

Atomes d'antimatière

En janvier, une explosion médiatique a accueilli la nouvelle de la synthèse d'atomes d'antimatière dans une expérience au CERN. Pour les scientifiques, il y a longtemps que la possibilité de l'existence d'atomes (chimiques) d'antimatière va de soi, mais la porte est désormais ouverte pour leur exploration scientifique. Pour les physiciens des particules, le défi est celui d'effectuer des tests de précision sur la symétrie matière-antimatière afin de vérifier la validité de leur interprétation des principes sous-jacents.

Le langage courant étant mal adapté à la description du curieux monde quantique, exprimer pour le grand public les concepts de la physique des particules est toujours une gageure. Bien que les physiciens des particules lisent d'un oeil dubitatif les plus extravagants des rapports des grands médias sur l'antimatière, ils ont été encouragés en apprenant que certains aspects au moins de leurs travaux sont largement appréciés.

Cependant les suggestions des médias que l'antimatière pourrait rapidement être exploitée hors du laboratoire sont absurdes. Elle est tout simplement trop difficile et trop chère à créer. Sauf possibilités d'améliorations radicales (et encore inconcevables) de la technique, l'Univers n'a pas existé depuis assez longtemps pour qu'un quelconque laboratoire qui s'y trouve ait pu accumuler suffisamment d'antimatière chimique pour produire un effet surprenant, quel qu'il soit.

Walter Oelert (à gauche), porte-parole de l'expérience PS210 à l'anneau d'antiprotons de basse énergie LEAR du CERN où a été mis en évidence pour la première fois de l'antimatière chimique, il est au côté de Mario Macrì, porte-parole de l'«expérience mère» JETSET.

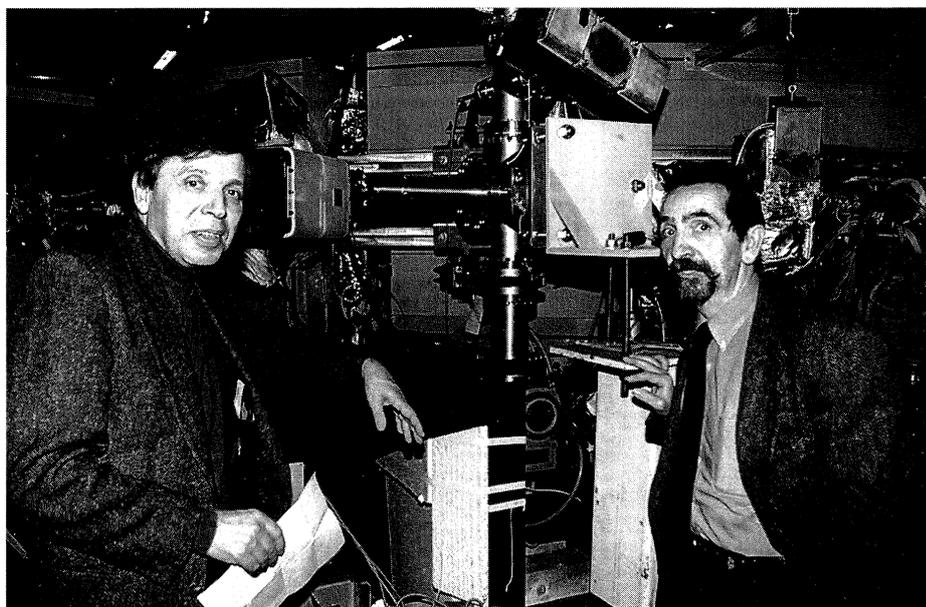
En 1995, une expérience au CERN a synthétisé neuf atomes d'anti-hydrogène et permis pour la première fois l'observation d'atomes d'antimatière authentiques. Bien que les physiciens soient naturellement enthousiasmés par la découverte, le vrai travail reste à faire: la spectroscopie de précision pour déterminer si la matière et l'antimatière se comportent réellement de la même façon.

D'après les lois fondamentales de la physique, à toute particule élémentaire constitutive de l'Univers correspond une antiparticule portant des nombres quantiques (des charges) égaux et opposés. Lorsqu'une particule et son antiparticule se rencontrent, elles ont toutes les chances de s'annihiler et de disparaître dans une bouffée de rayonnement.

