



ROYAUME DU MAROC
ACADÉMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

10
ANS

LES DÉFIS DE LA PHYSIQUE

Conférence donnée dans le cadre de la tenue
de la session plénière solennelle 2016

Pr. Catherine BRÉCHIGNAC
Secrétaire Perpétuel, Académie des Sciences de France
Membre Associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Rabat, le 17 février 2016



**Sa Majesté le Roi Mohammed VI - que Dieu Le garde -
Protecteur de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

*Dans le cadre de la tenue
de la **session plénière solennelle 2016**
de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques*

*le Professeur Catherine BRÉCHIGNAC
a donné, le 17 février 2016, une conférence intitulée :*

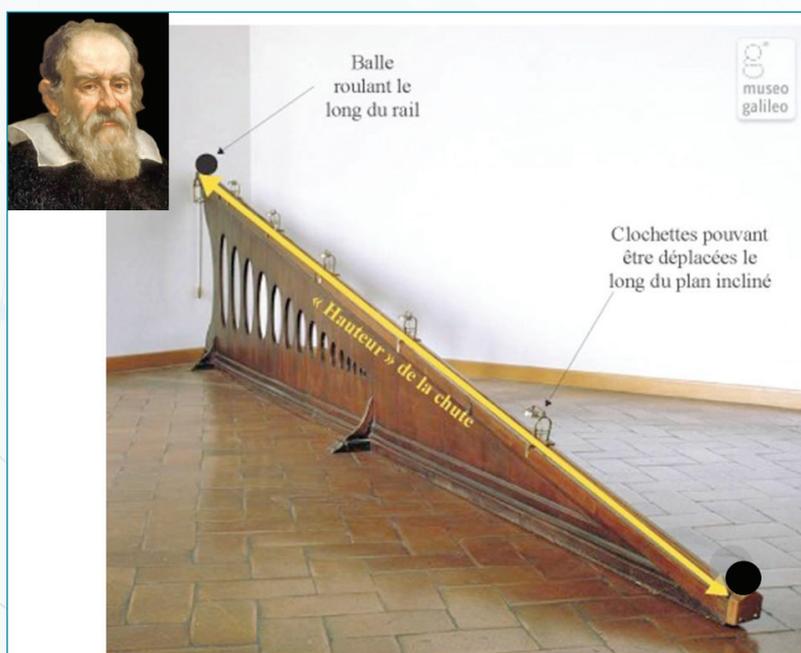
«LES DÉFIS DE LA PHYSIQUE»

(Texte reproduit à partir de la transcription de l'enregistrement audio)

LES DÉFIS DE LA PHYSIQUE

Tout d'abord, bon anniversaire à votre Académie qui a dix ans et qui célèbre, à cette édition, ses dix ans de son installation. Vous avez choisi le thème «la sciences dans tous ces états». C'est ainsi que Monsieur le Secrétaire perpétuel m'a demandé de parler de la physique. Alors parler de la physique au bout d'une demi-heure me paraît très difficile, donc j'ai choisi de le faire d'une manière très synthétique des défis de la physique d'aujourd'hui.

Tout d'abord, qu'est ce que la physique? Le mot 'physique' vient d'un dérivé du mot grec «φυσικς» qui, au sens du grec ancien, veut dire nature, l'adjectif «φυσικος» signifie qui concerne la nature. Et puis, au XII^{ème} siècle, on voit arriver le mot 'fisque' en écriture latine qui a deux sens : *médecin et puis aussi connaissance des choses de la nature*. Alors le mot médecin restera 'physician' en anglais, et nous, nous gardons 'fisque' pour la nature. Ensuite, au XVII^{ème} siècle, le mot physique désigne les *connaissances concernant les causes naturelles*. On peut donc déjà voir arriver les causes. En 1932, le mot 'physique' aura la définition que nous utilisons aujourd'hui et que l'on retrouve d'ailleurs dans le dictionnaire de l'Académie française : «*la physique est la science qui observe et groupe les phénomènes du monde matériel, en vue de dégager les lois qui les régissent*». Et ceci était déjà contenu dans la célèbre phrase de Galilée : «*les lois de la nature s'écrivent en langage mathématique*». Alors, Galilée a effectivement été le premier scientifique, si je peux dire, de la science contemporaine puisqu'il a été le premier à comparer des théories et des expériences : la première a été la chute des masses sur un plan incliné et il a montré que **la distance parcourue est proportionnelle au carré du temps de parcours**. En fait, c'était la première comparaison des théories et des expériences.

