

*La nature connaît-elle la différence
entre PASSE et FUTUR ?*



Les êtres vivants,

OUI

Les processus physiques complexes,

OUI

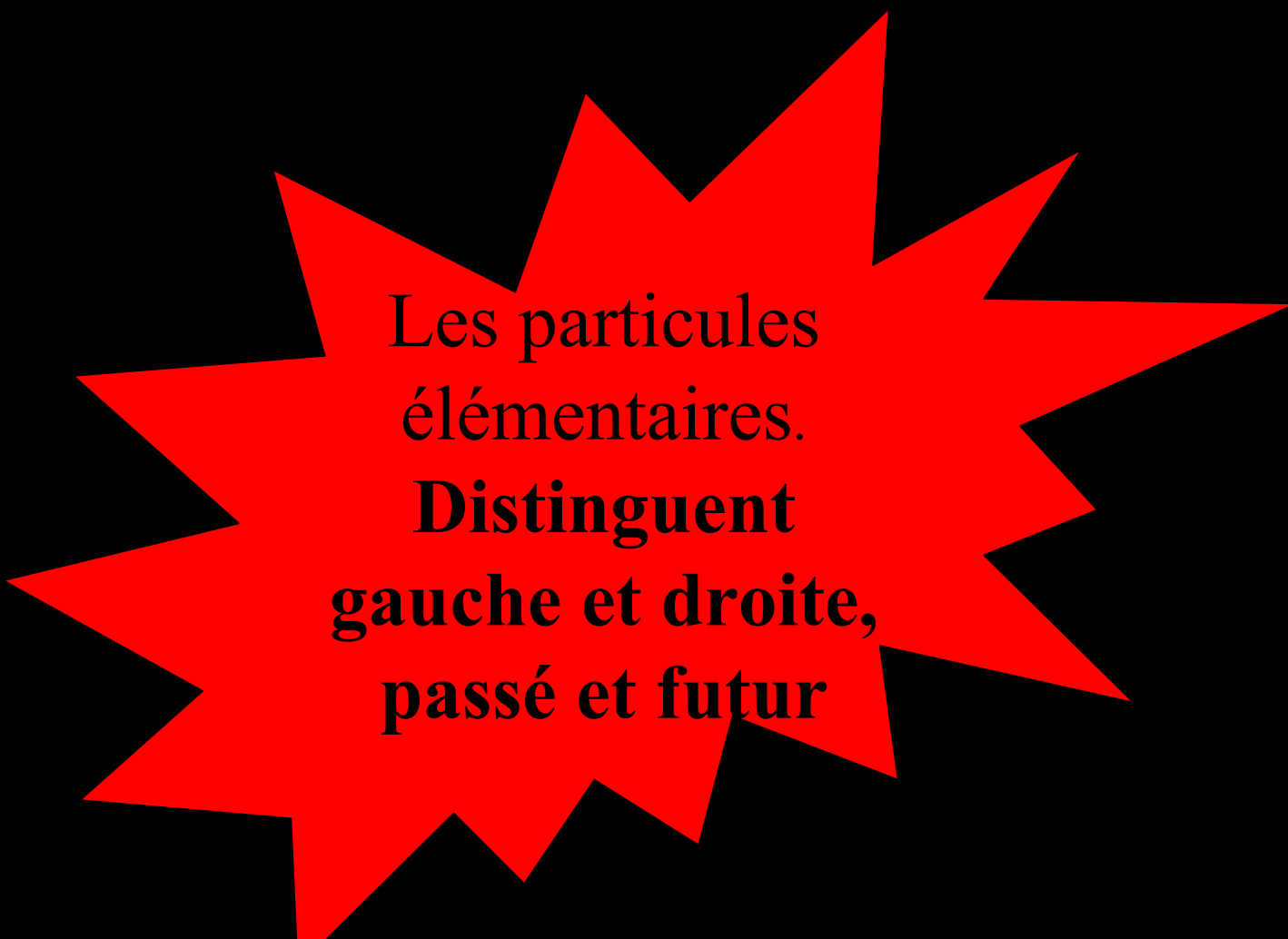
(entropie, frottement)

systemes à grand nombre de

Mais les processus physiques
simples usuels, (pendule simple)

NON

La mécanique classique, ou l'électricité, ne connaissent
ni passé ni futur,
ni gauche ni droite



Les particules
élémentaires.
Distinguent
gauche et droite,
passé et futur

Les Interactions *faibles* ne respectent rien...

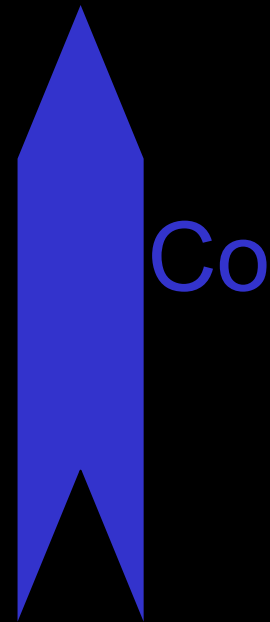
Avant de parler du renversement du temps,
parlons de la symétrie entre gauche et droite...



