

L'étrange et belle asymétrie du massif univers

Quasi absente dans l'univers où l'on ne la trouve que dans les antineutrinos, l'antimatière l'était aussi dans la vitrine du DAPNIA (ScintillationS n° 47). La voici présente dans ce numéro via les recherches, où s'implique le DAPNIA, sur des violations de symétries fondamentales, causes possibles de l'extinction quasi totale des antiparticules.

En vedette dans ce numéro : des mésons violeurs de la symétrie CP : les kaons, K, porteurs d'étrangeté et les mésons B porteurs de beauté. Ainsi que leurs jumeaux d'antimatière « antiétranges » et « antibeaux ». Une expérience du dispositif CP LEAR, au CERN, vient de mesurer la violation indirecte de CP et celle de T, renversement du temps, par les kaons. BaBar, expérience du SLAC, en Californie, cherche depuis un an si les mésons « beaux » violent eux aussi la symétrie CP (voir « Comment ça marche », page 3).

Mais la star de ce numéro, c'est le boson de Higgs, que les ultimes mesures du LEP ont entr'aperçu. Belle apothéose pour le plus grand anneau à découvertes jamais construit.

Ces énormes manip seraient inconcevables sans les gigantesques progrès des moyens de calcul. La puissance des ordinateurs double tous les 18 mois ou presque, mais cela ne suffit pas à la boulimie des utilisateurs qui croît en proportion. D'où un projet européen de « grille d'ordinateurs », DATA GRID, réseau de centres de calcul disséminés dans toute l'Europe (page 7).

Joël Martin (ScintillationS)

Un signe¹ du champ² pour un chant du cygne

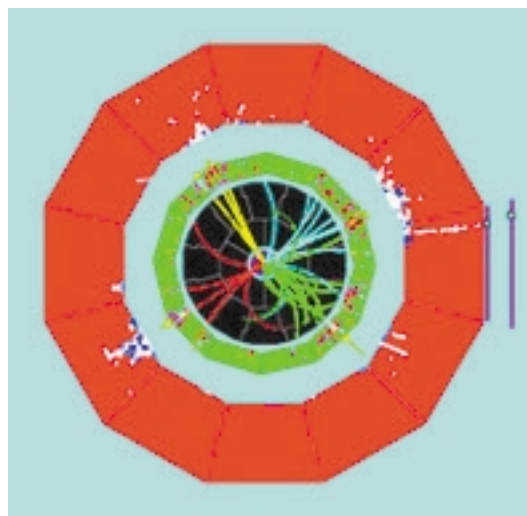
Des « Higgs » furtifs au LEP

Pour leur tournée d'adieu, les électrons et les positons du LEP se sont payés un carrousel d'enfer à l'énergie la plus élevée jamais atteinte dans l'anneau : 105 GeV pour chaque faisceau.

Le LEP devait s'arrêter fin septembre 2000 pour céder son tunnel de 27 kilomètres de tour au futur LHC. Le CERN économise ainsi un second tunnel, soit quelques centaines de millions de francs suisses. Aussi le galop final se devait de finir en apothéose.

Et ce fut la divine surprise. En épluchant les tous derniers « événements » issus des énormes détecteurs les chercheurs ont vu quatre événements, portant le signe qu'ils n'espéraient plus : quatre jets « en croix »,

deux de quarks, et deux d'anti-quarks, avec les bonnes énergies, les bons angles, tout ce qu'il faut.



Un des événements candidats détecté par ALEPH

Ce signe est l'empreinte du Higgs, la mythique particule qui porte le nom d'un de ses inventeurs. En 1964, Peter Higgs, d'Edimbourg d'un côté, François Englert et Robert Brout, de Bruxelles³ de l'autre, concoctent séparément une astuce mathématique pour expliquer comment la masse vient aux particules. Ils imaginent un « champ » qui se couplerait aux particules avec des intensités différentes, engendrant ainsi les masses différentes des différentes particules. Ce champ dit « de Higgs » est quantifié, et son quantum, la particule qui véhicule l'interaction, c'est le boson de Higgs. Le « Higgs », dernière des particules fondamentales prévues par le Modèle Standard⁴, la théorie des particules

1 Signe au sens d'indication, ou d'indice.

2 Il s'agit de celui de Higgs, bien sûr, dont le champ a fait faire tant de gloses (NDLR)...

3 Englert et Brout in Physical Review Letter, volume 13, page 321 (31/8/64, reçu le 26/6, soit 15 jours avant le papier de Higgs in Physics Letters), volume 12-2, page 132 (15/9/64, reçu le 27/7)

4 Voir ScintillationS n° 12, 19, 23, 24 et 47

actuellement la plus complète, a jusqu'ici échappé à toute observation. Les physiciens des particules du monde entier rêvent de le débusquer

Au LEP, on croit donc l'avoir entrevu. Sa masse serait de 114 GeV, en plein dans la fourchette établie à partir de nombreuses mesures indirectes au CERN et au Fermilab.

Mais quatre événements, c'est trop juste. Aussi, le LEP a rempli jusqu'au 2 novembre. Sans pouvoir conclure. Un nouveau sursis était évidemment espéré. La direction du CERN a dit non. Ce sursis aurait coûté autant qu'un tronçon de tunnel. En fait, un bien petit tronçon. Quel dommage de laisser la découverte à d'autres alors que les indices

semblaient prometteurs !

On va tous porter plainte contre Higgs !

Joël Martin (ScintillationS)

Dans le prochain numéro, un article plus complet sur le Higgs.

Qu'est devenue l'Antimatière ?

Un scénario possible : la violation de CP

Quelque part, ou ailleurs, ou nulle part dans ce qui n'est pas encore l'univers, à l'instant origine...

Une explosion d'apocalypse ! Le Big-Bang. L'énergie crée la matière. Et aussi l'antimatière, matière d'un monde-miroir où chaque particule a son reflet, son « antiparticule ». Son sosie.

Et d'emblée c'est le grand carnage dans la fournaise hyperdense née de l'explosion primordiale, où la matière est si tassée et si chaude que les corpuscules se télescopent sans cesse à des vitesses quasi « lumineuses » : dès qu'une particule rencontre une de ses antiparticules, les deux s'annihilent et retournent à l'énergie. Mais quelques chanceuses échappent au massacre.

