

lision. Il en est ainsi dans tous les chocs qui mettent en jeu des quarks. Manifestement, les forces de liaison entre quarks sont telles qu'ils sont inséparables! Quelle est la nature de forces capables d'un tel prodige?

Les physiciens des particules ne parlent pas de forces, mais plutôt d'interactions. Pour unir les concepts de la physique quantique et ceux de la relativité, ils ont dû créer une nouvelle théorie quantique : la théorie des champs. Dans ce cadre, toutes les forces qui existent dans la nature sont décrites par des échanges de particules dites médiatrices. L'existence d'une force entre quarks découle de l'échange permanent de particules médiatrices. L'importance de cette force résulte de l'intensité de l'interaction entre la particule intermédiaire et la particule massive ou chargée avec laquelle elle interagit. La première des théories des champs fut l'électrodynamique quantique, qui décrit les phénomènes électromagnétiques. Les forces qui résultent de l'interaction électromagnétique correspondent à des échanges de photons. Les forces nucléaires qui lient les protons aux neutrons du noyau, correspondent à l'échange de particules médiatrices entre quarks : les gluons (ainsi nommés parce qu'ils collent fortement les quarks les uns aux autres). Il en est de même pour les interactions faibles (bosons W et Z) et la gravitation (gravitons).

Or dans le cadre de la théorie des champs, les interactions entre particules médiatrices et particules de matière ont une particularité : elles sont «locales», c'est-à-dire qu'elles restent confinées

dans un volume infiniment petit (un point!). Ainsi, puisque la théorie des champs est fondée sur la notion d'interactions locales, l'infiniment petit y est omniprésent. L'électrodynamique quantique est devenue la plus précise des théories jamais élaborées. Elle décrit les interactions électromagnétiques avec une précision extrême. Avant d'arriver à ce succès sans précédent, les physiciens ont dû parcourir un long chemin.

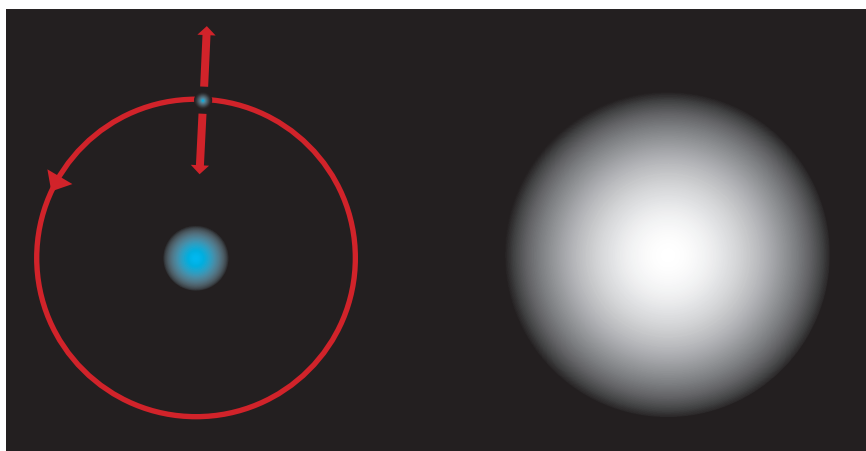
L'antiparticule de l'électron

Le succès de l'électrodynamique quantique n'aurait pas été possible si l'on n'avait introduit (et découvert) une particule supplémentaire : l'antiparticule de l'électron ou positon. Les positons ont la même masse que l'électron et une charge opposée. Ils n'existent pas dans la nature, mais sont faciles à obtenir au sein des accélérateurs lors de collisions de particules. Ainsi, la collision de deux photons produit une paire électron-positon, quand l'énergie mise en jeu est assez grande. Le fait que cette collision entre particules sans masse (photons) produise des particules massives est une illustration de plus de l'équivalence entre l'énergie et la masse découverte par Albert Einstein au début du XX^e siècle. Comme en chimie, les réactions entre particules peuvent se produire dans les deux sens. Ainsi, lorsqu'un positon et un électron se rencontrent, ils s'annihilent en produisant deux photons.

L'électrodynamique quantique suppose que tous les électrons, positons et autres photons n'ont aucune structure

interne. Dans cette théorie, un électron, par exemple, est une particule ponctuelle, massive et chargée électriquement capable de participer aux interactions électromagnétiques. L'électron réel, c'est-à-dire celui qui est observable dans les expériences, diffère toutefois de cet «électron théorique», car un nuage de «particules virtuelles» l'entoure. Conséquence de la relation d'incertitude de Heisenberg, le «vide quantique» (celui que décrivent les théories quantiques) n'est pas vraiment... vide. L'énergie peut y fluctuer, ce qui rend possible la création erratique de particules, ou plus exactement de paires particule-antiparticule. Qualifiées de virtuelles par les physiciens parce qu'elles ne peuvent pas être observées dans les accélérateurs, ces paires (par exemple électron-positon) ont une «durée de vie» très brève et n'existent que dans une zone réduite. Sans influence sur les événements macroscopiques, elles altèrent toutefois l'environnement des électrons : supposons que nous amenions un électron réel en un point donné de l'espace. Chargé négativement, il repousse tous les électrons virtuels présents dans son environnement et attire les positons virtuels. Il finit par s'annihiler avec l'un d'eux. Resté seul, l'électron virtuel initialement apparié au positon (virtuel) tout juste annihilé devient réel et prend la place de l'électron d'origine (voir la figure 5). Pour un observateur extérieur (supposé suffisamment petit pour examiner une particule ponctuelle!), la trajectoire de l'électron prend une apparence étrange. Il semble disparaître sans cesse pour réapparaître instantanément ailleurs (en fait, c'est l'électron virtuel devenu réel qui réapparaît). La trajectoire de l'électron semble floue à l'observateur : un nouvel exemple concret d'incertitude sur la position au sens de Heisenberg.

Les physiciens nomment polarisation du vide cette création permanente de paires électrons-positons. Le fait que les positons virtuels prédominent au voisinage de l'électron crée une sorte de nuage de charges positives autour de la charge négative de l'électron. Ainsi cette dernière est quelque peu masquée par le nuage de particules virtuelles qui l'entoure, ce qui l'affaiblit. On ne peut observer des électrons ponctuels, et l'on dit qu'ils sont «habillés» d'un nuage de particules positives. Les physiciens ont mesuré que la polarisation du vide commence à se manifester autour d'un électron à une distance de l'ordre du dixième de la taille d'un atome. Les électrons



4. L'ATOME D'HYDROGÈNE ne comporte qu'un seul électron. Celui-ci est attiré vers le noyau par l'attraction électrostatique et repoussé vers l'extérieur par la force centrifuge due à sa rotation autour du noyau. L'équilibre entre ces deux forces le maintient sur son orbite. Toutefois, cet «équilibre» s'entend au sens quantique. L'électron ne se manifeste pas sous la forme d'une petite masse ponctuelle en rotation sur son orbite, mais sous celle d'une présence probable au sein d'une zone appelée orbitale. L'orbitale de l'unique électron de l'hydrogène est représentée à droite. Sa taille détermine celle de l'atome.