

FRANÇOIS BONIN

MATIÈRE

Étude sur les fondements de la matière

Avant-propos

Cette étude nous trotte dans la tête depuis un bon bout de temps; certains de nos écrits tournent déjà autour de ce sujet principal, mais aucun de ceux-ci n'a vraiment abordé la composition de la matière à partir de ses briques élémentaires. Nous allons descendre jusqu'au niveau de l'atome et découvrir certaines facettes invisibles et parfois incompréhensibles de la matière à cette échelle.

Nous ne ferons qu'un survol des composantes de la matière et de leurs fonctionnements, car nos connaissances ne nous permettent pas d'expliquer plus en profondeur. Malgré cela, nous croyons que cette étude sera un bon début, pour les néophytes, et un résumé acceptable pour les personnes qui sont plus familières avec ce domaine.

PARTIE 1

Composition de la matière

Chapitre 1.1 : Principales briques de la matière.

Particules élémentaires de matière constituant le modèle standard
Image tirée du site Vulgarisation-scientifique.com

masse →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
QUARKS	≈4.8 MeV/c ²	≈96 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e électron	μ muon	τ tau	Z⁰ boson Z ⁰	
LEPTONS	<2.2 eV/c ²	≈0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	W[±] boson W [±]	
					BOSONS DE JAUGE

-MODÈLE STANDARD :

Le modèle standard comprend douze particules élémentaires; la première colonne regroupe les particules stables qui composent la matière usuelle et les trois autres colonnes ont la même structure, mais la durée de vie de ces particules est très courte. Dans chaque rangée, les particules ont des propriétés communes et sont placées par masse croissante.

-ATOME :

L'atome est composé d'un noyau et d'électrons qui gravitent aux alentours de celui-ci. Le noyau est dix mille fois plus petit que l'atome, mais il contient à lui seul, 99,9 % de la masse totale de l'ensemble. Le noyau de l'atome renferme des protons, particules à charges positives, et des neutrons qui n'ont pas de charge. L'atome est généralement neutre car les électrons, qui entourent le noyau sont de charges négatives et leur nombre correspond au nombre de protons à l'intérieur du noyau.

Les protons et les neutrons sont eux-mêmes composés de quarks, qui sont actuellement considérés comme les particules élémentaires de toutes matières. Les quarks sont maintenus ensemble par des gluons, bosons responsables de l'interaction forte. Le rayon d'un proton serait entre 0,84 et 0,88 femtomètre (10^{-15} m).

-PROTON :

Les protons ont une charge électrique positive de même valeur mais opposée à celle de l'électron. Les protons sont formés de deux quarks up et d'un quark down et les quarks sont tenus ensemble par des gluons. Étonnamment, une grande partie de la masse des protons et des neutrons ne provient pas des quarks eux-mêmes, mais de l'énergie des gluons; encore un exemple de la relation entre masse et énergie ($E = mc^2$).

-NEUTRON :

Les neutrons n'ont pas de charge électrique; ils sont neutres. Les neutrons sont constitués de deux quarks down et d'un quark up, soit à l'inverse des protons. Les quarks à l'intérieur des neutrons sont aussi liés par des gluons. Les neutrons se désintègrent en moyenne au bout de quinze minutes lorsqu'ils sont seuls, mais ils sont très stables lorsqu'ils sont dans les noyaux atomiques, en compagnie des protons.

Lorsqu'une étoile explose, il y a formation de neutrons due à l'interaction faible qui unit alors électrons et protons.

-QUARK :

Les quarks sont les particules élémentaires de la matière. Ils s'attirent entre eux par une force fondamentale, l'interaction forte, véhiculée par des gluons. Bizarrement, cette force s'amplifie avec l'augmentation de la distance entre les quarks.

Les quarks sont les briques élémentaires des protons et des neutrons, mais aussi les quarks forment les mésons à raison d'un quark et d'un antiquark.

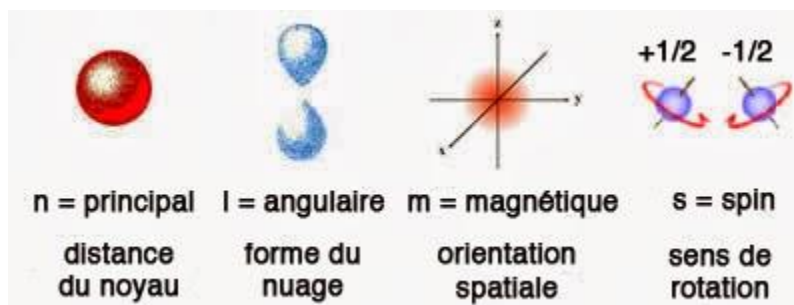
Il y a six types de quarks. Le quark up est le plus léger, alors que le quark top est le plus lourd et environ 60 000 fois plus lourd que le quark up.

-ÉLECTRON :

Les électrons ont une charge électrique négative.

Nombres quantiques de l'électron

Image tirée du site Prmarchenry.blogspot.com

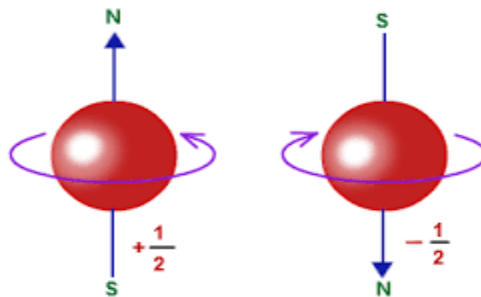


L'énergie de l'électron ne dépend que du nombre principal, n . Si $n = 4$ alors cela signifie que l'électron est situé sur la couche électronique 4 et que le niveau d'énergie de cet électron est plus élevé que celui d'un électron sur la couche 3, mais moins élevé qu'un électron sur la couche 5. Plus le numéro est élevé, plus l'électron est éloigné du noyau et plus son énergie est grande.

