

Une autre manière d'aborder *la fusion* atomique

Une expérience redéfinit les connaissances acquises sur l'interaction des noyaux atomiques, qui produit l'énergie solaire

Publié en novembre 2004

La nature se révèle souvent beaucoup plus complexe qu'elle ne le paraît et elle oblige souvent les physiciens à repenser les modèles créés pour l'expliquer. Une expérience, réalisée en Belgique avec la collaboration d'un chercheur brésilien, éclaire certains points qui intriguent les physiciens depuis ces 20 dernières années. En effet, il s'agit de savoir si un type spécifique de noyau atomique, possédant davantage de particules neutres (neutrons) et ayant pratiquement le double de la taille normale, faciliterait de dix à cent fois la fusion nucléaire. Durant ce phénomène, les noyaux de deux atomes s'unissent pour en créer un plus lourd, libérant d'énormes quantités d'énergie. Cette étude, peut-être la plus complète jamais réalisée, révèle que le fait de projeter un noyau exotique à grande vitesse contre le noyau d'un autre atome n'augmente ni ne réduit la probabilité de fusions entre les deux noyaux. Ce superchoc atomique provoque une autre sorte d'interaction. Le noyau atomique classique reçoit de ce type de noyau, appelé exotique, ses neutrons excédentaires qui probablement orbitaient autour de lui, formant un type de nuage, comme l'indique les informations publiées le 14 octobre dans la revue *Nature*.

“Ce résultat ne signifie pas que nous retournons au point zéro mais au contraire que nous en sortons”, déclare la physicienne Alin-

Núcleo em expansão,
peinture à l'huile
d'Iberê Camargo, 1965





FONDAÇÃO IBÉRÊ CAMARGO

ka Lépine-Szily, de l'Université de São Paulo (USP), et co-auteur de l'étude publiée dans la revue *Nature*. "Les modèles théoriques qui indiquaient une plus grande probabilité de fusion nucléaire devront être revus en se basant dorénavant sur des informations plus détaillées" Ceux qui ne sont pas passionnés par la beauté de la physique peuvent penser que cette découverte est insignifiante. Mais ce n'est pas le cas. La fusion nucléaire est la source d'énergie des étoiles comme le soleil.

La fusion se produit au cœur des étoiles parce que la force gravitationnelle exerce une pression qui rapproche les noyaux les uns des autres. Une partie de l'énergie libérée s'échappe sous la forme de radiations et rend ainsi possible la vie sur Terre. C'est également la fusion de noyaux atomiques d'éléments chimiques plus légers et plus simples, comme l'hydrogène formé seulement d'une particule de charge électrique positive (le proton), qui crée des noyaux d'atomes plus grands et plus lourds, comme l'hélium, le lithium et le carbone.

L'intérêt suscité par la fusion nucléaire est apparu au début du siècle dernier, presque 2.500 ans après que le philosophe grec Leucippe ait émis l'idée que la matière était constituée d'atomes. À la fin des années 30 et à la veille de la deuxième guerre mondiale, le physicien allemand Hans Bethe a constaté que la fusion des noyaux de deux atomes d'hydrogène libérait de l'énergie. Dans une époque politiquement agitée et économiquement instable, ce phénomène physique a commencé être perçu comme une possible source d'énergie pouvant remplacer les combustibles fossiles comme le charbon et le pétrole.

La compréhension de ce phénomène apporterait à l'homme un pouvoir de destruction incomparable en utilisant la fusion pour créer des armes nucléaires comme la bombe à hydrogène ou bombe H. Les bombes atomiques lancées sur le Japon ont été créées à partir du phénomène opposé et appelé fission nucléaire, dans lequel le noyau de grands atomes se rompt libérant de l'énergie. Dans la bombe H, l'union de noyaux de deutérium (isotope de l'hydrogène dont

En 1985, l'équipe du physicien Isao Tanihata, du centre de Physique Nucléaire Japonais, a constaté que les noyaux exotiques de lithium, appelés Lithium 11, contenant 8 particules neutres, étaient beaucoup plus volumineux qu'on ne l'espérait. La raison est que deux de ses quatre neutrons excédentaires n'ont pas de cohésion dans le noyau et forment un nuage de neutrons (dans la nature le noyau du lithium contient seulement quatre neutrons et trois protons).

Dans ces noyaux exotiques qui, une fois créés, durent moins d'une seconde, certaines de ces particules neutres restent plus éloignées, formant une espèce de nuage ou de halo. On a aussitôt imaginé que la faible cohésion des noyaux exotiques faciliterait la fusion. En outre, comme leur masse était plus grande, on supposait que la force d'attraction entre les noyaux agirait à de plus grandes distances et que ceci compenserait la force qui repousse les particules possédant la même charge électrique (positive pour les protons des noyaux atomiques).

