



HAL
open science

Les temps longs de la physique

Marco Cirelli

► **To cite this version:**

| Marco Cirelli. Les temps longs de la physique. 2024. hal-04754941

HAL Id: hal-04754941

<https://hal.science/hal-04754941v1>

Submitted on 29 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

JS²

Je Science donc J'écris
Numéro 32 - Edition spéciale

A quoi sert la physique ?



LES TEMPS LONGS DE LA PHYSIQUE

MARCO CIRELLI

En physique (et dans la science en général, en fait) on fait des expériences. Par exemple, on fait tomber des billes du haut de la Tour de Pise et on mesure combien de temps elles mettent pour arriver à terre. Nous comparons ensuite les résultats avec les prévisions de nos théories. Si les deux sont en accord, la théorie est bonne, et nous avons fait un pas en avant dans la compréhension de la Nature. En cas de désaccord, il faut revoir sa copie: formuler une nouvelle théorie et la mettre à l'épreuve avec les mêmes expériences ou d'autres encore plus raffinées, jusqu'à trouver la description correcte du monde. C'est là tout le principe de la méthode scientifique, codifiée au 17ème siècle par les grands scientifiques de l'époque tels que l'italien Galileo Galilei et poursuivie avec succès pendant des centaines d'années.

Et pourtant, dans la physique moderne et en particulier dans la physique des particules élémentaires, les choses ne sont plus si simples.

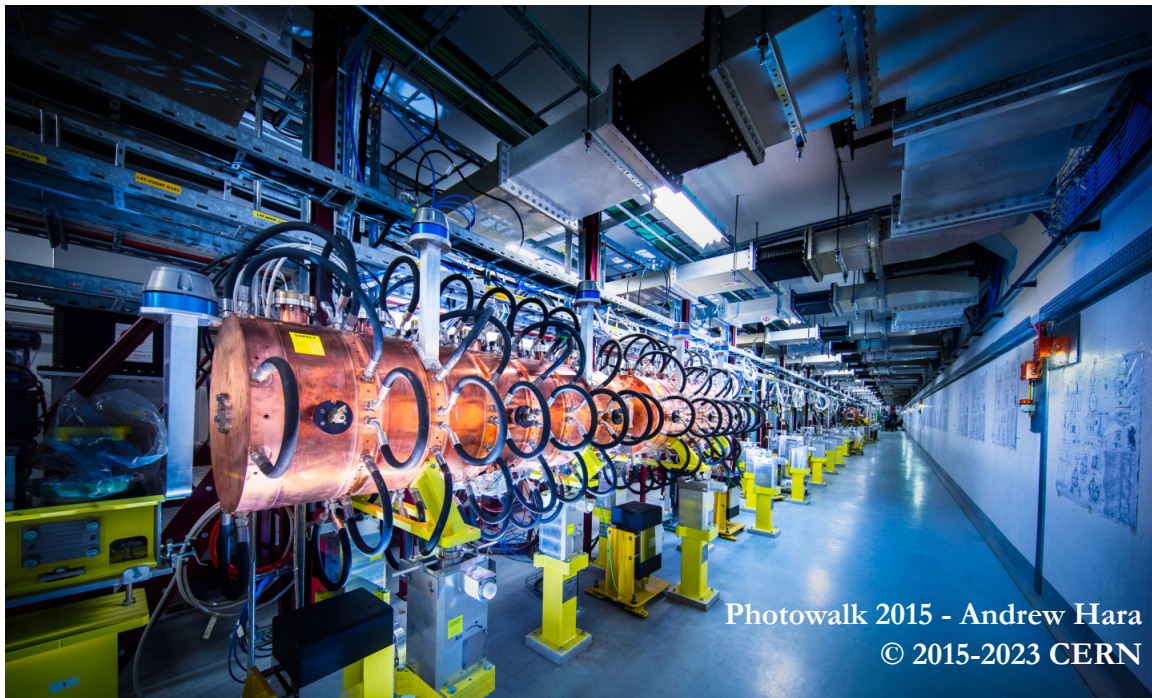
Prenons l'exemple des neutrinos. Les neutrinos, nous le savons aujourd'hui, sont des particules subatomiques de masse extrêmement petite, qui se déplacent à une vitesse très proche de celle de la lumière et qui traversent très aisément la matière. Mais au début des années 1930, tout cela n'était pas connu. Les physiciens expérimentaient avec la radioactivité, découverte par Marie Skłodowska-Curie, Pierre Curie et

