Sur la découverte et les propriétés de l'électron positif

par A. GLODEN.

Les lois de l'électrolyse, découvertes par Faraday, établissent un lien intime entre la structure atomique de la matière et celle de l'électricité. Elles ont amené Helmholtz à considérer l'électricité tout comme la matière, comme étant constituée par des grains tous identiques entre eux et différant seulement par le signe de leur charge. Un grand nombre de faits expérimentaux ont établi la justesse de cette conception. Les grains, les atomes d'électricité ont reçu par Johnstone Stoney le nom d'électrons. Et cette idée de la structure discontinue des charges électriques domine la Physique moderne.

Des centres électrisés, distincts l'un de l'autre, se forment par exemple dans l'ionisation des gaz provoquée dans un grand nombre de circonstances telles que l'influence des rayons X ou des rayons alpha. Il se forme alors dans le gaz des centres électrisés constitués par des atomes ou des groupes d'atomes, portant la charge d'un électron respectivement un nombre entier de fois cette charge.

Ces centres matériels sont électrisés les uns positivement, les autres négativement. Dans d'autres phénomènes, comme la production des rayons cathodiques, l'émission du rayonnement bêta par des substances radioactives, le phénomène thermo-ionique, l'effet photoélectrique, les électrons négatifs apparaissent sans aucun support matériel. Mais jusqu'en 1932 on ne connaissait aucune expérience dans laquelle des électrons positifs existaient d'une manière indépendante de la matière. Par exemple, les rayons-canaux sont constitués par des charges élémentaires positives mais associées à des grains matériels; il en est de même des rayons alpha émis par des substances radioactives.

Cette dissymétrie entre l'électricité positive et l'électricité négative suscitait beaucoup de difficultés théoriques. Le théoricien anglais Dirac, pour lever ces difficultés, a admis, dans une hypothèse hardie, l'existence d'un corpuscule de même masse que l'électron négatif, mais ayant une charge élémentaire positive. Il convient de signaler qu'avant Dirac P. Langevin par exemple admettait déjà l'existence d'électrons positifs pour expliquer certaines faits relatifs à la conductibilité des métaux.

Les vues de Dirac ont reçu bientôt leur confirmation expérimentale par la découverte faite par l'Américain An-

derson en septembre 1932 au cours d'expériences de désintégration de noyaux atomiques par des rayons cosmiques. Pour bien comprendre ceci, il faut connaître dans leurs grandes lignes les idées admises jusque dans les dernières années sur la constitution des atomes matériels. On admettait généralement l'existence de deux constituants insécables: l'électron et le proton. L'électron désigne ici la plus petite charge d'électricité négative qui existe, le proton est l'atome d'hydrogène privé de son unique électron et qui manifeste ainsi une charge élémentaire positive. Tous les atomes, du plus simple au plus complexe, sont considérés comme formés d'électrons et de protons en nombre égal, l'atome à l'état normal étant électriquement neutre. Mais tous les électrons ne jouent pas le même rôle; certains ne sont pas liés si intimement à l'édifice atomique, ce sont les électrons périphériques; d'autres sont sous une dépendance étroite de l'ensemble des protons et forment avec ceux-ci la partie centrale de l'atome appelée le noyau. Par exemple, l'atome d'hélium, le plus simple après l'atome d'hydrogène, se compose de 4 protons et de 4 électrons; il y a deux électrons périphériques, les deux autres forment avec les 4 protons le noyau d'hélium. Certains des électrons périphériques quittent facilement l'édifice atomique; par contre les noyaux, à l'exception de ceux des éléments radioactifs, se révèlent comme étant excessivement stables. Ils sont protégés, en effet, contre toute attaque venant de l'extérieur, par des barrières de forces électrostatiques très élevées. En raison de leur extrême petitesse, il a fallu, pour les ébranler, utiliser de l'énergie sous une forme très concentrée, telle que celle des rayons alpha. On a trouvé ainsi que les noyaux d'un grand nombre d'éléments étaient capables d'être désintégrés sous l'influence d'un bombardement de rayons alpha ou de protons accélérés. Ces expériences de désintégration, avec la découverte d'un constituant tel que le neutron, considéré comme l'assemblage d'un proton et d'un électron, ont fait naître bien des hypothèses sur la constitution intime du noyau qui sont loin d'être toutes concordantes. Mais pour nous il importe seulement de savoir que les expériences de désintégration ont réussi également avec des rayons non corpusculaires, de nature électromagnétique de très haute fréquence, donc de très grande énergie. Les rayons appelés cosmiques se comportent dans certaines expériences comme étant de nature électromagnétique, dans d'autres comme étant de nature granulaire. Quoi qu'il en soit, leur énergie équivaut à celle d'un rayonnement dont la fréquence atteint 2.10^{20} alors que

