

PHYSIQUE DES PARTICULES

L'INTERACTION DE DEUX PHOTONS ENFIN DÉTECTÉE

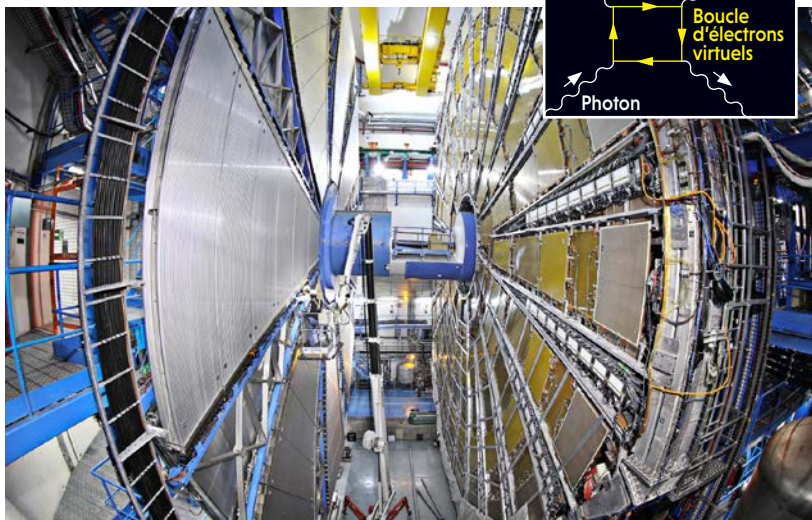
Grâce à des collisions entre des ions de plomb, l'expérience *Atlas*, au Cern, a mis en évidence un phénomène prévu il y a près de 80 ans.

En 1936, deux physiciens théoriciens allemands, Werner Heisenberg et Hans Heinrich Euler, ont prévu l'existence d'un processus rare, la diffusion élastique photon-photon, c'est-à-dire l'interaction d'un photon avec un autre photon. La collaboration *Atlas*, au collisionneur LHC du Cern, l'a enfin mis en évidence.

L'idée de l'interaction de deux photons a de quoi surprendre, car les équations de Maxwell pour l'électromagnétisme ne prévoient pas d'interaction de la lumière avec elle-même. Et en effet, lorsque deux faisceaux lumineux se croisent, ils se traversent et poursuivent leur chemin sans modification. Dès 1934, avec le développement de la physique quantique, Heisenberg et Euler ont procédé à la réécriture de la théorie électromagnétique sous sa forme quantifiée, préfigurant la théorie de l'électrodynamique quantique (nommée QED, le sigle anglais) développée dans les années 1940. Les deux chercheurs ont alors suggéré que, par des effets non linéaires, deux photons pouvaient interagir.

Comment la QED décrit-elle ce processus ? Deux électrons ou positrons (antiparticules des électrons) interagissent par l'échange d'un ou plusieurs photons : c'est la traduction, dans le langage quantique, de l'interaction électromagnétique. De la même façon, deux photons peuvent interagir *via* l'échange d'un électron (ou d'un positron, et plus généralement de toute particule portant une charge électrique). Le point clé ici est que les électrons portent une charge électrique qui doit être conservée. Par conséquent, le premier photon devra renvoyer l'électron reçu du deuxième photon, ce qui produit un aller-retour d'électrons. En QED, on parle alors d'un échange en forme de boîte (ou en boucle) qui comprend des électrons et des positrons. Dans cet effet purement quantique, les particules échangées n'apparaissent que dans un laps de temps très court, correspondant à la durée de l'interaction : on parle de particules virtuelles.

La mise en évidence expérimentale de ce processus est cependant un défi. En effet, la probabilité que deux photons interagissent de la sorte est très faible et requiert un flux important de photons pour espérer qu'une seule



Les détecteurs d'*Atlas* (ouvert ici, lors d'une phase de maintenance) ont permis d'identifier des interactions photon-photon, un processus de très faible probabilité (en médaillon).

