

Introduction : les échelles de longueur

Longueur

Nos échelles quotidiennes vont de la centaine de kilomètres (distance Liège-Bruxelles) au dixième millimètre (le diamètre d'un cheveu, ou la taille des plus grosses cellules). Notre intuition du monde couvre donc un facteur 100.000 au-delà ou 10.000 en deçà de notre propre taille*. Pour imaginer les échelles dont nous allons parler, disons qu'il y a autant de millimètres dans 10 kilomètres que de distances atomiques (appelées Ångstrom et valant 0,0000000001 m = 10^{-10} m) dans un millimètre. Un corps humain comporte de l'ordre de 10^{27} atomes ! Au centre de chaque atome se trouve un noyau. Si l'on représente le noyau par une balle de tennis, l'atome a alors environ un kilomètre de rayon. La limite de notre connaissance de la matière est d'environ un millième de la taille d'un noyau.

| Préfixe | Taille | Puissance de 10 | Exemple |
|--------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| milli | millimètre | $10^{-3}=0,001$ | 20 neurones |
| micro | micromètre ou micron | $10^{-6}=0,000001$ | un virus |
| nano | nanomètre | $10^{-9}=0,000000001$ | une molécule |
| pico | picomètre | $10^{-12}=0,000000000001$ | |
| femto | femtomètre ou fermi | $10^{-15}=0,000000000000001$ | un noyau |
| atto | attomètre | $10^{-18}=0,000000000000000001$ | une particule |

Les atomes

Historique

Le premier à avoir eu l'idée que la matière était faite d'entités élémentaires et éternelles fut l'Indien Kanad, au 6^e siècle avant l'ère chrétienne. Il croyait que toute la matière pouvait être construite à partir de 9 éléments : la terre, l'eau, la lumière, le vent, l'éther, le temps, l'espace, l'esprit et l'âme.

Un siècle plus tard, le Grec Démocrite, disciple de Leucippe, parle lui aussi de matière faite de vide et d'éléments indivisibles et éternels, qu'il appelle en premier *atomes*[†].

Il faudra ensuite attendre 15 siècles avant d'entendre parler à nouveau des atomes, avec l'Iranien Abu Hāmed al-Ghazali qui aborda le sujet des entités élémentaires constituantes de la matière dans un travail de synthèse ayant pour but d'intégrer le savoir scientifique à la religion musulmane.

À la Renaissance, le concept d'atome fut cité plusieurs fois par Bacon, Galilée ou encore Descartes, mais il resta à l'état d'intuition sans confirmation expérimentale et c'est seulement à partir du 18^e siècle que la notion d'atome connaît de grands bouleversements.

* La raison de cette asymétrie est probablement le succès de l'industrie automobile, qui a fait du km/h l'unité de vitesse, alors que le m/s correspond à la marche humaine.

[†] Atome signifie « que l'on ne peut pas couper » en grec.

En 1773, Antoine Laurent de Lavoisier énonce la loi « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » signifiant qu'au cours d'une réaction chimique, on peut diviser les molécules en « éléments » qui pourront être réorganisés pour se transformer en molécules différentes et ce, avec une conservation globale de la masse. Au même moment, Joseph Louis Proust met en évidence le fait que les proportions entre les différents « éléments » constituant les molécules sont toujours les mêmes et peuvent être écrites comme des fractions de nombres entiers.

En 1803, John Dalton effectue des mesures sur les masses des réactifs et des produits de réaction et en déduit que les substances sont composées d'atomes. Ils sont tous identiques pour un élément donné, mais différents d'un élément à l'autre, par exemple, au niveau de leur masse.

L'atome scientifique

Après Dalton, les physiciens et les chimistes effectuent des expériences pour découvrir les propriétés des atomes. Ils essaient d'établir un modèle de l'atome, et celui-ci sera affiné avec le développement de la physique pendant le XX^e siècle, comme, par exemple, lorsque Thomson établit qu'il est possible d'arracher des particules chargées négativement aux atomes, en 1887. Il vient de découvrir l'électron et il a déterminé que celui-ci pèse 2000 fois moins que l'atome le plus léger, l'atome d'hydrogène.