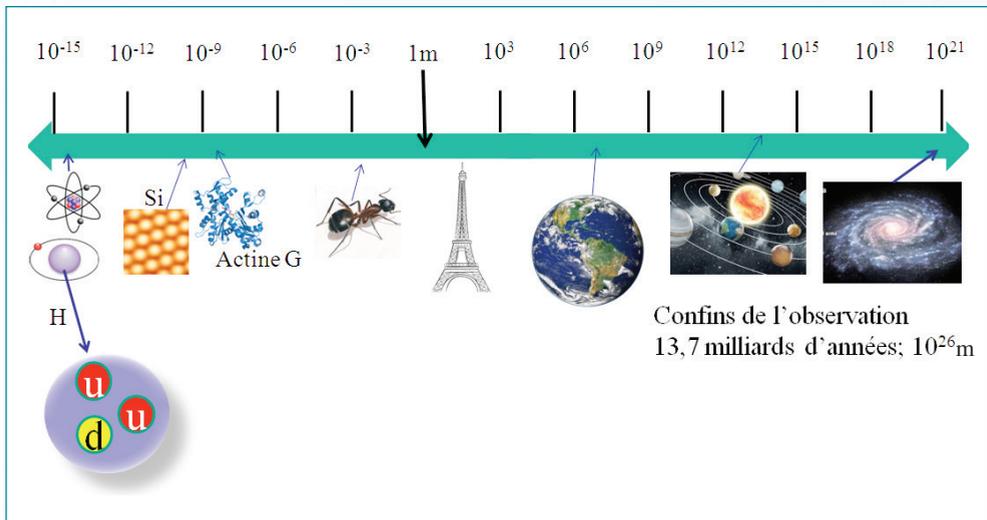


Expérience de Galilée : la chute des masses sur des plans inclinés

Ensuite, on a eu Isaac Newton, né lorsque Galilée meurt, qui a repris les idées de Galilée mais il a surtout compris que la chute des objets sur la terre et les mouvements des corps célestes étaient gouvernés par la même loi, qui est celle de l'attraction universelle: la force est égale au produit des masses divisée par le carré de la distance. Et ceci restera toujours vrai dans certaines approximations, mais au fond elle changera au début du 20^{ème} siècle.

Alors, «**les forces sont inversement proportionnelles au carré de la distance D**» ont eu un très grand succès puisque Coulomb a montré qu'en électricité, on avait aussi les forces qui sont inversement proportionnelles au carré de la distance séparant deux corps chargés. Aussi, on a Ampère qui a montré que c'était pareil pour le magnétisme. Mais aussi, entre Coulomb et Ampère, on a eu Young qui a mis en évidence le caractère ondulatoire de la lumière. Et c'est Maxwell qui a réuni les trois en écrivant la théorie des ondes électromagnétiques, qui a inventé le concept de champ, et qui donc a donné une certaine solidité aux ondes électromagnétiques en disant que finalement, tout est dû au mouvement des électrons. Donc cela est resté du solide jusqu'au début du 20^{ème} siècle où on est parti avec ces bases là.

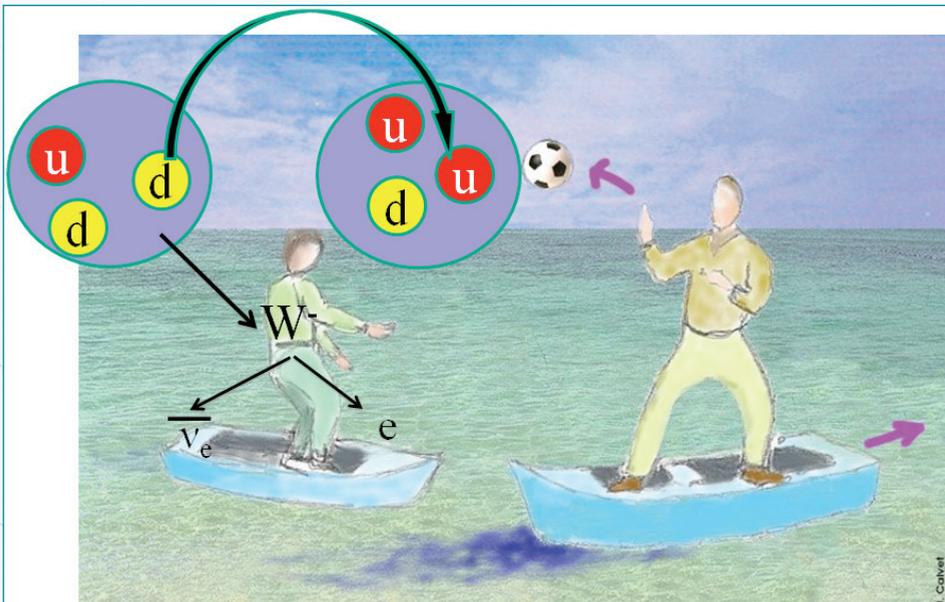
Alors, le 20^{ème} siècle, c'est le siècle des deux infinis. En effet, si vous partez d'un mètre dans le système universel de l'unité de longueur, vous descendez en longueur, vous trouvez : la fourmi qui fait trois millimètres, l'actine, qui est une protéine, qui fait dans les dix nanomètres, l'atome de silicium, qui est représenté ici et qu'on voit en microscopie STM, qui fait quelques dixièmes de nanomètres. Et ceux-ci, on peut les voir soit à l'œil nu, soit au microscope. Ensuite, si on veut descendre plus bas, il faut utiliser des effets comme les collisions permettant de voir que la taille d'un noyau d'atome est de l'ordre de mètre, c'est-à-dire un fermi. Le plus petit de ces atomes, c'est l'atome d'hydrogène dont le proton, qui est le seul nucléon placé au centre, est formé de trois quarks : deux up et un down. Ce qui nous permet d'ailleurs de descendre jusqu'à 10^{-15} et 10^{-18} mètre.



Le système universel de l'unité de longueur

De l'autre côté, on a la tour Eiffel qui est pour moi une unité de longueur puisque je suis française, ensuite la terre qui fait 6000 km, et puis le système solaire qui a six heure-lumière de grandeur de plus, et puis la galaxie dans laquelle nous vivons et qui fait 10^{21} mètres. Et quand on va aux confins de l'observation, et qu'on regarde depuis 13,7 milliards d'années-lumière dans l'univers, on voit donc que ça va jusqu'à 1026 mètres.

