

Une Introduction à la Physique de l'Antimatière

B. Arnold

1^{er} Février 2003

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Composition des atomes et des anti-atomes	1
1.2	Masse et Énergie	2
2	Origines de l'antimatière	2
2.1	Naissance du positon	3
3	Doute quant à la symétrie de l'univers	3
3.1	Les trois symétries	4
4	Antimatière au quotidien	6
4.1	L'Antimatière maintenant	6
5	Conclusion	7
6	Glossaire	8
7	Bibliographie	10

1 Introduction

Qu'est-ce que l'antimatière ? 'Anti' laisse supposer que 'le contraire' mais comment le contraire de matière peut-il exister ? Il est difficile d'imaginer une 'anti-orange' ou un 'anti-banane' mais, selon des idées relativement nouvelles, c'est possible. Bien sûr une 'anti-pomme' n'existe pas sur terre mais c'est possible quelque part dans l'univers.

1.1 Composition des atomes et des anti-atomes

Nous sommes composé d'atomes. Figure 1, on peut voir que les atomes sont composés de sous-particules. Les atomes de matière quotidiens se composent de neutrons, d'électrons et de protons. L'anti-atome se compose de leurs équivalents en antimatière : l'antineutron, le positon et l'antiproton.

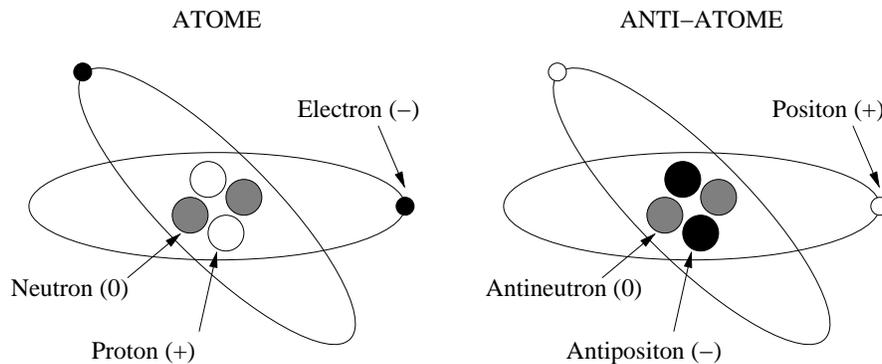


FIG. 1 – Les particules d'un atome et d'un anti-atome et leurs charges respectives

L'Antimatière est presque la même chose que la matière mais avec une charge électrique contraire. À cause du fait que les photons, (les 'particules' de lumière,) sont les mêmes quelque soit la charge, une 'anti-orange' aurait la couleur orange. Aussi, une anti-banane aurait la même masse qu'un banane. Donc comment peut on les distinguer ? Habituellement, il est possible de mesurer la charge électrique, les particules qui possèdent une charge positive comme les protons ont une charge négative comme anti-particules. Pourtant, quelques particules, comme le neutron, n'ont pas de charge. Dans ce cas, les

physiciens reposent sur une caractéristique extraordinaire de la matière et de l'antimatière. Lorsque les deux se rencontrent, elles se détruisent en dégageant des rayons gamma d'une énergie phénoménale, (mais bien sûr, les particules n'auraient plus exister!). L'amplitude de cette émission est en accord avec la fameuse équation d'Einstein, $E = mc^2$.

1.2 Masse et Énergie

L'équation précédent donne le maximum énergie possible qui peut être obtenu d'une masse, m , de matière (la physique donne que les deux sont les mêmes). m est la masse en kilogrammes, E est l'énergie en joules et c est la vitesse de la lumière en mètres par seconde. Alors, cela signifiait que pour obtenir l'énergie correspondante à un kilogramme de masse on devait le multiplier par la vitesse de la lumière au carré, ce qui donne 90×10^{15} joules. On pourrait conduire une voiture pendant 100,000 ans avec cette énergie!

L'antimatière est produit naturellement tout le temps. Il existe des matières radioactives qui déchargent des antiparticules, et les rayons cosmiques qui pénètrent notre atmosphère causent souvent la création d'antiparticules, mais ces particules disparaissent immédiatement après avoir rencontré leur partenaire en matière, donc l'antimatière est très difficile à garder. En fait, l'antimatière est la substance la plus chère sur terre avec un prix soixante-quinze mille milliards euros par once. La raison pour ce coût astronomique est qu'il y a très peu d'installations pour fabriquer et contenir l'antimatière. La plus célèbre est le CERN à Genève, en Suisse.