Le modèle atomique alors admis est le modèle « plum-pudding » (ou modèle du pudding aux prunes – voir figure 1). Dans celui-ci, l'atome est sphérique, de charge positive, avec un certain nombre d'électrons chargés négativement en son sein. Ce modèle prévaut jusqu'en 1911, quand une expérience, réalisée par Ernest Rutherford, un élève de Thomson, prouve que ce modèle n'est pas adéquat.

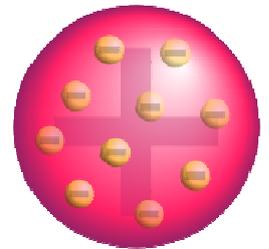


Figure 1 :
Représentation du
modèle de l'atome dit
« plum-pudding »

L'atome planétaire

L'expérience réalisée par Rutherford est la suivante : il bombarde une fine feuille d'or avec un faisceau de particules alpha, qui ont une charge positive.

Avec le modèle de Thomson, les particules alpha devraient toujours traverser la feuille d'or, puisque les électrons sont trop légers pour les arrêter, et le substrat positif n'est pas assez dense.

Or Rutherford s'aperçoit que des particules rebondissent sur la feuille, certaines des particules pouvant même faire demi-tour, ce qui doit signifier que la matière contient des « îlots » très massifs de matière chargée positivement. Rutherford en déduit un nouveau modèle de l'atome : *le modèle planétaire*, montré dans la figure 2. Dans ce modèle, les atomes sont constitués d'un noyau positif très petit (environ 100.000 fois plus petit que l'atome) et d'électrons gravitant autour du noyau.

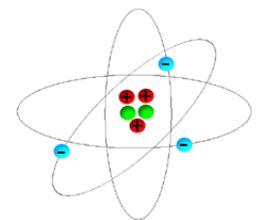


Figure 2 :
représentation du
modèle planétaire de
l'atome.

Cependant, selon ce modèle, les électrons devraient venir s'écraser sur le noyau, attirés par la charge positive de ce dernier. Ce problème trouva une solution en 1913, quand le physicien Niels Bohr montre que les électrons ne peuvent se trouver que sur des orbites précises et qu'alors ils trouvent une certaine stabilité. La solution de Bohr fut vérifiée expérimentalement en 1914 par Franck et Hertz, et le modèle planétaire cède alors sa place au *modèle atomique quantique*.

L'atome quantique

C'est à la même période que s'opère la « révolution quantique » qui va radicalement changer notre perception du monde, surtout dans le domaine du très petit.

Parmi les concepts à l'origine de la mécanique quantique, nous n'aborderons que la dualité onde-corpuscule qui fut découverte par Louis de Broglie et Erwin Schrödinger. Ils se rendirent compte que les particules sont à la fois comme un point matériel et une onde. Ces deux aspects se manifestent en fonction du phénomène que l'on observe. L'onde qu'on associe aux particules donne la probabilité d'observer la particule à un certain endroit, à un certain moment.

En utilisant la dualité onde-corpuscule, Erwin Schrödinger modélise l'électron comme une onde. Dans l'atome, l'électron n'est alors plus vu comme un point tournant autour du noyau, mais comme un nuage de probabilité entourant le noyau. La forme du *nuage électronique* dépend de l'énergie possédée par l'électron et il n'y a plus d'orbites de Bohr, comme montré dans la figure 3.

Aujourd'hui, ce modèle de l'atome est toujours correct. De plus, nous sommes capables d'obtenir des images d'atomes à l'aide de microscopes à effet tunnel. Les figures 4 et 5 en montrent un exemple.

Les noyaux

Les protons et les neutrons

Nous savons que les noyaux occupent une infime partie des atomes, située en leurs centres, qu'ils sont 100.000 fois plus petits et mesurent donc environ 10^{-15} m. Nous savons également que, puisqu'un atome est électriquement neutre et qu'il y a des électrons chargés négativement autour du noyau, la charge électrique de ce dernier est nécessairement égale à l'opposé de la somme des charges des électrons.