Curieux : ce sont toutes des particules.

L'antimatière a disparu. Il ne subsiste qu'un résidu d'un milliardième de la matière. Ce nanoreliquat, c'est notre univers. Nous sommes les rejetons d'un favoritisme de la nature.

Par quoi la symétrie primordiale a-t-elle été brisée ? Car enfin, une

particule est la quasi jumelle de son antiparticule : même masse, même

valeur de la charge électrique, au signe près : si la particule est positive, l'antiparticule est négative et vice-versa. On appelle d'ailleurs **conjugaison de charge**, symbolisée par C , l'opération remplaçant une particule par son antiparticule. Chaque fois qu'on a découvert une particule, on a découvert son antiparticule. Pareille symétrie a mené les physiciens à énoncer *que tous les processus sont invariants dans une triple transformation combinant la conjugaison de charge C , l'inversion du déroulement du temps (appelé aussi renversement du temps), que l'on note T , et le changement de signe des coordonnées spatiales des particules, appelée parité P* . Cette triple transformation s'appelle l'opération CPT et l'énoncé qui précède est dit « *théorème CPT* ».

En bref, lorsque la nature « autorise » un processus dans notre monde, elle l'autorise dans un monde « miroir » où le temps se dé-

roule à l'envers et où chaque particule impliquée est remplacée par son antiparticule dont le mouvement est inverse mais qui tourne sur elle-même dans le même sens que sa jumelle. Cette spéculation théorique n'a jamais encore été infirmée. Aucune loi connue de la physique ne viole CPT , qui loge ainsi matière et antimatière à la même enseigne.

Alors qu'est-ce qui a éliminé l'antimatière ?

Ce favoritisme pourrait être issu de violations partielles. En 1956, on met en évidence une première entorse à l'équité de la nature : la violation de P . Les tenants de l'invariance par CPT postulent alors que C doit être violée de la quantité exacte compensant la violation de P ; ainsi CP reste invariant.

Patatras ! Six ans plus tard, on découvre que CP est globalement violée dans certaines désintégrations de mésons K , ou kaons. Mais on croit tellement à l'invariance par CPT , que l'on refait le raisonnement : 1) CPT est invariant, c'est sûr. 2) Puisque CP est violée, T doit l'être pour compenser. Les visionnaires ont eu raison :

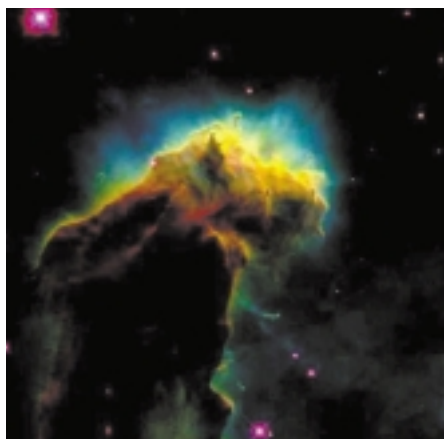
en 2000, une expérience de CP LEAR, au CERN, a montré que la

transformation du kaon neutre, K^0 en antikaon neutre, \bar{K}^0 , n'est pas invariante par renversement du temps : le taux de transformation de la particule en l'antiparticule est différent de celui de la transformation inverse (voir *Scintillation* n° 46).

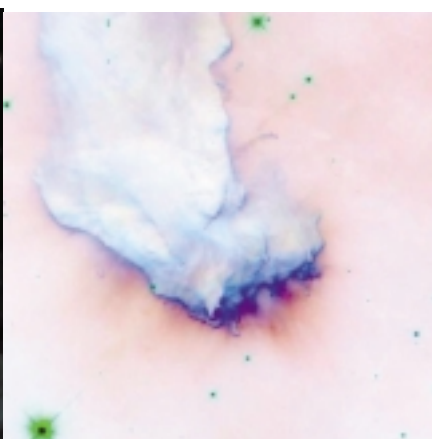
Le Lecteur : « OK : matière et antimatière primordiales se sont annihilées, et nous existons grâce à un léger excédent de matière. J'admets les violations partielles. Mais je voudrais comprendre comment excédent de matière et violations partielles sont liés. »

Rendez-vous au « *Comment ça marche* », pages suivantes.

Joël Martin (SPHn et Scintillations)



Nébuleuse de l'Aigle, prise, par le télescope Hubble, de la NASA, et son imaginaire reflet d'antimatière.



COMMENT ÇA MARCHE ?

La violation de P

Quand Einstein se tirait la langue dans un miroir, son reflet lui tirait la langue. Mais quand il clignait de l'œil droit, son reflet clignait de l'œil gauche.

On peut ainsi associer aux phénomènes naturels leur « image dans

un miroir ». Les physiciens parlent de « processus transformé par *parité* ». S'il est possible d'observer le processus miroir d'un processus donné, on dit que ce processus « respecte la symétrie P ». Sinon, il « viole la conservation par parité » ou plus brièvement « viole P ».

