

GLOSSAIRE

Accélérateur

Un accélérateur est un instrument permettant d'apporter de l'énergie à des particules chargées : électrons, protons, ions, etc. Des champs électriques accélèrent les particules tandis que des champs magnétiques contrôlent leur trajectoire. Plus l'énergie à atteindre est élevée, plus l'accélérateur est grand – jusqu'à plusieurs kilomètres, voire plusieurs dizaines de kilomètres aujourd'hui.

Aléatoire

Un phénomène aléatoire se produit par hasard, c'est-à-dire sans que l'on puisse savoir à l'avance s'il va ou non avoir lieu – et, dans l'affirmative, quand il va se produire. Parfois un phénomène nous paraît aléatoire parce que nous ne le comprenons pas assez bien. Dans le monde de l'infiniment petit, ce caractère aléatoire n'est pas dû à une méconnaissance des processus : c'est une propriété intrinsèque des particules élémentaires.

Algorithme

Un algorithme est un processus systématique permettant la résolution d'un problème. Il s'agit d'une succession d'étapes, décrites de manière compréhensible pour l'être humain ou l'ordinateur qui va les accomplir. Une fois la procédure suivie, on obtient une réponse sans ambiguïté

à la question spécifique à laquelle l'algorithme répond. Selon la qualité de l'algorithme, cette question peut ou non correspondre au problème initial et la réponse peut être exacte ou fautive. Le temps mis pour obtenir la réponse est également un paramètre important pour un algorithme : plus il est rapide, plus son champ d'application est vaste.

Analyse

Dans le jargon des physiciens de l'infiniment petit, une analyse consiste à étudier un ensemble de données enregistrées par un détecteur et à utiliser les informations qu'elles contiennent pour chercher un phénomène particulier, par exemple la désintégration d'une particule en deux autres. Si le processus est effectivement observé, l'analyse mesure ses propriétés avec la meilleure précision possible. Le plus souvent, le résultat d'une analyse est publié dans une revue scientifique internationale où la méthode suivie pour l'obtenir est décrite en détails.

Antiatome

Un antiatome est un atome d'antimatière.

Antiélectron

L'antiélectron – ou positron – est l'équivalent, pour l'antimatière, de

l'électron. Ces deux particules ont la même masse mais une charge électrique opposée.

Antihydrogène

L'antihydrogène est l'antiatome le plus simple : son noyau est un antiproton autour duquel orbite un unique antiélectron.

Antimatière

L'antimatière est une « image miroir » de la matière – laquelle forme quasiment tout l'Univers observable. De même que la matière est formée de particules, l'antimatière est formée d'antiparticules.

Antimuon

L'antimuon est l'équivalent, pour l'antimatière, du muon. Ces deux particules ont la même masse mais une charge électrique opposée.

Antiparticule

La théorie qui décrit le monde de l'infiniment petit énonce qu'à chaque particule est associée une particule « miroir », appelée antiparticule ; cette assertion est confirmée par l'expérience. Une particule et son antiparticule ont de nombreuses propriétés en commun (en particulier la même masse) mais des charges électriques opposées. Quand une grande quantité d'énergie est disponible – par exemple lors d'une collision entre deux particules accélérées au préa-

lable – cette énergie peut être utilisée pour créer une (ou plusieurs) paire(s) constituée(s) d'une particule et de son antiparticule associée. Dans la classification actuelle, le Modèle Standard, il y a douze particules élémentaires de « matière » et donc douze antiparticules « d'antimatière ».

Antiquark

Un antiquark est l'antiparticule associée à un quark. Quark et antiquark ont des charges électriques opposées.

Atome

L'atome est un composant de base de la matière. Électriquement neutre, il est formé d'un noyau chargé positivement qui contient des protons et des neutrons autour duquel se trouvent des électrons en nombre égal aux protons. La stabilité de cet édifice est dû aux forces qui gouvernent ces différentes particules et les font interagir. Les atomes se combinent entre eux pour donner des molécules et sont donc à la base de toute la chimie.

BaBar

BaBar est un détecteur international situé en Californie qui a enregistré des collisions électrons-positrons entre 1999 et 2008. Conçu pour étudier les propriétés de particules contenant un quark « b » ou son antiquark associé, le « b barre », BaBar a été baptisé par des physiciens amateurs de bande dessinée : « b » plus « b barre » donne ... BaBar !

Baryon

Un baryon est une particule composée de trois quarks, chacun d'une couleur différente. Les constituants du noyau, le proton et le neutron, sont des baryons.

Belle

Belle est une expérience internationale basée au laboratoire KEK (Japon). Elle a de nombreux points communs avec BaBar, tant au niveau de la conception du collisionneur et du détecteur que des buts de physique. Les deux collaborations étaient en « concurrence amicale » dans les années 2000, tout comme aujourd'hui ATLAS et CMS au LHC. L'expérience Belle-II, le successeur de Belle à KEK, devrait démarrer dans les prochaines années.