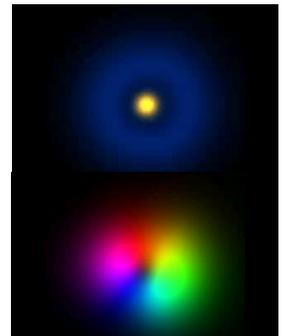


Figure 3 : Représentation de l'hydrogène dans modèle de l'atome quantique.

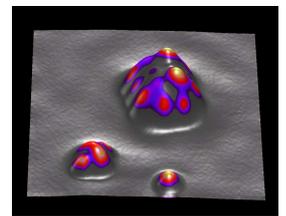


Figure 4 : « photographie » d'atomes de sodium et de xénon sur du cuivre

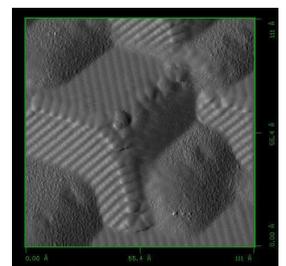


Figure 5 : image d'atomes de palladium cristallisé

Lorsque Rutherford imagine le modèle planétaire de l'atome, il s'est déjà aperçu qu'il existe un noyau plus petit que tous les autres et qu'il est possible de l'extraire des autres noyaux : c'est celui de l'hydrogène. Il émet donc l'hypothèse que le noyau d'hydrogène est une particule élémentaire de charge opposée à celle de l'électron, qu'il baptise *proton*^{*}. Pour lui, les atomes doivent contenir le même nombre d'électrons que de protons pour être électriquement neutres.

Rutherford pense que le noyau est constitué d'autant de protons que nécessaire pour que la masse[†] soit correcte et, pour que l'atome soit électriquement neutre, il doit contenir autant d'électrons que de protons. Les électrons qui ne sont pas sur une des orbites de Bohr doivent se trouver dans le noyau avec les protons, ce qui permet de mieux expliquer la stabilité des noyaux : la répulsion entre autant de charges de même signe dans un volume si petit devrait faire éclater le noyau très rapidement et la présence des électrons atténue ce phénomène.

La composition du noyau a changé en 1932, quand Chadwick a découvert le neutron. Aujourd'hui, on pense que le noyau est composé de:

- Z protons, avec Z le numéro atomique de l'élément,
- A-Z neutrons, avec A le nombre de masse de l'élément.

Le neutron a presque la même masse que le proton et est électriquement neutre, c'est pourquoi il a été plus difficile à découvrir que le proton. Ce sont les neutrons qui assurent la cohésion du noyau en éloignant les protons les uns des autres. De plus, cette composition nucléaire explique la présence d'isotopes aisément. Les isotopes sont des atomes qui ont les mêmes propriétés chimiques (et donc le même Z) tout en ayant une masse différente (un A différent). Les isotopes viennent donc de noyaux auxquels on a ajouté (ou retiré) des neutrons.

Cependant, lorsqu'ils deviennent trop gros, ou qu'ils contiennent trop de neutrons ou trop de protons, les noyaux deviennent instables. Pour retrouver leur stabilité, ils émettent des particules : on dit qu'ils sont radioactifs.

La radioactivité

La radioactivité est un phénomène physique naturel, au cours duquel des noyaux atomiques instables se désintègrent en dégageant de l'énergie pour se transmuter en des noyaux atomiques plus stables. Cette énergie est émise sous forme de rayonnements qui sont appelés, selon leur nature, des rayons alpha (α), des rayons bêta (β) ou des rayons gamma (γ).



Figure 6 : Trèfle radioactif

À chacun de ces rayonnements, on peut associer une particule qui a une masse et une charge électrique spécifiques.

Dans le tableau ci-dessous, nous donnons les masses et les charges électriques des rayonnements, ainsi que les épaisseurs de blindage nécessaires pour les arrêter :

* Du grec « $\pi\rho\omicron\tau\omicron\varsigma$ » qui signifie « premier ».