Encadré 1- L'opération « parité » : une symétrie miroir et une rotation

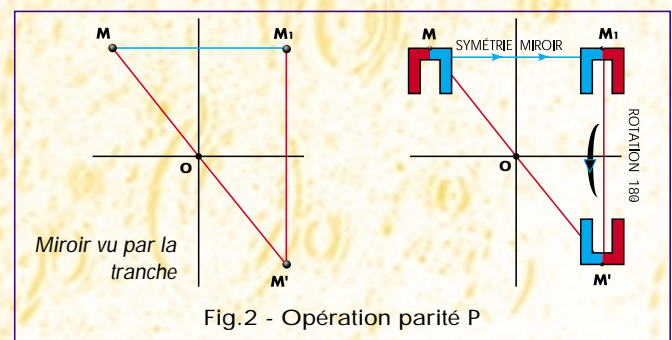
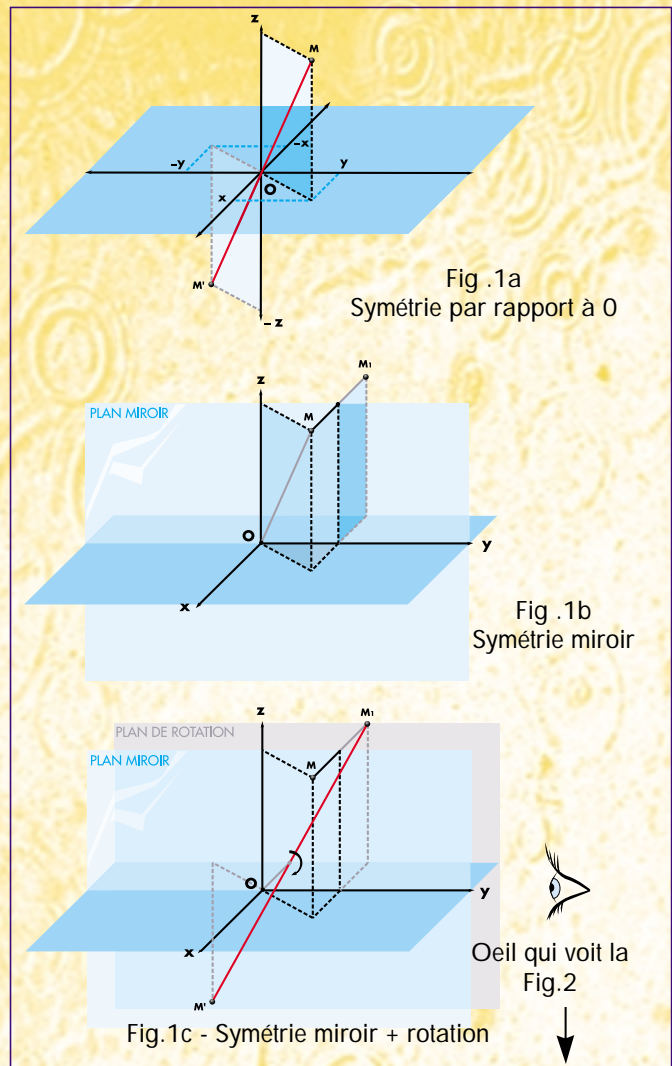
L'opération parité consiste à changer le signe des coordonnées spatiales : x , y et z sont changées en $-x$, $-y$ et $-z$. Cette opération associe à un point M de l'espace son symétrique M' par rapport à l'origine O des trois axes de coordonnées.

Faisons un peu de géométrie amusante.

Pour aller de M à M' , on peut prendre l'itinéraire direct : on fait le chemin en ligne droite de M à O puis on continue sur la même droite sur une distance égale à MO (Fig. 1a). Mais on peut aussi aller de M à M' en deux étapes, en faisant escale au point M_1 , image de M dans un miroir placé dans le plan formé par les deux axes Oy et Oz (plan yOz) : 1) on va de M jusqu'à M_1 en ligne droite (Fig. 1b) ; 2) on fait subir à M_1 une rotation de 180° dans le plan gris autour de l'axe Ox . On arrive ainsi sur M' (Fig.1c).

Résumons : l'opération parité, P , qui consiste à transformer un point en son symétrique par rapport à l'origine des axes de coordonnées, équivaut à transformer le point en son image dans un miroir, puis à faire tourner cette image de 180° dans un plan parallèle au miroir (Fig. 2).

Or une rotation ne modifie aucune propriété physique. Il est donc « physiquement correct » de parler de miroir à propos de la parité.



Encadré 2 - Hélices, faiblesse et parité

Une farce bien connue est celle du tire-bouchon pour gaucher. Un tire-bouchon « honnête » s'enfonce dans le bouchon lorsqu'on le tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. On dit que son hélice (sa tige en forme d'escalier en colimaçon miniature) est droite. Un buveur assidu tourne machinalement son tire-bouchon dans le sens « droit ». Alors si vous lui donnez un tire-bouchon dont l'hélice est gauche, le malheureux est perdu : il peut tourner son tire-bouchon jusqu'à la fin des temps, comme il le tourne par réflexe dans le sens des aiguilles d'une montre, l'ustensile « s'anti-enfonce » dans le bouchon. L'assoiffé ne devra son salut qu'à une remise en cause de ses réflexes : il devra tourner le précieux outil dans le sens inverse. Une bonne méthode est de se servir de sa main gauche (s'il est ambidextre, cela ne lui prendra pas plus de temps).

Et si, ce faisant, il se regarde dans une glace et réussit à faire les pieds au mur, il verra son reflet en train d'ouvrir une bouteille de la main droite avec un tire-bouchon ordinaire puisque, dans un miroir, l'image de la main gauche c'est la main droite et l'image d'une hélice gauche est une hélice droite. En outre, s'il répète l'opération un certain nombre de fois, le buveur méthodique constatera que son reflet ouvre le même nombre de bouteilles que lui, et que ce nombre est égal à celui des bouteilles qu'il aurait ouvertes de la main droite avec un honnête tire-bouchon « droit », en supposant qu'il garde le même rythme. Facile pour un buveur entraîné. Il prendra alors conscience que le débouchage des bouteilles est invariant par parité.

Tel un tire-bouchon, un électron tourne sur lui même. Il possède un spin. Il peut tourner dans les deux sens. Si l'on « voit » un électron qui s'éloigne tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, on dit qu'il a une hélicité droite ou plus simplement qu'il est « droit », comme un tire-bouchon ordinaire qui avance en tournant sur lui même dans ledit sens des aiguilles d'une montre. Si l'électron tourne dans le sens inverse, on dit qu'il est « gauche ». Dans la nature, les électrons existent dans les deux états d'hélicité, images l'un de l'autre dans un miroir. Lorsque des électrons réagissent, par interaction électromagnétique, avec d'autres particules électriquement chargées, le phénomène est le même, que les électrons soient droits ou gauches. Le photon, messenger de l'interaction, ne voit pas si l'électron est droit ou gauche. La parité est conservée.