Le Neutron n'est pas stable
mais a une vie moyenne de 15 minutes,

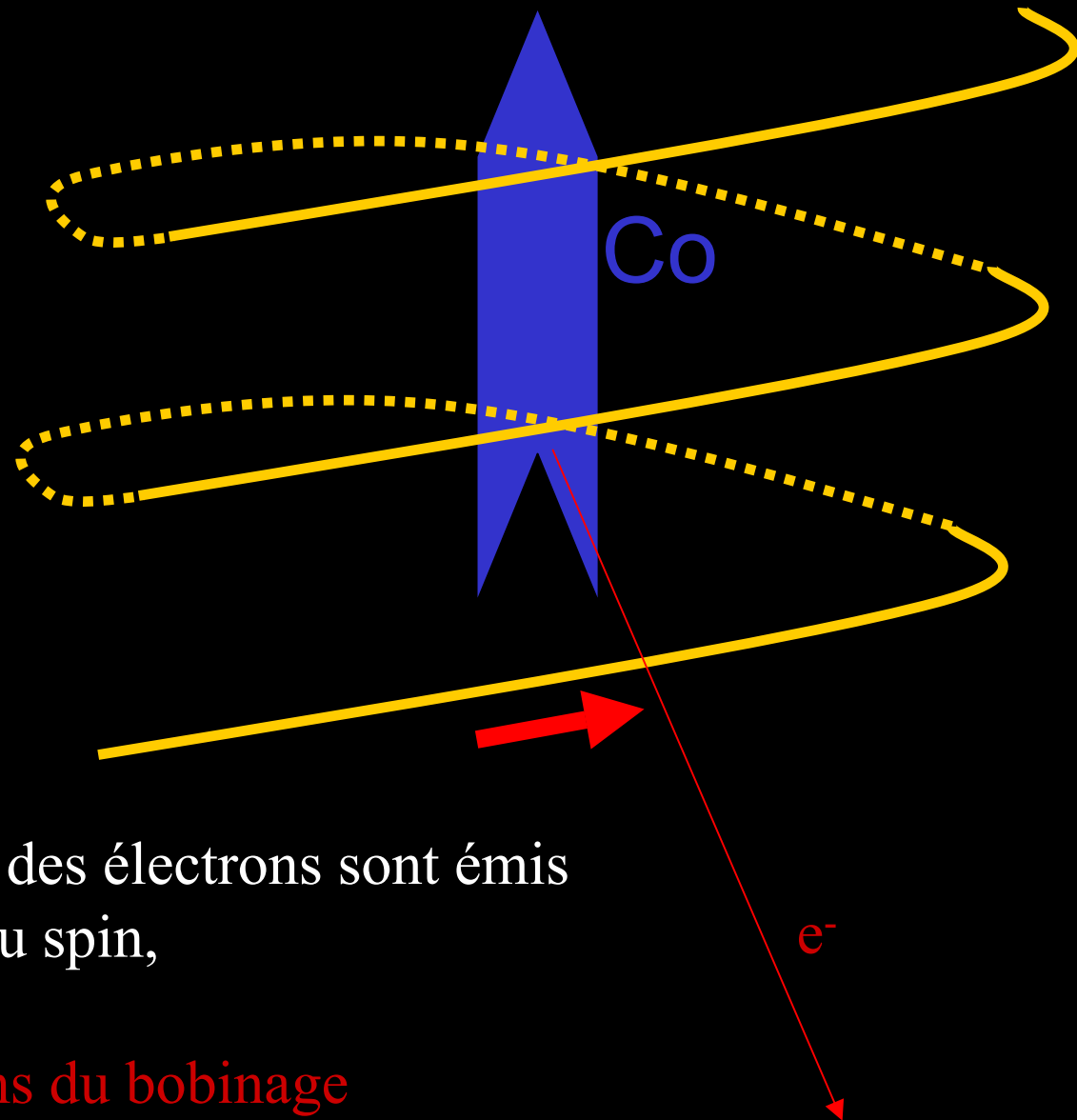
Le neutron se comporte comme un petit aimant,

En pratique, on n'utilise pas un neutron isolé, mais la désintégration du Cobalt:
 ${}^{60}\text{Co} \rightarrow \text{Ni} + e + \text{anti-}\nu$



on l'oriente à l'aide
d'un électroaimant
bobiné à
gauche ou à **droite**

les électrons de la
désintégration (rayonnement
 β) ne devraient pas changer
de direction si on change le
sens du bobinage