† Vu que la masse des électrons est 2000 fois plus petite que celle du proton, toute la masse des atomes doit se trouver dans le noyau.

| | Alpha (α) | Bêta (β^- ou β^+) | Gamma (γ) |
|---|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Particule associée | Hélium (2 p + 2 n) | Électron ou positon e^- ou e^+ | Photon γ |
| Masse | 4 u.m.a. | 0,0005 u.m.a. | 0 |
| Charge électrique | ++ | - ou + | 0 |
| Blindage pour arrêter le rayonnement | 1 feuille de papier | 1 feuillet d'aluminium | 4 mètres de béton |

Généralement, on fait la distinction entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle. La première désigne le bruit de fond radioactif dû, entre autres, au rayonnement cosmique et à des roches radioactives comme le granit alors que la seconde désigne la radioactivité due à des sources produites par l'activité humaine (telles que les éléments transuraniens synthétiques). Les zones où la radioactivité peut être dangereuse sont indiquées par le symbole de la figure 6. Il faut noter que notre organisme est adapté à une certaine dose de radioactivité naturelle : ainsi, en une heure, environ 500.000 désintégrations radioactives ont lieu à l'intérieur de notre corps.

Alpha

Les noyaux qui sont instables parce qu'ils sont trop gros peuvent émettre en une seule fois 2 protons et 2 neutrons, ce qui revient à émettre un noyau d'hélium, c'est le rayonnement alpha.

Le rayonnement α est un faisceau de particules lourdes et chargées, qui interagissent fortement avec la matière. Il n'est pas capable d'y pénétrer profondément et il dépose toute son énergie sur un intervalle très petit en causant beaucoup de dommages aux molécules qui l'entourent. Pour l'homme, il est surtout dangereux en cas de contamination interne (par ingestion ou inhalation).

Bêta

Le rayonnement β est constitué d'électrons, que nous avons déjà rencontrés dans le modèle atomique, ou de positons, qui sont les antiparticules des électrons, de même masse, mais de charge opposée. Pour les distinguer on écrira β^- ou β^+ . Certains noyaux, dans le but de retrouver la stabilité, transforment

- des neutrons en protons, s'ils ont trop de neutrons. Ils vont émettre des électrons (rayonnement β^-) grâce à la réaction : $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
- des protons en neutrons, s'ils ont trop peu de neutrons. Ils vont émettre des positons (rayonnement β^+) grâce à la réaction : $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$

où ν_e et $\bar{\nu}_e$ sont, respectivement, des neutrinos et des antineutrinos, d'autres particules élémentaires.

Gamma

Les noyaux qui ont trop d'énergie vont se débarrasser de celle-ci en émettant des photons, c'est le rayonnement gamma. Le photon est la particule élémentaire que l'on associe aux ondes électromagnétiques et donc à la lumière. Les rayons gamma sont de même nature et d'énergie semblable aux rayons X, mais on les

distingue parce qu'ils ne sont pas de même origine : les rayons X sont des photons produits par des électrons alors que les rayons gamma sont produits par les noyaux des atomes.

C'est le rayonnement le plus pénétrant et les dégâts qu'il peut causer sur le corps humain sont les mêmes que ceux causés par les rayons X.

Le compteur Geiger

Le compteur Geiger-Müller sert à mesurer certains rayonnements ionisants (particules alpha, bêta ou gamma, mais pas les neutrons). Il est constitué d'un tube Geiger-Müller et d'un système d'amplification et d'enregistrement du signal.

Le tube Geiger-Müller consiste en une chambre métallique cylindrique dans l'axe de laquelle est tendu un mince fil métallique. Elle est remplie d'un gaz sous faible pression. Une tension de l'ordre de 1000 volts est établie entre le cylindre (qui fait office de cathode) et le fil (anode). Quand un rayonnement pénètre à l'intérieur du tube Geiger-Müller, il arrache des électrons au gaz. Le détecteur est prévu pour que les électrons se multiplient très vite par un mécanisme appelé avalanche électronique, ou *avalanche de Townsend*, et qui rend le gaz conducteur pendant un bref instant. Les électrons sont accélérés par la haute tension, ils percutent des molécules de gaz et provoquent ainsi d'autres ionisations en cascade.

