

mouvement (le produit de la masse par la vitesse) que ce messenger transfère détermine sur quelle distance l'interaction forte peut être étudiée. Plus la quantité de mouvement transférée est importante, plus la résolution spatiale du super microscope électronique est bonne. Dans la pratique, les énergies des faisceaux d'électrons et de protons sont choisies pour que le transfert de quantité de mouvement soit maximal. Grâce à celui atteint à HERA, la résolution sur les distances atteint 5×10^{-19} mètre. Ainsi, HERA permet l'exploration de distances cinq fois plus petites que la portée de l'interaction faible.

Pour chaque collision, la quantité de mouvement des particules intermédiaires se déduit de la mesure de l'énergie et de la déviation de la trajectoire de l'électron diffusé. Les détecteurs installés sur HERA permettront l'évaluation de l'intensité de l'interaction forte en fonction de la distance.

De la mesure des énergies et de la déviation des électrons diffusés, les physiciens savent aussi déduire quelle était la fraction de la quantité de mouvement du proton véhiculée par le quark avec lequel l'électron incident a interagi. Grâce aux énergies qu'atteignent les faisceaux de particules produits par HERA, on peut déceler avec une résolution de l'ordre de 5×10^{-16} mètre des quarks dont la quantité de mouvement n'excède pas 10^{-5} . Auparavant, seuls les quarks dont la quantité de mouvement était supérieure à 10^{-3} pouvaient être décelés. HERA donne aujourd'hui accès à un tout nouveau domaine de la physique.

La quête de la force originelle

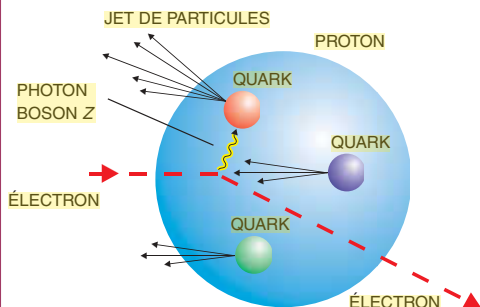
Qu'ont découvert les physiciens? Ils sont parvenus à mesurer l'intensité des interactions électromagnétiques et faibles au sein du proton en fonction de la distance. Ils ont établi que ces

deux interactions ont la même intensité quand les distances mises en jeu sont inférieures à la portée de l'interaction faible, et que la disparité aux distances supérieures résulte de la différence de masse entre les particules intermédiaires de ces deux interactions. Ainsi, les interactions faibles et électromagnétiques sont deux manifestations différentes d'une même force unique. Cette vérification expérimentale de la pertinence de l'idée d'unification est un résultat important.

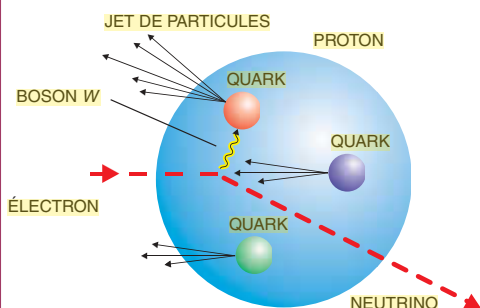
Comment pourrait-on progresser encore vers cette théorie unificatrice? Quand on extrapole les intensités mesurées pour les interactions fortes et électrofaibles vers les courtes distances, elles se rejoignent vers 10^{-29} mètre. Évidemment, on ne parviendra jamais à atteindre expérimentalement de telles distances : l'accélérateur qu'il faudrait construire serait plus grand que... la Voie lactée.

C'est pourquoi, seuls les théoriciens pourront établir la théorie de l'unifi-

L'unification des interactions faible et électromagnétique



Au cours des réactions à courants neutres, l'électron et le quark échangent des particules intermédiaires neutres : le photon, ou le boson Z^0 .



Au cours des réactions à courants chargés, l'électron et le quark échangent des particules intermédiaires chargées, les bosons W^+ et W^- .

Les expériences menées à HERA confirment que les interactions faible et électromagnétique sont deux facettes d'une même force, la force électrofaible. À HERA, les expérimentateurs mesurent deux types de collision : la collision à courants neutres et la collision à courants chargés.

Collisions à courants neutres :

Dans cette collision, un électron heurte un proton ; un électron est diffusé ainsi que d'autres particules. L'électron et les quarks du proton interagissent et les particules intermédiaires neutres mises en jeu sont soit un photon (lors de l'interaction électromagnétique) soit un boson Z^0 (lors de l'interaction faible). La fréquence avec laquelle les collisions à courants neutres se produisent reflète l'intensité des interactions électromagnétique et faible.

Collisions à courants chargés :

Dans cette collision, un électron heurte un proton ; un neutrino est diffusé ainsi que d'autres particules. Les particules intermédiaires mises en jeu sont les deux particules intermédiaires chargées de l'interaction faible, les bosons W^+ et W^- . La fréquence avec laquelle la collision à courants chargés reflète l'intensité des interactions électromagnétique et faible.

Dans chacune de ces collisions, un quark est «arraché», ce qui se traduit par la production d'un jet de particules. Les deux autres quarks continuent sur leur lancée et produisent eux aussi des jets de particules, qui ne laissent pas de traces dans le détecteur. Quand l'électron incident émet un photon ou un boson Z^0 , il est diffusé et peut-être mesuré dans le détecteur. En revanche, s'il émet un boson W chargé, l'électron se mue en un neutrino indétectable. Ce dernier traverse toute l'installation sans être perçu.

Les fréquences avec lesquelles ces deux réactions se produisent dépendent du transfert de la quantité de mouvement. Pour les faibles valeurs du transfert, lorsque la distance qui sépare l'électron du quark lors de la collision est grande, l'apparition de courants neutres est probable (l'interaction électromagnétique domine). Quand les transferts de quantité de mouvement sont grands, et que la distance entre l'électron et le quark est petite – inférieure à la portée de l'interaction faible –, les collisions à courants neutres sont aussi fréquentes que celles à courants chargés. L'interaction électromagnétique et l'interaction faible ont alors la même intensité : elles se fondent en une même interaction, l'interaction électrofaible.