Imaginons maintenant des buveurs faibles que des problèmes articulaires empêchent de tourner un objet dans le sens des aiguilles d'une montre. Ils ne peuvent ouvrir leurs bouteilles qu'avec un tire-bouchon « gauche ». Mais s'ils n'en trouvent que des droits, la probabilité qu'ils boivent est nulle, alors qu'elle ne l'est pas s'ils disposent des deux sortes de tire-bouchons. Pour ces buveurs faibles qui ne peuvent avoir que des interactions faibles avec leurs tire-bouchons, la probabilité du phénomène « ouverture de la bouteille » est donc différente selon qu'ils disposent ou non des deux sortes de tire-bouchons. La parité est violée.

Les électrons peuvent être impliqués dans des interactions autres qu'électromagnétiques. Quand un neutron se transforme en proton, il y a émission d'un électron et d'un antineutrino (antiparticule du neutrino). C'est le processus de base de la radioactivité β , qui se produit au sein de noyaux « trop riches » en neutrons. Ce processus relève de l'interaction faible (voir n° 42 et 47). Seulement voilà : dans notre monde, le neutrino ne se manifeste que dans l'état d'hélicité gauche, et l'antineutrino n'intervient que dans l'état d'hélicité droit. Comme si le neutrino ni l'antineutrino n'avaient pas d'image dans un miroir ! Cette absence fait qu'on n'observe pas le processus « miroir » de certains processus. Résultat : des phénomènes où trempent les neutrinos, particules qui n'agissent que par interaction faible, n'ont pas d'équivalents dans le monde miroir. Ils violent la parité.

Plus généralement, tous les phénomènes relevant de l'interaction faible violent la parité : les messagers de cette interaction, les bosons Z^0 , W^+ et W^- voient la différence entre particules droites

et particules gauches ; historiquement, c'est avec la radioactivité β du cobalt-60 qu'on a observé cette violation pour la première fois (encadré 4).

La violation de CP

On vient de voir un exemple de dissymétrie entre matière et antimatière. Ainsi, la matière aurait un comportement donc un devenir différent de celui de l'antimatière. Si cette hypothèse est juste, le responsable de cette discrimination n'est plus apparu depuis la nuit des temps. Retour en arrière sur *un des scénarios possibles*.

Une boule de matière et d'antimatière en quantités égales vient de naître du Big-Bang. Sa densité et sa température sont inimaginables. Dans cette soupe incandescente, règne une seule force fondamentale. C'est l'ère de la *Grande Unification*. Dans une sorte d'ébullition permanente, les corpuscules de matière et d'an-

timatière, tous soumis à cette force, coexistent et peuvent se transmuter les uns dans les autres en passant par un stade intermédiaire, une particule d'une masse gigantesque, $3 \cdot 10^{14}$ GeV*, appelons-la X, qui a une antiparticule, bien sûr de même masse, l'*anti* X, notée \bar{X} . Dans ce brassage général, il y a autant de particules que d'antiparticules, de X que de \bar{X} . L'ensemble reste en équilibre grâce à la réversibilité des transformations. La symétrie est parfaite.

Mais cela ne dure qu'un éclair de temps : 10^{-30} secondes. La boule gonfle. En gonflant, elle refroidit. Alors il se passe la même chose que lorsque de la vapeur d'eau se condense en gouttes : un changement d'état de la matière. Et

comme la température baisse, les particules s'agitent moins vite. Leurs chocs ne dégagent plus assez d'énergie pour fabriquer des X ou des \bar{X} . Ne pouvant plus être régénérés, ces dinosaures corpusculaires vont disparaître en laissant une descendance : des particules de matière et d'antimatière.

Mais pas en quantité tout à fait égale,

Lors du changement d'état de la matière, la force unique s'est diversifiée. D'abord en deux forces : la *forte* et l'*électrofaible*. Cette dernière, à son tour, se scinde en force électromagnétique et force faible.

Cette force faible viole CP (encadré 3). Intervient alors le « favoritisme » de la nature.

* C'est en fait l'énergie de masse du X, c'est à dire l'énergie $E = mc^2$ que libère cette particule si elle se dématérialise. De l'ordre de trois cent mille milliards de fois celle d'un proton, cette énergie est colossale. En unités courantes, elle vaut environ 50.000 joules. C'est, en gros, concentrée dans une particule élémentaire, l'énergie cinétique d'un motard et sa moto lancés à 80 km/h !

Encadré 3 - Ces kaons qui violent CP

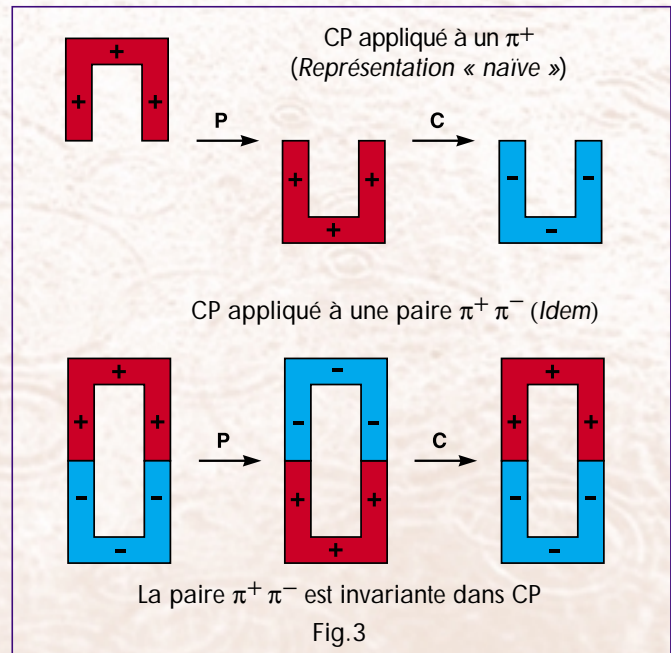
Comme toute particule, le kaon neutre K^0 a une antiparticule, l'anti K^0 , noté \bar{K}^0 . Le K^0 peut se désintégrer soit en une paire, soit en un trio de mésons π , (pions). Par exemple en $\pi^+ \pi^-$, ou en $\pi^+ \pi^- \pi^0$. Or, le π^+ et le π^- sont antiparticules l'un de l'autre et le π^0 est sa propre antiparticule. Ainsi, le \bar{K}^0 peut se désintégrer en donnant les antiparticules de la paire $\pi^+ \pi^-$ ou du trio $\pi^+ \pi^- \pi^0$, soit, respectivement, $\pi^- \pi^+$ et $\pi^- \pi^+ \pi^0$. C'est-à-dire la même chose que le K^0 . Et, de fait, dans un faisceau de kaons qui se propagent, il se produit constamment des « oscillations », des mutations de K^0 en \bar{K}^0 . Comme si les kaons étaient une sorte de passerelle entre matière et antimatière.