L'appareil est prévu pour détecter ces cascades, il va les amplifier et produire un signal électrique qui pourra être enregistré et traduit par une indication visuelle ou sonore. Par contre, ce principe de fonctionnement ne permet pas de distinguer les différents types de particules.

Les particules élémentaires

Les particules et les forces

Il apparaît que les noyaux ne sont pas des particules élémentaires, puisqu'ils sont un agglomérat de protons et de neutrons, contrairement aux électrons (et aux positons), aux neutrinos (et aux antineutrinos) et aux photons.

Il existe donc un ensemble d'objets qui sont beaucoup plus petits que les noyaux, que l'on appelle particules élémentaires. On estime que leur taille est au moins 1000 fois plus petite que celle du noyau et, de ce fait, il est souvent difficile de les observer de manière directe. Nous ne pouvons que déduire des informations des interactions qu'elles ont avec le milieu qui les entoure. Toutes ces particules agissent par le biais d'une force et on sait qu'il existe 4 forces de nature différente : la force de gravitation (qui ne nous intéresse pas ici), la force électromagnétique, la force faible et la force forte.

Si nous sommes familiarisés avec les deux premières forces, il n'en va pas de même pour les deux dernières. Les forces faible et forte interviennent directement à l'échelle des noyaux et des particules. Par exemple, la force faible est celle qui permet au neutron de se désintégrer en proton en émettant un électron et un antineutrino et la force forte est celle qui est à l'origine de la cohésion des noyaux.

Les physiciens décrivent les 4 forces par un échange de particules, qu'on appelle médiateurs. Le tableau suivant reprend, pour chaque type de force, leurs

médiateurs associés, l'intensité relative des forces par rapport à la force entre électrons (pour des particules distantes de 1 fm) et leur portée.

| Force | Médiateur | Force relative | Portée |
|--------------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Gravitation | Graviton | 10^{-36} | ∞ |
| Électromagnétique | γ | 1 | ∞ |
| Faible | W^+, W^- et Z^0 | 10^{-11} | 10^{-18} m |
| Forte | Gluons | 100 | 10^{-15} m |

L'interaction forte est aussi à l'origine de l'existence du proton et du neutron. En effet, ceux-ci ne sont pas des particules élémentaires, mais ils sont constitués de *quarks*. Ces derniers sont maintenus ensemble par l'échange de gluons, les médiateurs de la force forte. Les quarks ont un comportement qui est très différent de celui des particules que nous avons rencontrées jusqu'à présent : ils sont sujets à ce que l'on appelle le *confinement*. Ce terme signifie qu'il est impossible d'observer un quark seul, il est toujours accompagné d'au moins un autre quark. Si on essaye de les séparer, il faut fournir une quantité d'énergie suffisante pour contrebalancer la force forte et cela aura pour conséquence la création d'une paire de quark-antiquark en transformant l'énergie en masse selon la relation connue :

$$E = m c^2$$

Il existe 6 quarks différents, plus leurs 6 antiquarks. En les associant en respectant quelques règles de conservations, on peut reconstruire toutes les particules qui ont des interactions fortes. Avec les électrons, les quarks sont les constituants élémentaires des atomes.

Les particules connues et observées ont été répertoriées et classées en grandes familles : par exemple la famille des *leptons* qui contient notamment les électrons et la famille des *hadrons* qui contient entre autres les protons et les neutrons (voir figure 8).

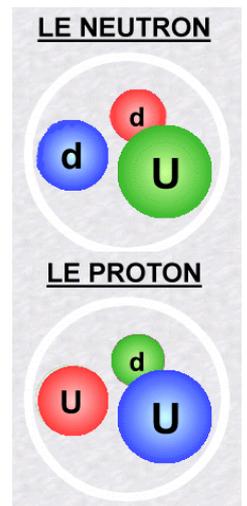


Figure 7 : Composition en quarks du proton et du neutron.