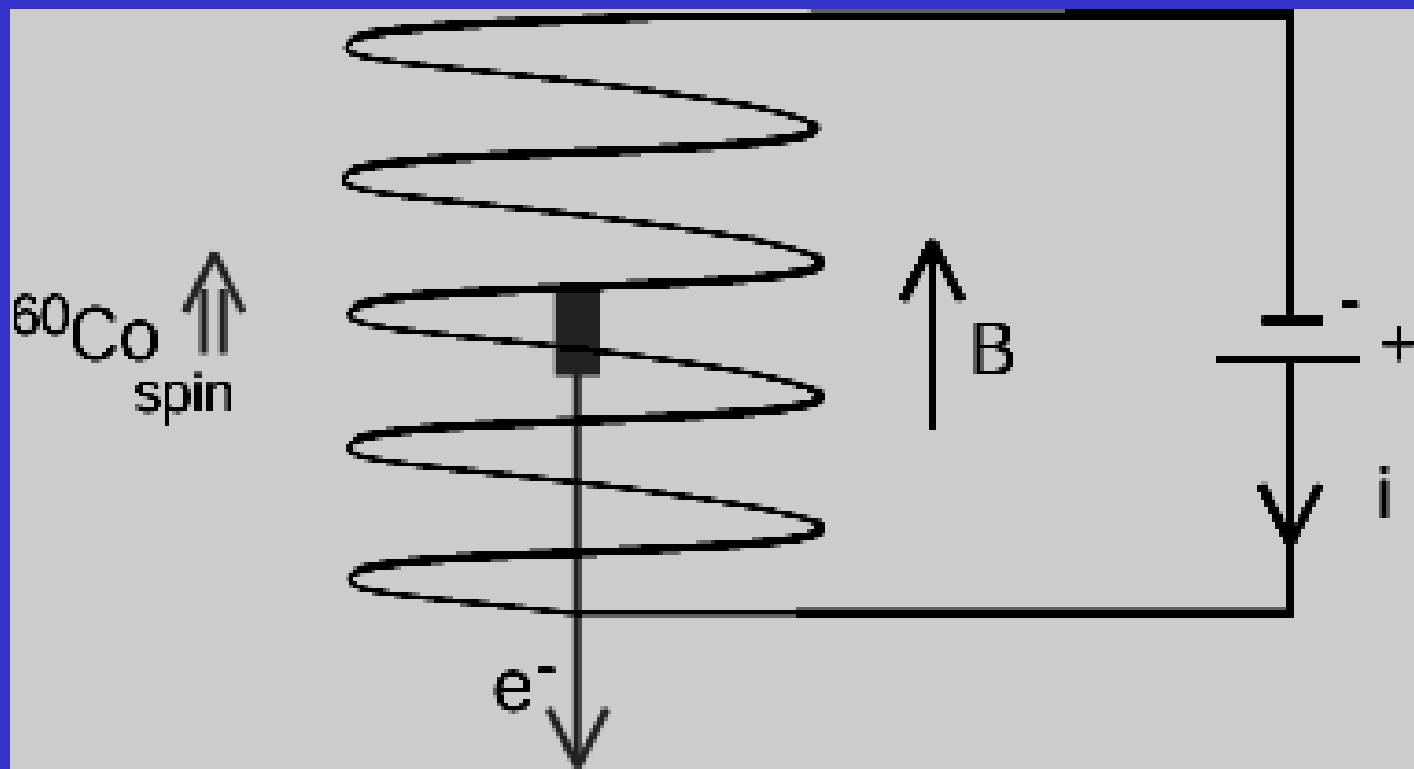


Mais en réalité, la majorité des électrons sont émis
dans la direction opposée au spin,
c'est-à dire dans une
direction qui dépend du sens du bobinage

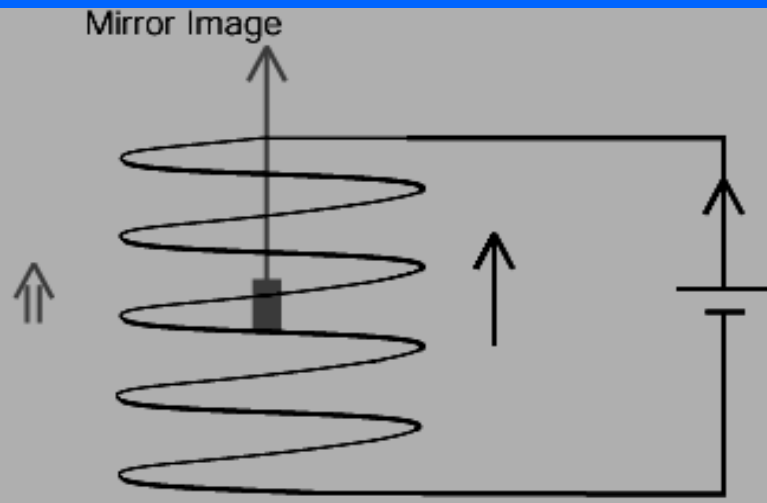
Les interactions faibles
font la différence entre
GAUCHE et **DROITE**

*Une autre façon de voir les choses:
L'expérience **vue dans le miroir**
est-elle **réalisable** ???*

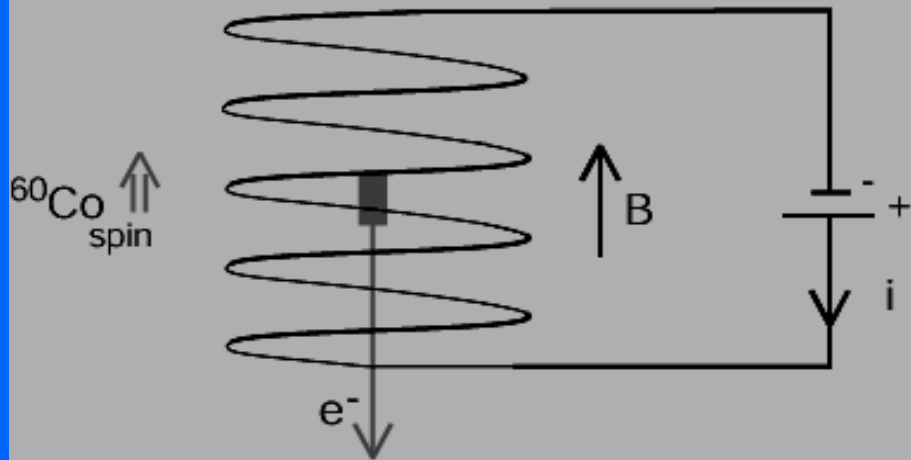
***Ou encore : si je vois un film d'une expérience,
puis-je dire s'il s'agit d'une
image dans un miroir?***



