

Bien que cette idée soit séduisante, elle reste hautement spéculative. Avant que les physiciens n'acceptent un concept aussi radical que celui de matière miroir, il faudra une confirmation plus catégorique de la divergence entre les mesures de la durée de vie du neutron par les deux méthodes.

Il nous paraît beaucoup plus probable que l'une des expériences (voire les deux) ait sous-estimé l'un des effets systématiques ou omis d'en prendre en compte un. Une telle possibilité est toujours présente quand on travaille sur des dispositifs expérimentaux très fins et sensibles.

Certes, les expérimentateurs que nous sommes seront plus tranquilles quand nous aurons déterminé l'origine du désaccord entre les deux mesures. Mais surtout, si nous parvenons à mesurer avec précision la durée de vie moyenne du neutron, nous serons en mesure de régler plusieurs questions fondamentales sur l'Univers qui taraudent les physiciens.

Tout d'abord, une évaluation précise de l'échelle temporelle de la désintégration du neutron nous renseignera sur l'interaction faible en général. Cette force est responsable de la plupart des désintégrations radioactives et la désintégration bêta du neutron en est l'une des expressions les plus simples et les plus pures. Pour calculer les détails de processus nucléaires plus complexes faisant intervenir l'interaction faible, il nous faut d'abord comprendre comment elle opère dans la désintégration du neutron.

Pourquoi la durée de vie du neutron importe

Déterminer avec précision le rythme de désintégration des neutrons nous aiderait également à tester la description des débuts de l'Univers qu'en donne la théorie du Big Bang.

Selon cette dernière, quand l'Univers n'était âgé que d'environ une seconde, il était constitué d'un mélange chaud et dense de particules : protons, neutrons, électrons et quelques autres... À cette époque, la température de l'Univers s'élevait à environ 10 milliards de degrés, une température telle que ces particules étaient trop énergétiques pour qu'elles puissent se lier et former des

noyaux ou des atomes. Au bout de trois minutes environ, l'Univers s'est dilaté et refroidi, atteignant une température à laquelle les protons et les neutrons ont pu se lier et former les noyaux atomiques les plus simples : du deutérium, l'isotope lourd de l'hydrogène.

À partir de là, d'autres noyaux simples ont pu se former. Ainsi, en capturant un proton, le deutérium produit un isotope de l'hélium (^3He); en se liant, deux noyaux de deutérium donnent naissance à un isotope plus lourd de l'hélium (^4He); et des noyaux plus lourds se sont formés en petit nombre, jusqu'à l'élément lithium (quant aux éléments plus lourds, on pense qu'ils ont été produits dans les étoiles, un grand nombre de millions d'années plus tard).

Ce processus est connu sous le nom de nucléosynthèse primordiale. Si, pendant que l'Univers se refroidissait, les neutrons s'étaient désintégrés trop vite, il ne serait plus resté aucun neutron quand la température a diminué suffisamment pour que se forment des noyaux atomiques : il ne serait resté que des protons, et nous aurions un cosmos presque entièrement constitué d'hydrogène.

En revanche, si la durée de vie du neutron avait été trop longue par rapport au temps nécessaire pour que l'Univers se refroidisse et que la nucléosynthèse primordiale soit possible, l'hélium aurait été surabondant, ce qui aurait perturbé la formation des éléments plus lourds intervenant dans l'évolution des étoiles et, à terme, dans l'apparition de la vie. Ainsi, l'équilibre entre la vitesse de refroidissement de l'Univers et la durée de vie du neutron était critique pour que se créent les éléments dont sont composés notre planète et tout ce qui y vit.

À partir des données astronomiques, on peut mesurer le rapport entre les abondances cosmiques d'hélium et d'hydrogène, ainsi que les abondances de deutérium et d'autres éléments lourds. Nous aimerions savoir si ces mesures sont en accord avec les valeurs prédites par la théorie du Big Bang. Mais la prédiction théorique dépend de la valeur précise de la durée moyenne de vie du neutron. En l'absence d'une valeur précise et exacte, notre capacité à effectuer des comparaisons est limitée.

La durée de vie du neutron
est l'un des paramètres qui déterminent l'évolution de l'Univers depuis le Big Bang

Quand la durée de vie du neutron sera connue plus précisément, nous pourrons comparer le taux de désintégration observé à partir des données astrophysiques avec la valeur prédite à partir de la théorie. Si elles sont en accord, nous pourrons avoir davantage confiance dans notre scénario standard du Big Bang expliquant la manière dont l'Univers a évolué. Évidemment, si elles sont en désaccord, il faudra sans doute réviser ce modèle. Par exemple, certains désaccords pourraient indiquer l'existence de nouvelles particules, non prévues, qui auraient interféré avec le processus de nucléosynthèse.