Donc là, on a quarante ordres de grandeur entre les petits et les grands, qui sont régis par quatre forces ou interactions. Alors, au noyau, on a les forces d'interaction forte et électromagnétique. Les forces d'interaction forte sont faites par échange de gluons, c'est-à-dire quand vous avez deux quarks qui se rapprochent l'un de l'autre, s'ils se touchent, la force est alors nulle mais quand vous les écarterez, la force croît, ce qui maintient donc la cohésion des noyaux, des protons et des neutrons. Pour comprendre la stabilité des protons et des neutrons, on a mis en évidence une force d'interaction faible qui, en fait, est une force un petit peu différente, et qui agit par transmutation. En effet, la transmutation est comme si vous aviez deux hommes, chacun dans un bateau, qui s'envoient un ballon : le ballon, c'est le boson intermédiaire. Et ensuite, au fur et à mesure que les bateaux s'éloignent, et au bout d'un moment, le boson tombe à l'eau et les particules sont séparées. C'est ainsi qu'on a mis en évidence la **radioactivité bêta** qui montre la transmutation d'un neutron en proton par l'intermédiaire d'un boson en émettant un électron et un neutrino. Donc, on a ainsi les forces du noyau qui sont des forces d'une très courte portée, de l'ordre d'un fermi. De l'autre côté, on a des forces qui sont à très longue portée, à portée infinie, à savoir les forces électromagnétiques qu'on retrouve dans les noyaux et dans tout ce qui nous entoure, parce que toute la chimie et la physique macroscopique sont dues aux forces électromagnétiques, puis la force de la gravitation.

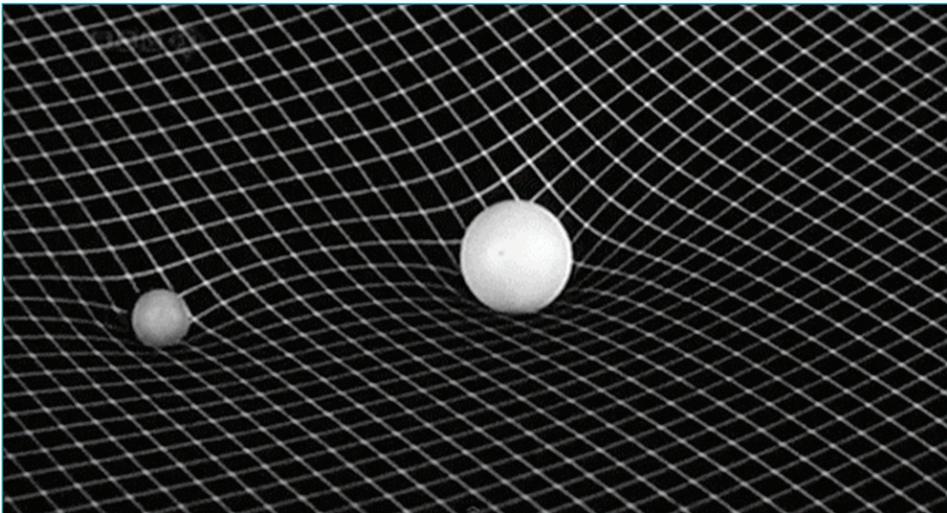


Interaction faible agit sur les quarks par transmutation

Quand on est 1 pour la force d'interaction forte, la force d'interaction faible, c'est 10^{-5} , la force électromagnétique c'est 10^{-2} , mais la gravitation, c'est 10^{-39} . Comme vous voyez, vous avez aussi quarante ordres de grandeur entre les forces, le même entre les ordres de grandeurs que vous avez dans les longueurs.

Alors ces lois de la physique sont supposées être invariantes par changement de référentiel inertiel. Et c'est ça qui a été toute la révolution à laquelle on a envie d'arriver. Maxwell a démontré qu'il existait une vitesse limite. Or, et selon Poincaré, s'il existe une vitesse limite, nous ne savons pas à quelle vitesse nous sommes emportées. Si les lois de la physique sont valables dans tous les référentiels et qu'il y a une vitesse limite, alors cela pose un problème! Einstein a donc proposé de prendre la vitesse constante et de regarder ce que ça donne. Alors, regardons la différence dans la relativité restreinte : on suppose que les référentiels suivent un mouvement rectiligne uniforme et le calcul est relativement simple. Mais le monde reste euclidien.

C'est alors que plus tard, Einstein a postulé que toutes les lois de la physique sont invariantes dans tous les référentiels quels que soient leurs mouvements, ce qui fait que dans ce cadre là, on est obligé d'avoir un espace courbe avec l'espace et le temps qui sont liés. La figure suivante, prise de *Clear Science*, représente bien ce qui se passe avec la terre qui se déplace sur une géodésique autour du soleil. Et c'est ainsi que l'on arrive à comprendre les interactions qui nous entourent. Alors, évidemment ces interactions, ou forces, sont en mouvement, et si on continue plus loin dans la relativité générale, elles induisent des ondes gravitationnelles.

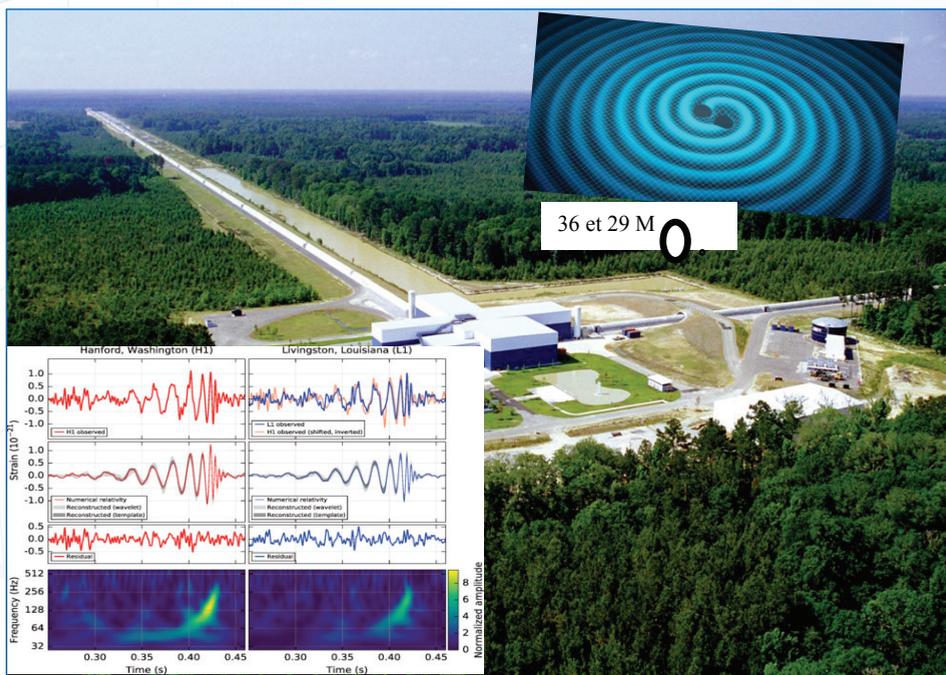


Déformation de l'espace temps et gravité
(Crédits : Clear Science)

