

E C George Sudarshan et le secret de la nature

La physique, il y a une centaine, avait fait de grands progrès dans la compréhension du monde, des planètes, des étoiles, des gaz, de la chaleur et du son, des machines à vapeur, de la radio, des avions, du monde à l'échelle perceptible aux sens humains. Au début du 20^è siècle, l'accent était mis sur l'invisible, le monde de l'échelle atomique, la structure atomique, les spectres atomiques, l'effet Raman, les cristaux, les semi-conducteurs, les transistors. Mais le siècle rapidement changé dans l'âge de la sous-atomique, avec la découverte d'une variété inattendue d'entités qui ne faisaient pas partie de l'atome, mais qui étaient produites dans des interactions dans le monde atomique, évanescent, existant assez longtemps pour être détecté ou même évitant la détection en n'interagissant jamais.

Les découvertes qui se sont déroulées jusqu'à la fin du 19^ème siècle ont été marquées par l'utilisation de mathématiques pour analyser le monde visible et découvrir les principes et les lois qui semblaient régir les choses matérielles. Vers la fin du siècle, les tableaux du monde atomique ont suggéré que notre compréhension du monde devait être affinés pour s'adapter à de nouveaux phénomènes. La mécanique antérieure est remplacée par la mécanique quantique, la nouvelle façon de calculer les résultats d'interactions entre les objets à l'échelle des atomes. A cette échelle, l'énergie d'un système ne change pas « en douceur », mais seulement en « étapes », ou « quanta » et la mécanique ordinaire se décompose. Dans le cas d'objets plus grands, de la vie quotidienne, comme les balles de foot ou les planètes, ces « étapes » sont extrêmement proches et la mécanique quantique commence à ressembler à la mécanique du monde quotidien.

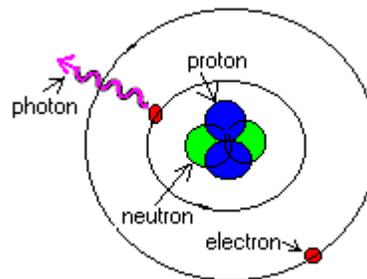
Mais le sursis que la mécanique quantique donnait était de courte durée, comme dans le monde atomique et sous-atomique, de nouveaux phénomènes se multipliaient et les théoriciens ont dû corriger l'itinéraire de minute en minute ! L'histoire de la physique au cours de la majeure partie du 20^ème siècle est remplie de découvertes importantes, encore plus fréquentes que le progrès que le Comité Nobel marque chaque année.

Au cours de ce voyage, E C George Sudarshan, actuellement professeur de physique au Texas, aux États-Unis, a fait une découverte concernant les voies de la nature qui était fondamentale et une étape importante dans la compréhension du monde subatomique. Plus précisément, Sudarshan a aidé à comprendre la nature d'une forme de désintégration radioactive qui s'appelle 'beta decay'.



E C G Sudarshan est né en 1931 à Kottayam, à Kerala et il a suivi les cours de License en Physique de Madras Christian College, Chennai, en 1951. Il est continué pour la Maitrise et l'année suivante il s'est déplacé vers le Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai. Au TIFR, il a travaillé avec des scientifiques connus. Il a travaillé sur les rayons cosmiques, un domaine où les rayonnements énergétiques élevés provenant de l'espace extra-atmosphérique révélèrent de nouveaux résultats étonnants. Au cours des années en TIFR, Sudarshan est également entré en contact avec George Marshak, avec lequel il allait faire un travail mémorable quelques années plus tard.

Le 20ème siècle avait commencé avec ne pas plus que trois particules comme composants de l'atome, le proton à charge positive, l'électron à charge négative et le neutron, une particule neutre. Une autre particule qu'on connaît était le photon, la particule de la lumière. On savait que le noyau de l'atome se composait de protons et de neutrons, liés par une force attrayante, qui n'était efficace qu'en travers une courte distance. Autour du noyau, ce qui était positif, à cause des protons, orbitait



les électrons, en « coquilles », qui avaient des niveaux d'énergie successivement croissants. Lorsque les électrons transitaient d'un niveau d'énergie à l'autre, ils absorbaient ou émettaient des photons de l'énergie entre les niveaux.