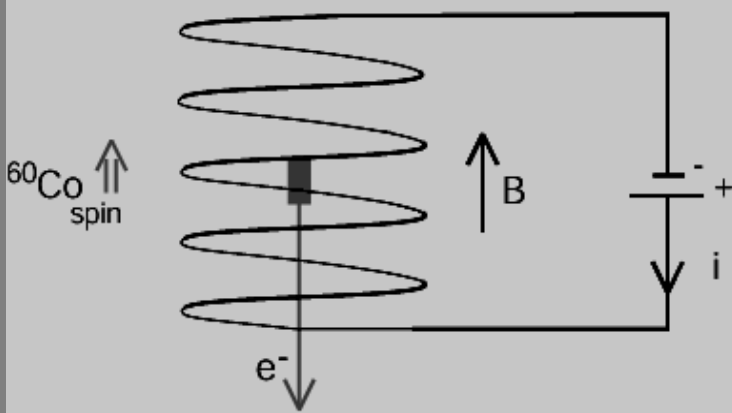
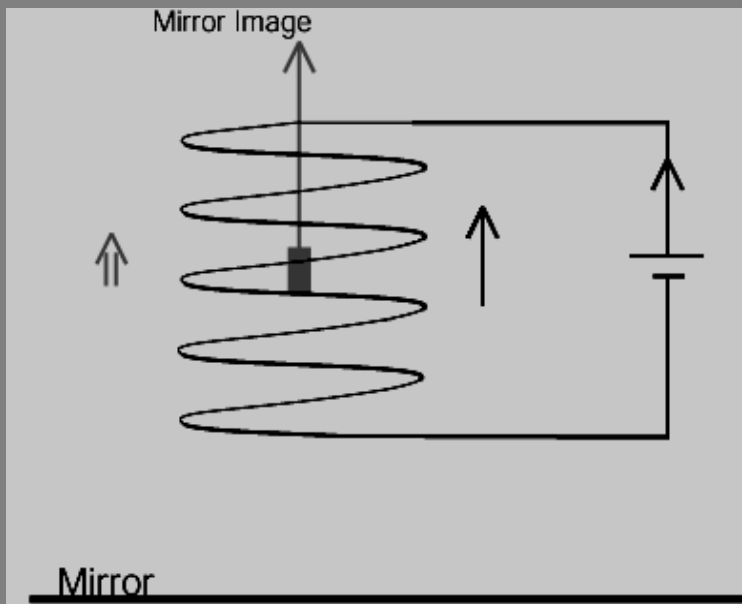
Original Wu Experiment



Mirror

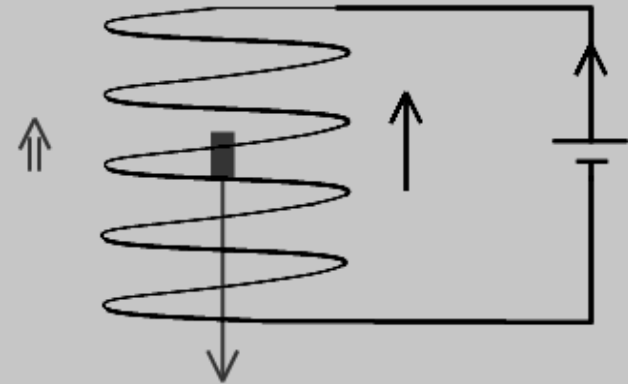


Original Wu Experiment



Original Wu Experiment

Experiment performed with mirror apparatus



L'expérience vue dans le miroir
 \neq
 L'expérience réalisée avec
 un appareil identique à celui vu
 dans le miroir

*Ou encore : si je vois un film d'une expérience,
puis-je dire s'il s'agit d'une
image dans un miroir?*

OUI!

Voir exemple

On parle de Violation de la PARITE (P)

$X \text{ -----} \rightarrow \text{ -X}$

Pouvons-nous donc conclure que, la symétrie $P: x \rightarrow -x$
étant violée, il en va de même (Einstein relie x et t)
de la symétrie $T: t \rightarrow -t$???

En fait non, et il nous reste encore des surprises ...

Matière



Anti - Matière

Ou:

Méfions-nous des
Antimartiens

Matière

Anti-Matière

$$E = m c^2$$

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$$
$$E = \pm \sqrt{(m^2 c^4 + p^2 c^2)}$$

Mécanique
quantique

2 solutions : $E > 0$, $E < 0$

$E > 0$: création d'une particule
Ou destruction d'une antiparticule

$E < 0$: destruction d'une particule
création d'une antiparticule

electron e^-

neutron n

proton p^+

K^+

K^0

anti-électron = positron e^+

anti-neutron \bar{n}

anti-proton p^-

K^-

K^0

Même masse

Même spin

Charge opposée

Moment magnétique
(aimantation) opposé

Exemples d'antiparticules

La symétrie C (charge) permute particule \leftrightarrow antiparticule

Particule et Antiparticule s'annihilent

On les utilise aux accélérateurs
(par ex., le CERN à Genève)
pour produire de nouvelles particules,
par exemple les vecteurs des interactions faibles,
Z et W