Les particules des rayons cosmiques

Le rayonnement cosmique a été découvert en 1912 par le physicien autrichien Victor Franz Hess, qui a montré l'existence de radiations dont l'intensité augmentait avec l'altitude. Il en avait conclu que l'origine des radiations était cosmique. Ce flux continu de particules, allant jusqu'à 1000 particules par m² par seconde, provient en partie de notre soleil et de l'univers, mais son origine exacte est encore mal connue.

Le rayonnement cosmique a des énergies qui peuvent aller de 10⁹ eV* à 10²¹ eV, ce qui est énorme puisqu'à l'heure actuelle le plus grand accélérateur construit par l'homme atteint une énergie de 10¹⁵ eV.

* Un électron-volt (eV) est l'énergie d'un électron accéléré par une différence de potentiel d'un volt.

En arrivant au sommet de notre atmosphère, ce rayonnement va interagir avec les atomes de la haute atmosphère. Les produits des réactions provoquent à leur tour d'autres réactions et ainsi de suite, ce qui crée une gerbe de particules qui parviennent jusqu'au sol. Parmi ces particules, beaucoup sont des muons (μ), qui font partie de la famille des leptons et ont les mêmes propriétés que les électrons, si ce n'est une masse 200 fois plus grande.

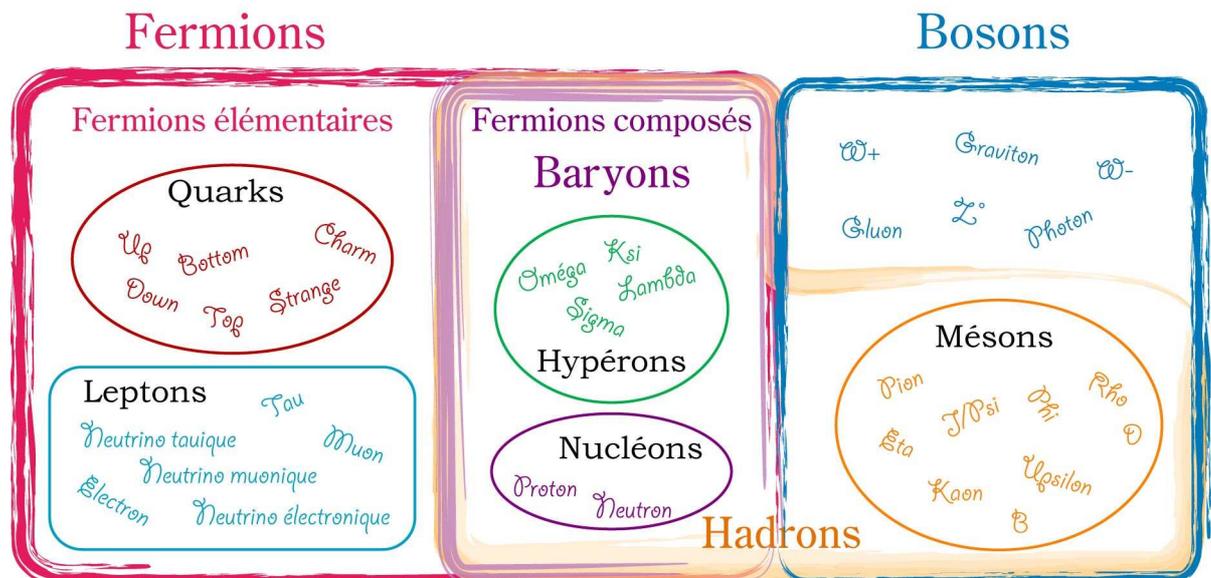


Figure 8 : Classement des particules en familles.