Ce n'est que ces quatre particules « élémentaires » qui participent à la désintégration radioactive des noyaux. Trois types de désintégration étaient connus. La décroissance "alpha" arrivait lorsque des groupes de deux protons et deux neutrons, qui est la constitution du noyau de l'atome d'hélium, s'échappent d'un noyau lourd, qui se compose généralement de centaines de particules. La deuxième forme de radioactivité était l'émission de photons à haute énergie, les rayons gamma, lorsque le noyau est passé d'un niveau d'énergie plus élevé à un niveau inférieur. Et la troisième forme de désintégration, connue sous le nom de désintégration bêta, était quand un neutron s'est converti en un proton, avec l'émission d'un électron, afin de conserver la charge.

La désintégration alpha n'était pas très compliquée à expliquer, en termes d'économie de l'énergie de liaison des noyaux. Les protons dans le noyau sont chargés positivement, et

ils se repoussent. Comme les particules ont été réunies, contre la répulsion, l'énergie dépensé pour les unifier doit être pris en compte. Lorsque les particules sont serrées et sont suffisamment près, l'une à l'autre, une force « forte » attractive devient active et tient les protons ensemble : C'est comme un trou de golf au sommet d'une colline qui tient la balle de golf en toute sécurité une fois que la balle a été frappée avec l'énergie pour monter le long de la colline.

Dans la théorie de la mécanique quantique, il y a toujours une probabilité que la « balle de golf » sorte du trou, et descende la colline, ce qui exige une « violation temporaire » de lois communes de la physique. Dans le cas d'un noyau de dimensions grandes, certains des nucléons seraient assez éloignés du centre et l'attraction n'en serait pas toujours bien forte. C'est comme dire que le trou ou la balle de golf est piégé n'est pas très profond. Il se produit, par conséquent, que les particules échappent au noyau en groupes de quatre, en tant que décomposition alpha. La théorie qui décrit quels noyaux auront quel taux de décomposition alpha n'est pas, ensuite, très complexe à calculer.

L'émission de rayons gamma, qui sont des photons, est également assez directe, car elle provient des différences d'énergie, soit lorsque le noyau passe à un niveau d'énergie plus élevé, suivi d'une décomposition, soit lorsque la décomposition alpha laisse le noyau dans un état « excité ».

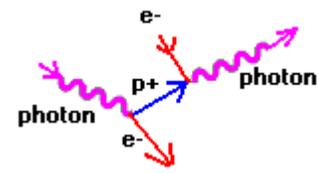
Mais le cas de la désintégration bêta n'était pas si simple. D'une part, cela impliquait la transformation de ce qui était considéré comme une particule « élémentaire » en une autre forme. Mais un problème plus important était que l'énergie de l'électron émis n'était pas ce qu'il aurait dû être, compte tenu des énergies connues du neutron et du proton. Au lieu de n'être toujours que la différence d'énergie, on a vu que l'électron avait la gamme d'énergies, de valeurs faibles et jusqu'au maximum possible. Que l'énergie de la particule bêta n'était pas exacte n'était pas logique.

Le scientifique allemand, Pauli, a suggéré d'abord que la raison est qu'il y avait une autre particule mystérieuse et insaisissable qui émettait, et qui enlevait une partie de l'énergie. L'italien, Fermi, a développé plus tard une théorie mécanique quantique où il a effectivement montré qu'il devait y avoir une particule neutre, de masse très faible, une particule qui est baptisée le « neutrino », émis avec la désintégration bêta. Le neutrino, qui Fermi a proposé, a été découvert quelques années plus tard, ce qui a confirmé la théorie de Fermi, et le neutrino est devenu une autre membre d'une véritable ménagerie de particules découvertes au cours des années.