L'électron, qui est à la fois une particule et une onde quantique, est aussi comme un mini aimant, à cause de sa rotation, son spin. Ce léger magnétisme, produit par le spin de l'électron, est un facteur qui joue dans les liaisons chimiques entre les atomes de la matière.

Le spin quantique est semblable au mouvement de rotation de la terre mais l'axe de rotation est toujours up ou down lorsqu'il est mesuré alors qu'avant la mesure, le spin se trouve dans une superposition des deux états. Un spin $\frac{1}{2}$ signifie que la particule doit tourner deux fois pour revenir à un même état, alors que spin de 1 ne requiert qu'une seule rotation.

Spin de l'électron
Image tirée du site Qsstudy.com



Bien qu'une particule quantique soit d'habitude un ensemble de probabilités, ses propriétés prennent des valeurs spécifiques quand elle est observée.

Un atome comprend un maximum de 7 couches où les électrons s'installent. Les couches sont identifiées par des lettres et le chiffre, sous les lettres, représente le nombre d'électrons que cette couche peut contenir. En allant vers la droite, les couches s'éloignent de plus en plus du noyau.

lettre	K	L	M	N	O	P	Q
nombre	2	8	18	32	32	18	8

-BOSON :

Les bosons sont des excitations des champs quantiques; ces excitations sont définies comme étant des particules qui véhiculent les interactions fondamentales. Le photon est le vecteur de l'électromagnétisme, le gluon est celui de l'interaction forte et les bosons W^{+} et Z sont les vecteurs de

l'interaction faible. Le champ de Higgs est différent, car il est le vecteur de la masse de la matière et non pas le vecteur d'une interaction. Plus la portée de l'interaction est petite et plus le vecteur, qui est responsable de cette interaction, se doit d'être lourd.

Chapitre 1.2 : Autres briques importantes de la matière.

Plusieurs de ces particules ont été découvertes dans les collisionneurs et ont une vie extrêmement brève.

-MUON :

Le muon, qui a un spin de $\frac{1}{2}$, possède les mêmes propriétés physiques que l'électron, mais cette particule est 207 fois plus lourde et sa masse est de $106,66 \text{ MeV}/c^2$.

-MÉSON :

Ils sont formés d'un quark et d'un antiquark et ils s'annihilent aussi rapidement qu'ils sont produits, reproduisant de l'énergie pure. Les KAONS et les PIONS sont des particules de la famille des MÉSONS.

-NEUTRINO :

Il y a production de neutrinos lorsqu'il y a désintégration d'un noyau atomique. Ces particules sont si petites et de masses si faibles qu'elles traversent le corps humain sans laisser de trace. Le Soleil en éjecte des milliards à la seconde. Les trois types de neutrinos (électronique, muonique et tauique) ont une masse différente et même additionnée, ces trois masses ne font qu'un millionième de la masse d'un électron, qui est elle-même très petite ($0,511 \text{ MeV}/c^2$). Vu le phénomène d'oscillation des neutrinos, un neutrino d'un type peut se transformer en un neutrino d'un autre type. Cette transformation dépendrait surtout de l'énergie des neutrinos, qui sont émis, et aussi de la distance qu'ils parcourent, avant d'être détectés.

Les neutrinos agissent seulement par l'interaction faible et sont considérés comme étant des particules élémentaires. Vu que les neutrinos sont très difficiles à détecter, étant donné qu'ils peuvent traverser facilement la matière, il faut éliminer tous les parasites et les bruits de fond qui peuvent

nuire à leur détection, en plaçant les détecteurs sous terre. C'est à Sudbury, en Ontario, qu'est situé le détecteur canadien de neutrinos; il est construit sous deux kilomètres de roches dans une vieille mine.

En fait, les neutrinos ne sont pas encore observés directement, mais ils sont détectés par les photons énergétiques qu'ils produisent, lors de leurs interactions avec de l'hydrogène contenu dans les détecteurs.

-ANTIMATIÈRE :

La matière usuelle d'un atome est composée de protons, neutrons et électrons. L'antimatière existe vraiment et ses particules possèdent des propriétés très similaires à celles de la matière. Les particules et les antiparticules ont des masses identiques, mais des charges électriques opposées. Les particules et les antiparticules sont produites simultanément lorsque l'énergie est transformée en masse selon la formule d'Einstein $E = Mc^2$; cependant, les particules et les antiparticules disparaissent lorsqu'elles entrent en collision; elles sont alors habituellement converties en photons.

L'antimatière est utilisée en médecine pour réaliser des tomographies.

Matière	Électron	Proton	Neutron
Masse (kg)	$9,109 \times 10^{-31}$	$1,673 \times 10^{-27}$	$1,675 \times 10^{-27}$
Charge (e)	-1	1	0
Antimatière	Positron	Antiproton	Antineutron
Masse (kg)	$9,109 \times 10^{-31}$	$1,673 \times 10^{-27}$	$1,675 \times 10^{-27}$
Charge (e)	1	-1	0

Chapitre 1.3 : Classification des éléments de matière.