En principe tout un Univers «miroir» d'antimatière pourrait être construit à partir de ces antiparticules, de même que notre Univers de matière ordinaire est construit de particules. Si notre compréhension de la physique est juste, cette antimatière doit presque toujours se comporter exactement de la même manière que la matière que nous connaissons. Par exemple, des

anti-atomes composés d'anti-électrons de charge positive (positons) en orbite, sous l'action des forces électromagnétiques, autour d'antinoyaux de charge négative auront les mêmes propriétés que les atomes chimiques usuels où des électrons négatifs sont en orbite autour de noyaux de charge positive.

Bien que la liste des antiparticules connues se soit allongée continuellement, les difficultés de la synthèse de ces atomes d'antimatière ont eu pour conséquence que les physiciens ont dû attendre jusqu'à maintenant pour effectuer leur première observation du plus simple des anti-atomes, l'anti-hydrogène dans lequel un positon solitaire tourne autour d'un noyau constitué d'un antiproton. Pendant l'année 1995, une équipe (porte-parole Walter Oelert) Jülich (IKP Forschungszentrum)/Darmstadt (GSI)/Erlangen-Nuremberg/Gênes (Université et INFN) travaillant à l'anneau d'antiprotons de basse énergie LEAR du CERN a fabriqué pour la première fois de l'anti-hydrogène à partir d'antiprotons et de positons. Toutefois l'expérience n'a observé que les produits de désintégration de l'anti-hydrogène et l'objectif ultime reste d'isoler de l'antimatière «chimique».



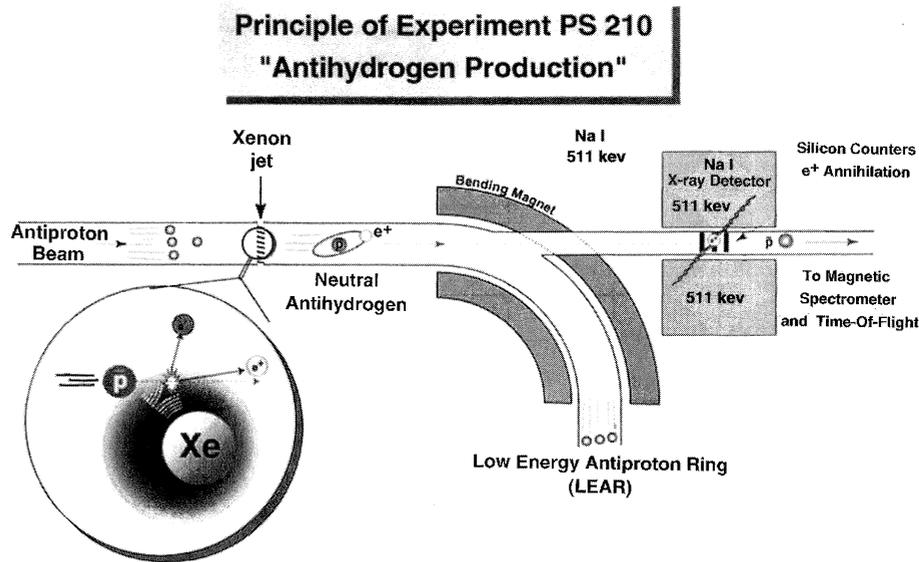
L'histoire de l'antimatière

En 1898 l'anglais Arthur Schuster avait imaginé l'existence de l'antimatière en supposant qu'il pourrait exister des atomes aux propriétés exactement opposées à celles des atomes ordinaires. Cependant les arguments les plus convaincants en faveur de l'existence des antiparticules sont apparus avec les travaux de Paul Dirac à la fin des années 20 conciliant la mécanique quantique et la relativité restreinte. Ses équations décrivant l'électron admettaient deux solutions, l'une correspondant à l'électron connu, l'autre à quelque chose de différent, possédant une charge électrique égale mais opposée.

Dirac a d'abord tenté d'expliquer cette seconde solution en la faisant correspondre au proton, mais celui-ci étant près de 2000 fois plus lourd que l'électron, cette idée ne pouvait aboutir. D'autres pionniers de la mécanique quantique, Werner Heisenberg par exemple, avaient toujours été impressionnés par la puissance de réflexion de Dirac, mais ils trouvaient les nouvelles solutions inexplicables difficilement acceptables. Nullement ébranlé, Dirac se doutait que ses équations prédisaient l'existence d'un monde fantôme d'antimatière.