2 Origines de l'antimatière

C'est un Bristolien, 'Paul Dirac' qui a prédit existence du 'positon' (l'anti-électron,) en 1929. Dirac était un mathématicien méticuleux, il pensait que le plus important est que les équations soient belles même si elles ne se accordent pas nécessairement avec l'expérimentation. C'est avec ces mécanismes de la pensée qu'il pouvait arriver à ses équations incroyables et abstraites qui prédisent l'antimatière, une chose si étrange que Dirac lui-même n'y a pas cru au début. Ses équations combinent la relativité avec

la mécanique quantique et les théories de l'électromagnétisme, elles étaient déclaré par Einstein comme *les plus logiquement parfaites de la mécanique quantique*.

Selon l'équation d'Einstein il est possible de créer la matière à partir d'énergie mais ce qui n'est pas nécessairement clair, c'est comment ? La recherche a montré qu'on peut créer des particules de matière et leurs équivalents d'antimatière en investissant une énergie énorme.

2.1 Naissance du positon

Les équations de Dirac, qui calculent l'énergie d'un électron produit deux solutions d'une manière similaire à $\sqrt{4} = +2$ ou -2 . A cette époque il n'y eu aucune explication pour l'énergie négative. C'était la première notion d'une antiparticule, née tout à fait de la théorie. Ce fut des mois plus tard en 1932 que Carl Anderson observe des particules de la même masse qu'un électron mais avec une charge négative, il a conclu que c'était un antiélectron, la première observation dans l'expérience d'une anti particule. Ces découvertes font gagner à Dirac et Anderson le Prix Nobel en 1933 et 1936 respectivement.

C'est grâce à la conviction de Dirac, que ses équations était correctes et que les expériences n'étaient pas assez avancées, qu'on a le concept d'antimatière. C'était aussi la naissance d'une nouvelle et excitante branche de la physique, 'La Physique de Haute Énergie', et est ce qui est étudié au CERN en Suisse, au Fermilab, USA et dans plusieurs autres complexes dont le département de physique à Bristol.

3 Doute quant à la symétrie de l'univers

Les idées actuelles indiquent que, pendant le 'Big Bang' les particules et les anti-particules ont été créées en quantités égales. Donc pourquoi l'antimatière est-elle si rarissime ? Un aspect important de la Haute énergie physique est de découvrir pourquoi.

Pour avoir ce déséquilibre, il faut avoir un milliard plus une particules pour chaque milliard d'antiparticules, donc des milliard couples sont détruits

en laissant une particule de matière. Mais pourquoi il y-a-t-il eu plus de particules de matière que antimatière ? Actuellement, on ne sait pas pourquoi exactement mais certains scientifiques pensent que la réponse reste dans les trois symétries fondamentales de notre univers.

3.1 Les trois symétries

Il y a trois suppositions de symétrie qui restent intactes pendant plusieurs années. La première est l'inversion du temps. Si le temps marche à l'envers, il semblerait qu'une voiture, par exemple, marche à l'envers aussi. Voici figure 2.

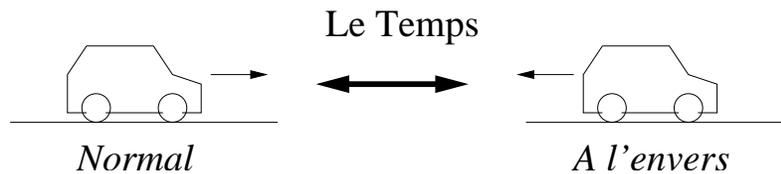


FIG. 2 – L'effet de la conjugation du temps

La deuxième symétrie était la parité de l'espace. Ce serait comme si l'espace est réfléchi dans un miroir énorme de trois dimensions ; la gauche deviendrait la droite, en haut deviendrait en bas, le devant deviendrait le derrière etc. Voici figure 3.