Tableau périodique
Image tirée du site Wikimedia.org

Tableau périodique des éléments chimiques

Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté avec les éléments classés par numéros atomiques (Z) et numéros de groupe (1 à 18). Les éléments sont colorés selon leur groupe :

- 1 (bleu) :** métaux alcalins
- 2 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 3-10 (jaune) :** métaux de transition
- 11-12 (vert clair) :** métaux alcalins
- 13 (orange) :** métaux
- 14 (bleu) :** métalloïdes
- 15 (vert) :** métalloïdes
- 16 (rouge) :** non-métaux
- 17 (bleu) :** halogènes
- 18 (jaune) :** gaz nobles
- 19-20 (bleu) :** métaux alcalins
- 21-30 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 31-36 (jaune) :** métaux
- 37-38 (bleu) :** métaux alcalins
- 39-40 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 41-48 (jaune) :** métaux de transition
- 49-50 (bleu) :** métaux alcalins
- 51-52 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 53-54 (bleu) :** métaux alcalins
- 55-56 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 57-70 (bleu) :** lanthanides
- 71-80 (orange) :** actinides
- 81-82 (bleu) :** métaux alcalins
- 83-84 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 85-86 (bleu) :** métaux alcalins
- 87-88 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 89-90 (bleu) :** lanthanides
- 91-92 (orange) :** actinides
- 93-94 (bleu) :** métaux alcalins
- 95-96 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 97-98 (bleu) :** métaux alcalins
- 99-100 (orange) :** métaux alcalino-terreux
- 101-102 (bleu) :** métaux alcalins

Le fer (Fe) est mis en évidence en vert clair. Ses données sont : Z=26, masse atomique 55,845, configuration électronique $[Ar] 3d^6 4s^2$.

À gauche du tableau, un diagramme des couches électroniques (1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s) illustre la structure de l'atome.

Le numéro atomique est le nombre de protons dans le noyau de l'atome, alors que la masse atomique est à peu près égale au total des protons et des neutrons, contenus aussi dans le noyau. Lorsque l'atome est neutre, le nombre d'électrons et le même que le nombre de protons.

Les isotopes sont des atomes d'un élément qui garde le même nombre de protons que l'élément original, mais qui possède un nombre différent de neutrons. Un des exemples bien connu est le carbone; le carbone possède habituellement 6 protons et 6 neutrons dans son noyau pour une masse atomique de 12,01; cet élément est neutre et son noyau est évidemment entouré par 6 électrons. Un des isotopes du carbone est le C^{14} ; ce carbone contient 8 neutrons dans son noyau; il est encore neutre vu que le nombre de protons et d'électrons ne changent pas, mais il est radioactif.

Un ion est un atome qui porte une charge électrique à la suite de la perte ou du gain d'un ou de plusieurs électrons. L'ion est de charge négative si l'atome a capturé un électron d'un autre élément et l'ion montre une charge positive si l'atome original a perdu un électron.

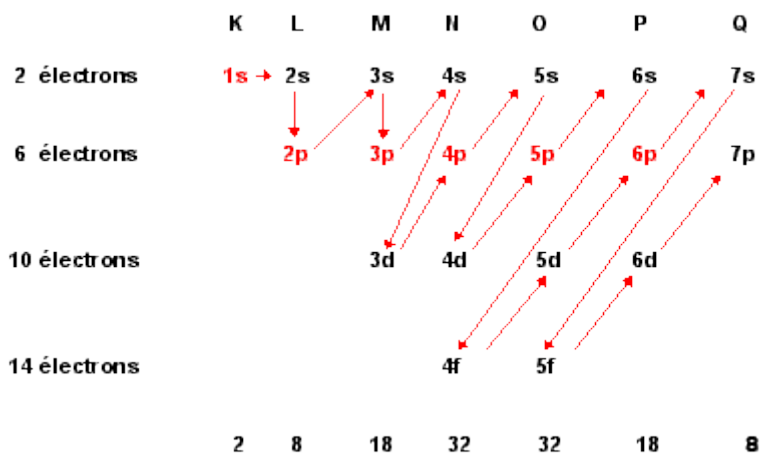
Dans le tableau périodique, les éléments d'une colonne ont des propriétés similaires et le même nombre d'électrons sur leur orbite externe. Les rangées correspondent aux niveaux successifs de couches électroniques.

Les orbitales électroniques sont les endroits où nous avons le plus de chance de trouver les électrons d'un élément. En effet, les électrons n'ont pas d'endroit précis de localisation, mais se trouvent dans des zones que nous appelons des orbitales.

Les deux colonnes de gauche du tableau périodique représentent les éléments dont les électrons remplissent les orbitales s; les dix colonnes suivantes, les éléments dont les électrons remplissent les cinq orbitales d et les six colonnes à droite du tableau, les éléments dont les électrons remplissent les trois orbitales p; finalement pour les éléments des deux rangées séparées du tableau, les électrons remplissent les sept orbitales f.

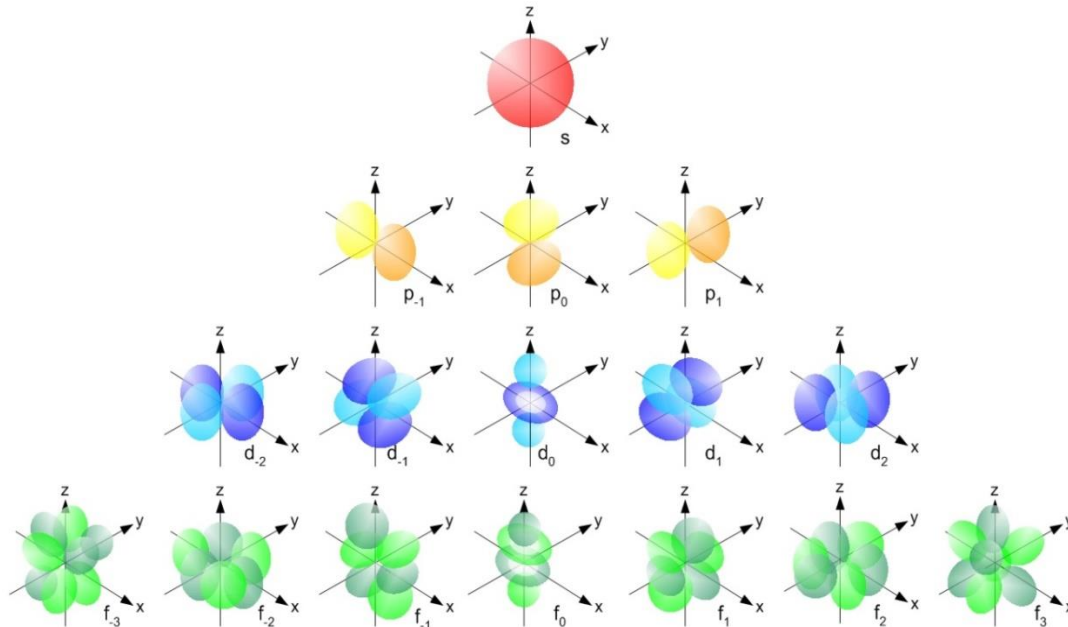
Ordre de remplissage des orbitales électroniques