Les interactions faibles respectent *presque* C P

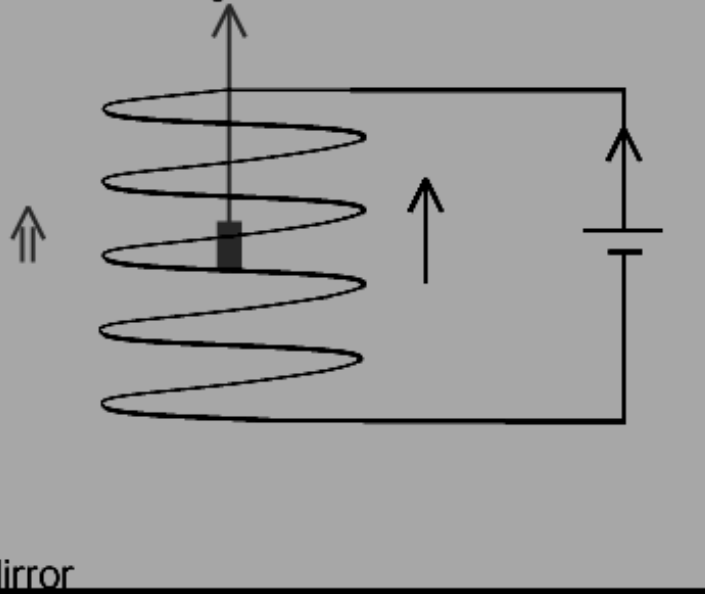
Gauche ↔ Droite

Particule ↔ Antiparticule



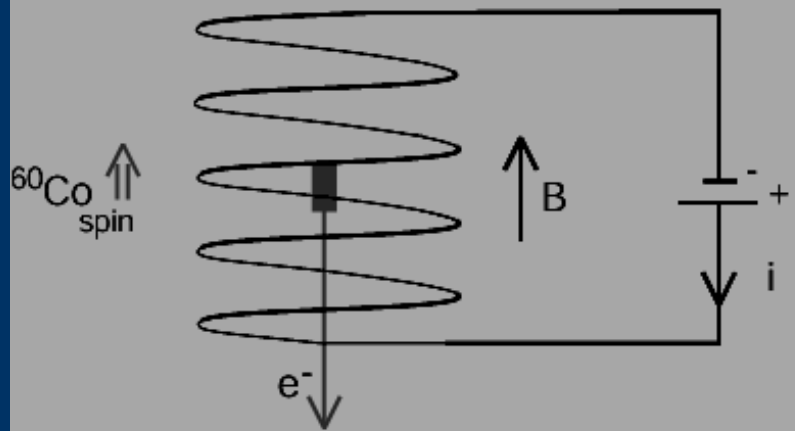
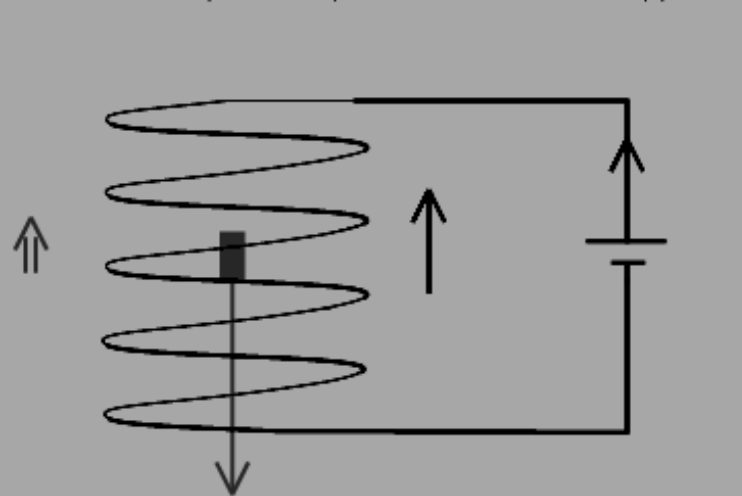
Méfions-nous des
Antimartiens