10¹² degrés

C'EST LA
TEMPÉRATURE
ATTEINTE PAR LE
PLASMA DE QUARKS
ET DE GLUONS
FORMÉ LORS DE
LA COLLISION D'IONS
DE PLOMB AU LHC.
CET ÉTAT DE LA
MATIÈRE ÉTAIT AUSSI
CELUI DE L'UNIVERS
MOINS D'UNE
MICROSECONDE
APRÈS LE BIG BANG.

diffusion ait lieu. Même les lasers les plus intenses restent insuffisants pour que l'on espère voir un photon interagir avec un autre.

La collaboration *Atlas* a exploité une autre approche pour mettre en évidence la diffusion photon-photon. Le LHC accélère des protons, mais il fonctionne pendant certaines périodes comme un collisionneur d'ions de plomb. L'objectif principal de ces collisions est de former un plasma de quarks et de gluons, un état de la matière qui était celui de l'Univers dans ses premiers instants. Or l'utilisation d'ions de plomb a aussi un intérêt pour le phénomène qui nous intéresse ici.

Les champs électromagnétiques associés aux ions accélérés et en collision sont si intenses qu'ils peuvent quasiment être comparés à des faisceaux de photons. Dans les conditions expérimentales du LHC, la possibilité de faire interagir deux photons est ainsi potentiellement à la portée d'*Atlas*... même si elle reste plus de 100 millions de fois plus faible que la probabilité d'interaction, dite hadronique, entre deux ions de plomb. Après analyse, les physiciens ont isolé 13 événements qui correspondraient à de la diffusion élastique photon-photon. ■

S. B.

Collaboration *Atlas*, *Nature Physics*, en ligne le 14 août 2017

L'HOMME MODERNE À SUMATRA

L'homme anatomiquement moderne aurait quitté l'Afrique il y a quelque 80 000 ans. Mais il n'y avait pas de trace de son passage à cette époque dans les îles indonésiennes. Kira Westaway, de l'université de Sydney, et ses collègues ont daté deux fossiles de dents appartenant à l'homme moderne et retrouvées dans la grotte de Lida Ajer, dans l'ouest de l'île de Sumatra. Par une approche de datation multidisciplinaire, ils ont déterminé que les fossiles datent d'environ 68 000 ans. L'homme moderne est donc bien passé par Sumatra.

MOINS SEXY GRÂCE AU PHTALATE

Le phtalate DEHP, utilisé comme plastifiant, est un polluant connu pour perturber le développement de l'appareil reproducteur de la souris mâle, qu'elle ait été exposée au stade prénatal ou postnatal. Carlos Dombret, de l'institut de biologie Paris Seine, et ses collègues ont montré que des souris mâles adultes exposées à de faibles doses de DEHP émettaient moins de vocalisations ultrasonores. Ces mâles étaient alors moins attractifs pour les femelles sexuellement réceptives. Les chercheurs ont ensuite identifié un récepteur hormonal dont l'expression est réduite chez ces rongeurs mâles.

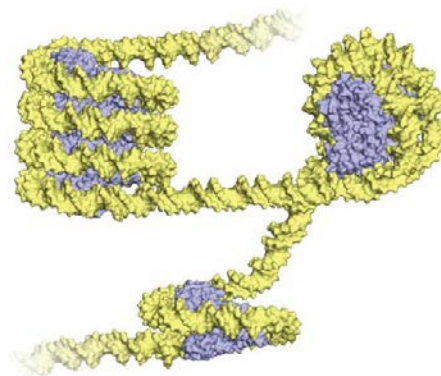
UNE NOUVELLE CAMÉRA ULTRARAPIDE

Le 1^{er} septembre dernier, onze pays d'Europe ont inauguré à Hambourg le plus puissant laser à rayons X à électrons libres (XFEL). Avec des impulsions de quelques centaines de femtosecondes (soit 10^{-15} seconde) pour des longueurs d'onde de 0,05 à 4,7 nanomètres, qui permettent une résolution atomique, le dispositif sera capable de filmer des molécules en mouvement, des virus, des réactions chimiques...