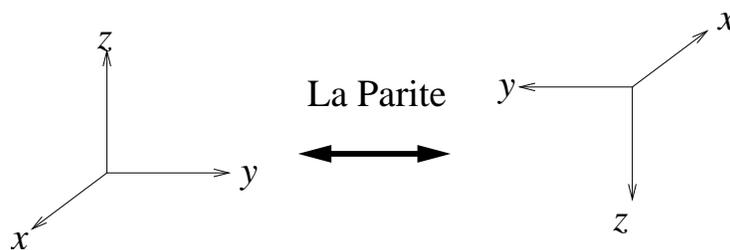


FIG. 3 – L'effet de la conjugation de la parité

Et la troisième symétrie est la conjugation de la charge. Chaque particule positive deviendrait négative et chaque particule négative deviendrait positive. Voici figure 4.

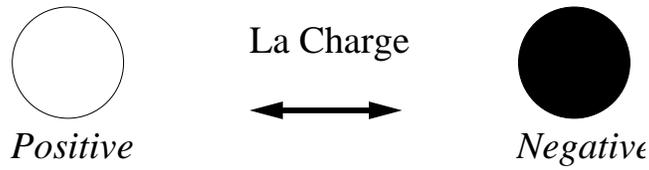


FIG. 4 – L’effet de la conjugation de la charge

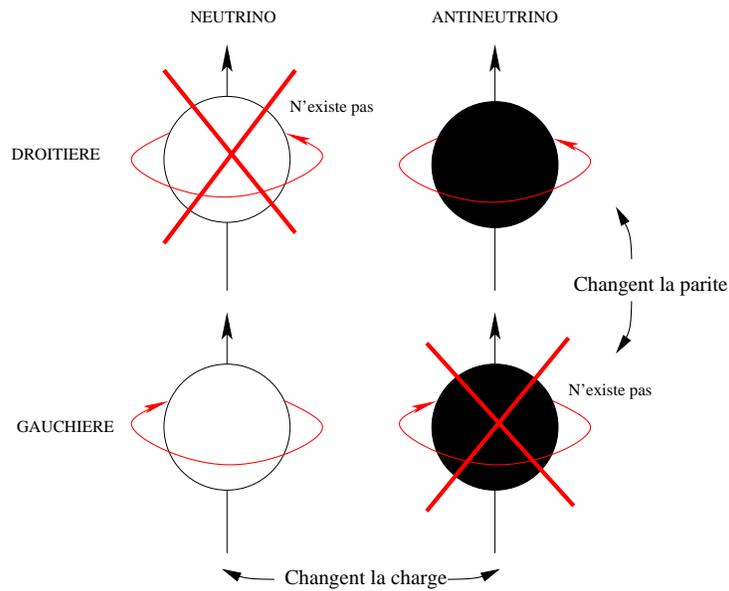


FIG. 5 – Le neutrino ‘solitaire’ qui met en doute les trois symétries

Si un ou une combinaison de ces événements se produisait, toutes les lois de physiques resteraient intacts.

Une de raison qui fait que ces théories de symétries ont tenu depuis si longtemps est l’absence de moyens de les experimenter jusqu’à la découverte de l’antimatière. Les physiciens, dans les installations comme Cern en Suisse, ont experimentée l’antimatière pour découvrir si les symétries était véritables. Sinon, ceci pourrait expliquer pourquoi milliard et une particule de matière ont été créés pour chaque milliard d’antiparticules.

Actuellement, les scientifiques viennent de découvrir que ces trois suppositions ne sont pas infaillibles. Les particules ‘tournent’ à droite (les droitères)

ou à gauche (les gauchières). Lorsque l'on change la parité de la direction de la rotation change aussi (voici figure 5). En 1956 C.S Wu a découvert un neutrino qui tourne à gauche qui n'a pas une antipartenaire qui tourne à gauche, donc seul les symétries de la parité et la charge ont été prouvés incorrectes. Pourtant les deux (la parité *et* la charge, en combinaison sont correctes quand même. Mais ceci ne suffit pas à expliquer l'amplitude du déséquilibre entre matière et antimatière. Pour le moment, le mystère continue.

4 Antimatière au quotidien

L'Antimatière se présente de façon à prouduire des quantites d'energie énormes. Et la science-fiction l'adopte en plusieurs formes. Une des idées très radicales est que les vaisseaux spatiaux qui peuvent déformer l'espace pour traverser les grandes distances. En fait, les scientifiques considèrent la propulsion spatiale au moyen d'antimatière mais d'un processus moins exotique. Les rayons de gamma qui sont produits pendant l'annihilation de matière et l'antimatière ont une vitesse et une masse, donc produisent une force dans la direction contraire en accord avec la deuxième loi de Newton, *chaque action a une reaction contraire et égale*. Cependant cette technologie est située dans le futur, les problèmes pour garder l'antimatière sans l'annihilation sont grands. Un dispositif appelé le *Piège de Penning* pourrait contenir l'antimatière en utilisant l'électromagnetisme mais la technologie est trop lourde pour être efficace sans faire mention du coût atronomique de l'antimatière.