Image tirée du site Geocities.ws



Orbitales électroniques

Image tirée du site Chemistry.Stackovernet.com



Les états physiques des éléments varient en fonction de la température et de la pression; les éléments peuvent alors être gazeux, liquides ou solides. La limite entre l'état solide et l'état liquide est le point de fusion; celle entre l'état liquide et l'état gazeux est le point d'ébullition.

Le plasma et les condensats de Bose-Einstein sont des états particuliers de la matière.

Les objets nanométriques ont entre 1 et 100 nanomètres de dimension; un nanomètre correspond à 10^{-9} m. Un chien peut mesurer facilement 1 m, une balle de tennis 6 cm, une coccinelle 1 cm, un acarien 200 μm , un cheveu 80 μm , une bactérie 1 μm , un virus 70 nm, une molécule d'ADN 2 nm et un atome de carbone 0,1 nm.

Chapitre 1.4 : Composition inconnue de la matière.

-MATIÈRE NOIRE:

L'hypothèse de l'existence d'une matière noire provient du fait que les étoiles aux extrémités des galaxies tournent plus vite que prévu et que ces étoiles sont retenues dans l'ensemble, par la gravitation des masses importantes de matière inconnue. En outre, la diffraction de la lumière est plus importante que ce que la matière visible permet. Malgré ces

explications hypothétiques, aucune expérience n'a encore réussi à la détecter concrètement, même si dans l'univers, il y aurait cinq fois plus de matière noire que de matière visible.

-ÉNERGIE SOMBRE :

L'énergie sombre est appelée ainsi, car nous ne la connaissons pas et cela même si elle est considérée comme étant la responsable de l'expansion de l'univers. Pour la détecter, les scientifiques cherchent des particules et des forces nouvelles ou même une nouvelle dimension de l'espace-temps.

PARTIE 2

Propriétés de la matière

Chapitre 2.1 : Propriétés expliquées de la matière.

-PROPRIÉTÉS CHIMIQUES D'UN ÉLÉMENT DONNÉ :

C'est le nombre d'électrons présents sur l'orbite externe d'un atome qui détermine les propriétés chimiques de l'élément. Normalement, les orbites basses des atomes sont remplies en premier et les électrons s'installent graduellement sur les subséquentes. Par contre, lorsque les atomes possèdent beaucoup d'électrons, ceux-ci ne comblent pas toutes les places sur les orbites, comme cela se fait habituellement. L'explication a été fournie par Wolfgang Pauli qui a découvert que pour chaque niveau énergétique, il ne peut pas y avoir plus de deux électrons de spin opposé.

-RADIOACTIVITÉ :

De très nombreux atomes ne sont pas stables et ils sont dit radioactifs. Les noyaux de ces atomes ont tendance à se désintégrer en émettant soit, des rayons α (noyaux d'hélium comprenant deux protons et deux neutrons), des rayons β^+ (un proton se transforme en neutron + positron + neutrino), des rayons β^- (un neutron se transforme en proton + électron + antineutrino) ou des rayons γ (photons énergétiques).

Les particules distribuent différemment leur énergie dans la matière. Les protons déposent leur énergie en fin de parcours, alors que les électrons et les photons la perdent de façon continue au fur et à mesure de leur ralentissement.

-TEMPÉRATURE :

La température d'un matériau est une mesure de l'énergie de ses atomes. Cette énergie est une combinaison de l'énergie cinétique des atomes (mouvement) et de leurs niveaux énergétiques, qui sont déterminés par leur potentiel d'effectuer des sauts quantiques sur une orbite différente.

La matière est généralement connue comme ayant trois états soit, solide, liquide ou gazeux. Cependant, à une très haute température, la matière se transforme en plasma, vu que les atomes du gaz perdent des électrons et deviennent alors des ions chargés positivement. Le plasma est la forme connue la plus répandue dans l'univers, car la grande majorité de la matière des étoiles est dans cet état.

À l'autre extrême, nous faisons connaissance avec le cinquième état de la matière, le condensat Bose-Einstein. Cet état de matière lie entre eux les bosons, qui normalement n'interagissent pas l'un avec l'autre.