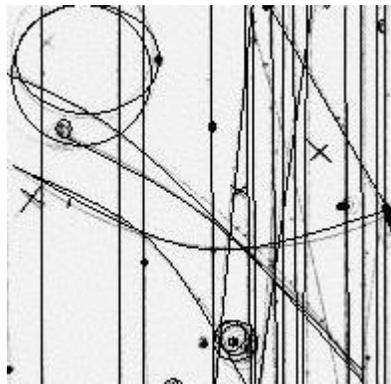
De nouvelles particules ont été découvertes dans les études des rayons cosmiques et des « douches » des rayons cosmiques. Les rayons cosmiques sont principalement de protons à haute énergie qui sortent de l'espace extra-atmosphérique. Ceux-ci interagissent généralement avec la haute atmosphère et atteignent très rarement la surface de la terre. Mais au cours de l'interaction avec l'atmosphère, ils donnent lieu à des « secondaires », qui atteignent la surface terrestre.

Une réaction fréquente est qu'un photon à haute énergie, un	
---	--

photon à rayons gamma, c'est-à-dire, se divise spontanément en une paire électron-positron. Le positron est une particule exactement comme l'électron, sauf que sa charge est positive. Le positron est la « antiparticule » de l'électron, et alors que la paire pouvait provenir d'un photon, s'ils se rencontraient, ils annihileraient et émettraient un photon ! Comme l'énergie totale de la paire électron-positron, c'est-à-dire l'équivalent énergétique de leur masse plus l'énergie due à leur vitesse, devait provenir du photon mère, la production de paires n'est observée qu'avec des photons à rayons gamma à haute énergie.



L'électron et le positron, en cours de circulation dans l'atmosphère, se rencontrent avec d'autres positons et électrons, et lors de leur rencontre, ils anéantissent, avec l'émission de nouveaux photons. Si ces photons avaient une énergie suffisante, ils pourraient créer la naissance encore de paires e-p et ainsi de suite.



Le photon, l'électron et le positron ont été détectés par les sentiers qu'ils ont laissés dans les « chambres à bulles ». Ce sont de grandes cavités qui contiennent une vapeur prête à se condenser autour des particules énergétiques, comme les électrons, qui peuvent entrer. Comme l'électron et le positron étaient de particules chargées, leur mouvement serait affecté par un champ magnétique, après la manière d'un fil portant un courant. Si un champ magnétique soit créé autour de la chambre à bulle, l'électron et le positron se déplaceraient dans un chemin courbé, en laissant des trajectoires incurvées et ils pourraient être identifiés. Une chose similaire s'est produite avec un champ électrique. Ces mesures ont également permis de trouver la masse des particules.

Outre les électrons et les positrons, les rayons cosmiques ont donné lieu à un certain nombre d'autres particules, comme les mésons, ou des particules de masse « intermédiaires », de neuf types différents, et les « hyperons », de six sortes. Bientôt de nombreuses autres particules ont été découvertes, soient dans les rayons cosmiques et lorsque les rayons cosmiques ou quand les produits de la radioactivité ont été utilisé pour frapper des cibles de divers matériaux. Le « jardin zoologique subatomique » est rapidement peuplé et les schémas de classement des « particules élémentaires » ont pris les aspects de la taxonomie !

La façon dont Fermi 'a introduit une particule 'dans le calcul, pour expliquer la désintégration de la bêta, est une forme très précise et raffinée du calcul de la mécanique quantique. Dans les calculs des résultats de l'expérience quotidienne, comme la collision des boules de billard, la méthode utilisée consiste à commencer par les vitesses et les directions du système avant la collision, puis à voir comment l'état final doit être, compte

tenu de la nécessité de conserver l'élan, comment l'énergie serait dépensée, selon l'élasticité des balles, etc. Dans la mécanique quantique, l'état d'un système est décrit comme la superposition de « tous les états possibles », et la « possibilités » de voir certaines de ces états sont plus susceptibles que d'autres. C'est cet « état » composite qui évolue, avec de changement de « possibilités », sous l'influence de l'énergie dans le système. Dans le cas des gros objets, les « états » habituels et familiers sont les plus susceptibles. Mais à l'échelle subatomique, les effets 'quantiques' et le fait que l'énergie d'un système n'augmentant pas en douceur, mais dans les 'temporaires étapes', deviennent importants et la nature 'autorise' de résultats qui correspondent aux « possibilités » normalement maigres et impliquant de violations temporaires de la conservation de l'énergie. La mécanique quantique tient compte de tout cela et elle est la bonne méthode capable d'arriver aux les résultats justes dans de calculs aux très petites dimensions.