Mirror Image

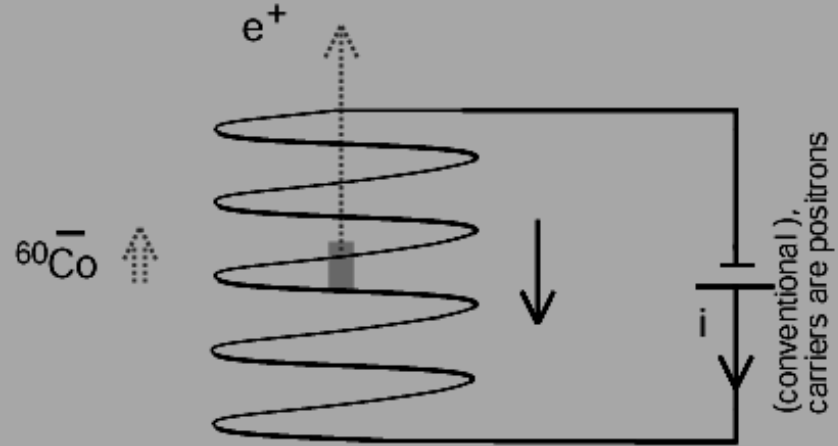


Mirror

Experiment performed with mirror apparatus



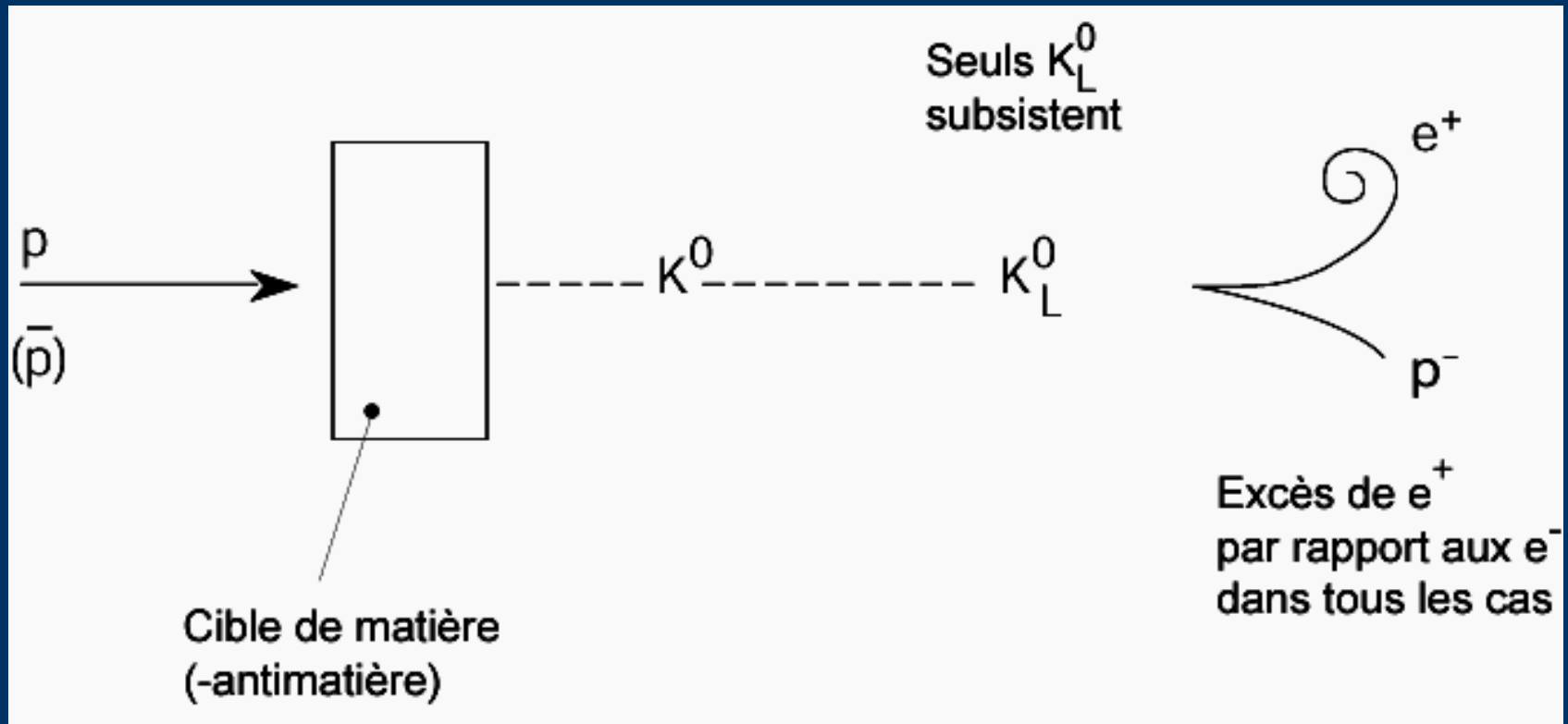
Original Wu Experiment



Experiment using mirror apparatus built with antimatter (positrons travel in wires, Co magnetic moment is reversed with respect to spin, outgoing positrons replace electrons)

Mais certaines réactions brisent même la symétrie CP
!

exemple



Que l'on parte de matière ou d'antimatière, les e^+ sont toujours les plus nombreux; on définit ainsi sans ambiguïté les e^+ comme type d'ANTIMATIÈRE; les autres définitions suivent.

Mais certaines réactions brisent même la symétrie CP
!

exemple

On peut distinguer un
Martien
d'un
Antimartien
en toute sécurité...

Les interactions faibles brisent donc les symétries

P : $x \rightarrow -x$

C: Particule \rightarrow Antiparticule

Et respectent approximativement

(mais pas complètement)

la symétrie conjuguée:

CP

Qu'en est-il de T?

Le théorème T C P:

Toute théorie locale est invariante sous
le produit des trois symétries

C : particule \leftrightarrow antiparticule

P: gauche \leftrightarrow droite

T: passé \leftrightarrow futur

~~CP~~ \leftrightarrow ~~T~~

Il s'agit ici d'une brisure FONDAMENTALE
de T,

Sans rapport avec l'entropie ,
et au niveau même d'une seule particule!

Le cobaye des symétries TCP : la particule K^0

Cette particule est produite abondamment aux accélérateurs, ainsi que son antiparticule, l'anti- K^0

Bien que ces particules soient neutres, on peut différencier facilement le K^0 de l'anti- K^0 ; le premier est par exemple produit en association avec un K^- , tandis que l'anti K^0 sera alors accompagné d'un K^+