Les ondes gravitationnelles sont induites par toute matière en mouvement. Alors évidemment, si vous vous levez pour embrasser le voisin, si vous l'aimez, vous allez induire des ondes gravitationnelles mais qui sont extraordinairement petites parce que cette onde fait 10^{-37} fois une force électromagnétique. Donc personne ne la verra jamais et vous pouvez être tranquilles. Mais si vous voulez voir ces ondes gravitationnelles, il faut des événements extrêmement importants. Alors, depuis une cinquantaine d'années, les physiciens se sont mis à chercher comment ils pourraient voir ces ondes gravitationnelles venant de masses gigantesques qui rentrent en collisions dans l'univers, et ils ont créé pour cet objectif trois observatoires.

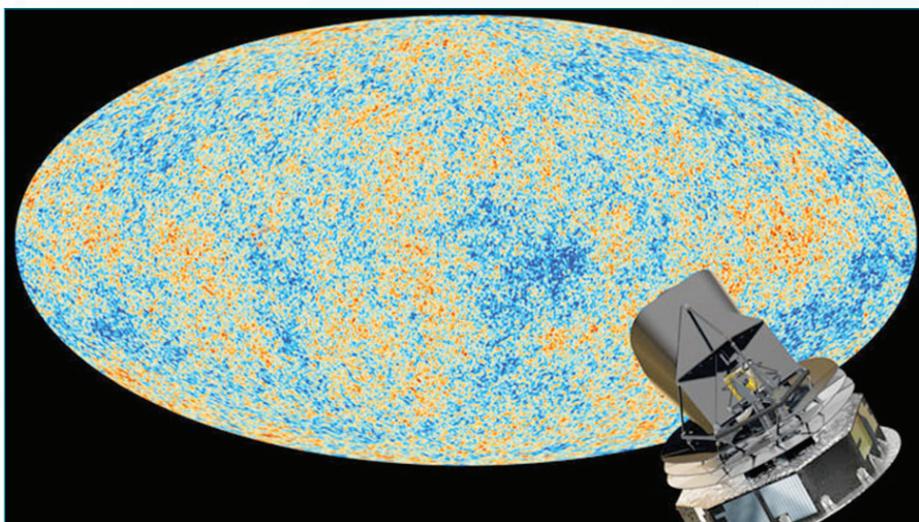
Il y a l'observatoire VIRGO, qui est un projet franco-italien, situé près de Pise, et puis aussi deux observatoires du projet LIGO aux Etats Unis : le premier sur la côte Est et le deuxième sur la côte Ouest. Ainsi, ces observatoires permettent de mesurer une onde gravitationnelle qui arrive et qui déforme l'espace temps. Alors pour arriver à voir un signal, il faut mesurer avec précision deux bras de 4 km de long avec une précision de 10^{-21} cm, ce qui a pris énormément de temps et beaucoup de technologie. Finalement, il y a quelques mois, en septembre 2015, est arrivée sur ces détecteurs une onde gravitationnelle qui nous venait de 1,2 milliards d'années. Cette onde a été détectée par les antennes des observatoires LIGO, alors que malheureusement elle n'a pas été détectée par le détecteur VIRGO, vu qu'il était en réfection. Cette onde gravitationnelle détectée est arrivée comme étant due à la collision de deux trous noirs. Alors, si vous regardez le signal dans la publication, vous voyez le signal avec évidemment du bruit. En ordonnée, vous voyez la déformation de l'espace entre les deux bras et elle mesure 10^{-21} .

Ainsi, l'onde arrive entre les deux antennes de l'interféromètre avec la vitesse de la lumière, et la différence de longueur entre les deux parcours permet l'apparition du signal correspondant à cette onde gravitationnelle. En bas, vous avez le calcul qui montre que cette onde vient de la fusion de deux trous noirs ayant l'un 29 et l'autre 36 masses solaires, plus ou moins quelques masses solaires. Ensuite, en bas, vous avez la fréquence, et vous voyez que ce paquet d'ondes arrive avec une fréquence qui fait de l'ordre de 300 Hz, ce qui correspond à des longueurs d'onde de l'ordre de 8 km.



Observatoire VIRGO près de Pise

Voilà, cela était un succès absolument extraordinaire parce que ça nous ouvre une nouvelle fenêtre pour comprendre la matière. En effet, jusqu'ici, on avait vu que l'observation par le satellite Planck nous montre 5% de la matière, mais avec les ondes gravitationnelles, on va pouvoir observer plus dans l'univers.