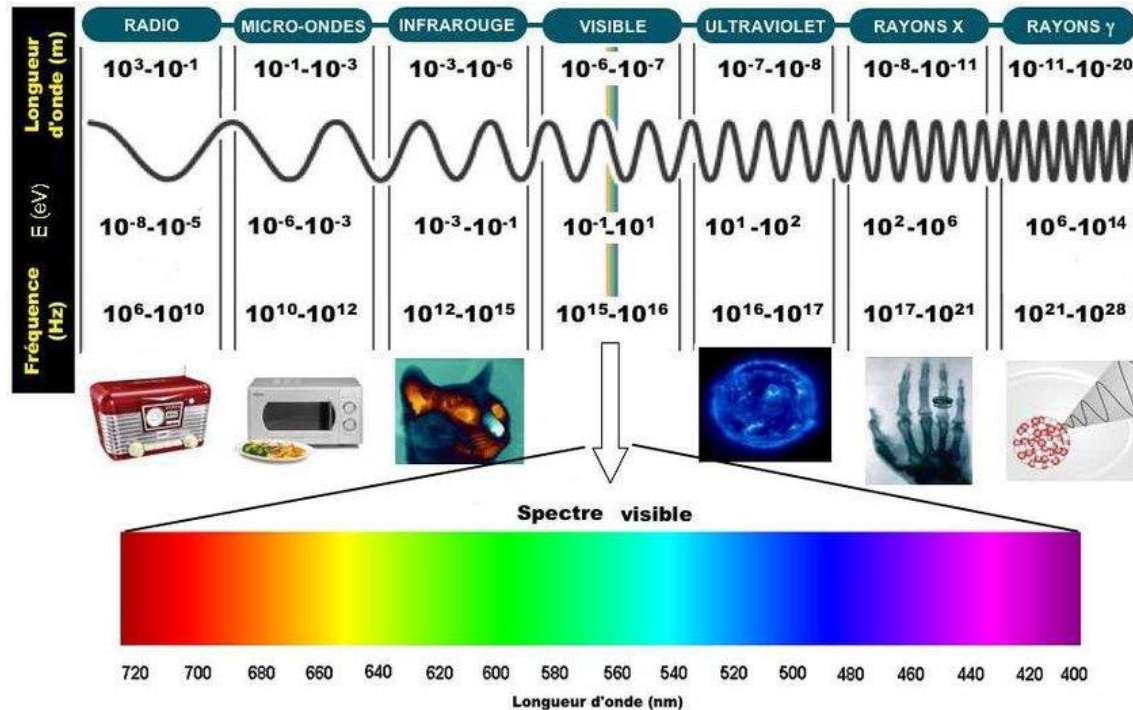
À une température extrêmement basse, -269°C , la résistance du mercure au passage de l'électricité disparaît brusquement et totalement; dans cet état, le mercure est considéré comme un supraconducteur. Il en est de même pour d'autres éléments.

-FUSION :

L'énergie des étoiles, comme notre Soleil, provient de la fusion. Les noyaux des atomes d'hydrogène, qui ne contiennent qu'un proton, fusionnent et le nouveau noyau créé contient maintenant non pas deux protons, mais un proton et un neutron. Cette nouvelle particule fusionne alors avec une de ses semblables et le noyau contient maintenant deux protons et deux neutrons; c'est la composition du noyau d'hélium.

-ÉMISSION DE PHOTONS :

Spectre électromagnétique.
Image tirée du site Researchgate.net



La lumière peut avoir deux états, soit être une particule, photon, soit une onde. En fait, les ondes électromagnétiques constituent la version ondulatoire du photon. La masse du photon est nulle, c'est pourquoi il se déplace dans le vide sans ralentir à une vitesse d'environ 300 000 km/s.

L'émission de photon fait suite à l'excitation d'un atome. Par exemple, lorsqu'un atome est chauffé, ses électrons sont stimulés et passent au niveau supérieur; en redescendant, ils émettent un photon de lumière dont l'énergie correspond à celle reçue.

L'énergie des photons est liée à leur fréquence qui est, elle, inversement proportionnelle à la longueur d'onde de la lumière. L'énergie produite par les ondes radio, qui sont très longues (10^3 m) est très faible, soit 10^{-9} eV, alors que l'énergie provenant des rayons X, dont la longueur d'onde est de 10^{-10} m, est très puissante et vaut 10^3 eV. L'électron volt (eV) est l'énergie acquise par un électron accéléré par une tension électrique d'un volt.

La constante de Planck établit un lien entre la longueur d'onde de la lumière ou sa fréquence et l'énergie que la lumière véhicule. Cette constante a la valeur de : $6,626 \times 10^{-34}$; c'est un nombre extrêmement petit.

La formule pour obtenir l'énergie des photons est : $W = h \times v$ ou W est l'énergie rendue en joules, h la constante de Planck et v la fréquence des oscillations.

-SAUT QUANTIQUE :

Le saut quantique est, dans un atome, le passage d'un électron d'un état d'énergie donné à un état d'une autre énergie. Les sauts quantiques sont la cause unique des émissions électromagnétiques, y compris la lumière, qui se font sous forme d'objets quantifiés appelés photons.

Les électrons, qui sont des particules de charge négative, montrent aussi un comportement ondulatoire. La trajectoire ondulatoire d'un électron autour du noyau d'un atome est une orbitale. Les électrons d'un atome précis peuvent se trouver seulement sur certaines orbitales, entre lesquelles, ils sautent.

-ÉNERGIE ET MATIÈRE :

$E = Mc^2$. L'énergie peut être transformée en matière et la matière peut revenir énergie. Il semble que l'énergie a précédé la matière dans l'univers; en outre, l'énergie, comme la matière, est influencée par la gravitation. Cette formule peut aussi nous permettre de connaître la masse d'un objet, si nous connaissons l'énergie qu'il dégage; à ce moment, la formule s'écrit $M = E/c^2$.

En fait, l'énergie se transforme en matière en produisant des particules en paires matière-antimatière.

Dans le Soleil, 620 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées en 615 millions de tonnes d'hélium et cela à chaque seconde. La masse perdue, soit 5 millions de tonnes par seconde, est émise sous forme d'énergie.

-QUATRE FORCES DU MODÈLE STANDARD :

Par ordre décroissant d'intensité.

~1 : L'interaction nucléaire forte, qui lie les quarks et permet ainsi aux protons de rester ensemble dans le noyau, a comme vecteur les gluons.

$\sim 10^{-3}$: L'électromagnétisme, qui fournit toutes les interactions familières de la lumière et de la matière, a comme vecteur les photons.

$\sim 10^{-5}$: L'interaction faible, qui est impliquée dans les réactions nucléaires et la production des neutrinos, a comme vecteur les bosons W^+ , qui sont chargés électriquement, et le boson Z qui est neutre. Cette force, tout comme l'interaction forte, n'intervient qu'à l'intérieur du noyau atomique.