Cette méthode, pour « quantifier » l'énergie ou l'élan, a conduit à des succès spectaculaires, en particulier lorsqu'elle est appliquée à l'électron en motion autour d'un noyau, en expliquant la structure de l'atome et la luminosité de couleurs émises par les atomes. Une prochaine étape naturelle était d'essayer de « quantifier » le champ électromagnétique. Le champ électromagnétique est la répartition des effets électriques et magnétiques sur une région de l'espace. L'acte de « quantifier » ce champ, c'est d'exiger que l'énergie dans le champ ne pouvait pas varier en continu, mais seulement par étapes. Ce genre de travail a conduit au « photon » ou à la particule de la lumière, apparaissant comme une propriété naturelle du champ électromagnétique. Cela s'est bien déroulé avec l'expérience, comme le photon, ou un morceau d'énergie, était déjà connu, comme un « quantum », du champ électromagnétique. C'est ça qui pourrait expliquer la façon dont l'objet rayonnait de la chaleur, ou le phénomène de la lumière provoquant des courants électriques lorsqu'elle frappait sur certains métaux.

Une progression, à partir de cette théorie quantique du photon, était de regarder toutes les particules, comme les électrons, comme entités qui avaient leur origine dans des champs, après la même façon que photons avaient leur origine du champ électromagnétique. Le développement des propriétés de ces champs d'où sortent de particules, en échec avec l'observation, est rapidement devenu un puissant outil de calcul. Comme une onde sonore complexe peut être exprimée comme la somme d'une série d'ondes simples, qui sont harmoniques, l'une de l'autre, les champs quantiques pourraient également être développés en série. On a constaté que les multiplicateurs des termes de cette expansion étaient en fait des « créateurs » ou des « destructeurs » de particules, et de résultats de calculs étaient rapidement confirmés dans les expériences !

La théorie de la désintégration bêta était développée comme une forme d'interaction « faible ». Les forces en nature se groupent en quatre types, dont la théorie quantique est capable d'expliquer les derniers trois. Le premier type, ce que la théorie quantique n'a pas traitée, est la gravité. Cette force a une portée infinie mais elle est si faible qu'elle n'est appréciable qu'entre des objets très gros et lourds, comme les planètes et les étoiles. Le prochain est l'électromagnétisme qui attire ou repousse les objets chargés et qui maintient les atomes et les molécules ensemble. Comme la gravité, cette force a une portée infinie.

Les troisième et quatrième type sont des forces à très courte portée, trouvées à l'intérieur des noyaux atomiques. La force « forte » tient les protons et les neutrons dans le noyau et est responsable de certains types de radioactivité. Mais la dernière, la force « faible », a la portée la plus courte et est celle qui conduit à la bêta ou à d'autres détériorations. Elle s'appelle « faible » en raison de sa courte portée et parce que la désintégration bêta se produit plus lentement que « alpha », la décomposition, qui est le résultat de la force « forte ».