La paradoxe de l'hélium 6 - Une équipe internationale, coordonnée par le japonais Atsumasa Yoshida et par l'italien Cosimo Signorini, a essayé de démontrer la plus grande probabilité de fusion des noyaux exotiques lors d'expériences menées avec du Béryllium 11 (quatre protons et sept neutrons). Cependant les résultats ont été négatifs. Un autre test réalisée par James Kolata de l'Université Notre Dame en Indiana aux États-Unis, s'est quant à lui avéré positif, car la fusion nucléaire se produisait plus facilement avec de l'hélium 6. Aux vues de ces différents résultats, il était impossible de parvenir à une conclusion définitive. Afin d'éliminer ce doute, Jean Luc Sida, membre de la Commission à l'Énergie Atomique Française, a réuni un groupe international composé de physiciens belges, français, italiens, polonais et brésiliens afin de réaliser une expérience plus complète et une analyse plus détaillée que les précédentes.

En utilisant le Cyclotron, accélérateur de particules du Centre de Recherche de Louvain-la-Neuve, les physiciens ont projetés des noyaux d'hélium 6 contre des noyaux d'uranium 238 bien plus grands. À titre d'exemple, c'est comme si vous projetiez une balle de tennis, à une vitesse proche de la lu-

La fusion nucléaire déjà utilisée dans les bombes à hydrogène, un remplacement possible des combustibles fossiles

le noyau contient un proton et un neutron) est à l'origine de l'hélium, durant une transformation identique à celle observée à l'intérieur du soleil. Quand ils se combinent, ces noyaux perdent moins de 1% de leur masse qui se transforme en une véritable montagne d'énergie, comme le prévoit une des équations physiques les plus connues, et développée par Albert Einstein, $E = mc^2$. Cette formule indique que l'énergie (E) produite dans une réaction nucléaire correspond à la masse (m) perdue, multipliée par la vitesse de la lumière (c) mise au carré, ce qui explique cette valeur si élevée.

Mais il n'est pas facile de reproduire les réactions qui se produisent au cœur des étoiles. Au cœur de ces corps célestes, la pression gravitationnelle et les températures sont si élevées que des noyaux distincts se rapprochent au point de s'unir, surmontant la force de répulsion. Il est possible d'atteindre artificiellement des températures aussi élevées mais la consommation d'énergie est telle qu'elle rend la fusion économiquement inviable d'un point de vue économique. Pour avoir une idée, il faut faire exploser une bombe atomique pour initier la fusion des noyaux dans la bombe H.

LE PROJET

Étude des Noyaux Exotiques à l'Aide de Faisceaux Radioactifs Produits au Laboratoire Pelletron-Linac

MODALITÉ

Projet Thématique et Pronex

COORDINATRICE

ALINKA LÉPINE-SZILY - USP

INVESTISSEMENT

600.723, 48 réaux (FAPESP et CNPq)



PHOTOGRAPHIE: EDUARDO CESAR

mière, contre un ballon de football. Si tout se déroulait comme prévu et que l'hélium 6 facilite la fusion complète, des noyaux d'un élément chimique encore plus grand et plus lourd, appelé plutonium 244 (composés de 94 protons et de 150 neutrons), devraient apparaître. Presque instantanément après la fusion, le plutonium entrerait en fission et se diviserait en deux autres éléments chimiques, émettant des radiations. Simultanément et comme cela s'est vérifié, on assisterait à une émission de particules alpha formées de deux protons et de deux neutrons, identiques au noyau de l'hélium 4, caractéristiques des réactions nucléaires.

L'analyse préliminaire des données recueillies par Riccardo Raabe, premier auteur de l'étude publiée dans la revue *Nature*, a montré que l'hélium 6 avait réellement provoqué un plus grand nombre de fissions que l'hélium 4. Mais il ne s'agissait que d'une partie de la réponse. Il fallait vérifier ce qui s'était passé en début de processus de transformation et ce qui avait déclenché la fission car toute fusion nucléaire est suivie de fission, mais toute fission n'est pas causée par la fusion de noyaux atomiques. Quand le groupe de travail d'Alinka a examiné le chemin parcouru par les particules alpha jusqu'aux détecteurs et leur quantité d'énergie produite jusqu'à ce point, il a constaté qu'elles étaient dues à la perte de deux neutrons d'hélium 6 (ceux qui forment le halo) pour le noyau d'uranium 238 qui ensuite entrait en fission. Une chose était claire, dans la plupart des collisions on assistait à un transfert de neutrons au lieu de fission.

Et que s'est-il passé avec l'hélium 6? Lors du transfert, il s'est peut être rompu et a libéré ses deux neutrons pour l'uranium, continuant à exister comme hélium 4. Alinka a l'intention d'approfondir, au sein de l'USP, l'étude de ces réactions qui concourent avec la fusion. Au début de cette année, un équipement faisant partie du projet Ribras (sigle anglais de faisceaux d'ions radioactifs) et capable de produire des faisceaux de noyaux exotiques est entré en fonctionnement à l'Institut de Physique (voir Pesquisa FAPESP n° 99, mai 2004). "Nous pourrions maintenant réaliser sur place ce qui avant n'était possible qu'à l'étranger." •

Représentation
d'une collision
atomique: il n'y a pas
toujours de fusion