Les autres particules

L'étude du rayonnement cosmique a aussi permis la découverte d'autres particules comme les pions et les kaons (qui sont faits de deux quarks). C'est aussi dans le rayonnement cosmique que Charles Anderson a observé pour la première fois une antiparticule : le positon.

Il existe encore beaucoup d'autres particules. Certaines sont bien connues, d'autres moins, c'est pourquoi les physiciens continuent de les étudier dans les grands accélérateurs, comme le LHC au CERN à Genève.

Détecteur de particules

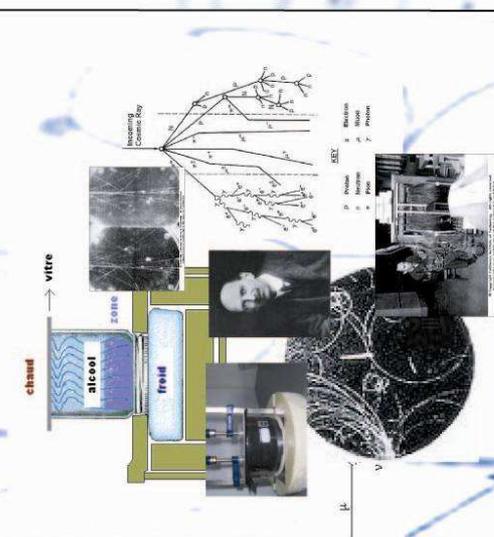
Il est possible de détecter ces particules issues du rayonnement cosmique sur Terre. Il existe plusieurs types de détecteurs qui reposent sur des principes très différents.

Le muon a été détecté dans une chambre de Wilson, aussi appelée chambre à brouillard. C'est un dispositif assez simple à réaliser, on peut même en fabriquer un « dans sa cuisine ».

Dans les pages qui suivent, vous trouverez le dépliant avec les consignes de fabrication de la chambre, quelques explications ainsi que son mode de fonctionnement.

Construire une Chambre à Brouillard

ou
Comment détecter des particules cosmiques
dans sa cuisine



Matériel:

SUPERMARCHÉ:

- Plat à salade en verre $\varnothing \sim 24$ cm 8 euros
- Lampe halogène flexible de 50 Watt 2,30 euros

MAGASIN de BRICOLAGE:

- Plaque de métal 5 euros
- Fils de fer
- Tube de silicone résistant aux basses températures (-40°C) 4 euros
- Peinture noire mate pour métal 7 euros
- 2 serre-joints de 30 cm
- Du feutre noir 0,60 euros
- Une plaque en bois
- Boîte en frigolite pouvant contenir le plat

PHARMACIE:

- Méthanol dénaturé (alcool de bois) 3 euros
- Carboglace 40 euros

1. Découper la plaque de métal en un carré de côté égal au diamètre du plat et la peindre en noir. Peindre également le plat en laissant deux bandes libres. Bien laisser sécher.



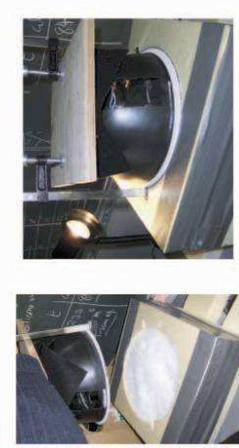
2. Dessiner sur le métal la circonférence du plat et déposer du silicone sur toute la trace. Le joint de silicone doit avoir une épaisseur d'environ 0,5 cm et une largeur de 1 cm. Laisser sécher plus ou moins 24h suivant le silicone utilisé.



3. Construire avec le fil de fer un support en forme de tabouret pour le feutre.
4. Quand tout est bien sec, assembler la chambre. Placer le feutre dans le fond du plat et l'imprimer tout de l'environ 10 cl de méthanol. Placer le support sur le feutre, puis la plaque en métal en disposant soigneusement la circonférence sur le joint.



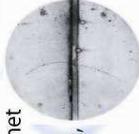
5. Placer la plaque en bois sous le plat et serrer le tout avec les deux serre-joints. Laisser reposer la chambre environ 15 min.
6. Placer la carboglace dans la frigolite et la chambre par dessus. Le métal doit être en contact avec la glace.
8. Après quelques minutes, un brouillard doit se former sur environ 1 cm dans le fond de la chambre et il est alors possible de voir les traces du rayonnement cosmique.



