

CONFÉRENCE de Gabriel CHARDIN
CSNSM, CNRS/IN2P3
"L'ASYMÉTRIE MATIÈRE ANTIMATIÈRE"

Organisée par la SAF

Dans ses locaux, 3 rue Beethoven, Paris XVI, le Samedi
20 Novembre 2010 à 15H00, à l'occasion de la réunion
de la Commission de Cosmologie.



Photos : JPM pour l'ambiance. (les photos avec plus de résolution peuvent lui être demandées directement). Les photos des slides sont de la présentation de l'auteur. Voir les crédits des autres photos si nécessaire .

(Gabriel Chardin a eu la gentillesse de nous donner sa présentation complète (en pdf), elle est disponible sur le site de la SAF et également disponible [sur sa liaison ftp](#) au téléchargement et s'appelle. [SAF_Chardin_matiere-antimatiere-nov10.pdf](#). elle est dans le dossier COSMOLOGIE SAF de la saison 2010-2011,).

Ceux qui n'ont pas les mots de passe doivent [le contacter avant](#).

Pour info les actualités cosmo présentées ce jour là sont aussi disponibles sur le [site de la commission](#).

BREF COMPTE RENDU

CR succinct étant donné que la présentation de l'auteur est disponible. Les recherches du CSNSM couvrent un très large éventail de domaines: structure du noyau et interactions fondamentales, physique du solide, irradiation des matériaux, étude élémentaire et isotopique des composants de la terre et l'univers, astrophysique. Gabriel Chardin a travaillé au CEA (DAPNIA) et a participé à l'expérience Edelweiss, avant de devenir Directeur du

CSNSM. Sa dernière conférence a été donnée il y a quelques jours [aux RCE 2010](#).



Le sujet d'aujourd'hui est un grand mystère pour la physique actuelle : on sait qu'au tout début de l'univers (lorsque sa température était supérieure à qq GeV) il y avait autant de matière que d'antimatière.

Mais aujourd'hui, nous ne sommes faits que de matière ; où est donc passée l'antimatière ?

Le modèle standard.

On rappelle :

Les **Fermions** sont des particules liées à la matière, ce sont tout ce que l'on connaît : les atomes et les molécules

Les **Bosons**, sont les « messagers » des Forces de la nature (qui sont au nombre de 4) le photon est le plus connu de tous

Il y a 3 paires de quarks (en plus des anti quarks bien sûr), seuls up et down sont intéressants pour nous pour le moment

Les quarks sont des particules très sociables : ils ne vivent qu'en groupe

Les quarks constituent le tissu de la matière : les protons et les neutrons

Il y a six types de leptons (en plus des anti bien sûr). Les plus connus : l'électron et le neutrino

Contrairement aux quarks, les leptons sont des particules solitaires

Beaucoup sont instables et ne se trouvent pas (plus) dans la nature

Il reste aujourd'hui un **MILLIARDIÈME** de la matière initiale, pourquoi ?

Le Modèle Standard ne semble pas en mesure d'expliquer la dissymétrie entre les quantités de matière et d'antimatière du début de l'Univers pour reproduire ce qui est observable aujourd'hui

Symétrie Matière-Antimatière

L'équation de Dirac a 2 solutions !

Que signifie la deuxième solution ?

- Rien ?
- Électron d'énergie négative ...
- Une particule de charge +1 ???
- Le proton ? Mais sa masse est 2000 fois plus grande

l'électron
????

Dirac invente l'antiélectron en 1930

électron | positron

1932 : Anderson découvre le positron dans les rayons cosmiques

Plomb

CNRS-IN2P3 et CEA-DSM-DAPNIA - TS

L'antimatière a été imaginée par le physicien britannique Paul Dirac, car une de ses équations avait théoriquement deux solutions symétriques.

Le théorème CPT

- Les 3 symétries miroir C, P et T
- Pauli, Lüders, Bell : la symétrie CPT doit être respectée
- Initialement, les physiciens pensaient que les symétries C, P et T étaient respectées séparément
- 1956 : découverte violation de P
- 1964 : découverte violation de CP par V. Fitch, J. Cronin, R. Turley et J. Christenson

LES SYMÉTRIES.

Particules et antiparticules ont :

- Même masse
- Même durée de vie totale (mais pas forcément de durée de vie partielle identique)
- Charge opposée
- Même moment magnétique

Les physiciens définissent 3

symétries miroir CPT : Charge, Parité, Temps.

Le théorème CPT.

L'Univers, sous certaines conditions, doit être invariant sous la transformation CPT ; c'est à dire que les lois de la physique sont invariantes lorsque les particules d'une interaction sont remplacées par leur antiparticule (C), les directions de l'espace sont inversées (P) et le temps est inversé (T).

Mais en 1956 on découvre la violation de la symétrie P pour les interactions faibles.

Et en 1964 on découvre la violation de la symétrie CP.

On soupçonne la gravitation de violer la symétrie CPT.

La symétrie combinée CPT a été vérifiée dans de nombreuses expériences.

L'ANTIMATIÈRE : LA MATIÈRE QUI REMONTE LE TEMPS ?

Dans un épisode resté célèbre Wheeler avait proposé à Feynman l'hypothèse que l'antimatière était simplement de la matière qui remonte le cours du temps !
Par exemple un positron serait un électron qui remonterait le temps.