Par bonheur il n'a pas eu à attendre longtemps. En 1932 Carl Anderson a découvert le positon, la contre-partie de l'électron dans l'antimatière, parmi des trajectoires de rayons cosmiques. L'idée étant maintenant admise, le gros lot suivant dans le monde de l'antimatière était l'antiproton. Toutefois, pour le produire – ce qui demande de créer une paire proton-antiproton – un grand bond en énergie était nécessaire. Il faut une énergie au repos de 2 GeV – donc un faisceau d'au moins 5,6 GeV – et le Bévatron de Berkeley a été construit spécifiquement dans ce but. Lorsque cette machine est entrée en exploitation en 1954, et jusqu'à l'arrivée du PS du CERN en 1959, elle a été l'accélérateur de particules de plus haute énergie du monde.

L'investissement a été payant presque immédiatement. En 1955 Owen Chamberlain, Emilio Segré, Clyde



Wiegand et Thomas Ypsilantis découvraient l'antiproton longtemps attendu, un coup d'éclat qui devait valoir à Chamberlain et Segré le prix Nobel de physique 1959.

Pour synthétiser un atome d'anti-hydrogène, il faut réunir des sources d'antiprotons et de positons artificiels, car ni les uns ni les autres n'existent naturellement. En outre, l'anti-hydrogène, tout comme son pendant dans le monde de la matière, n'est stable qu'à basse énergie. Dès que la «température» dépasse environ 14 eV (140 000 degrés) l'hydrogène et l'anti-hydrogène se dissocient (ionisation) en leurs particules constitutives.

Dans notre environnement quotidien froid, les atomes d'hydrogène peuvent mener une existence insouciante. Cependant, dans les conditions de haute énergie nécessaires pour créer les antiprotons, tout positon fortuitement présent est immédiatement arraché du voisinage d'un antiproton avant qu'un atome ait le temps de se former.

Pour créer de l'anti-hydrogène il faut remplir deux conditions: disposer d'antiprotons nombreux et posséder une technique pour les «refroidir» à des températures suffisamment basses pour que l'anti-hydrogène ne se

Schéma de l'expérience du CERN sur l'antimatière. Les collisions entre les noyaux du gaz et les antiprotons forment accessoirement des paires électron-positon et si certaines conditions sont remplies (antiproton et positon de vitesses voisines) le positon émergent peut être capturé par un antiproton du voisinage pour former un atome neutre d'anti-hydrogène. Celui-ci se propage en ligne droite, insensible au champ magnétique courbant les orbites des antiprotons dans l'anneau LEAR.

dissocie pas immédiatement en ses particules constitutives.

La première «usine» à antiprotons du monde se trouve au CERN où depuis 1980 un ensemble de machines construites dans ce but a fourni des faisceaux denses d'antiprotons pour des expériences de physique. A l'aide de ces antiprotons, le CERN a pu exploiter la collisionneur proton-antiproton SPS où ont été découverts en 1983 les porteurs W et Z de la force nucléaire faible.

Le LEAR, l'anneau d'antiprotons de basse énergie exploité depuis 1983, est une autre des spécialités du programme d'antiprotons du CERN, il

ralentit les particules pour explorer les annihilations proton-antiproton à basse énergie.

Le LEAR a en fait été conçu en tenant compte de la possibilité de produire de l'anti-hydrogène! Etant électriquement neutres, les atomes d'anti-hydrogène sont insensibles aux forces magnétiques qui emprisonnent les antiprotons sur leur orbite normale dans l'anneau LEAR: des hublots de sortie ont été ménagés à l'extrémité des sections droites de l'anneau, tandis que les aimants de courbure ont été conçus de manière à garantir que ces particules n'y seraient pas arrêtées.

L'expérience

L'expérience anti-hydrogène au CERN utilise l'appareil construit à l'origine pour «JETSET», une expérience de la collaboration Bari/CERN/Erlangen-Nuremberg/Fribourg/Gênes/Illinois/Jülich/Oslo/Uppsala (porte-parole Mario Macri) utilisant les impacts du faisceau d'antiprotons du LEAR avec un jet de gaz pour rechercher de nouvelles particules formées dans les annihilations proton-antiproton. La technique, très admirée, du jet de gaz mise au point par le groupe JETSET est cruciale pour l'expérience sur l'anti-hydrogène.