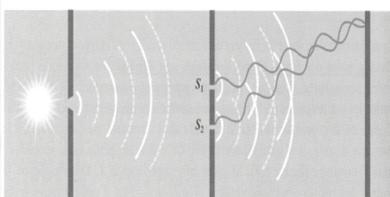


Observation par le satellite Planck

Mais qu'est ce que la matière? Alors, si vous retournez tout à fait de l'autre côté de la droite que je vous ai montrée tout à l'heure, vous allez au plus petit grain de la matière qui existe qui est l'atome d'hydrogène. Je rappelle que l'atome d'hydrogène est fait d'un proton formé de trois quarks (2 up et 1 down) et un électron qui tourne autour avec une fréquence de 150 attosecondes, et on espère voir le mouvement des électrons sur une orbite qui est fois la taille du proton, c'est-à-dire que c'est quand même beaucoup de vide. Et on voit aussi que le rapport des masses est de 1876. En fait, quand on regarde la masse du proton, on se dit que c'est très facile car puisqu'on a trois quarks, et donc chaque quark attire de la masse. Et bien pas du tout! Chaque quark tient quelques pourcents de la masse du proton, c'est-à-dire que la masse du proton est essentiellement due aux interactions. Autrement dit, on a un univers vide avec de la matière vide, et qui est composé de quatre particules élémentaires stables; il y en a douze mais il y en a quatre qui sont stable à savoir : l'électron, les deux quarks et le neutrino. Et c'est ça qui forme tout l'ensemble de l'univers. Bon, voilà ce qu'on a à la fin du 20^{ème} siècle.

Maintenant, le 20^{ème} siècle a été aussi un siècle des révolutions quantiques. En effet, à partir de l'analyse des lois du rayonnement du corps noir, Planck propose que les photons sont émis ou absorbés par paquets : les quantas. Alors si je reviens à ce qui se passe pour les photons, au regard que 127 ans auparavant, en 1801, il y a eu Young qui a mis en évidence les interférences lumineuses, donc pendant 100 ans, on a pensé que le photon n'était qu'une onde. En 1900, Planck montre par l'effet photoélectrique que le photon est aussi une particule. Bon, on s'est dit que ça, c'est pour les photons. Ensuite, Thomson prouve en 1897 expérimentalement l'existence des électrons, et De Broglie en 1923 dit que l'électron en mouvement est aussi associé à une onde. Mais ce sont Davisson et Germer qui ont mis en évidence les ondes associées aux électrons, et maintenant tout le monde utilise ça. Ainsi, on distingue deux utilisations de cette dualité, à savoir : le microscope électronique avec l'électron et le microscope protonique avec le proton.

Dualité onde corpuscule



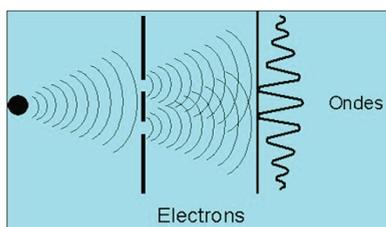
•1801, Thomas Young met en évidence des interférences lumineuses en faisant passer un faisceau lumineux entre deux fentes

•1900 Max Plank propose les quanta vérifié par l'effet photoélectrique

•1897, Joseph John Thomson prouve expérimentalement l'existence des électrons

•1923 Louis de Broglie postule qu'un électron en mouvement est associé à une onde ($\lambda = h/mv$)

•1925 Clinton Davisson met en évidence les ondes associées aux électrons. Les électrons émis par une source, sont accélérés puis envoyés sur un cristal dont l'alignement atomique joue le rôle des fentes dans l'expérience de Young.



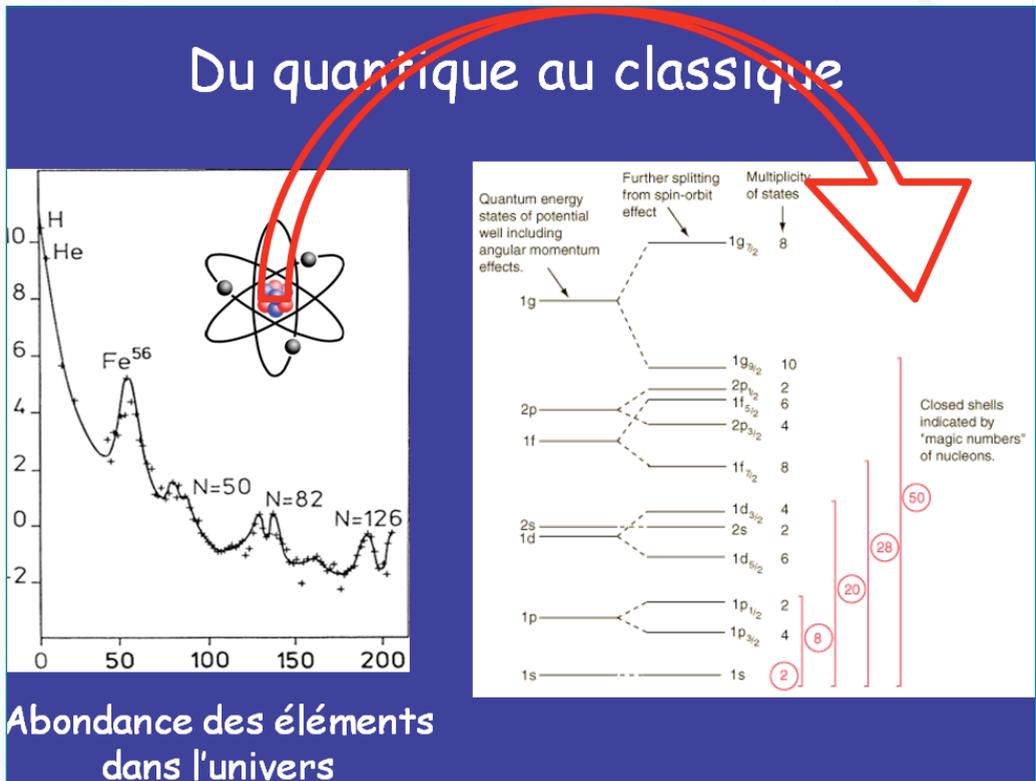
Après avoir compris qu'on avait une vérité onde-corpuscule, on s'est intéressé aux particules quantiques. Toute la physique quantique est une physique absolument contre-intuitive, c'est-à-dire qu'en fait, on ne peut connaître à la fois avec précision la position et la vitesse d'une particule quantique. En effet, on doit admettre qu'une particule quantique va se comporter tantôt comme un objet ponctuel, tantôt comme une onde, en fonction du dispositif expérimental choisi. Et ça c'est très étonnant parce que la particule ne sait pas quel moyen on utilise pour l'observer? Et ensuite, la chose la plus embêtante, enfin je dirai la plus étonnante, c'est le principe de la non-localisation. Ce principe a fait réfléchir beaucoup de savants comme Einstein, Podolsky et Rosen, qui ont fait des expériences de pensée pour essayer de comprendre pourquoi deux particules qui sont intriquées, ce qui signifie qu'elles ont des propriétés corrélées, gardent cette corrélation et ce, quelle que soit la distance entre les particules.

