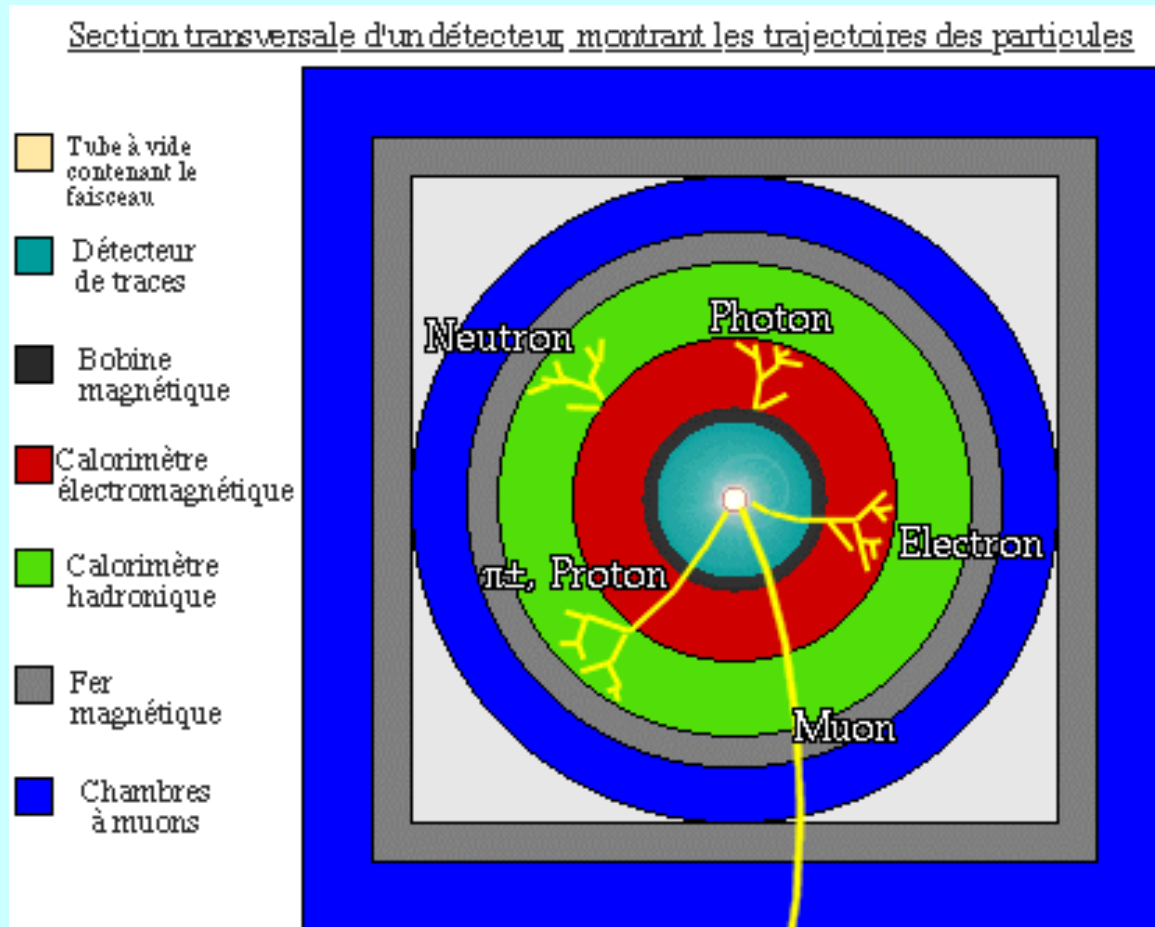
partie cylindrique
ou tonneau (barrel)

un des
bouchons
(forward)



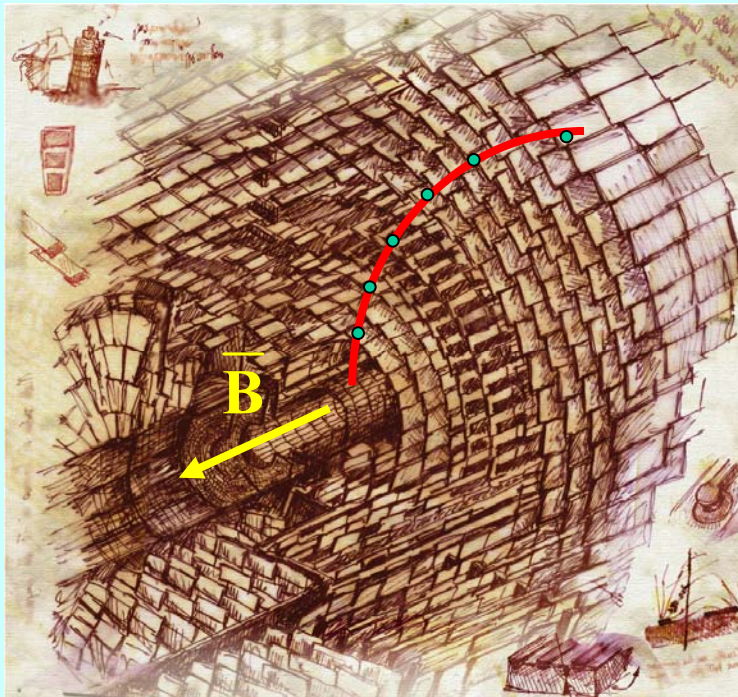
Les outils de la physique des particules