$\sim 10^{-38}$: La gravitation, qui est reliée à la masse des corps et qui domine dans les astres, n'a pas encore de vecteur connu; elle est d'une intensité très faible comparée aux autres forces. La gravitation et la force électromagnétique sont les deux seules forces à agir au-delà de la dimension du noyau atomique. En outre, la force de la gravitation dans l'univers est produite par la présence de masses importantes de matière qui courbent le tissu de l'espace-temps.

-CHAMP DE HIGGS :

Découvert en 2012, mais annoncé seulement en mars 2013, il agit d'une manière similaire à la friction pour conférer aux particules une masse apparente.

Chapitre 2.2 : Propriétés inexplicées de la matière.

-INTRICATION :

L'intrication de particules est maintenant reconnue comme un fait, même si nous ne pouvons encore l'expliquer clairement. L'intrication c'est l'établissement d'un lien instantané entre deux particules de matière, même si elles sont très éloignées l'une de l'autre.

Ce phénomène, qui fait partie de la théorie quantique, était contesté par plusieurs scientifiques, dont Einstein, qui ne croyaient pas possible la création d'un lien instantané entre deux particules lointaines, car cela contredit la prémisse qui stipule que rien ne peut se déplacer plus vite que la lumière.

Or en 2015, des chercheurs ont réussi à démontrer que l'intrication existe vraiment. Ils sont partis du fait que les électrons sont dotés d'un spin. Avec

des lasers, les scientifiques ont excités deux électrons qui étaient distants de 1 280 m et qui montraient des spins opposés. Les électrons excités ont alors émis des photons qui reflétaient le spin de leur électron. L'étape suivante a été de faire en sorte que les photons se rencontrent et en se rencontrant, ils s'intriquent; par extension, les électrons respectifs, qui ont émis ces photons, sont aussi intriqués. Sur 245 mesures effectuées, environ 200 mesures ont prouvé qu'en modifiant le sens du spin d'un électron intriqué, le sens du spin de l'autre électron intriqué changeait aussi et cela instantanément, même s'il en était éloigné.

En 2016, la Chine a lancé Mozi, le premier satellite de communications quantiques, et le satellite a envoyé des paires de photons intriqués vers des sites séparés par une distance de 1 200 km.

Les scientifiques n'ont pas encore réussi à utiliser l'intrication pour envoyer des messages instantanés; néanmoins, l'intrication offre une clé de cryptage aléatoire et rend impossible son interception, car si quelqu'un tente d'intercepter un message, le destinataire du message le voit tout de suite.

-EFFET TUNNEL :

Dans la théorie quantique, il est stipulé qu'une particule quantique peut se retrouver de l'autre côté d'une barrière sans même la traverser. Sans effet tunnel, le Soleil, comme les autres étoiles, ne fonctionnerait pas. La fusion des noyaux d'hydrogène est possible seulement parce que les noyaux présentent une infime possibilité de passer la barrière de la répulsion, qui existe entre deux particules de charge identique. En réalité, seul un pourcentage réduit des noyaux d'hydrogène réussit à traverser la barrière et à fusionner. Cependant, il y a tellement d'hydrogène à la base des étoiles, que plusieurs millions de tonnes arrivent à passer chaque seconde grâce à l'effet tunnel. Cet effet tunnel, encore mal compris, permettrait à une particule de se déplacer plus vite que la lumière. L'effet tunnel est au cœur de la technologie de la mémoire flash, de plus en plus utilisée dans les ordinateurs.

-VIDE :

Selon la théorie quantique, l'espace apparemment vide contient un ensemble chaotique de particules virtuelles, qui viennent à l'existence puis s'annihilent. Il est très difficile de créer un environnement vide sur la Terre; on définit la qualité du vide par la pression d'air résiduelle. L'atmosphère a une pression de 100 000 pascals (Pa). Même à une pression de 10^{-8} Pa, il reste 2 millions de molécules d'air par cm^3 , alors que dans les gaz interstellaires, il ne reste que quelques molécules par cm^3 .

-FRONTIÈRE ENTRE LES NIVEAUX CLASSIQUE ET QUANTIQUE DE LA MATIÈRE:

Malgré le conflit apparent entre les mondes macroscopique et microscopique, le monde macroscopique ne pourrait exister ou fonctionner sans les particules subatomiques. Sans effet tunnel, il n'y aurait pas d'étoiles, donc pas de Soleil et de vie.

Sans interaction quantique, la matière ne serait ni visible ni capable de constituer des objets solides. Les effets quantiques des particules subatomiques sont de plus en plus identifiés dans les processus biologiques, comme les enzymes, la réplication de la molécule d'ADN et la photosynthèse des plantes; cependant les processus quantiques ne sont pas accessibles à l'être humain sans l'apport d'appareils sophistiqués, qui nous permettent de les identifier.

Les masses des objets quantiques sont si petites que les effets gravitationnels, qui sont importants dans le monde macroscopique, ne semblent jouer aucun rôle dans le monde microscopique. Les chercheurs n'ont pas encore réussi à concilier la théorie quantique et la théorie de la relativité générale d'Einstein.