Si vous prenez par exemple deux particules, que vous les intriquez, que vous les séparez, alors si vous excitez une particule, instantanément l'autre va aussi être «infectée»? Cela veut dire que l'information peut circuler extrêmement vite, sans vitesse d'ailleurs, d'un endroit à un autre, c'est ce qui s'appelle l'intrication, c'est-à-dire que les deux particules, en fait, ne forment qu'un objet quantique. Et ça, c'est tout ce qui va arriver dans l'ordinateur quantique, c'est-à-dire que maintenant on va être capable de pouvoir ouvrir des informations sans vitesse, je veux dire instantanément, d'un endroit à un autre. Ce qui va faire des vitesses de calcul extrêmement grandes pour les ordinateurs quantiques.

Alors, on peut se poser la question, quelle est la distance maximale? Et jusqu'ici, on a deux records, un record pour les photons qui est d'environ 144 km et un record pour les électrons qui est de 2 km, et qui est fait par un ami à Stanford. Alors, l'autre propriété, qui est d'admettre qu'une particule va se comporter tantôt comme un objet «ponctuel», tantôt comme une onde, a été mise en évidence, et on a montré que ce n'était pas «ou» mais «et», c'est-à-dire qu'une particule était à la fois une particule et une onde. Et ceci a été montré justement grâce à l'intrication par deux expériences : une faite à Princeton et l'autre à Nice. Ces expériences montrent que lorsque vous séparez deux photons intriqués, et qu'en les mesurant simultanément par deux méthodes différentes, vous montrez ainsi qu'ils sont à la fois onde et particule. Bon, ce sont de nouvelles possibilités des révolutions quantiques qui ouvrent des perspectives énormes.

Alors, maintenant la dernière partie concerne «la norme». Quand est-ce que, et jusqu'à quelle taille, une particule peut être quantique? Mais aussi, après, comment elle devient classique? C'est-à-dire que le nombre de composants est tel que finalement, on n'arrive plus à installer de la cohérence? Alors pour ça, il faut avoir un moyen de regarder rapidement si une particule est quantique ou pas? Et à tel point que, quand vous l'utilisez, c'est faire ce qui est fait dans les noyaux. C'est-à-dire quand vous regardez l'importance des éléments dans l'univers, vous voyez que sur une décroissance, vous avez des pics qui sont dus à un modèle en couche des fermions des noyaux. Et vous

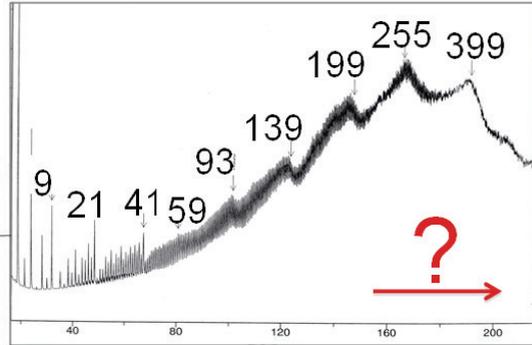
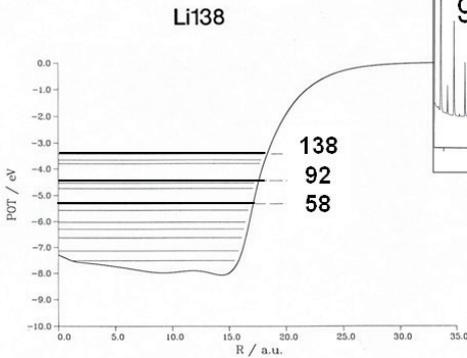
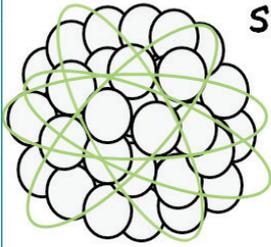
voyez, par exemple pour le Fe56, ses deux couches fermées de 30 neutrons et de 26 protons, ce qui fait que le fer est particulièrement stable.



Donc on a utilisé cette idée de stabilité pour regarder des agrégats métalliques avec des électrons qui sont libres à l'intérieur du métal. Les électrons étant des fermions devraient avoir des couches un peu plus similaires à celles qui sont dans les noyaux. Donc la chose qu'on a en fait, c'est de former des agrégats du lithium, de les ioniser, de les chauffer, laisser s'évaporer et ensuite regarder le spectre de masse et l'intensité dans le spectre de masse. Alors, quand on fait ça, voilà ce qu'on obtient pour le lithium (figure), c'est-à-dire qu'on observe des couches, et on se demande jusqu'au où on va pouvoir observer ses agrégats quantiques? Alors si on fait le calcul pour le lithium par exemple, on trouve effectivement que les couches des agrégats 58, 92, 138, et c'est exactement ce qu'on voit sur le spectre de masse à un électron près, évidemment puisqu'on a pris des ions.

