

la constante «de structure fine» fit l'objet de nombreuses attentions. C'est un nombre sans dimension formé à partir du rapport entre le carré de la charge de l'électron et le produit de la constante de Planck, de la vitesse de la lumière et d'une constante dimensionnée, nommée permittivité du vide. Sa valeur numérique expérimentale est $1/137,0359895$. La constante de structure fine, aussi nommée constante de couplage électromagnétique, caractérise l'amplitude des phénomènes électromagnétiques.

De ce fait, elle intervient dans de nombreux phénomènes physiques, tels les niveaux d'énergie des électrons dans un atome. Afin de détecter une éventuelle variation de la constante de structure fine, il nous faut étudier un système physique où ces phénomènes ont lieu et qui a, d'une façon ou d'une autre, «enregistré» au cours

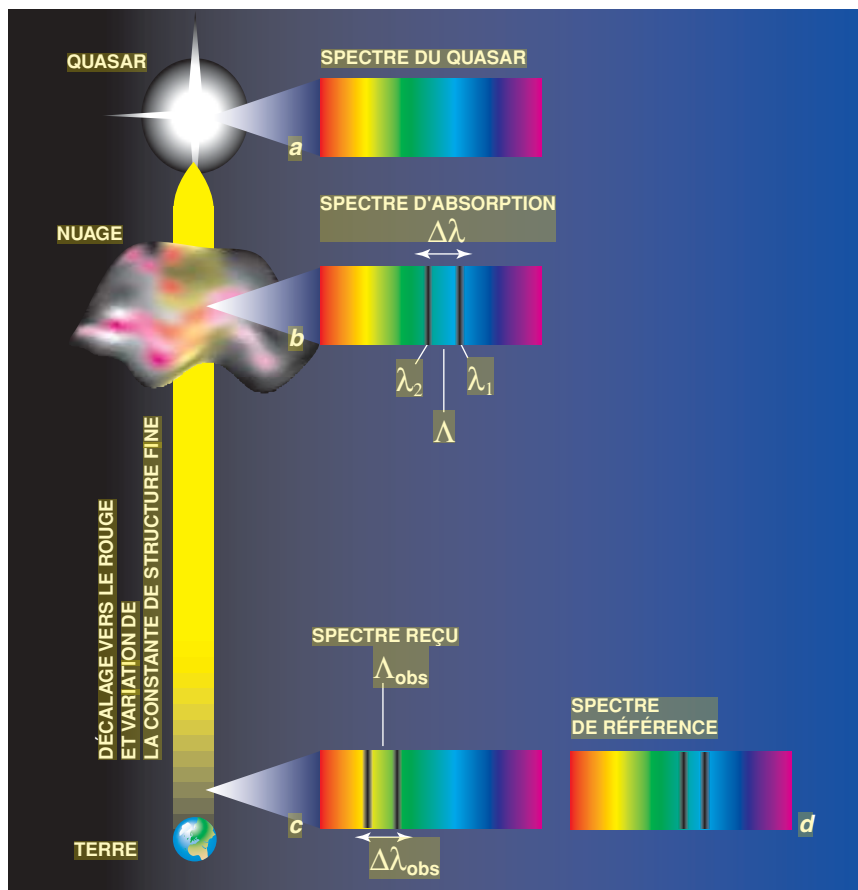
de son évolution la valeur passée de cette constante.

Certains physiciens ont étudié les données géochimiques. Ainsi, en 1972, le Commissariat à l'énergie atomique a découvert un site exceptionnel dans la mine d'Oklo, au Gabon. Il s'agit d'un réacteur nucléaire préhistorique qui a fonctionné de façon naturelle pendant environ 200 000 ans, il y a deux milliards d'années. Aujourd'hui, l'uranium naturel ne contient que 0,72 pour cent d'uranium 235 (l'isotope le plus instable) contre 99,28 pour cent d'uranium 238. De ce fait, il ne saurait entretenir de réactions en chaînes. Toutefois, la durée de vie de l'uranium 235 étant plus courte que celle de l'uranium 238, il y a deux milliards d'années, le minerai naturel contenait 3,68 pour cent d'uranium 235, ce qui est supérieur au taux critique de 3 pour cent nécessaire au fonctionnement d'un réacteur. La mesure des

concentrations relatives des divers nucléides produits lorsque le site d'Oklo était actif permet de reconstruire les conditions de fonctionnement de ce réacteur naturel. Ainsi, le rapport isotopique entre le samarium 149 et le samarium 147 est 45 fois plus faible que dans les conditions normales. Cette anomalie est due au fait que le samarium 149 a été détruit en absorbant les neutrons lents auxquels il était exposé pendant que le réacteur était actif. À partir de la mesure des abondances des divers isotopes du samarium, de l'uranium, de l'indium et du gadolinium, on établit la valeur de la probabilité de capture d'un neutron par un noyau de samarium 149. À l'aide d'un modèle du noyau de samarium, on peut relier cette probabilité de capture à la valeur de la constante de structure fine. Ayant établi les limites au-delà de laquelle la probabilité de capture d'un neutron par un noyau de samarium 149 n'a pas pu varier, on peut estimer les limites correspondantes pour les variations possibles de la constante de structure fine. La reconstruction de ce puzzle complexe a montré qu'elle n'a pas varié de plus de 10^{-5} pour cent lors des deux derniers milliards d'années, soit un taux de variation inférieur à 10^{-14} par an (en supposant que cette variation est linéaire). Ceci semble établir que la constante de structure fine n'évolue pas. Toutefois, ces résultats dépendent de notre compréhension des mécanismes à l'œuvre dans les noyaux atomiques.

Le spectre des atomes

On évite cette difficulté, lorsque l'on étudie le spectre des atomes dont les caractéristiques dépendent surtout des lois bien connues de l'électromagnétisme. Lorsque l'on introduit les corrections imposées par la relativité restreinte au comportement des électrons autour du noyau, on prend en compte des effets électromagnétiques qui modifient très légèrement les valeurs des niveaux d'énergie. Il existe, tout d'abord, un couplage entre le spin de l'électron et son moment orbital. En physique classique, ce couplage serait décrit ainsi : dans le référentiel de l'électron en tournant autour du noyau, le proton en mouvement engendre un champ magnétique. Or l'électron, particule chargée tournant sur elle-même, se comporte comme une petite aiguille aimantée qui interagit avec ce champ magnétique ambiant. Suivant son orientation, l'énergie de



3. LA LUMIÈRE D'UN QUASAR (a) passe parfois à travers des nuages de gaz intergalactiques avant de nous parvenir. Dans ces nuages, les atomes absorbent certaines longueurs d'onde correspondant à leurs niveaux d'énergie. On a représenté ici le cas d'une raie de longueur d'onde Λ , dotée d'une structure fine dont les deux composantes sont λ_1 et λ_2 (b). Le spectre reçu sur Terre (c) est différent du spectre produit en laboratoire par un atome semblable (d) pour deux raisons : le décalage vers le rouge dû à l'expansion de l'Univers a dilaté la longueur d'onde moyenne Λ (qui passe du bleu au jaune) et une variation de la constante de structure fine a modifié l'écart entre les deux composantes λ_1 et λ_2 . Un tel spectre nous apprendrait que la valeur de la constante de structure à l'époque où la lumière a traversé le nuage est différente de celle qu'elle affiche aujourd'hui.