À L'ORIGINE DE L'ADN REPLIÉ

Les archées, des organismes unicellulaires, forment un domaine du vivant distinct de ceux des bactéries et des eucaryotes (organismes dont les cellules sont pourvues d'un noyau). Pourtant, leur stratégie de compaction de l'ADN est assez proche de celle des eucaryotes. En effet, leur molécule d'ADN s'enroule autour de protéines, tout comme celle des eucaryotes autour des histones. L'équipe de Karolin Luger, de l'institut de médecine Howard-Hughes, aux États-Unis, a comparé les mécanismes de compaction de l'ADN chez les eucaryotes et les archées et examiné leur lien évolutif.

Chez les eucaryotes, un segment d'ADN de 147 paires de bases s'enroule autour d'un octamère constitué de quatre dimères d'histones issues de quatre classes différentes, l'ensemble formant un nucléosome. Karolin Luger et ses collègues ont observé chez *Methanothermobacter fervidus*, une archée thermophile, une structure qui ressemble au nucléosome : l'ADN s'enroule autour d'une structure protéique composée de trois dimères identiques d'histones archéennes. Toutefois, et contrairement à l'octamère des eucaryotes, cette structure peut polymériser et former un long assemblage autour duquel l'ADN de l'archée s'enroule plusieurs fois en une « superhélice ».



Contrairement à celui des eucaryotes, l'ADN (en jaune) des archées peut s'enrouler plus ou moins autour de ses histones (en bleu).

Les chercheurs ont montré que la plupart des fonctions des nucléosomes eucaryotes sont aussi présentes chez les archées. Ils suggèrent ainsi que le mode d'enroulement de l'ADN chez les archées serait un vestige d'un prototype archaïque des nucléosomes. Mais pourquoi l'évolution aurait-elle sélectionné la structure rigide et complexe des nucléosomes chez les eucaryotes ? Les chercheurs pensent que, du fait de l'augmentation de la taille du génome, il était peut-être devenu avantageux de limiter les nucléosomes à une structure moins flexible, mais permettant d'accéder facilement aux divers endroits de la molécule d'ADN. ■

S. B.

F. Mattioli et al., *Science*, vol. 357, n° 6351, pp. 609-612, 2017

LA JEUNESSE DU DODO

Disparu au XVII^e siècle, ce pigeon géant endémique de l'île Maurice a laissé pour toutes traces quelques ossements, une tête, une patte et des témoignages plus ou moins concordants de marins. En étudiant la microstructure d'os de 22 dodos, dont un provenant d'un oisillon, Delphine Angst, de l'université du Cap, en Afrique du Sud, et ses collègues ont trouvé plusieurs informations sur la biologie du dodo. La structure de l'os renseigne sur sa vitesse de formation. Résultat : le dodo grandissait probablement très vite, atteignant quasiment sa taille adulte en quelques mois. Par ailleurs, des cavités observées dans certains os, signes que du calcium a été mobilisé en quantité, suggèrent que le dodo renouvelait ses plumes. Le scénario envisagé est le suivant : la période de reproduction et l'ovulation des femelles débutaient en août. Les



Le dodo juvénile, ici sur une reconstitution, atteignait quasiment sa taille adulte en quelques mois.

oisillons sortaient de leur œuf en septembre, puis atteignaient vite une taille suffisante pour résister aux cyclones de l'été austral (de novembre à mars). Leur mue commençait à la fin de l'été, en mars, s'achevant ainsi à temps pour la période de reproduction suivante. ■

MARIE-NEIGE CORDONNIER

D. Angst et al., *Scientific Reports*, vol. 7, 7993, 24 août 2017