Les trois conditions de Sakharov

Il peut y avoir asymétrie entre matière et antimatière si

- Violation du nombre baryonique
→ se produit dans les théories de grande unification
Par exemple : $p \rightarrow e^+ \pi_0$
 - Il existe une violation de CP
(dissymétrie matière – antimatière)
observée pour le kaon neutre (CPLEAR) et le B neutre (expérience Babar)
 - Il y a eu un déséquilibre thermodynamique
thermodynamique suffisant au moment des processus violant la symétrie CP
- Condition finalement assez contraignante



A. Sakharov

- Production d'un léger déséquilibre :
1 000 000 000 antiprotons ou antineutrons...
pour
1 000 000 001 protons ou neutrons...

CNRS-IN2P3 et CEA-DSM-DAPNIE - T30

Sakharov a émis trois conditions qui si elles sont satisfaites, impliquent qu'il y ait autant de matière que d'antimatière (cela s'appelle la baryogénèse).

Ceci est résumé sur la diapo ci-contre.

** Violation du nombre baryonique : (voir [présentation sur le Big Bang](#) pour ceux qui ont oublié les différents types de particules), c'est à dire que la quantité de matière qui est le nombre de quarks moins le nombre d'anti-quarks n'est pas conservée dans certaines réactions

** Violation CP : dissymétrie matière anti-matière

** Présence d'un déséquilibre thermodynamique qui était possible au moment du Big Bang. C'est cette dernière condition (très dure) qui fait que nous sommes là !

Il y a effectivement un léger déséquilibre en faveur de la matière dans le rapport un milliard pour un.

Mais plus on se rapproche de l'époque du Big Bang, plus matière et antimatière sont présentes en quantités égales.

Jusqu'à 10^{-5} s, il y a autant de matière que d'antimatière !

Après 10^{-5} s, l'antimatière disparaît en quelques minutes !

Quand la température diminue (avec l'expansion), matière et antimatière s'annihilent de plus en plus.

À notre époque, il n'y a pratiquement plus d'antimatière. Pourquoi ?

De nombreuses expériences sont menées pour tester les différentes violations de symétrie.

L'expérience CPLEAR : s'intéresse à la violation T.

(Texte du CEA)

Cette expérience, localisée au CERN, à Genève, est principalement destinée à la mesure de la violation de la symétrie temporelle T, dans la désintégration des kaons et des anti-kaons.

Ces particules sont produites à la suite de collisions entre protons et antiprotons.

Ces derniers proviennent de l'anneau de stockage d'antiprotons LEAR du CERN.

Les kaons ont la particularité de se transformer en antikaons et inversement.

Afin de mettre en évidence des violations de parité, les chercheurs ont mesuré la différence entre ces transformations de désintégration des kaons et des anti-kaons.

Parmi les nombreux résultats, les physiciens ont observés que les transformations des antikaons en kaons sont plus fréquentes que celle des kaons en antikaons, le processus inverse par renversement du temps.

Ainsi ils ont mis en évidence pour la première fois, de façon directe, la violation de symétrie temporelle T dans ce système faisant intervenir des particules élémentaires.

L'expérience BaBar : s'intéresse elle à la violation CP.

(Texte du CEA).

L'expérience BaBar est située à SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), San Francisco (USA).

Elle est destinée à l'étude de la violation de la symétrie CP dans le système des mésons B.

Pour cela, Babar observera les taux de désintégration des mésons B et antimésons B, particules instables composées de quarks beaux, et générés grâce au collisionneur d'électrons-positons, baptisé PEP-II.

C'est en observant une asymétrie de ces taux de désintégration que l'on aura la démonstration expérimentale d'une violation de la symétrie CP.

CONCLUSIONS.

- L'antimatière apparaît comme la matière qui remonte le temps.
- Il semble exister des voies de passage entre matière et antimatière
- L'unification des forces prévoit des modes de désintégration du proton en positron et pi ; la matière se désintègre en antimatière.

- Mais pour obtenir avec un accélérateur l'énergie nécessaire à cette unification des forces, celui-ci devrait être plus grand que le système solaire, puis regarder pendant quelques années, toute désintégration dans des détecteurs géants !

POUR ALLER PLUS LOIN.

Ouvrages :

[L'Antimatière : La matière qui remonte le temps](#) par G Chardin chez Pommier

[Le LHC peut-il produire des trous noirs](#) , par G Chardin et M Spiro. Chez Pommier

[Matières et antimatières](#) par A Mazure et V Le Brun chez Dunod.

Liens Internet :

[Le LHC et les deux infinis](#), CR de la conférence de M Spiro à la SAF.

[Particules et Big Bang](#), CR de la conférence de M Spiro aux RCE 2008.

Conférence (ancienne) de G Chardin à la SAF [sur l'antimatière](#).

[L'antimatière](#) (une présentation précédente à la SAF de G Chardin)

[Antimatière : sa masse déterminerait le destin de l'Univers](#) , dossier banque de savoirs Essonne.

[Où est passée l'antimatière ?](#) par C Thibault Universcience.

[Les kaons et la violation de la symétrie CP](#) par le CEA, document pdf.

[Quelques notions sur la violation de CP](#), par le LHC, très clair et bien fait.

[Le CERN apporte une réponse définitive](#) à l'un des secrets les plus subtils de la Nature

[Qu'est-ce que l'antimatière ?](#) par Robert Paris ; pas mal du tout.