Or, les désintégrations en deux pions se produisent au bout de 0,09 milliardièmes de secondes, celles en trois pions au bout d'un temps environ 500 fois plus long : 50 milliardièmes de secondes. Le faisceau semble alors composé non plus de kaons et d'antikaons mais de kaons « courts » (en anglais : *short*), K_S^0 qui mutent très vite en deux pions, et de kaons « longs » K_L^0 qui mutent, bien moins vite, en trois pions. Or, du fait de propriétés intrinsèques de ces différentes particules, la transformation CP laisse invariante le K_S^0 ainsi que la paire de pions (Fig.3) mais pas le K_L^0 ni le trio de pions. Un K_L^0 , non invariant par CP, n'a théoriquement « pas le droit » de se désintégrer en une paire de pions invariante par CP.

Seulement voilà : en 1963, une expérience (encadré 4) a montré que environ un K_L^0 sur cinq cents se désintègre en une paire de pions. C'est une entorse au « droit ». CP est violée. Conséquence : le K^0 et le \bar{K}^0 ont beau se désintégrer en les mêmes particules, ils le font à un rythme très légèrement diffé-

rent. La matière ne se comporte pas tout à fait comme l'antimatière.

Cela vient d'être confirmé de façon directe et très précise, au SPS du CERN, par l'expérience « NA48 », où le DAPNIA s'est fortement investi : on a mesuré que le rythme de désintégration des kaons neutres en une paire $\pi^+ \pi^-$ n'est pas le même pour les K^0 et les \bar{K}^0



Les X comme les \bar{X} auraient eu deux modes possibles de désintégration (voir le tableau) : l'un donnant deux particules de matière, l'autre donnant deux particules d'antimatière. Mais la force unique s'est diversifiée en force forte et force électrofaible ; les corpuscules aussi et leur comportement les distingue : quarks et antiquarks, sont sensibles à toutes les forces, alors que leptons et antileptons ne sont sensibles qu'à la seule force électrofaible. Possibilité : les X se seraient désintégrés soit en deux quarks « up » u , c'est-à-dire de la matière pure, soit en un couple formé d'un antiquark « down » \bar{d} et d'un antiélectron (positon) e^+ , c'est-à-dire de l'antimatière pure. Les \bar{X} , eux, auraient donné soit deux antiquarks \bar{u} (antimatière), soit un couple $e^- \bar{d}$, électron-quark « down » (matière).

L'hypothèse est que, avec l'entrée en scène de la force faible, les X et les \bar{X} , violant CP, se sont désintégrés à des cadences différentes. Résumé du scénario possible de cette violation primordiale de CP :

| Modes de désintégration | Probabilité |
|---------------------------------------|------------------|
| $X \rightarrow u u$ | $1/2 + \epsilon$ |
| $X \rightarrow \bar{d} e^+$ | $1/2 - \epsilon$ |
| $\bar{X} \rightarrow \bar{u} \bar{u}$ | $1/2 - \epsilon$ |
| $\bar{X} \rightarrow d e^-$ | $1/2 + \epsilon$ |

1) Les deux modes de désintégrations du X n'ont pas la même probabilité : $X \rightarrow u u$ a une probabilité très légèrement supérieure à 50% (1/2) et $X \rightarrow \bar{d} e^+$ a une probabilité très légèrement inférieure à 50%. Le « très légèrement » est de l'ordre d'un milliardième.

2) Si CP n'était pas violée par les X et les \bar{X} , la probabilité de $\bar{X} \rightarrow \bar{u} \bar{u}$ serait égale à celle de $X \rightarrow u u$, et la probabilité de $\bar{X} \rightarrow d e^-$ serait égale à celle de $X \rightarrow \bar{d} e^+$. Or, ces deux probabilités sont comme échangées (voir le tableau).

3) Résultat : pour les X comme pour les \bar{X} , c'est le mode de désintégration donnant deux particules de matière qui est le plus probable, donc le plus fréquent. C'est de là que viendrait l'excédent de matière. Hormis les antineutrinos, issus entre autre de la radioactivité β^- , l'antimatière a disparu.

Joël Martin (ScintillationS et SPhN)

Ce résidu d'un milliardième de la matière (deux fois le « ϵ » du tableau) qui a survécu à la grande annihilation primordiale, c'est notre univers.

Encadré 4 - Un peu d'Histoire

Une possible violation de la parité P dans les interactions faibles fut envisagée dans les années 50 par plusieurs physiciens, dont Richard Feynman, Valentin Telegdi, Martin Block. Ce remue-méninges poussa en 1956 deux théoriciens américains d'origine chinoise, Tsung Dao Lee et Chen Ning Yang, qui s'étaient déjà penchés sur le problème, à remettre ça. Et cette fois, ils suggérèrent plusieurs méthodes expérimentales pour déterminer si oui ou non la parité était violée dans les processus « faibles ». La même année, s'inspirant de ces suggestions, une équipe animée par madame Chien Shiung Wu, du laboratoire Columbia, prouva la violation de P par une expérience sur la désintégration bêta du cobalt-60, montée en à peine plus d'un mois au National Bureau of Standards (NBS, États-Unis). L'importance de cette avancée dans l'étude de la dissymétrie entre la matière et l'antimatière vaudra immédiatement le Prix Nobel de physique 1957 à Lee et Yang « pour leur pénétrante enquête sur les lois de ce que l'on appelle la parité » *dixit* le communiqué Nobel officiel. Dans la foulée, une équipe américaine, Richard Garwin, Léon Lederman et Marcel Weinrich, confirma la violation de P en étudiant la désintégration de mésons π , après discussion avec madame Wu.