celle des rayons gamma les plus durs, les plus puissants s'élève à 10^{21}. Les rayons cosmiques produisent la dislocation des noyaux atomiques tout comme par exemple un bombardement de rayons alpha.

Anderson, en effectuant des recherches avec les rayons cosmiques, observait parmi les produits de la désintégration un constituant inconnu jusqu'alors et qui se comportait comme ayant la même masse qu'un électron mais chargé positivement. Comment obtenait-il la preuve expérimentale de l'existence de ce nouveau corpuscule appelé depuis positron? Il se servait d'un dispositif classique pour déceler les particules provenant de la désintégration, beaucoup trop petites pour permettre une observation directe. C'est la chambre de condensation de Wilson. Elle contient de la vapeur d'eau sursaturée. Si on la refroidit par détente, elle se condense, mais pour cela il faut qu'il y ait des germes tels, que grains de poussière ou granules électriques autour desquels elle se condense. Si un rayon cosmique traverse la chambre à détente au moment où se forme le brouillard et s'il projette hors d'un noyau une particule manifestant une charge électrique, celle-ci sert sur son trajet de centre de condensation, et le trajet est ainsi rendu visible et peut être photographié. Les électrons donnent des trajectoires fines, les protons donnent des traits de brouillard beaucoup plus épais. Anderson obtenait des lignes de brouillard qu'il était impossible d'attribuer à des protons, ceux-ci inscrivant sur la plaque photographique des trajectoires dix fois plus courtes que celles qu'il avait obtenues.

Comment pouvait-on alors savoir que les particules ayant probablement même masse que l'électron négatif avaient une charge positive? C'est par l'application d'un champ magnétique qui a pour effet d'incurver les trajectoires des corpuscules chargés électriquement; les corpuscules de charge négative sont déviés dans une autre direction que ceux de charge positive. Les résultats obtenus par Anderson ont été confirmés en mars 1933 par Blackett et Occhialini; ils ont obtenu des photographies de lignes de condensation où les électrons négatifs sont déviés par un champ magnétique dans une direction, et les électrons positifs du côté opposé. Ces expériences ne s'expliquent pas autrement qu'en admettant l'existence du positron.

Nous connaissons déjà les propriétés fondamentales du nouveau corpuscule; sa masse est égale à celle de l'électron, et sa charge a la même valeur absolue que celle d'un électron négatif, mais elle est de signe contraire. Les positrons,

en raison de leur charge, subissent une déviation dans un champ magnétique. Ils sont également susceptibles de subir une déviation par un champ électrique. En somme, les propriétés connues des électrons négatifs sont également celles des électrons positifs sauf à considérer les déviations produites par un champ magnétique ou électrique dans les sens correspondant à des charges positives. Les électrons positifs transportent de l'énergie comme les électrons négatifs. Les deux sortes d'électrons produisent des effets d'ionisation, ils sont tous les deux capables de produire des réactions chimiques. Ainsi, le physicien J. Thibaud, en faisant tomber des positrons sur un film photographique, a obtenu une raie produite par les électrons positifs.