De même, leurs désintégrations sont différentes⁺

La particule K^0 peut notamment

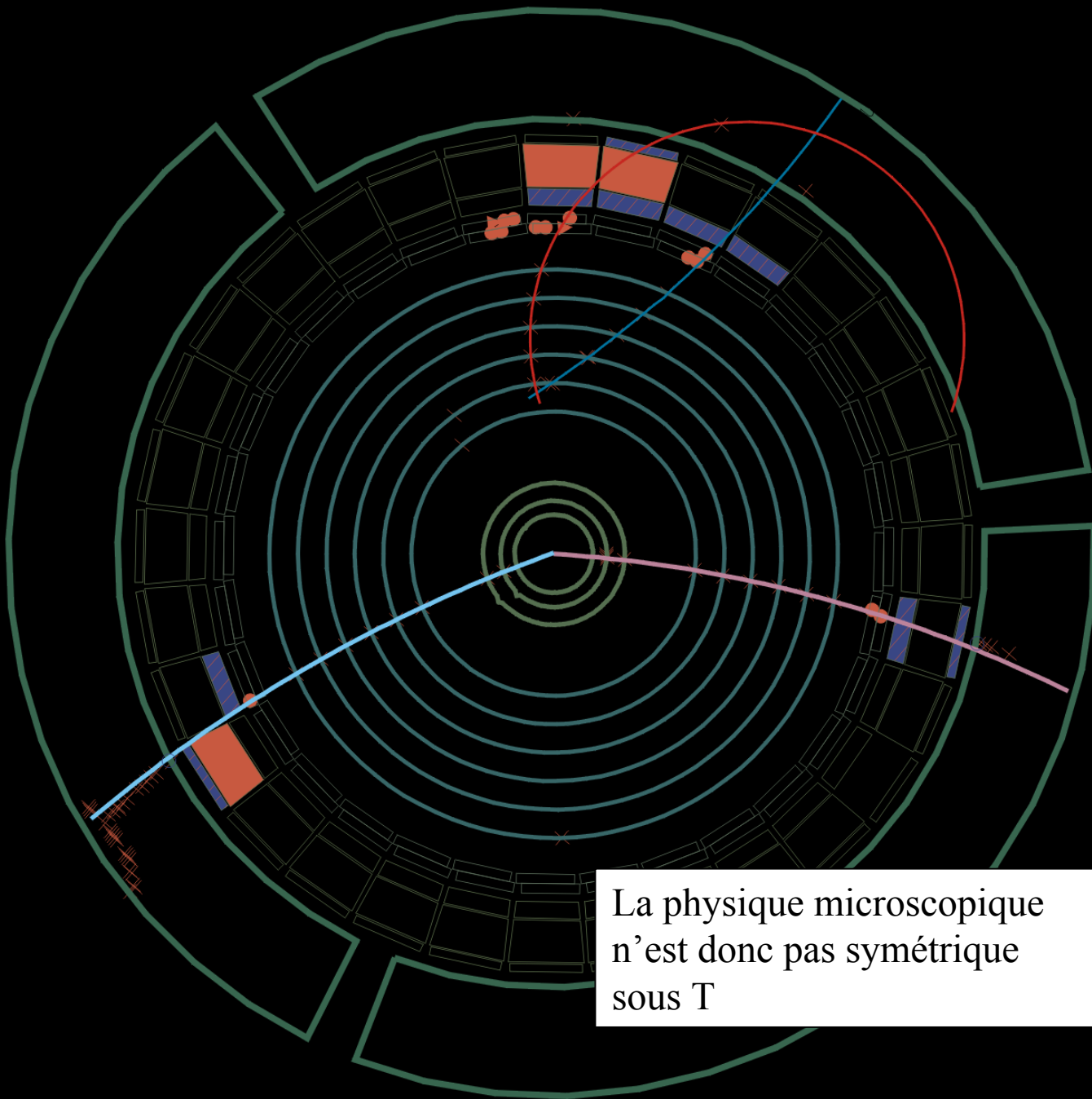
- se désintégrer, par exemple en $\pi^- e^+ \nu$
- se transformer en $\text{anti } K^0$

De même,
l' $\text{anti } K^0$ peut de même

- se désintégrer, notamment en $\pi^+ e^- (\text{anti } \nu)$
- se transformer en K^0

Si T était respecté,
 $\text{Proba}(K^0 \rightarrow \text{anti } K^0) = \text{Proba}(\text{anti } K^0 \rightarrow K^0)$

T?



La physique microscopique n'est donc pas symétrique sous T

Un anti-K produit au centre du détecteur avec d'autres particules (K^-) se propage vers le haut, puis se désintègre. La trace du K^0 est invisible, car il est neutre

La désintégration, avec un e^+ (trajectoire représentée ici en rouge) montre qu'il s'est transformé en vol en K.

L'expérience montre que la transition anti-K vers K est légèrement plus probable (de 0.6 %) que la réciproque,

La particule K^0 peut notamment

- se désintégrer, par exemple en $\pi^- e^+ \nu$
- se transformer en $\text{anti } K^0$

De même,
l' $\text{anti } K^0$ peut de même

- se désintégrer, notamment en $\pi^+ e^- (\text{anti } \nu)$
- se transformer en K^0

Si T était respecté,
 $\text{Proba}(K^0 \rightarrow \text{anti } K^0) = \text{Proba}(\text{anti } K^0 \rightarrow K^0)$

L'expérience montre que :