La violation de CP fut mise en évidence avec des kaons. Ce fut au « Cosmotron » de 3 GeV à Brookhaven en 1963 par James Cronin, Val Fitch, James Christenson et notre René Turlay national (le premier chef du DAPNIA). Nouvelle étape dans l'enquête sur la disparition de l'antimatière, cette découverte valut le Nobel 1980 à Cronin (membre du comité d'évaluation du DAPNIA) et à Fitch.

Merci à Alain Milsztajn (SPP) pour la précision de ses informations

On trouve des précisions pages 236-238, 308 et 326-329 dans *La Matière-Espace-Temps de Gilles Cohen-Tannoudji et Michel Spiro (deux « anciens » du SPP) chez Fayard, ainsi que dans l'article de Pascal Debu (SPP) : Testing discrete symmetries in K decays dans « Europhysics News de mai-juin 2000. L'auteur de ce « Comment ça marche » y a puisé sans vergogne mais avec gratitude. Autre ouvrage recommandé :*

L'Antimatière de Gabriel Chardin (SPP), chez Flammarion, collection « Dominos ». À lire aussi, l'intéressant dossier sur l'antimatière des Défis du CEA n° 84 (mai 2000) à qui l'on signale, page 13, une phrase qui prête à confusion : « En 1956, une équipe de chercheurs chinois montrent que certaines particules, des kaons, ne respectent pas la symétrie P. » Mais nous ne chinerons pas celles qui font la parité (NDLR).

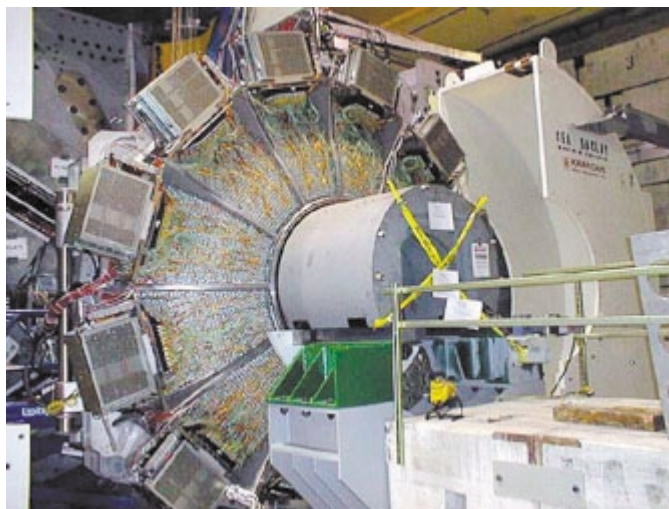
Symétrie et Beauté

BaBar en Californie

L'étrange n'est pas symétrique, on le sait depuis l'expérience de 1963 à Brookhaven avec des kaons, mésons porteurs de quarks étranges, qui violent la symétrie CP. Le modèle Standard prévoit que les mésons porteurs de quarks « beaux » violent eux aussi cette symétrie.

Pour vérifier ou infirmer cette prédiction, et ainsi réaliser une étude complète de la violation de CP, les physiciens ont carrément bâti une « usine à beauté » à Stanford en Californie. Au bout du « Monstre », accélérateur linéaire d'électrons de 3 kilomètres de long, ils ont greffé un anneau de collision, PEP2, où se choquent des électrons de 9 GeV et des positons de 3,1 GeV. Cette configuration particulière favorise la production de mésons B et anti B ainsi que la « luminosité » (le débit) extrêmement élevée des faisceaux : $3,1 \cdot 10^{33}$ particules par seconde dans une section de

1 cm². En un an, on catapulte ainsi des di-



Vue de DIRC sur la partie arrière de BaBar. Construit par le SED, le SGPI et le SPP, ce détecteur basé sur le tri par effet Cherenkov (voir *Scintillations* n° 23) permet de distinguer la nature des particules issues des différents modes de désintégration des B et anti B.

zaines de millions de B et d'anti B au sein de BaBar, beau détecteur cylindrique de 6

mètres de diamètre sur 6 mètres de haut qui analyse leurs modes de désintégration.

Le DAPNIA est de cette collaboration groupant 9 pays et 72 instituts. Il a contribué très fortement à la conception, la réalisation, et au fonctionnement de BaBar. Le porte parole adjoint (de 1994 à 1997) et l'un des deux responsables du DIRC, détecteur d'identification de particule (de 1994 à 1999) ont été des physiciens du SPP. Les SPhN, SED, SEI et SGPI sont activement impliqués aux côtés du SPP.

Les premières collisions e^+e^- ont eu lieu en été 1998. BaBar a été mis en place au printemps 1999 et enregistré ses premiers événements le 26 mai 1999.

Les premières analyses montrent que le système fonctionne comme prévu.

Cette usine à beauté est opérationnelle*.

Merci à Roy Aleksan (SPP)

* Comme songe la physicienne qui veut beaucoup de sites pour la beauté (NDLR).

Grilles, grappes et gros calculs

Participation du DAPNIA à un projet de grille de calcul européenne

Phénomène classique : les besoins grandissent quand croissent les moyens de les satisfaire. La gourmandise des consommateurs de calcul et de stockage de données croît à la même cadence que la puissance des calculateurs individuels.

C'est particulièrement vrai pour la recherche scientifique dont les outils d'investigation toujours plus sophistiqués au service de théories toujours plus pointues exigent des moyens de calcul toujours plus importants. En génétique, le séquençage du génome nécessite des bases de données dont le volume s'accroît à toute vitesse. Pour accélérer ce travail, on mène le calcul de front sur plusieurs machines. La climatologie utilise des maillages de plus en plus fins... En physique des deux infinis, il est prévu d'installer dans les trois ans 10% des moyens nécessaires aux expériences LHC, soit environ 4000 machines.

Parallèlement, l'utilisation de l'ordinateur individuel a énormément

progressé chez les scientifiques, y compris pour les calculs. Des centres s'équipent de grappes de centaines d'ordinateurs individuels. Les laboratoires cherchent à mettre en commun les ressources individuelles. D'où l'idée de chercher comment mieux utiliser cette puissance de calcul disséminée sur de grands espaces et de la joindre aux ressources des centres de calcul conventionnels, d'autant que, actuellement, les ordinateurs individuels fournissent le meilleur rapport performance/prix : le marché grand public tire les prix vers le bas.

