

De quoi s'agit-il ? En mécanique quantique, l'électron est décrit par une fonction d'onde, une fonction de la position et du temps que l'on peut représenter par un nuage dont la taille correspond à celle de l'atome. La fonction d'onde (plus exactement, le carré de son module) détermine la probabilité de trouver l'électron en un endroit donné, et elle ne peut prendre qu'un certain nombre de formes, qu'on appelle les états atomiques.

Certains des états atomiques, étiquetés «S» pour des raisons historiques, ont une fonction d'onde qui atteint son maximum au centre de l'atome, là où se trouve le noyau atomique. En d'autres termes, il existe une probabilité non nulle de trouver l'électron à l'intérieur du proton lui-même, probabilité qui croît avec le rayon du proton (il s'agit plus précisément du «rayon de charge», le rayon qui mesure la répartition volumique de la charge électrique du proton). Or quand l'électron se trouve à l'intérieur du proton, il est moins soumis à l'influence de la charge électrique de cette particule. La présence partielle de l'électron au centre de l'atome diminue ainsi la force globale de liaison entre le proton et l'électron.

Cette réduction de la force de liaison modifie de 0,02 pour cent le déplacement de Lamb de l'état de plus basse énergie, l'état noté 1S. Cette fraction peut sembler insignifiante. Mais l'écart d'énergie entre l'état fondamental 1S et le premier état excité, l'état 2S, a été mesuré avec une incroyable précision de quelques unités

sur 10^{15} . Par conséquent, même s'il est minuscule, l'effet de la taille du proton doit être inclus si l'on veut confronter l'électrodynamique quantique à des mesures expérimentales précises.

L'équipe de R. Pohl tentait depuis huit ans de déterminer la taille précise du proton. Mais à l'époque de cette première conférence sur l'île de San Servolo, son expérience ne semblait pas fonctionner, ce qui laissait tout le monde perplexe.

Entre-temps, J. Bernauer et ses collègues étaient sur le point d'entamer une étude complémentaire du rayon du proton. Il ne s'agissait pas ici de s'appuyer sur les niveaux d'énergie de l'hydrogène. L'expérience consistait plutôt à envoyer des électrons sur une cible d'hydrogène et à étudier leur diffusion pour en déduire la taille du proton (voir l'encadré page 32).

Des électrons diffusés

L'hydrogène gazeux constitue, pour l'essentiel, un essaim de protons. Si l'on dirige sur lui un faisceau d'électrons, particules de charge négative, certains des électrons seront diffusés par des protons, c'est-à-dire déviés de la direction initiale du faisceau. De plus, cette diffusion dépend fortement de la structure interne du proton, particule qui est formée de composants plus élémentaires (trois quarks, liés entre eux par une force véhiculée par des gluons).

Examinons de plus près comment un électron et un proton interagissent

quand le premier est diffusé par le second. Lorsque l'électron est diffusé, il transmet une partie de sa quantité de mouvement au proton. En électrodynamique quantique, cette interaction se décrit en première approximation par l'échange d'un photon virtuel entre l'électron et le proton. Si l'électron n'est dévié que légèrement, il ne transfère qu'une petite partie de sa quantité de mouvement. S'il est dévié de près de 180 degrés, on peut imaginer que l'électron a heurté le proton de plein fouet, transférant ainsi une bonne fraction de sa quantité de mouvement.

Le transfert d'une quantité de mouvement plus élevée signifie que le photon virtuel échangé a une longueur d'onde plus courte. Or, comme avec un microscope optique, si l'on veut sonder les structures les plus petites, on doit utiliser les longueurs d'onde les plus courtes possibles (ce qui nécessite des électrons incidents d'énergie maximale). Les travaux de J. Bernauer et de ses collègues consistaient en partie à faire appel aux très courtes longueurs d'onde afin d'étudier la répartition des charges électriques (celles portées par les quarks) au sein du proton.

Toutefois, quand J. Bernauer s'est rendu à la conférence de San Servolo, les autres scientifiques présents lui ont suggéré d'étendre son expérience. Les courtes longueurs d'onde conviennent bien pour sonder la structure interne du proton, mais si l'on veut examiner le proton dans sa globalité, on doit faire appel à de grandes longueurs d'onde. En fait, si l'on veut mesurer l'étendue

DES MESURES AUX RÉSULTATS INCOMPATIBLES

La taille du proton devrait être la même, quelle que soit la façon de la mesurer. Plusieurs équipes ont déduit le rayon du proton à partir d'expériences de diffusion [voir l'encadré page 32] ou en mesurant certains niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène dans des expériences de spectroscopie. Les résultats étaient tous cohérents, compte tenu des

marges d'erreur expérimentales. Cependant, en 2010, à l'Institut Paul Scherrer, en Suisse, une mesure des niveaux d'énergie de l'hydrogène dit muonique [voir l'encadré page 34] a livré une valeur du rayon du proton notablement inférieure. Les tentatives d'explication de cette anomalie ont jusqu'à présent toutes échoué.

