

comprendre comment l'Univers a évolué. En outre, en orchestrant précisément la destruction de protons et de neutrons en plasma, les chercheurs peuvent étudier à rebours le confinement, en espérant y découvrir les secrets de l'assemblage des quarks et des gluons.

Un avenir qui s'annonce riche en résultats

En plus des projets que nous avons cités, d'autres sont déjà à l'étude. Pour cartographier avec encore plus de précision la configuration des quarks et des gluons au sein des hadrons, il faudrait augmenter l'énergie des collisions. Ainsi, au lieu d'accélérer des électrons et les projeter contre des noyaux immobiles, les deux types de particules seraient accélérés à des vitesses proches de celle de la lumière avant de subir une collision frontale. Des projets sont à l'étude au JLab et à Brookhaven pour atteindre une résolution de l'ordre d'un millièème du rayon du proton.

■ BIBLIOGRAPHIE

Collaboration LHCb, **Observation of J/ψ p resonances consistent with pentaquark states in $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi K^- p$ decays**, soumis à *Phys. Rev. Lett.*, 2015.

M. Riordan et W. A. Zajc, **Les premières microsecondes de l'Univers**, *Dossier Pour la Science*, n° 62, janvier-mars 2009.

H. D. Politzer, **Reliable perturbative results from strong interactions ?**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 30(26), pp. 1346-1349, 1973.

D. J. Gross et F. Wilczek, **Ultraviolet behavior of non-abelian gauge theories**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 30(26), pp. 1343-1346, 1973.

Un projet tel que le collisionneur électron-ion EIC (*Electron-Ion Collider*) atteindrait des intensités de faisceaux inégales. Avec une plus grande densité de particules dans les faisceaux, les collisions de diffusion profondément inélastique seraient plus fréquentes que dans les expériences précédentes. Les chercheurs produiront alors de nombreux clichés révélant les entrailles des protons et des neutrons.

Durant les quatre décennies qui ont suivi la formulation de la chromodynamique quantique, les physiciens ont réalisé de nombreuses avancées pour expliquer pourquoi l'interaction forte se comporte comme elle le fait. Mais il manque encore quelques pièces pour créer un tableau simple et cohérent de la façon dont les gluons collent. Les dispositifs en cours de développement aujourd'hui nous donnent l'espoir que, d'ici une quarantaine d'autres années, nous aurons enfin percé le mystère de la constitution de la matière à son niveau le plus fondamental. ■

LES {Partagez les savoirs}

RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

COURS PUBLICS

Cycle : « Préhistoire, préhistoriens, Préhistoriques : Naissance, pratiques et imaginaire de la Préhistoire au XIX^e siècle »

Jeudi 24 septembre - 18h : Préhistoire. La possibilité d'une Préhistoire. **Arnaud Hurel**, historien des sciences, ingénieur de recherche au Département de Préhistoire du Muséum, Membre associé du Centre Koyré en Histoire des sciences et des techniques.

Grand Amphithéâtre du Muséum 57 rue Cuvier, Paris 5^e

Entrée gratuite

PROGRAMMATION AUDIOVISUELLE

Samedi 26 septembre - 15h30 : *La nuit des éléphants*
Réalisation : **Thierry Machado** (2014, 86')
En présence des producteurs **Jacques Perrin** et **Barthélémy Fougea**

Au Jardin des Plantes

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

MÉTIER DU MUSEUM

Dimanche 27 septembre - 15h : Primatologue, spécialiste des gorilles, **Shelly Masi**