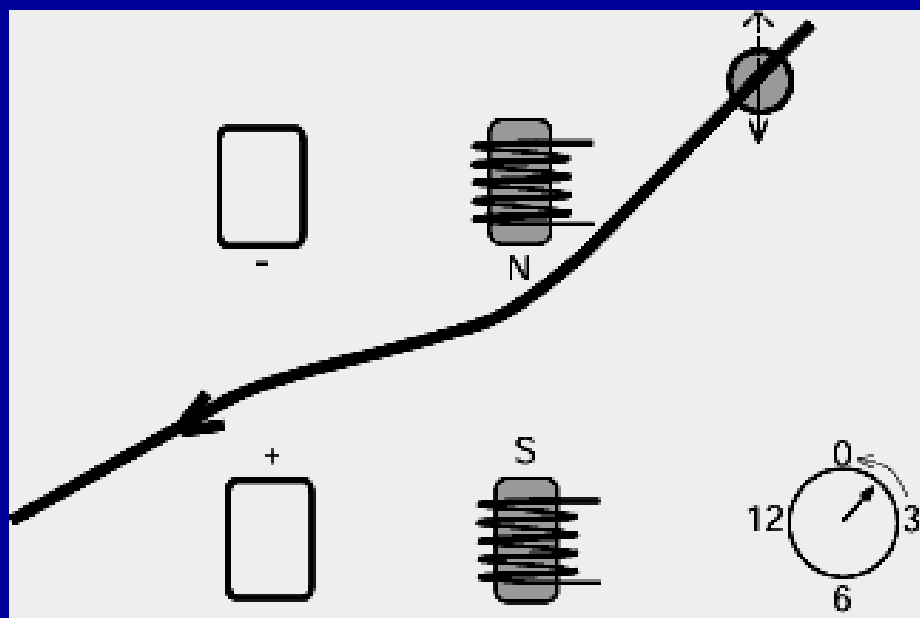
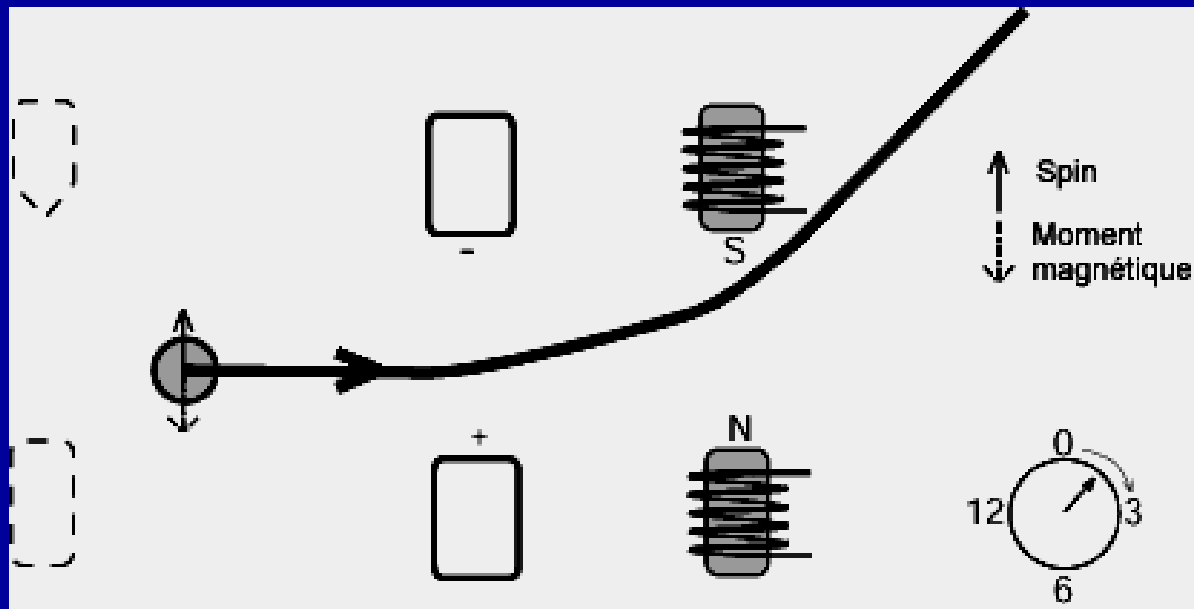
$\text{Proba}(K^0 \rightarrow \text{anti } K^0) \neq \text{Proba}(\text{anti } K^0 \rightarrow K^0)$

~~T~~

Mais on aimerait un test plus explicite

Pour le moment, l'expérience suivante n'est pas encore réalisée, mais les mesures progressent.

Elle fournira alors un test saisissant...



Le temps semble connaître trois « orientations »
à priori indépendantes:

-la flèche donnée par la tendance au désordre (entropie)
(frottement, échauffement),
très probablement lié au temps biologique (vieillesse) .

-L'orientation du temps liée à l'expansion de l'Univers: on peut
prendre le rayon de l'Univers comme une mesure de ce temps.
Est-il lié au temps entropique?

Que se passerait-il si on allait vers une contraction? (on sait que
ce n'est pas le cas)

-Le temps microscopique, pour qui les phénomènes sont
simplement différents dans un sens du temps et l'autre, sans
notion de désordre dans un sens ou l'autre

Une autre conséquence de ces notions

Au début de l'Univers:

La gravité produit autant de matière
que d'antimatière:

$$N_{\text{matière}} = N_{\text{anti-matière}}$$

Matière et antimatière s'annihilent,

Pour former (entre autres) des photons γ

Aujourd'hui, nous ne voyons plus **aucune**
antimatière primordiale,

Mais un excès de matière subsiste:

Aujourd'hui, nous ne voyons plus **aucune**
antimatière primordiale,
Mais un excès de matière subsiste:

$$N_{\text{matière}} - N_{\text{anti-matière}} = n_{\gamma} / 10\,000\,000\,000$$

Cette asymétrie, minuscule, c'est
toute la matière de notre Univers
(nous compris)

Les 3 conditions du Dr Sakharov

Les interactions fondamentales peuvent expliquer ce petit excès de matière!!

Non-conservation du nombre baryonique

Par exemple, le proton n'est pas stable, mais pourrait avoir un temps de vie de 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 années...

Violation de la symétrie C P

(particule-antiparticule)X(gauche-droite)

Situation de déséquilibre dans l'évolution de l'Univers

Toutes ces conditions sont rencontrées dans
la physique des particules moderne,

Mais ...

Ce serait le sujet d'un autre
exposé...