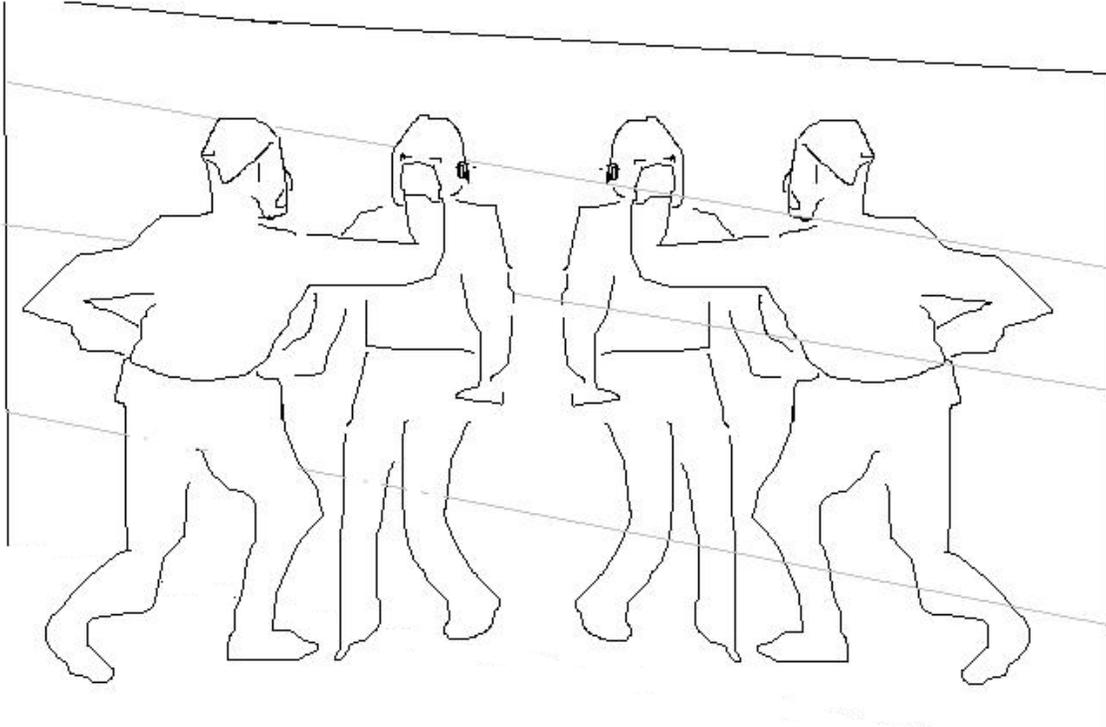
La manière selon laquelle les interactions sont traitées est que, en considérant l'énergie du système, un terme est ajouté pour tenir compte de l'interaction. Une instance d'une interaction est quand un faisceau de particules positives est dispersé par le noyau positif d'un atome lourd. L'énergie du système est à cause de la vitesse des particules en mouvement et de la répulsion du faisceau par le noyau de diffusion. Lorsque cela est l'énergie, les méthodes de la mécanique quantique sont capables d'élaborer le schéma de la diffusion, ce qui correspond à ce qui est réellement vu. En même façon, pour considérer les interactions impliquant la force forte, un terme est ajouté pour la force forte. La comparaison des résultats de différentes formes du terme, avec des résultats d'expériences, permet la résolution de la nature de la force forte. Mais pour un accord constant avec l'expérience, le terme pris pour l'interaction doit être de la forme correcte, en ce qui concerne ses propriétés de direction, d'orientation, etc. Le scientifique, Pauli a montré que, en raison de certaines conditions imposées par la théorie de la relativité, ces interactions devraient être une de cinq options - **S** - le scalaire, **P** - le pseudoscalar, **V** - le vecteur, **A** - le vecteur axial ou **T** - Le tenseur.

Ces options se rapportent à la façon dont l'interaction serait orientée, par rapport à la position, au mouvement ou à une propriété reliée à la rotation, appelé spin, des participants à l'interaction. Fermi, en développant la théorie de la désintégration bêta, venait de considérer la forme « vecteur », car elle avait fonctionné pour le photon, et pendant quelque temps, la théorie élaborée par Fermi a fonctionné.

Mais plus d'observations arrivent bientôt, de la désintégration bêta des particules ayant la qualité, « spin ». Dans une théorie raffinée où cette qualité a été incluse, l'interaction devait être **A** ou **T**. L'expérience semblait supporter à la fois **V** et **T**. Une expérience et une théorie supplémentaires ont montré que l'interaction ne pouvait pas contenir à la fois **S** et **V** ou **A** et **T**. L'étude a également montré que **S** ou **V** et **A** ou **T** doivent également être présents. Mais les expériences elles-mêmes n'étaient pas toujours fiables et les preuves n'étaient pas finales. En 1953, Petschek et Marshak (bientôt le guide de Sudarshan) ont conclu que c'est **T** et **P** qui donnaient le meilleur ajustement et la théorie « **STP** » est établie, jusqu'à ce qu'on a trouvé que l'interaction **P** n'était pas nécessaire. L'interaction « faible » restait un territoire inconnu.