PARTIE 3

Outils d'analyse et utilisations

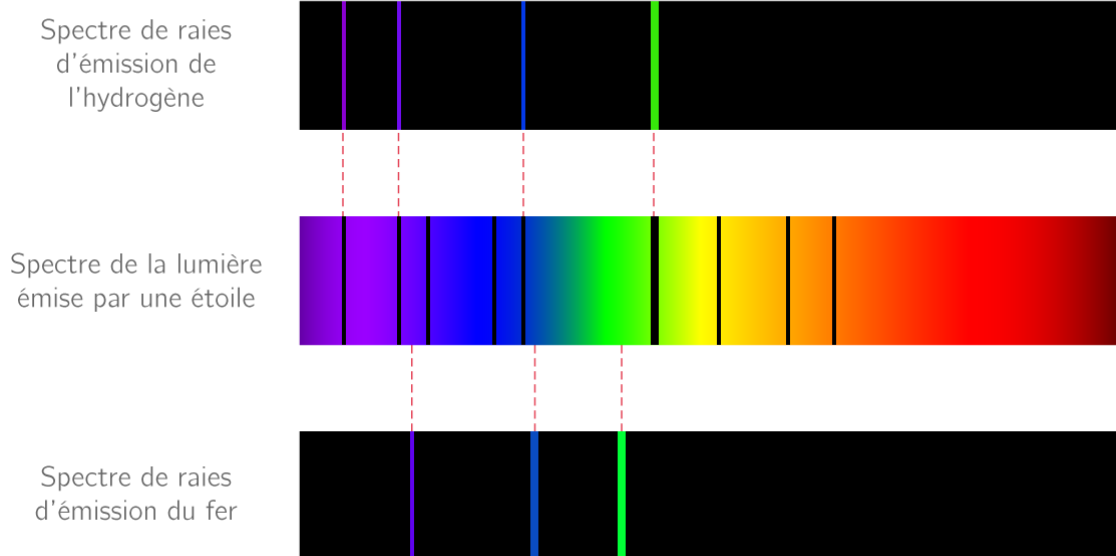
Chapitre 3.1 : Spectroscopie.

Le spectre d'émission d'un atome est relié aux transitions des électrons. La spectroscopie du rayonnement électromagnétique des atomes permet de

déterminer ainsi leurs propriétés. En effet, lorsque les atomes d'un élément sont chauffés à très haute température, ils émettent de la lumière à des longueurs d'onde caractéristiques, c'est-à-dire des couleurs correspondant aux différences de niveau d'énergie entre leurs orbitales électroniques.

Le spectre des étoiles lointaines est décalé vers le rouge; cela résulte du fait que l'expansion de l'univers, en étirant le tissu même de l'espace-temps, accroît la longueur d'onde du rayonnement produit par une étoile, et cela, d'autant plus que cette étoile s'éloigne de l'observateur.

Spectres d'émission Image du site Kartable.fr

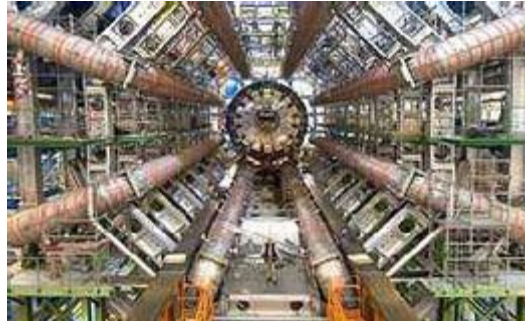


Chapitre 3.2 : LIGO et VIRGO.

Ces deux interféromètres lasers géants ont réussi à détecter, en 2015, des ondes gravitationnelles qu'Einstein avait prévues depuis longtemps. Ces ondes provenaient de la collision de deux trous noirs. Le passage d'une onde gravitationnelle modifie les distances mais il faut des appareils comme Virgo et Ligo pour les détecter, car la distance ne varie que de peu près 1×10^{-18} m.

Chapitre 3.3 : Grand collisionneur des hadrons (LHC).

Image provenant du site Alterinfo.net



Le grand collisionneur des hadrons est un accélérateur qui décrit une boucle de 27 km et qui accélère les particules, avant de les faire entrer en collision dans d'énormes détecteurs (Atlas, Alice, CMS, LHCb). Les particules, habituellement des protons, circulent à des vitesses, près de celle de la lumière, dans les tubes à vide avant de se rencontrer. Des champs électriques accélèrent les particules, alors que des champs magnétiques contrôlent leur trajectoire.

C'est grâce au LHC du CERN que le fameux boson de Higgs a été produit et détecté en 2012 et officiellement confirmé par les chercheurs en 2013.

Les nouvelles particules identifiées, suite aux collisions, ne sont pas seulement des fragments des particules de départ, mais dépendent aussi du fait que de l'énergie se transforme en masse et donc en matière. L'énergie des collisions produite au LHC est passée de 7 TeV en 2010 à 13 TeV à partir de 2015.

Les principales caractéristiques qui permettent d'identifier les particules sont leur énergie, leur vitesse et leur masse. Le vertex est l'endroit où une particule donnée a été créée.

Chapitre 3.4 : Utilisations.

L'électronique est le domaine scientifique qui implique la manipulation des électrons. La céramique est un isolant qui empêche la circulation des électrons, alors que le cuivre est un très bon conducteur et permet leur

libre circulation. La majorité de nos appareils électroniques sont basés sur du silicium, qui est un semi-conducteur; les semi-conducteurs permettent de contrôler le passage d'un courant électrique. Un microprocesseur moderne peut contenir plus d'un milliard de transistors qui permettent le passage contrôlé des électrons.

Les appareils, qui contiennent de l'électronique, sont plus ou moins des objets quantiques par certaines de leurs particularités.

Les processus biologiques font appels à des particularités quantiques, tout comme les réactions chimiques.

Le laser est un appareil qui amplifie la lumière en augmentant l'énergie d'un électron, qui émet alors deux photons au lieu de un, lorsqu'il est frappé par un autre photon. Les lasers sont partout, chirurgie, lecture de disques optiques, scanners, etc.

Un microscope optique est limité par la longueur d'onde de la lumière visible, qui ne peut descendre en dessous de 400 nm, alors qu'un microscope électronique, qui fonctionne à partir des électrons et non plus des photons, peut voir jusqu'à 1 000 fois plus petit.

CONCLUSION

Le modèle standard de la matière, avec ses quarks, protons, neutrons, électrons et bosons, représente les particules de la matière et les forces qui agissent sur celles-ci.