Avant de nous occuper de la manière d'après laquelle les électrons positifs traversent la matière, nous indiquerons encore d'autres modes de production de positrons. Il était à prévoir que des rayonnements dont l'énergie atteint celle des rayons cosmiques étaient capables de produire des effets analogues. Effectivement les rayons gamma émanant du thorium C" en passant à travers le plomb donnent lieu à une émission de positrons. Ceux-ci peuvent également être projetés hors des noyaux par un bombardement de rayons alpha. Curie et Joliot ont montré, que, si on soumet des atomes légers tels que le glucinium à un bombardement de particules alpha, il y a production d'un nouveau rayonnement formé de neutrons. Bothe et Becker ont déjà montré en 1930 que ce rayonnement est accompagné d'un rayonnement gamma, extrêmement pénétrant. Les époux Joliot-Curie ont trouvé sur des plaques photographiques obtenues dans leurs expériences avec les rayons alpha des trajectoires courbées en sens inverse de celui correspondant à des électrons négatifs. Nous connaissons actuellement l'explication de ces trajectoires; elles sont dues à des positrons.

D'après ces expériences on pouvait penser que les neutrons aussi bien que les rayons gamma donnaient lieu à l'émission de positrons. Mais il semble plutôt que la projection de positrons par les neutrons est un effet indirect; on admet que le neutron donne d'abord naissance à un rayon gamma et que c'est celui-ci qui produit directement le positron. Les époux Joliot-Curie l'ont montré, en interposant sur le trajet du rayonnement émis par le glucinium un écran absorbant presque totalement les rayons gamma mais laissant passer les neutrons. Il s'est trouvé que la production de positrons était considérablement réduite; et il semble prouvé qu'ils sont produits principalement par les rayons gamma.

En définitive, les positrons peuvent être produits si un rayon cosmique qui est un rayon gamma de très haute énergie et provenant probablement des espaces célestes, ou si un rayon gamma rencontre le noyau d'un atome; si leur production a lieu dans d'autres circonstances, c'est que l'énergie employée donne naissance à un rayonnement gamma à partir duquel se forme alors le positron.

Quel est donc le mécanisme de la formation du positron à partir du rayonnement gamma? A cet effet rappelons d'abord que l'énergie de rayonnement a, aussi bien dans l'émission que dans l'absorption, une structure discontinue; en d'autres termes, les échanges d'énergie entre la matière et le rayonnement s'opèrent par quantités finies appelées quanta de valeur h $\times$ N, N étant la fréquence de la vibration, et h une constante universelle appelée constante de Planck. Einstein a tiré les dernières conclusions de la théorie des quanta en attribuant à la lumière une véritable structure granulaire, comme c'est démontré experimentalement pour la matière et l'électricité. D'après lui, l'énergie de rayonnement se compose de véritables grains, mais ce qui différencie les idées d'Einstein de celles de Newton sur l'émission, c'est que chaque grain est porteur d'une quantité finie d'énergie égale à h $\times$ N, donc d'un quantum. Un tel grain de lumière a reçu le nom de photon. Voici maintenant comment Dirac explique la naissance du positron. Il admet que l'énergie d'un photon gamma est employée à la création d'un électron négatif et d'un électron positif, les deux ayant approximativement la même masse. Ceci a été vérifié d'une manière éclatante par des photographies obtenues par les époux Joliot-Curie. Sur plusieurs clichés ils ont observé en effet deux trajectoires symétriques, l'une provenant d'un électron négatif, l'autre d'un électron positif, les deux étant issues d'un même point. Ainsi le photon gamma en heurtant le noyau d'un élément de masse atomique élevée, cesse d'exister sous la forme électromagnétique et donne naissance à deux corpuscules matériels. La matérialisation du photon est un exemple où une même énergie quitte la forme ondulatoire pour revêtir la forme matérielle. Cette explication est donc bien en accord avec la Mécanique Ondulatoire de de Broglie.

Les photographies toutefois dans les cas susmentionnés, ne décèlent pas toujours des trajectoires symétriques. Alors l'énergie du photon gamma se partage d'une manière inégale entre l'électron et le positron auxquels il donne

naissance. Le rayonnement ne disparaît pas tout entier, mais il subsiste un photon de fréquence beaucoup moins élevée.