Stabilité structure électronique

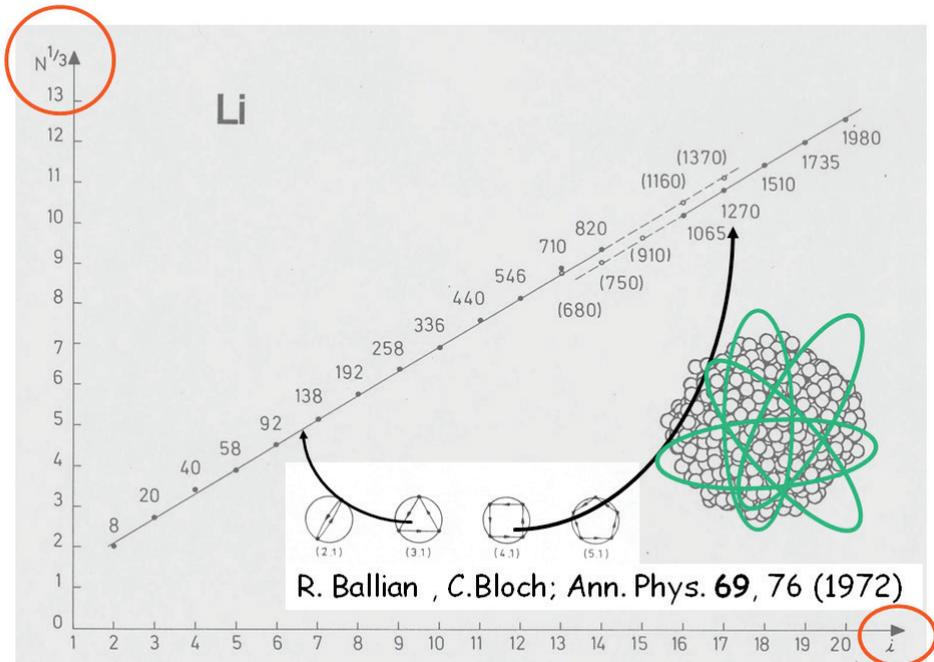
Li_n^+



Alors, quand on regarde qu'est ce que cela veut dire en semi classique, eh bien ça veut dire on cherche d'abord jusqu'où ça va? Et quand on regarde en semi classique, ça veut dire qu'en fait, les électrons ont des trajectoires stationnaires pour les couches fermées, et donc si on porte le numéro de la couche en fonction du rayon de l'agrégat, on trouve effectivement que ça se trouve sur une droite.

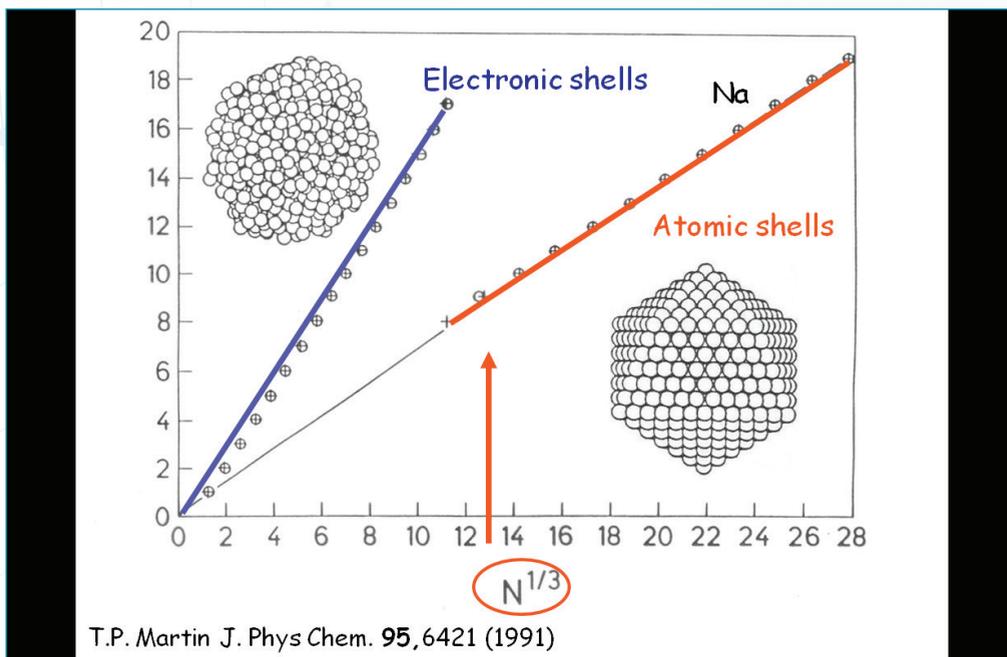
En fait, ça se trouve sur deux droites parallèles parce que pour les couches fermées, au départ des triangles, ensuite on a des carrés, mais ça, c'est de la structure plus fine.

Electronic shells in lithium clusters



C.B. et al. Phys Rev B **47** 2271 (1993)