Les particules subatomiques sont plus nombreuses que celles définissant sommairement l'atome. Cependant, ces particules sont souvent reliées aux interactions de l'atome et, même si elles peuvent être très nombreuses, elles demeurent difficiles à appréhender et à observer. Il y aurait autant de sortes de particules d'antimatière que de matière, même si dans notre monde, les particules d'antimatière ont été surclassées par les particules de matière.

Le fameux tableau périodique nous aide à regrouper les éléments selon certaines propriétés, mais il ne nous livre pas tous les secrets de la matière. En outre, l'origine et la composition de la matière noire et de l'énergie sombre sont encore un grand mystère et leur existence même est hypothétique.

L'homme connaît de mieux en mieux les propriétés de la matière atomique mais les effets des particules, dites quantiques, sont spectaculaires et assez déroutants. C'est impressionnant aussi de constater que les propriétés de la matière sont particulières à chaque niveau d'échelle.

Les appareils, conçus pour détecter les fines particules de la matière, sont énormes et très complexes; néanmoins, les utilisations des propriétés de la matière, au niveau subatomique, sont de plus en plus nombreuses et nous semblent très prometteuses.

ANNEXES

Annexe 1 : Unités de longueur.

Multiples du mètre

- [yottamètre](#) (Ym) : 10^{24} mètres = 1 000 000 000 000 000 000 000 000 mètres
- [zettamètre](#) (Zm) : 10^{21} mètres = 1 000 000 000 000 000 000 000 mètres
- [examètre](#) (Em) : 10^{18} mètres = 1 000 000 000 000 000 000 mètres
- [pétamètre](#) (Pm) : 10^{15} mètres = 1 000 000 000 000 000 mètres
- [téramètre](#) (Tm) : 10^{12} mètres = 1 000 000 000 000 mètres
- [gigamètre](#) (Gm) : 10^9 mètres = 1 000 000 000 mètres
- [mégamètre](#) (Mm) : 10^6 mètres = 1 000 000 mètres
- [kilomètre](#) (km) : 10^3 mètres = 1 000 mètres
- [hectomètre](#) (hm) : 10^2 mètres = 100 mètres
- [décamètre](#) (dam) : 10^1 mètres = 10 mètres

Sous-multiples du mètre

- [décimètre](#) (dm) : 10^{-1} mètre = 0,1 mètre
- [centimètre](#) (cm) : 10^{-2} mètre = 0,01 mètre
- [millimètre](#) (mm) : 10^{-3} mètre = 0,001 mètre
- [micromètre](#) ou micron (μm) : 10^{-6} mètre = 0,000 001 mètre
- [nanomètre](#) (nm) : 10^{-9} mètre = 0,000 000 001 mètre
- [picomètre](#) (pm) : 10^{-12} mètre = 0,000 000 000 001 mètre
- [femtomètre](#) ou [fermi](#) (fm) : 10^{-15} mètre = 0,000 000 000 000 001 mètre
- [attomètre](#) (am) : 10^{-18} mètre = 0,000 000 000 000 000 001 mètre

- [zeptomètre](#) (zm) : 10^{-21} mètre = 0,000 000 000 000 000 000 001 mètre
- [yoctomètre](#) (ym) : 10^{-24} mètre = 0,000 000 000 000 000 000 000 001 mètre

Annexe 2 : Constantes et valeurs.

Constante d'Avogadro : $6,02 \times 10^{23}$ atomes.

Constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s.

Électron volt (eV) : $1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$ joules (J).

GLOSSAIRE

Effet photoélectrique : Émission d'électrons par un matériau qui est éclairé par de la lumière.

Électron volt (eV) : Énergie acquise par un électron accéléré par une tension électrique d'un volt.

Intrication : Établissement d'un lien instantané entre deux particules de matière, même si elles sont très distantes l'une de l'autre.

Modèle standard : Classification des particules fondamentales de la matière et de leurs relations mutuelles.

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud, Nicolas et al. Passeport pour les deux infinis. Dunod, 2016.

Clegg, Brian. La physique quantique en un clin d'œil. Urtubise, 2018.

Copolla, Nadia. Où se cachent les nanos? MultiMondes, 2016.

Cyr, Marie-Danielle. Option science. Chimie. ERPI, 2016.

Dupeux, Michel. Sciences des matériaux. Dunod, 2015.

Gray, Théodore. Atomes. Éditions Place des victoires, 2010.

Pour la science. Édition française de la revue Scientific American. Octobre, 2019.

Pour la science. Édition française de la revue Scientific American. Novembre, 2019.

SITES INTERNET

Alterinfo.net

Chemistry.stackovernet.com

Fr.wikipedia.org

Geocities.ws

Kartable.fr
Prmarchenry.blogspot.com
Qsstudy.com
Researchgate.net
Toutestquantique.fr
Vulgarisation-scientifique.com
Wikimedia.org

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos :.....	2
PARTIE 1 : Composition de la matière.....	2
Chapitre 1.1 : Principales briques de la matière.....	2
Chapitre 1.2 : Autres briques importantes de la matière.....	6
Chapitre 1.3 : Classification des éléments de matière.....	7
Chapitre 1.4 : Composition inconnue de la matière.....	10
PARTIE 2 : Propriétés de la matière.....	11
Chapitre 2.1 : Propriétés expliquées de la matière.....	11
Chapitre 2.2 : Propriétés inexpliquées de la matière.....	15
PARTIE 3 : Outils d'analyse et utilisations.....	17
Chapitre 3.1 : Spectroscopie.....	17
Chapitre 3.2 : LIGO et VIRGO.....	18
Chapitre 3.3 : Grand collisionneur de hadrons (LHC).....	19
Chapitre 3.4 : Utilisations.....	19
Conclusion :.....	20
Annexes :.....	21
Annexe 1 :.....	21
Annexe 2 :.....	22
Glossaire :.....	22
Bibliographie :.....	22
Sites internet :.....	22
Table des matières :.....	23