Des particules extra-terrestres

Le rayonnement cosmique est un flux continu de particules qui nous arrivent de l'Univers tout entier. Il est composé principalement de protons et de noyaux qui peuvent avoir des énergies de l'ordre du Peta-électronvolt (10^{15} eV) et lorsqu'ils frappent notre atmosphère, ils produisent par différentes réactions toute une série de particules et antiparticules comme les muons, les électrons et les positons, qui peuvent ensuite être détectées sur terre.

Dans une chambre à brouillard, chaque type de particule produit une trace caractéristique en longueur, largeur et forme qui permet de l'identifier. C'est d'ailleurs dans ce détecteur que Charles Anderson, qui étudiait la composition du rayonnement cosmique vif pour la première fois une antiparticule (un positon) en 1932.



Reconnaitre les particules

Une chambre à brouillard va donc détecter les particules qui arrivent sur terre avec le rayonnement cosmique c'est à dire principalement des protons, des électrons, des noyaux d'hélium (alpha) et des muons. Nous pouvons nous attendre à environ 10 traces par minutes qu'il est possible de différencier:



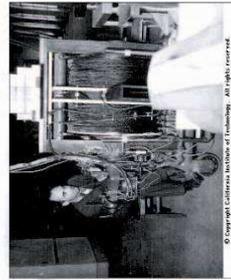
1. Alpha: courte et épaisse
2. Electron et positon: étroite et longue, pas toujours droite et déviée par un aimant
3. Proton: épaisse et plus longue que les alphas
4. Muon: étroite et très longue

La chambre à brouillard

Une chambre à brouillard est un détecteur de particules dans lequel l'ionisation produite par le passage d'une particule chargée dans un gaz saturé en vapeur provoque la formation de gouttelettes de condensation le long de la trajectoire. Elle permet de visualiser les particules et de les photographier.



Le même phénomène peut être observé dans le ciel, lorsque un avion traverse l'air sursaturé en eau des hautes altitudes et provoque de grandes traînées blanches.



Images: La chambre à brouillard de Wilson, Anderson devant une chambre à brouillard au MIT, Premières traces de particules dans une chambre de Wilson

La chambre à brouillard a été inventée en 1912 par un physicien écossais, Charles T.R. Wilson. Elle servait principalement à étudier le rayonnement cosmique, et a été utilisée jusque dans les années 50.

Infos pratiques:

Quelques points d'aide pour obtenir les conditions pour la formation du brouillard:

- Préparer le joint de silicone très soigneusement. Il doit être épais et surtout bien sec pour permettre la sursaturation et éviter qu'il ne fonde.
- Il ne doit pas y avoir de liquide dans le fond de la chambre.
- La carboglace doit être en contact direct avec le métal. On peut améliorer le contact thermique en plaçant la chambre sur un mélange isopropanol-carboglace.
- La partie efficace du détecteur est d'environ 1cm d'épaisseur dans le fond. La lumière doit être rasante pour avoir une bonne visibilité.

Carboglace et alcools:

La carboglace ou glace carbonique est à -80 °C et est à manipuler avec précaution. Elle peut provoquer des brûlures graves.

Il est possible de s'en procurer:

- Chez Air-Liquide (environs 40 euros pour 5 kg)
- Certain magasins de fournitures pour fêtes et cocktails. Elle se conserve très peu puisque on perd la moitié en 24h. Il est conseillé de la maintenir isolée dans une double boîte de frigolite. Ne pas mettre au frigo.

Il est possible d'utiliser d'autre type d'alcool:

- Ethanol: plus cher
- Isopropanol: ~pur ou à 80% pour le contact thermique
- Méthanol: toxique

Renseignements supplémentaire, théorie développements et contacts:

www.theo.phys.ulg/cloudchamber
www.theo.phys.ulg