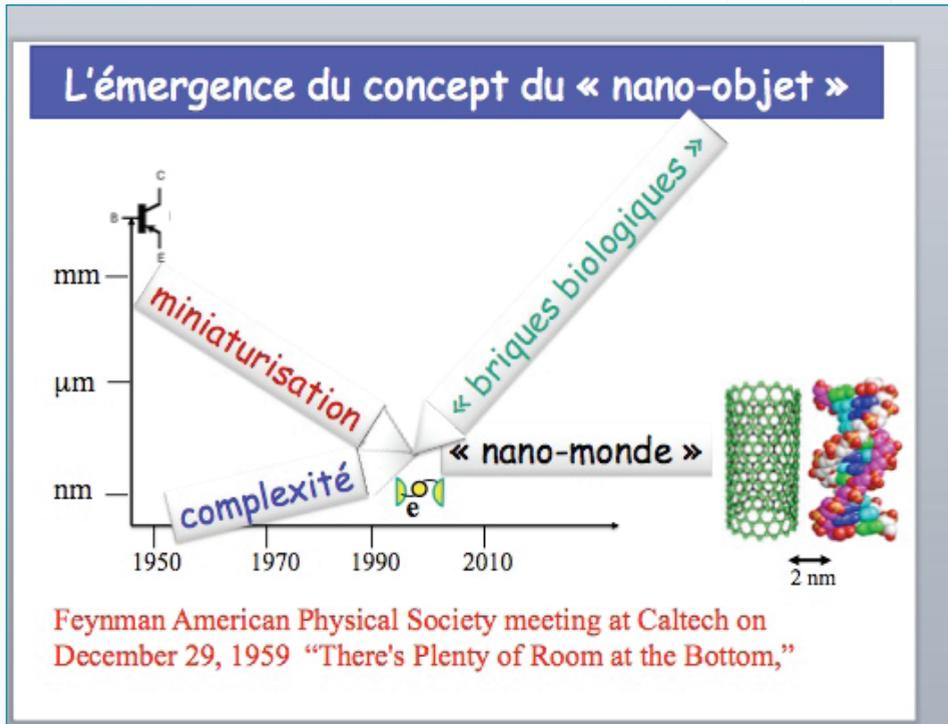
Et on commence à se dire mais jusqu'où va-t-on? Alors en fait, ça c'est une expérience qui a été faite par Martin. On voit que pour le sodium, Martin a fait l'inverse et a porté le numéro en ordonnée et la taille en abscisse, et il constate que l'atome a des couches électroniques, et puis qu'au bout d'un certain moment, il commence à avoir des couches électriques, et ce moment, c'est quelques nanomètres, c'est-à-dire que vous avez des objets quantiques métalliques qui sont de quelques nanomètres, donc on pourra faire toutes les propriétés de la physique quantiques sur des objets comme ça.



Alors, ça nous a permis de comprendre que c'était une urgence le concept du nano-objet, c'est-à-dire que si vous portez en ordonnée la taille de l'objet et l'année à laquelle on a commencé à chercher les choses de plus en plus petites, vous voyez la miniaturisation qui est arrivée.

En effet, en 1947, on a trouvé le transistor qui est presque une porte : donc, on avait un courant qui passait de l'émetteur au collecteur; et tout allait bien et on pouvait ouvrir et fermer la porte. On a après diminué la taille du transistor jusqu'à arriver à des tailles pour lesquelles ça ne marchait plus car il y avait ce qu'on appelait le blocage de Coulomb.

Alors à ce moment là, on a compris que lorsque le transistor devenait quantique, et qu'il fallait faire passer les électrons un à un, alors c'est là toute l'ouverture de l'électronique quantique. Et ça c'est pour des tailles qui font quelques nanomètres, exactement ce que l'on voit quand on regarde la complexité dont j'ai parlé précédemment pour faire croître la taille de l'agrégat et vous arrivez aussi à passer du quantique au classique pour quelques nanomètres. Mais ce point, ou cette région de quelques nanomètres, correspond exactement à la taille des briques biologiques, c'est-à-dire que si vous comparez un nanotube de carbone à une molécule d'ADN, vous voyez que ce sont des tailles tout à fait comparables, et c'est aujourd'hui ce qu'on appelle, plus au moins, joliment le nano-monde. Et je pense qu'on va pouvoir entendre par la suite des exposés sur ce sujet.



Alors si je reviens à ma conclusion, je peux dire qu'il y a, à mon avis, trois grands défis dans la physique :

- la physique des infinis, et qui nécessite des technologies toujours plus performantes, parce que sans technologie on n'aura jamais trouvé ce qu'on a trouvé, et jamais comprendre ce qu'on a compris;
- on a la physique quantique, qui après être restée longtemps dans le domaine scientifique et considérée par beaucoup comme une curiosité, est devenue depuis une vingtaine d'années une extraordinaire source de rupture technologique. Le microprocesseur, le laser, le GPS, le stockage numérique de l'information, enfin tout ce que vous avez comme vos téléphones portables, n'existeraient pas sans la compréhension des objets quantiques. Et maintenant, on va arriver à l'ordinateur quantique;
- et puis le troisième défi, c'est entre classique et quantique : les nanos, et qui sont à l'interface avec la chimie et les sciences du vivant. Donc la science, si je peux dire, continue de progresser extraordinairement vite, la physique et toute la science en général, et toute la difficulté aujourd'hui, c'est que l'écart entre ceux qui comprennent et qui savent et ceux qui ne savent pas ne fait que croître. Et au bout d'un moment, on n'arrivera plus à communiquer entre nous. Et ça, c'est une source de violence.

Je vous remercie

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.**

Achevé d'imprimer : Février 2017
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

Biographie



Catherine Bréchnignac est une physicienne française née le 12 juin 1946 à Paris, ancienne présidente du CNRS de 2006 à 2010 et du Haut Conseil des biotechnologies d'avril 2009 à décembre 2010, elle est secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences depuis janvier 2011.

Elle a fait ses études à l'École normale supérieure de Fontenay-aux-Roses et à la faculté des sciences d'Orsay de l'université de Paris de 1967 à 1971. Elle y obtient la maîtrise en physique (1969) et le diplôme d'études approfondies en physique quantique (1970).

Nommée professeur agrégé de physique en 1971, elle est détachée de 1971 à 1984 au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) au sein du laboratoire Aimé-Cotton à Orsay, tout d'abord comme attachée de recherche, puis, l'année suivant l'obtention de son doctorat d'État ès sciences physiques à l'université Paris-XI (1977), comme chargée de recherche. Elle est nommée directrice de recherche en 1985.

1997 : membre correspondant de l'Académie des sciences

2000 : membre fondateur de l'Académie des technologies

2005 : membre de l'Académie des sciences

2010 : secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, elle est nommée ambassadrice déléguée à la science, la technologie et l'innovation

2013-2016 : membre du Haut Comité des commémorations nationales