C'était à cette époque (1956) lorsque deux scientifiques chinois Lee et Yang ont attiré l'attention sur une supposition implicite dans le travail sur les interactions « faibles », que les interactions devraient conserver une propriété qu'on appelait, « *parité* ». Cette hypothèse, peut-être n'était pas, ont-ils dit, bien juste. La conservation de la parité signifie que les lois de la nature ne devraient pas dépendre que nous étions gauchers ou

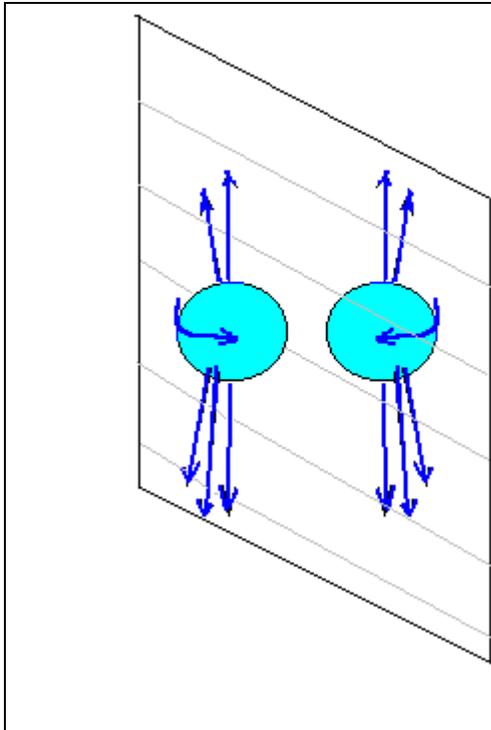
droitiers. Une autre façon de le dire est que le monde devrait fonctionner exactement de la même manière même si on le voit à travers un miroir. Cela semble être une condition naturelle et il ne semble pas qu'il puisse y avoir quelque chose de mal avec une théorie qui suppose que la parité serait conservée.



Le combat se termine de la même manière à l'intérieur du miroir et à l'extérieur

La conservation de la parité, en fait, est fondamentale pour l'universalité des lois physiques, si on croit que la physique ne devrait pas être différente sur la Terre que sur une planète à plusieurs années-lumière plus loin et avec laquelle nous ne pourrions pas échanger le sens de droite et de gauche.

Mais, ironiquement, Yang et Lee ne trouvaient pas de preuves concrètes que la désintégration bêta conservait la parité et ils proposaient une expérience pour s'assurer. L'expérience était la désintégration bêta du noyau de cobalt. La propriété clé de cobalt, pour cet expérience, est la propriété de spin de son noyau, ce qui la marque avec une direction unique, comme le pôle Nord, sur la terre.



Un groupe de ces noyaux pourraient être orientés avec le sens de spin dans la même direction. Une fois orientés l'expérience est de vérifier le taux de désintégration de bêta. Pour que la parité soit conservée, il faut que le taux de désintégration de bêta soit le même dans le sens de rotation, que dans la direction opposée.

Si on regarde la réflexion d'un noyau en rotation dans un miroir, le sens de rotation, et donc la direction de l'axe de spin, est inversée. Si le taux de désintégration soit sensible à l'inversion, on pourrait, si on mesurait le taux, de distinguer un noyau réel en relation du sa réflexion.