Pierre Becquerel une trentaine d'années auparavant. En particulier, les physiciens s'intéressaient à un processus appelé désintégration radioactive beta, dans lequel un atome d'un élément, par exemple de carbone, se transformait en un atome d'un autre élément, par exemple d'azote, avec l'émission d'un électron. L'aspect mystérieux de ce processus était que le décompte des énergies en jeu ne tournait pas rond. En faisant la somme de la masse de l'azote, de la masse de l'électron et de son énergie de mouvement (oui, parce que Einstein avait déjà expliqué bien plus tôt que masse et énergie sont deux facettes de la même chose, $E=mc^2$) on aurait dû trouver la masse de l'atome de carbone de départ. Mais en fait non, il en manquait toujours un peu. Soit l'énergie ne se conservait pas, ce qui serait inconcevable, soit quelque chose leur échappait.

En décembre 1930 le physicien autrichien Wolfgang Pauli proposa une solution: dans le processus beta, une autre particule inconnue, très difficile à détecter, était peut-être produite. Telle un voleur silencieux, elle aurait emporté avec elle la portion d'énergie qui manquait. Pauli, qui était un peu farceur, était censé présenter cette hypothèse audacieuse dans une conférence scientifique qui réunissait plusieurs de ses éminents collègues. Mais le jour même un bal était organisé, et il ne voulait absolument pas le rater. Il décida donc de se rendre au bal et

d'envoyer une lettre aux conférenciers. "Chères mesdames et chers messieurs radioactifs", il commençait dans sa lettre, "je propose l'existence d'une particule invisible que j'appelle neutrino...". Plus tard il disait "j'ai fait une chose horrible: j'ai postulé une particule impossible à détecter". En effet, ce fut difficile mais finalement les neutrinos furent détectés. En 1956 Clyde Cowan et Frederick Reines, deux physiciens expérimentateurs travaillant au Nouveau Mexique, furent capables d' 'attraper' des neutrinos sortant d'un réacteur nucléaire. Cowan et Reines confirmèrent donc l'existence des neutrinos. L'hypothèse audacieuse formulée par Pauli avant d'aller au bal avait donc été finalement confirmée 26 ans plus tard.

Prenons l'exemple du boson de Higgs. En 1964 Peter Higgs, un jeune physicien théoricien anglais qui travaillait à Édimbourg, et plusieurs de ses collègues tels que François Englert et Robert Brout, deux physiciens théoriciens belges, s'attaquaient à une question vraiment fondamentale. Comment expliquer que les particules, telles que l'électron ou le muon (une particule similaire à l'électron mais plus lourde), ont une masse ? Et comment expliquer les différences de masse ? Les théories de l'époque n'avaient pas de bonne réponse. Les physiciens en question eurent une idée révolutionnaire. Ils postulèrent que l'espace, dans tout l'Univers, soit rempli d'une substance impercepti-



Photowalk 2015 - Andrew Hara
© 2015-2023 CERN

-ble (un “champ”) et que les particules nagent dans cette substance en se déplaçant, telles des poissons dans une eau invisible. Certaines particules interagissent plus avec cette substance et avancent donc avec une certaine lourdeur (pensons à des poissons un peu gauches). D’autres se faufilent agilement et ont aussi une masse plus petite. Cela aurait expliqué l’origine de la masse et les différences de masse. Les autres physiciens, à l’époque, ne furent pas tout de suite convaincus. Higgs en particulier, avait mis noir sur blanc cette hypothèse audacieuse dans un article envoyé à une revue scientifique en 1964. Le responsable de la revue, un collègue de Higgs, lui renvoya l’article en demandant “bon, d’accord, admettons que ton idée assez farfelue soit correcte. Comment peut-on la vérifier scientifiquement ?”. “C’est simple”, répondit Higgs dans une version améliorée de l’article, “je prédit que l’existence du champ est associée à celle d’une nouvelle particule. Il faut juste aller la chercher”. À partir de ce moment là, une course effrénée se déclencha entre

les physiciens expérimentateurs du monde entier. Aux Etats-Unis et en Europe, des accélérateurs de particules de plus en plus puissants et des détecteurs de plus en plus énormes et précis virent le jour, sans réussir à décrocher le graal de la découverte. Finalement cette particule, que l’on connaît aujourd’hui sous le nom de boson de Higgs (le boson est un type de particule), fut trouvée en 2012 grâce au Grand Accélérateur d’Hadrons du CERN de Ge-nève, un anneau de 27 km de circonférence à la frontière franco-suisse capable d’accélérer les particules à des vitesses incroyables. Il aura fallu 48 ans pour que le rêve de trois théoriciens se concrétise dans un vrai pas en avant dans la connaissance du monde subatomique. “Je n’aurais jamais espéré voir cela de mon vivant”, fut la première réaction de l’octogénaire Peter Higgs en larmes, quand le CERN lui annonça, devant le monde entier, qu’il avait eu raison. Prenons enfin l’exemple des ondes gravitationnelles. Au milieu de la nuit du 14 septembre 2015, les bras longues de 4km de LIGO,