4.1 L'Antimatière maintenant

Une autre idée qui est utilisé de nos jours est la *tomographie par émission de positons*. Similaire à la radiographie, cette technique médicale suit la circulation du sang dans un corps. Des substances qui émettent les antiparticules sont injectées dans le courant sanguin. Les réactions avec la matière produisent les rayons gamma que les intruments précis peuvent détecter.

Une source naturelle de l'antimatière est les rayons cosmiques. Chaque

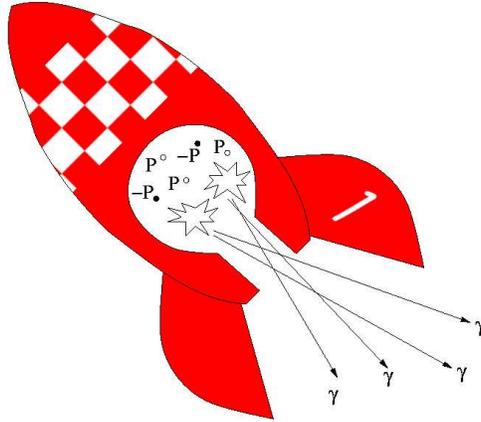


FIG. 6 – Une fusée d’antimatière

seconde de chaque jour, quelques rayons cosmiques traversent notre corps, où que nous soyons. Les rayons viennent de plusieurs sources des supernovae (les explosions gigantesques d’étoiles à la fin de leurs vies), aux rayons résiduelles du big bang (le rayonnement fossile). À cause de leur haute énergie, ils forment les antiparticules en frappant les autres molécules de notre atmosphère. Carl Anderson a découvert la première antiparticule en étudiant les rayons cosmiques, avant le premier accélérateur.

5 Conclusion

L’Antimatière est une branche nouvelle et excitante de la physique. Elle stimule l’imagination tant des physiciens que des profanes. Au début, l’antimatière n’existe que dans la langue des mathématiques, mais petit à petit on découvre plus en plus au sujet des antiparticules. On est quand même loin d’une antibanane ou des ‘warp drives’ mais l’antimatière devient de plus en plus viable dans les applications quotidiennes et sans doute antimatière fera partie du vocabulaire de tous les jours.

6 Glossaire

Antimatière Contraire de la matière. Voir section 1.

Proton particule qu'on trouve dans le noyau d'un atome, a une charge électrique positive.

Neutron Particule qu'on trouve aussi dans le noyau d'un atome, a une charge négligeable.

Électron Particule qu'on trouve en orbite autour d'un atome, a très peu de masse et une charge électrique négative.

Positron L 'antiélectron', antipartenaire d'un électron, a une charge électrique positive.

Annihilation Événement lorsqu'une particule et son anti-partenaire se rencontrent et se détruisent totalement.

Neutrino Particule fondamentale qui ne porte pas de charge et a une masse faible.

Vitesse de la Lumière Un nombre fondamental en physique. Environ 300,000 km par seconde.

Photons Les 'particules' de la lumière. (En fait c'est difficile d'affirmer si ce sont des particules ou les ondes.)

Rayonnement Fossile Radiation résiduelle du Big Bang. En anglais : 'Cosmic Background Radiation'.

Rayons Gamma Forme d'énergie comparable à la lumière mais avec une longueur d'onde plus courte.

Albert Einstein Le physicien célèbre qui a inventé la mécanique quantique.

Paul Dirac Le physicien célèbre qui a lié la mécanique quantique et la relativité. Voir section 2.

Mécanique Quantique Théorie qui explique la conduite curieuse des objets à l'échelle microscopique.

Relativité Théorie qui explique la conduite curieuse des objets à très haute vitesse (proche de la vitesse de la lumière.)

Rayons Cosmiques Particules de très haute énergie qui viennent de l'espace.

7 Bibliographie

Le site internet du Cern <http://livefromcern.web.cern.ch/livefromcern/antimatter/index-F.html>

What is a Neutrino? – **Un site internet** <http://www.ps.uci.edu/superk/neutrino.html>