A l'époque Sudarshan était étudiant avancé à Rochester, aux États-Unis, et il était avec le professeur Marshak. Il travaillait dans le domaine des particules « élémentaires », des symétries et du calcul de leurs masses et d'autres propriétés. La suggestion selon laquelle les interactions faibles ne conservent pas la parité vient d'être exprimée et l'expérience a montré que c'était effectivement le cas. Sudarshan s'est mis à travailler et a conclu, d'abord, qu'il n'y avait aucune forme d'interaction compatible avec les données. Certaines données, par conséquent, devaient avoir tort. Deuxièmement, avec 'spin' pris en compte, la forme d'interaction doit inclure une composante vectorielle axiale. Le vecteur axial est comme l'axe d'une toupie en rotation. La direction du mouvement de tous les points sur la toupie, ainsi que leurs positions mesurées à partir de l'axe de la toupie, sont inversées lors de la réflexion. Mais l'axe de rotation, qui dépend de ces deux entités, reste inchangé.

Marshak et Sudarshan, dans le terme mathématique pour l'interaction, ont mis un petit composant, 'V', qui était vectorielle, ou changeant sur réflexion, et a ajouté un petit composant, 'A', qui était vecteur axiale, ou pas changeant sur réflexion. Car le terme 'A' ne changerait pas lors de la réflexion, il y avait une partie de l'interaction qui ne change pas de direction en accord avec les autres. L'insertion de ce terme permettrait de s'assurer que la parité allait être violée. Les termes actuels ont dû être calculés de façon à ce que les nombres expérimentaux se produisent bien, sans bouleverser ce qui fonctionnait déjà, ce qu'ils ont fait. Et en 1957, Marshak et Sudarshan avaient l'interaction V-A universelle, pour une force faible, conforme à l'expérience, prête à être présentée dans le monde.

Ce qui est suivi pourrait être considéré, peut-être, pas comme les meilleures étapes pour apporter le bon travail qui avait été fait à l'attention du monde. Le travail a été fait à l'époque de la Conférence de Rochester en 1957. Mais Sudarshan, en tant qu'étudiant

diplômé, n'a pas réussi à présenter le travail et a dû entendre des orateurs distingués se confondre avec un problème qu'il avait résolu ! Un peu plus tard, Sudarshan a présenté à un rassemblement, qui comprenait le célèbre Murray Gell-Mann, comment certaines données expérimentales étaient incohérentes, et puis, leur propre résolution du puzzle à travers la forme V-A de l'interaction. Sudarshan et Marshak ont suggéré que certaines des expériences soient refaites, ce qui a conduit à l'apparition de certaines expériences et la forme V-A comme une théorie correcte. En septembre 1957, Marshak a présenté un document lors d'une conférence à Padoue-Venise et ils ont jugé leur découverte peut être considérée publiée. Ceci, rétrospectivement, était une erreur. Sudarshan a essayé de demander à Marshak de publier officiellement son travail, mais il était alors étudiant, et Marshak semble avoir été préoccupé.

Un peu après le travail de Marshak et de Sudarshan, Richard Feynman et Gell-Mann, qui avaient travaillé sur des interactions faibles à partir d'un point de vue de la « théorie du champ », ont également proposé une forme V-A pour la désintégration bêta, dans le journal prestigieux, *Physical Review*. Un article dans *Physical Review* était certainement une présentation plus publique et il n'est pas surprenant que, pendant quelques années, c'est Feynman et Gell-Mann qui sont célébrés pour la théorie V-A de la force faible.

Au cours de quarante dernières années, la théorie des particules élémentaires a été grandement affinée, le proton lui-même étant considéré comme constitué de trois particules d'un ensemble de particules appelées « quarks », qui donnent lieu à la force forte par échange de « gluons », Et la force faible apparaît comme provenant de l'échange de particules très lourdes, les « W ». En perspective, les premiers travaux de Sudarshan menant à l'interaction V-A en tant que responsable de la force faible ont été considérés comme le début d'une grande partie du développement et maintenant, au moins, sa place dans l'histoire est incontestée.

Un peu plus tard, Sudarshan a obtenu son doctorat. Et il est allé travailler à Harvard, à Rochester, à Berne, à Syracuse et à 1969, à l'Université du Texas à Austin. Depuis onze ans, il a été professeur à Indian Institute of Science, à Bangalore et pendant six ans, directeur de l'Institute for Mathematical Sciences de Chennai. Il a continué à travailler dans différents domaines et a écrit un livre sur la physique des particules, en collaboration avec le professeur Marshak.