Rôle des différentes couches de détection:

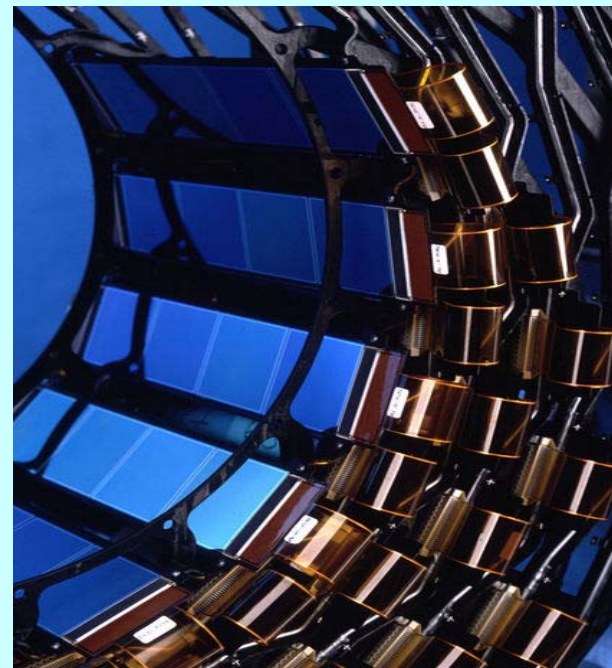


Les outils de la physique des particules

Le détecteur de traces:



détecte les trajectoires des particules chargées: e^+ , e^- , μ^+ , μ^- , π^+ , π^- et tous les hadrons chargés



Les outils de la physique des particules

Les calorimètres:

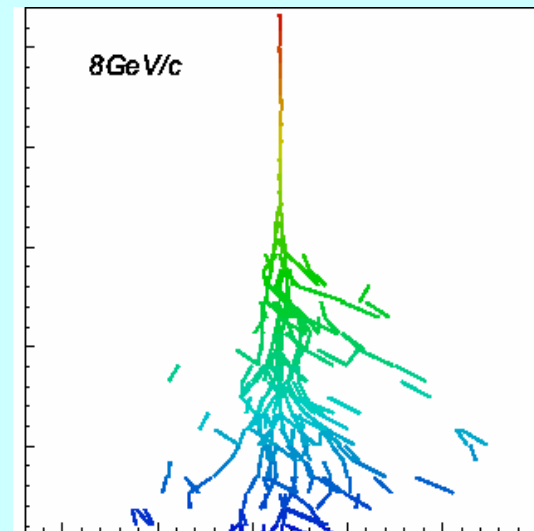
Principe:

- provoquer des interactions en cascade dans un matériau lourd
- mesurer l'énergie déposée

Le calorimètre électromagnétique:

Les électrons et les photons y provoquent des gerbes électromagnétiques

- **Matérialisations de photons:**
 $\gamma + A \rightarrow e^+ + e^- + A$
- **Bremstrahlung des électrons:**
 $e + A \rightarrow e + \gamma + A$



Les outils de la physique des particules

Les calorimètres:

Calorimètre hadronique:

Les hadrons, chargés et neutres, y provoquent des cascades hadroniques:

- interactions fortes:

$p + n \rightarrow 2 \text{ nucléons} + \text{pions} + \dots$

$\pi^+ + p \rightarrow 1 \text{ nucléon} + \text{pions} + \dots$

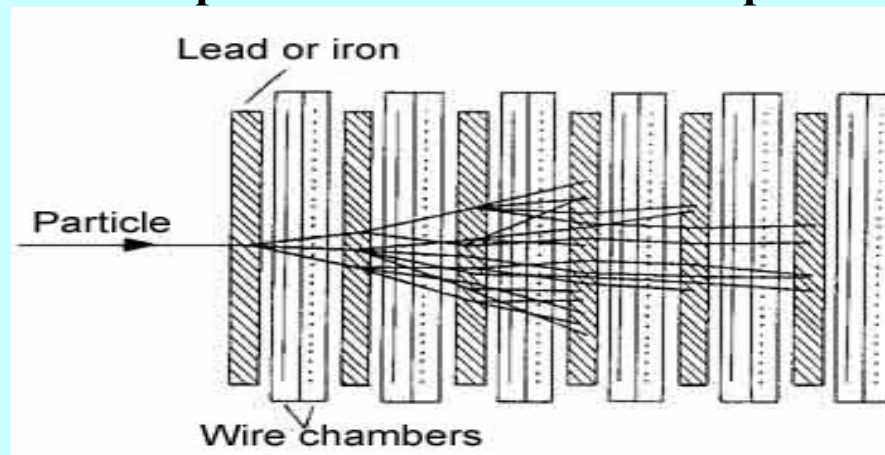
$n + p \rightarrow 2 \text{ nucléons} + \text{pions} + \dots$

Exemple:

$\rightarrow p + p + \pi^- + \pi^0$

$\rightarrow n + \pi^+ + \pi^0 + \pi^+$

$\rightarrow n + p + \pi^+ + \pi^- + K^+ + K^-$



Les outils de la physique des particules

Les chambres à muons:

détecteurs qui se trouvent tout à l'extérieur du détecteur:



Delphi

seuls les μ et les ν arrivent jusque là (électrons, photons et hadrons ont été absorbés par les calorimètres). Les ν , neutres, ne sont pas détectés et s'échappent sans laisser de trace