La Communauté européenne en quête de projets innovants a proposé au CERN de soutenir un projet de « grille de calcul ». Ainsi est né le projet DataGrid d'étude et de construction d'un grand réseau de ressources de calculs et de stockage de données.

Le SEI se devait de participer à ce projet majeur car il a en charge de gérer les moyens de calcul des physiciens expérimentateurs du DAPNIA.

Le projet DataGrid, un centre de calcul à l'échelle internationale.

Les ressources de calcul.

Pour se faire une image d'une grille de calcul il suffit de la considérer comme un centre de calcul unique bien que les ressources soient hétérogènes et géographiquement dispersées. L'utilisateur doit pouvoir lui soumettre son calcul sans trop de soucis. Mais on ne peut exécuter n'importe quel programme sur n'importe quelle machine et avec n'importe quel système d'exploitation. Et comme il n'existe pas (encore) de moyens automatiques d'analyse détaillée du contenu d'une application, l'utilisateur devra donner assez de précisions pour que la grille puisse lui affecter automatiquement les ressources nécessaires.

L'utilisateur doit fournir la liste des ressources et des performances nécessaires à la bonne exécution de son calcul. La disponibilité de ces ressources pourra être indiquée à l'utilisateur lors de la soumission de son calcul ou par une requête hors soumission. Il est vain de prétendre utiliser les moyens de la grille si le travail à exécuter ne pourra jamais obtenir les ressources nécessaires. Une fois son travail accepté, l'utilisateur doit pouvoir suivre son exécution. Des moyens sont mis à sa disposition pour optimiser l'utilisation de la grille.

Les données.

Les calculs actuels se caractérisent par un très grand volume de données, généralement engrangées dans diverses bases de données, que la grille doit intégrer et dont l'accès doit être le plus transparent possible, quel que soient les moyens de stockage. Pour permettre l'exécution d'un calcul,

le système doit vérifier l'accessibilité des données nécessaires, puis assurer leur rapatriement. Le volume important de ces données nécessite d'optimiser les requêtes et les mécanismes de « cache » (duplication locale).

Administration du système

Tout système doit être contrôlé. La gestion de la grille doit permettre d'avoir, à un moment précis, une vue d'ensemble sur l'état des ressources : calculateurs, réseaux, réservations, mais aussi politiques sur leur utilisation. Ce système est en effet nécessaire pour suivre à la trace chaque utilisateur pour gérer les possibilités de facturation et pour gérer les possibilités de facturation.

La sécurité

La sécurité est un élément essentiel de tout système. L'utilisateur doit être sûr que son travail est en sécurité. Les utilisateurs d'horizons différents sont amenés à accéder à des ressources appartenant à des centres avec lesquels ils n'ont aucune parenté directe. Sachant qu'on est poursuivi pénalmente en cas d'utilisation frauduleuse de son matériel, il faut préserver l'intégrité et la confidentialité de ses données en protégeant leur accès pendant le stockage, le transport et l'utilisation. Il faut donc installer un système d'authentification permettant de contrôler l'accès aux ressources. Actuellement ce système se base sur des certificats

fournis par des autorités aptes à vérifier la qualité de l'utilisateur.

Banc d'essai

Un banc d'essai va permettre de valider les développements du logiciel du système suivant les critères précédents. De taille assez grande pour pousser le système à ses limites, il intégrera diverses technologies et s'adressera à des communautés utilisant diverses méthodes de travail. On vise une ca-

pacité de l'ordre du petades de données magnétiques, et la vitesse de traitement. Ce banc d'essai réparti géographiquement dans de nombreux pays européens. Son utilisation en France doit donner l'assurance que ce système est le plus adapté pour les calculs à venir. Les performances devraient atteindre la seconde pour bien irriguer la structure.

SEI.

Le SEI va participer au déploiement du banc d'essai. Quelques PC installés à Saclay vont permettre de valider les logiciels développés pour la

grille. En ce qui nous concerne, les ressources principales sont situées au Centre de Calcul de l'IN2P3, à Lyon. Nous participerons au soutien apporté aux expérimentateurs pour implanter leurs applications sur la grille.

Le SEI espère ainsi encore mieux assurer sa mission de pourvoyeur de calcul pour la physique dans les années à venir*

Michel Huet (SEI)



Implantation du DATA GRID en France. Le réseau relie le grand centre français de Lyon à d'autres centres européens, dont le CERN. Les épaisseurs des traits sont proportionnelles aux débits des lignes. La grosse ligne Lyon-CERN véhicule 2,3 gigabits/s.

* Et s'il ne répare pas les pannes, il en prendra pour son Grid, car beaucoup prennent les pannes en grippe ! (NDLRs) !

Regrets

Robert Legrain est parti jeudi 28 septembre 2000.



Peut-être là où les noyaux sont aussi des étoiles. Ce chercheur amoureux de la vie a, toute sa vie, cher-

ché. Cherché à comprendre comment la nature a cheminé du minuscule noyau atomique aux colosses du cosmos. Physicien nucléaire, il aura été curieux d'astrophysique bien avant la naissance du DAPNIA. Mais il était aussi un chercheur de chaleur humaine. Dans ses deux recherches, il a beaucoup trouvé, il a beaucoup donné. Les moissons de SATURNE, du GANIL, du GSI doivent tant à son efficace talent d'expérimentateur et à sa disponibilité à la gentillesse sans limite ! Il a été un pilier du CESEN, ce cercle où des physiciens-citoyens cherchent le « moins-nuisant nucléaire ». Il était toujours là pour dépanner un copain en rade d'ordinateur. Avec toujours la même efficacité souriante. On ne dérangeait jamais Robert. Quel vide soudain ! On pense très fort à ses proches.

Va et vient

Avril 2000 – Frédéric Louis (SEI) passe Annexe 1. Un grand bravo ! Didier Bédérède est muté de STE/SCP au SGPI. Un nouveau recruté, Patrice Charon, vient également renforcer le SGPI. Bienvenue à tous les trois. Deux Michel nous quittent : Boloré du SEA et Bourdinaud du SPP. Bonne chance !