SCIENCE

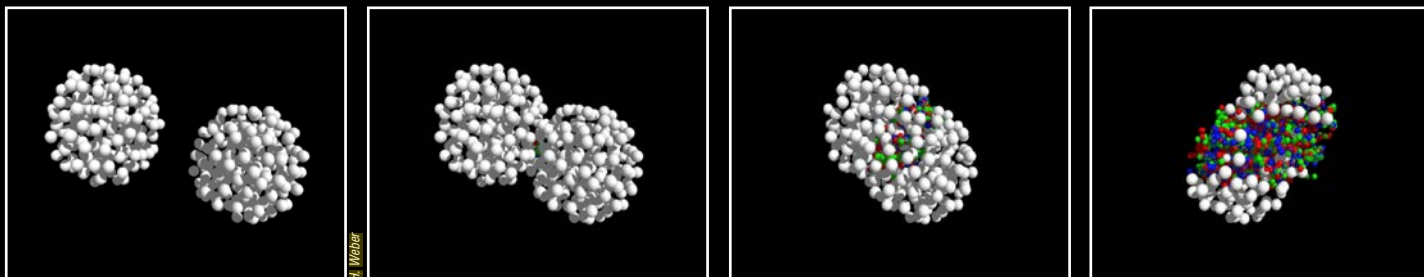
POUR LA

UN CHERCHEUR / UN LIVRE

Lundi 28 septembre - 18h : *Une ethnologue au Jardin des Plantes, dix petits terrains*, Éditions Petit Génie / MNHN, 2015, 368p.
Avec **Bernadette Lizet**, ethnologue, Muséum

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





« Le plasma quarks-gluons se comporte comme un fluide parfait »

Entretien avec François Gelis



François GELIS est physicien à l'Institut de physique théorique du CEA-Saclay.

Au moyen de collisions à haute énergie entre noyaux atomiques, les physiciens créent un « plasma quarks-gluons ». Ils étudient les propriétés de cet état de la matière qui s'est aussi formé dans les premiers instants de l'Univers.

POUR LA SCIENCE

Qu'est-ce qu'un plasma de quarks et de gluons ?

FRANÇOIS GELIS : Il s'agit d'un état de la matière composé de quarks et de gluons où ces particules sont quasi libres et ne sont plus confinées dans des états liés de deux ou trois quarks, les hadrons. Ce plasma se forme dans des conditions extrêmes qui étaient celles de l'Univers quelques microsecondes après sa naissance : une température de l'ordre de 2 000 milliards de degrés et une densité six fois supérieure à celle d'un noyau atomique. L'Univers s'est ensuite refroidi. Du fait du phénomène de confinement de l'interaction forte, les quarks et les gluons ont formé des hadrons, tels les protons et les neutrons. Sur le plan cosmologique, le

plasma de quarks et de gluons primordial n'a pas laissé de traces observables.

PLS

Dès lors, comment peut-on étudier cet état de la matière ?

F.G. : Nous sommes capables de créer les conditions appropriées dans un accélérateur de particules en procédant à des collisions de noyaux atomiques lourds, tel le plomb. La collision de protons, par exemple, ne donnerait pas une densité suffisante pour former un plasma quarks-gluons. Les premières expériences datent des années 1970, mais le premier plasma a été observé au Cern en 2000. En 2004, les physiciens du collisionneur RHIC, aux États-Unis, ont montré que le plasma de quarks et de gluons se

comporte comme un fluide parfait, c'est-à-dire qu'il s'écoule sans résistance.

Le LHC, au Cern, est l'accélérateur le plus puissant actuellement. Il procède principalement à des collisions de protons (ce qui a permis la découverte du boson de Higgs en 2012), mais une partie de son programme est consacrée à des collisions proton-noyau et noyau-noyau. Avec une expérience dédiée à l'étude de ces plasmas, ALICE, mais aussi avec les expériences CMS et ATLAS, les physiciens du LHC ont confirmé les résultats de RHIC et ont obtenu des mesures quantitatives montrant qu'il est possible de décrire l'expansion du plasma de quarks et de gluons au moyen de modèles hydrodynamiques.

PLS

En quoi le plasma quarks-gluons a-t-il des propriétés comparables à celles d'un fluide ?

F.G. : Par exemple, il est caractérisé par une viscosité, et l'une des grandes découvertes dans ce domaine a été sa mesure. Quand deux noyaux entrent en collision (*voir les premières images ci-dessus*), une goutte de plasma (*les particules en couleur dans les images*) se forme puis se dilate dans le vide environnant. On mesure sa viscosité par des moyens