En 1992 Stan Brodsky du SLAC (Stanford) a fait remarquer que les collisions entre noyaux de gaz et antiprotons pouvaient également former subsidiairement des paires électron-positon et que si les conditions étaient adéquates (vitesse du positon voisine de celle de l'antiproton), le positon émergent pouvait être capturé par l'antiproton voisin pour former un atome neutre d'anti-hydrogène. Au LEAR, Michel Chanel, Pierre Lefèvre et Dieter Möhl se sont initialement chargés de creuser cette idée.

Après l'observation de quelques indices encourageants à l'aide de l'appareillage de JETSET, une partie de l'équipe a installé de nouveaux détecteurs en aval de la cible (le jet). La nouvelle expérience utilisait un jet

d'un gaz «lourd», le xénon, pour augmenter la production.

La détection directe de l'anti-hydrogène est difficile parce que les anti-atomes s'annihilent immédiatement avec leur environnement de matière. Leur passage à travers des détecteurs minces au silicium arrache immédiatement le positon, dissociant l'anti-hydrogène en un antiproton et un positon.

Toutefois les deux particules restent très voisines et l'astuce consiste à détecter les signaux séparés simultanés de l'antiproton et du positon qui se sont échappés ensemble de l'orbite normale des antiprotons dans l'anneau LEAR. Les neuf atomes antiprotoniques sont restés intacts 40 milliardièmes de seconde, parcourant environ 10 mètres. Ils ont été soigneusement triés parmi 23 000 possibles, les contre-façons dues aux anti-neutrons étant éliminées avec un soin particulier.

L'étude expérimentale au LEAR et ailleurs des atomes antiprotoniques se fait depuis longtemps; dans ce cas, au lieu d'un électron c'est un antiproton, dont la charge est négative, qui est en orbite autour d'un noyau normal. Comme l'orbite de l'antiproton est bien plus proche du noyau que celle de l'électron, la comparaison spectroscopique de l'atome antiprotonique avec l'atome normal fournit des données importantes sur les effets nucléaires. Cependant ces atomes compacts sont intrinsèquement instables, l'antiproton étant inévitablement capturé par le noyau.

L'anneau LEAR doit être fermé à la fin de l'année, mais une idée de Stéphan Maury et Dieter Möhl consistant à adapter le collecteur d'antiprotons AC est à l'étude pour préserver un programme antiprotons au CERN. L'anneau AC, mis en service en 1987, permet de maîtriser la dispersion énorme du faisceau «brut» d'antiprotons. La nouvelle méthode servirait les besoins d'expériences visant à piéger les antiparticules et l'antimatière dans des «bouteilles» électromagnétiques et permettrait des comparaisons détaillées des propriétés de la matière et de l'antimatière.

L'autre usine à antiprotons du monde est au laboratoire Fermi où une nouvelle expérience, E862, d'une collabo-

ration laboratoire Fermi/Irvine/Pennsylvanie/SLAC, produira bientôt de l'anti-hydrogène au passage d'un faisceau d'antiprotons de 8,9 GeV dans une cible à jet de gaz.

Un siècle au jour près

La découverte récente au CERN de l'anti-hydrogène a attiré l'attention des médias plus que tout autre événement en physique ces dernières années. Le communiqué de presse du CERN qui a déclenché l'avalanche a été publié le 4 janvier. Diffusé grâce au World Wide Web sur Internet, il l'a également été en prim'heure sur les télévisions mondiales avant de faire le lendemain les grands titres de la presse du monde entier. Par une curieuse coïncidence, c'est exactement un siècle auparavant que Wilhelm Röntgen avait posté à Würzburg la nouvelle de sa découverte spectaculaire des rayons X le 1^{er} janvier. En l'absence d'Internet, le premier compte rendu dans la presse devait paraître le 5 janvier 1896 dans le Wiener Presse. Le 16 janvier la nouvelle avait traversé l'Atlantique et atteint le New York Times. La nouvelle d'un mystérieux «rayonnement révélateur universel» devait se traduire par un millier de comptes rendus dans les journaux au cours de l'année.