l’instrument situé en Louisiane et dans l’état de Washington ont vibré de façon infinitésimale pendant une fraction de seconde. Cette vibration n’était pas due à un tremblement de terre, ni au passage d’une cargaison particulièrement lourde. Elle était due au passage d’une onde gravitationnelle qui a investi la Terre depuis l’espace le plus profond. Cette onde avait été produite à plus d’un milliard d’années-lumière de distance, quand deux trous noirs (les cadavres de grandes étoiles mortes) se sont percutés l’un avec l’autre et ont fusionné, pour donner naissance à un trou noir plus grand. Le choc a produit une vibration dans l’espace, comme une vague concentrique produite par un caillou lancé au milieu d’un étang. Cette vague s’est propagée silencieuse pendant plus d’un milliard d’années avant d’arriver faire vibrer d’une fraction de nanomètre les miroirs de LIGO, suspendus à un fil et liés par lasers. Ces ondes n’avaient jamais été observés auparavant. Et pourtant, elles avaient été prédites par Albert Einstein grâce à sa théorie de la Relativité Générale... en 1916, presque un siècle plus tôt !

Quelle est la morale de ces histoires ? La morale est que, dans la physique moderne (et peut-être dans la science moderne en général), souvent les prédictions théoriques se sont avérées beaucoup plus tard. Les découvertes ne sont pas forcément immédiates ni ont une utilité tout de suite évidente. Des fois, l'imagination absurde d'un théoricien se révèle vraie des décennies plus tard, quand les conditions (instrumentales, observationnelles ou autres) sont réunies.

Il y a aussi des prédictions théoriques qui attendent encore une vérification. Par exemple, nous savons depuis les années 1930 que les galaxies et l'Univers en général contiennent une mystérieuse Matière Noire. Mais presque un siècle plus tard et malgré les efforts colossaux de milliers de scientifiques du monde entier, nous ne savons pas encore de quoi il s'agit.

À vrai dire, les temps longs dans la science ont toujours existé. La querelle sur la nature de la lumière (une onde ou une particule ?) a occupé les scientifiques pendant une bonne partie du 18^{ème} et 19^{ème} siècle.

La recherche de l'éther, cette substance subtile qui était censé remplir l'espace et permettre la propagation de la lumière, a aussi absorbé les débats scientifiques pendant des décennies¹. Ce qui a changé est la société dans laquelle la science et les scientifiques évoluent: ses rythmes ont changé; ses attentes aussi.

Trop souvent aujourd'hui la société demande à la science un retour sur investissement rapide et concret, ce qui est irréaliste et contreproductif. Les gouvernements et les citoyens cherchent une réponse immédiate et sûre, ce qui est illusoire.

Le sujet est d'actualité car il y a beaucoup de débats et polémiques (en physique des particules et astronomie en particulier) sur les grands projets futurs.

Au CERN, par exemple, les physiciens planifient de construire un accélérateur de particules encore plus grand que le Grand Accélérateur d'Hadrons.

Le nouveau bijou aurait une circonférence de 100 km, il passerait dans un tunnel sous le lac

Léman et sous les montagnes voisines et il pourrait accélérer les particules à des énergies comparables à celles qu'elles possédaient un milliardième de milliardième de seconde après le Big Bang.

L'Agence Spatiale Européenne ESA, par exemple, envisage de lancer dans l'espace trois détecteurs d'ondes gravitationnelles, qui puissent rester en orbite autour du Soleil à une distance de 2.5 millions de kilomètres l'un de l'autre tout en se cherchant l'un l'autre avec des lasers puissants. Ils seront capable de détecter le passage d'une onde gravitationnelle produite par la fusion de trous noirs monstrueux, de la taille d'une galaxie entière. Si approuvés, ces projets verront le jour vers 2040 ou 2050.

Selon les détracteurs, ces projets sont trop vagues, longs et sans retour concret. Peut-être. Mais l'histoire nous montre que ce n'est pas la bonne façon de voir les choses quand on fait de la recherche fondamentale. On ne sait jamais quel rêve absurde va se concrétiser. Et quand.

¹Même si leur nature est différente, l'éther rappelle un peu le champ de Higgs. Sauf que le champ de Higgs existe. L'éther, non.