Mai 2000 – Claude Curé (SGPI) part en retraite et Sophie Portier change de direction : elle passe de celle de la DSM à celle du DAPNIA. Meilleurs souhaits au partant et à l'arrivant.

Juin 2000 – Daniel Cacaut (STCM) part en retraite et Jean-Claude Cattenne (DAPNIA/DIR) nous quitte pour la direction financière du Siège. Tous nos vœux d'épanouissement et de réussite.

Juillet 2000 – Cinq mutations : Catherine Guyard part de DIR au SEA, Sylvie Regnaud passe annexe 1, bravo !, et du STCM vers le SEA, Bruno Cahan (SEI) part au GANIL, René Duc (SAP) à DSM/DIR et Yves Terrien s'en va du SPH à DSM/DIR. Cinq départs en retraite : Pierre Borgeaud (SEI), Pierre Guziak (SIG), José Ramos-Calvete (SEA), Jean-Pierre Taguet (SED) et Saby Valero (SEA). Nos meilleurs souhaits les accompagnent. Trois autres passages en annexe 1 méritent aussi nos applaudissements : Marc Anfreville (SED), Alain Aspart (SEA) et Patrick Lamare (SIG).

Août 2000 – Retraite pour Simone Claudet (SEI), Claudine Juillard (DIR), et Janos Zsembery (SPP). Bonne route !

Septembre 2000 – Georges Szegedi (SEA) part en retraite. Jojo, reviens nous voir ! Lydie Thuillier (SGPI) part au DSNQ, Thierry Bernard (SED) s'en va au DRECAM, David Lachartre (SEI) est muté à la DTA, Franck Quatrehomme quitte l'équipe de la direction du DAPNIA pour celle de la DSM. C'est pas loin d'ici, Franck, à bientôt ! Ces vides laissés par de sympathiques partant(e)s sont en partie comblés par de sympathiques arrivant(e)s : Pascale Beurtey (SEI) nous revient après un an d'absence, Gilles Bondis est muté de Saclay/DIR au SDA et Josiane Parnas au DAPNIA/DIR. Trois recrutements : Michaël Manzato au STCM, Laure Reuter au SPP et Estelle Virique au SEI. Bienvenue au DAPNIA !

Les lauriers du DAPNIA

Le prix Joliot-Curie 2000 de la SFP a été attribué à Christian Cavata (SPH), dont on a pu lire l'excellent article sur l'étrange saga de la charge et du magnétisme du proton dans *ScintillationS* n° 42. Félicitations au lauréat et à toute l'équipe des hadronicien(ne)s dapniesques de CEBAF.

Il semble qu'à la SFP, CEBAF pèse beaucoup (NDLR).

Le prix Henri Chrétien (inventeur du télescope du même nom et... de la lentille pour cinémascope) de l'AAS, Société des Astronomes Américains, qui couronne chaque année le meilleur projet d'astronomie d'observation, vient d'être décerné à David Elbaz (SAP). « Une des grandes découvertes d'ISOCAM est que les galaxies lointaines rayonnent plus en infrarouge que les galaxies proches, précise Laurent Vigroux (SAP). Pourquoi ? On pense que c'est dû à une formation plus intense d'étoiles dans ces galaxies lointaines, (c'est à dire jeunes) que dans leurs consœurs, plus vieilles, proches de nous. Pour être sûrs de ce phénomène qui donne un nouvel éclairage à l'évolution des galaxies, il faut mobiliser les plus grands télescopes au sol. Et voilà les 60 centimètres du télescope d'ISOCAM associés aux 10 mètres des deux télescopes « Keck » couronnant le sommet d'un mont d'Hawaï ! Pour une fois, c'est l'union de David et de Goliath... » C'est ce projet, auquel il participe avec des astrophysiciens de l'Université de Californie, qui a valu son prix à David Elbaz. Toutes nos félicitations et nos vœux de succès à toute l'équipe.

Michel Spiro (ancien chef du SPP et actuel coordinateur CEA-CNRS pour les astroparticules et les neutrinos) vient de recevoir le Prix Scientifique de Physique et Mathématiques 2000 de l'ARRI

(Association pour le Rayonnement français et Réalités Internationales). Nos plus vives congratulations.

Plumes du DAPNIA

Après *Petite Étoile*, captivante et poétique odyssée d'une « petite princesse »



stellaire, Michel Cassé (SAP) nous plonge au cœur des astres et nous conte les mystères de ces forgerons de la matière. Un très beau livre, toujours chez Odile Jacob :

Généalogie de la matière

(Retour aux sources célestes des éléments)

Pédagogue sensible, l'auteur nous apprend comment étoiles, supernovae, sursauts gammas et autres chaudrons cosmiques fabriquent l'or, le plomb, le fer, le carbone et toute matière. Cet ouvrage résonne du chant des astres, creusets de lumière, de chaleur et de vie.

Le gluon d'honneur

C'est le *Journal de l'Essonne* n° 16 (septembre 2000) qui s'y colle pour ce scoop, pêché par Luc Barbier, du DRECAM (un gros merci) : « *Le rayonnement synchrotron est produit par l'accélération considérable des particules constitutives de la lumière, (les photons) sous l'effet d'un champ magnétique circulaire.* »

Un photon, c'est électriquement neutre et ça file à la vitesse de la lumière qu'aucun objet connu ne peut dépasser. Chacune de ces raisons rend impossible son accélération (précisions au prochain numéro).

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Joël FELTESSE

COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole),

Claire ANTOINE, François BUGEON, Rémi CHIPAUX, Nathalie COLOMBEL, Antoine DAEL

Thierry FOGLIZZO, Marc PEYROT, Yves SACQUIN, Jean-Luc SIDA, Angèle SÉNÉ, Thierry STOLARCZYK, Christian VEYSSIÈRE

MAQUETTE & MISE EN PAGE Christine MARTEAU

CONTACT : Joël MARTIN

Tél. 01 69 08 73 88 – Fax : 01 69 08 75 84

E.mail : jmartin@cea.fr

<http://www-dapnia.cea.fr/Com/ScintillationS/>

Dépôt légal Novembre 2000

7!