Comment résoudre le problème du désaccord des mesures actuelles de la durée de vie du neutron ? L'approche naturelle consiste à effectuer des expériences complémentaires par des méthodes de précision comparable et qui ne soient pas sujettes aux mêmes erreurs systématiques. Outre la poursuite des mesures par la méthode de la bouteille et par celle du faisceau, plusieurs équipes dans le monde cherchent des méthodes alternatives.

Un groupe du J-PARC (*Japan Proton Accelerator Research Complex*, « Complexe

japonais de recherche par accélérateurs de protons »), à Tokai, développe ainsi une expérience sur faisceau qui détectera les électrons, plutôt que les protons, produits lors de la désintégration des neutrons.

Par ailleurs, des équipes de l'ILL, de l'Institut de physique nucléaire de Saint-Petersbourg, en Russie, du Laboratoire américain de Los Alamos, de l'université technique de Munich et de l'université Johannes Gutenberg de Mayence, en Allemagne, projettent d'utiliser des bouteilles où les neutrons ultrafroids seront confinés au moyen de champs magnétiques plutôt que par des parois matérielles (le neutron, bien qu'électriquement neutre, se comporte comme un petit aimant et est donc sensible à un champ magnétique). Le nombre de neutrons accidentellement perdus à travers les parois de ce type de bouteilles devrait être assez différent de celui des expériences précédentes, et les erreurs systématiques associées devraient donc différer aussi.

Espérons que les mesures en cours et la prochaine génération d'expériences résoudront enfin cette énigme, d'ici à quelques années au plus. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Tyler, *The lives and times of neutrons*, 1663 [magazine du Laboratoire américain de Los Alamos], pp. 6-11, juillet 2016 [PDF sur <http://bit.ly/2axNSnS>].

A. T. Yue *et al.*, Improved determination of the neutron lifetime, *Physical Review Letters*, vol. 111(22), article 222501, 2013.

F. E. Wietfeldt et G. L. Greene, *The neutron lifetime*, *Reviews of Modern Physics*, vol. 83(4), article 1173, 2011.

A. Serebrov *et al.*, Measurement of the neutron lifetime using a gravitational trap and a low-temperature Fomblin coating, *Physics Letters B*, vol. 605(1-2), pp. 72-78, 2005.

CONFÉRENCES - DÉBATS

Lundi 3 octobre - 18h : Les grandes expéditions naturalistes du Muséum
Avec *L. Le Gall*, spécialiste de la diversité des algues, Muséum. *O. Pascal*, directeur des programmes pour l'ONG ProNatura. *N. Puillandre*, spécialiste des mollusques, Muséum

Lundi 17 octobre - 18h : L'ours européen : une histoire culturelle
Avec *M. Pastoureau*, historien médiéviste auteur de *L'ours, histoire d'un roi déchu*, Seuil 2007

Cycle Exploration des faunes marines profondes tropicales :
Tropical Deep-Sea Benthos fête ses 40 ans
Lundi 24 octobre - 18h : La magnitude de la biodiversité
Avec *P. Bouchet*, professeur, Muséum

CONCERTS ET PIÈCES SONORES

Samedi 15 octobre - 15h : « Fais attention au sol sur lequel tu marches »
Une proposition du collectif NightOwl autour de la figure de Knud Viktor
Avec *J. Sueur*, bioacousticien, spécialiste des cigales, Muséum

Dimanche 16 octobre - 15h : « Dans les plis du monde (des forces naturelles) »
Création live (ordinateur et synthétiseur, 50 min) de l'artiste Duncan Pinhas

BAR DES SCIENCES

Dimanche 16 octobre - 17h30 :
Des millions de données du patrimoine naturel, à quoi ça sert ?
Animé par *D. Fiévet*, journaliste. Avec *A. Fortier*, sociologue, Institut National de la Recherche Agronomique, *L. Poncet*, directeur adjoint du Service du Patrimoine naturel, Muséum, *I. Witté*, Biostatisticienne au SPN, Muséum

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5°

LES { Partagez les savoirs }
RENDEZ-VOUS DU
MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin
des Plantes

Détails sur mnhn.fr,
rubrique :
"les rendez-vous du Muséum"

POUR LA
SCIENCE