Les positrons jouent déjà un grand rôle dans les phénomènes de radioactivité artificielle récemment découverts (mars 1934). Dans la radioactivité naturelle, les produits expulsés sont des particules alpha (des atomes d'hélium privés de deux électrons périphériques), des électrons négatifs et un rayonnement gamma. Curie et Joliot ont trouvé que le bore, le magnésium et l'aluminium, sous l'influence d'un bombardement par les rayons alpha du polonium, montrent une radioactivité durable; elle se manifeste dans le cas du bore et de l'aluminium par l'émission de positrons, dans le cas du magnésium par l'émission d'électrons positifs et négatifs. Ce sont des radio-éléments nouveaux, et c'est aussi un nouveau type de radioactivité avec émission d'électrons positifs. Le mécanisme de production des positrons est différent de celui que nous avons décrit plus haut. On suppose que sous l'influence de l'irradiation par les rayons alpha du polonium il se forme un proton avec un excès d'énergie qu'on appelle un radioproton. Et celui-ci se désintègre en perdant son positron. Le résidu est un neutron.

Il est naturel qu'on se pose la question pourquoi les positrons ont été mis en évidence plusieurs dizaines d'années plus tard que les électrons. Cela tient au signe de leur charge qui est contraire à celle des électrons négatifs qui gravitent autour des noyaux atomiques et qu'on appelle électrons périphériques. Les électrons négatifs lancés à grande vitesse sont repoussés par ces charges à la périphérie de l'atome tandis que c'est le contraire qui se produit pour les positrons.

Il était utile d'étudier l'absorption des positrons par la matière en comparaison avec celle des électrons négatifs. On a trouvé que, pour un grand nombre d'éléments, et pour une épaisseur déterminée de matière, les positrons subissent une diffusion analogue à celle des électrons négatifs. Mais au delà de cette épaisseur il y a apparition d'un rayonnement gamma nouveau que J. Thibaud considère comme dû aux positrons. L'intensité de ce rayonnement est considérable; elle est près de cinquante fois l'intensité du rayonnement X provoqué, dans les mêmes conditions, par l'absorption d'électrons négatifs. J. Thibaud admet que ce rayonnement ne peut avoir d'autre origine que la dématérialisation de l'électron positif avec libération de l'énergie

totale $W = m_0 c^2$, m_0 étant la masse au repos du positron et c la vitesse de la lumière.

Nous voyons donc comment les recherches sur les positrons ont fait disparaître des difficultés relatives à la dissymétrie qui existait avant leur découverte entre l'électricité positive et l'électricité négative. Le mécanisme de la production des positrons dans les éléments lourds est une confirmation de la théorie de la Relativité aussi bien que de la Mécanique Ondulatoire. Le procédé de leur émission dans quelques éléments légers a simplifié notre conception du neutron. Avant la découverte du positron on admettait que le proton était une particule indécomposable, et que le neutron était un proton intimement lié à un électron négatif; on sait actuellement que le neutron est le corpuscule élémentaire, et que le proton résulte d'une union très étroite entre un neutron et un positron.

La découverte du positron a ainsi largement contribué à amener à leur perfection les théories relatives à la structure de l'électricité et du monde physique en général; de multiples recherches sont en cours pour examiner spécialement quel est le rôle des positrons dans les édifices nucléaires.

Nous assistons à une évolution incessante des théories qui sont à la base de la Physique moderne. N'est-ce pas admirable de constater que l'existence de l'électron positif prévue par Dirac ait reçu dans un si bref délai sa confirmation expérimentale? Et les théories connexes elles-mêmes bénéficieront des nouveaux faits, car l'esprit humain modifiera les hypothèses de manière à mettre les déductions théoriques en accord avec les nouveaux faits. Longtemps encore, probablement pendant des siècles, des découvertes étonnantes, prévues ou imprévues, viendront augmenter notre connaissance des phénomènes, et les physiciens se verront plus près de la réalisation de leur rêve, qui est l'explication des milliers et des milliers de phénomènes observés dans une seule théorie. Grâce à une collaboration étroite entre les théoriciens et les hommes du laboratoire, la Physique progressera sans cesse,

„et les fruits passeront la promesse des fleurs".