Big-bang

Dans notre compréhension actuelle de l'histoire de l'Univers, le Big-bang est l'instant où tout a commencé. À partir de ce moment, l'Univers a évolué d'un état très dense et très chaud vers l'aspect, froid et dilué, que nous lui connaissons aujourd'hui. L'ensemble du processus a duré près de quatorze milliards d'années. Nous ne sommes pas en mesure de décrire le Big-bang lui-même, ni ce qu'il y avait auparavant.

Boson

Un boson est une particule qui véhicule une interaction fondamentale : par exemple, le photon est le boson de la force électromagnétique. Cette dernière se transmet entre deux particules chargées par échange de photons, processus qui a pour effet de provoquer l'attraction ou la répulsion entre ces corps selon leurs charges électriques respectives.

Boson de Higgs

Le boson de Higgs est la dernière particule élémentaire du Modèle Standard à avoir été découverte (2012). Ce boson est différent de ceux véhiculant une interaction et des fermions constituant la matière. Mais c'est un élément fondamental de notre compréhension actuelle des constituants élémentaires de la matière puisqu'il confère leur masse aux particules. C'est pourquoi le nouvel accélérateur de protons du CERN, le LHC, avait pour premier objectif la recherche de ce boson.

Bottom

La particule « bottom » (« fond » en français) est l'un des six quarks du Modèle Standard. Le quark « b » est le second quark le plus lourd et son étude permet de mieux connaître les différences entre matière et antimatière.

Bruit de fond

Dans toute analyse de données, qu'il s'agisse d'informations issues d'un détecteur de particules, du décodage d'une émission radio ou encore de la lecture des paramètres d'un moteur – le signal cherché s'accompagne de parasites : le bruit de fond. S'il est impossible de séparer parfaitement ces deux composantes, la qualité d'une analyse se mesure à sa capacité à obtenir le meilleur « rapport signal sur bruit de fond ».

C (vitesse de la lumière)

La vitesse de la lumière dans le vide, notée c (pour « célérité »), est une constante physique dont la valeur est fixée à 299 792 458 km/s depuis 1983. C'est la vitesse limite, immuable et indépassable, pour tout signal physique. Les ondes électromagnétiques (et donc les photons) se déplacent à cette vitesse dans le vide.

Calorimètre

En physique, un calorimètre mesure des échanges de chaleur. Dans un détecteur de physique des particules, un calorimètre est plus spécifiquement chargé de mesurer l'énergie des particules qui le traversent. Ces dernières interagissent avec le milieu et y déposent tout ou partie de leur

énergie, le plus souvent *via* une gerbe de particules secondaires dont l'énergie totale est mesurée. On distingue les calorimètres électromagnétique et hadronique selon le type de particules (photons et électrons ; hadrons formés de quarks) dont ces dispositifs peuvent mesurer l'énergie.

Cavité supraconductrice

Dans les accélérateurs, les faisceaux sont accélérés lorsqu'ils traversent des cavités dites radiofréquences (très schématiquement des tubes métalliques reliés à une source d'énergie électrique très puissante) dans lesquelles règnent des champs électriques intenses. Si, à l'origine, ces cavités utilisaient des matériaux conducteurs ordinaires (comme le cuivre), on a récemment mis au point des cavités conçues dans des matériaux supraconducteurs. Ces dernières possèdent des propriétés intéressantes (absence de résistance électrique), qui nécessitent des systèmes de refroidissement à très basse température afin que les effets supraconducteurs des matériaux se manifestent.

CERN

Le CERN est le plus grand laboratoire de physique des hautes énergies au monde. Fondé en 1954 à proximité de Genève, il compte aujourd'hui

(printemps 2016) vingt-et-un états membres, un candidat à l'accession au statut de membre et quatre états associés, auxquels s'ajoutent six observateurs (Inde, Japon, Fédération de Russie, États-Unis, Commission Européenne et Unesco) et plus de 100 états participants envoyant des scientifiques utilisateurs. Les états membres contribuent au budget du CERN et décident de ses activités *via* le Conseil du CERN ; les observateurs assistent au conseil mais n'ont qu'un rôle consultatif. Enfin, les états participants, comme leur nom l'indique, participent à certains programmes du CERN, au premier rang desquels le LHC.

Champ

Un champ est une grandeur physique définie en chaque point de l'espace, par exemple la température, la pression ou encore la vitesse d'écoulement d'une rivière. Un champ peut varier dans l'espace – la circulation d'un torrent se modifie lorsque les berges se resserrent ou s'il y a une cascade – et dans le temps – en période de crue ou de sécheresse. Le concept de champ est essentiel pour décrire les phénomènes ondulatoires et donc, en particulier les aspects ondulatoires de la physique des particules. Il est aussi particulièrement bien adapté à l'étude des milieux continus (propriétés macroscopiques des solides, fluides...).

Champ électrique

Un champ électrique est créé en tout point de l'espace par la présence de charges électriques et/ou par la variation d'un champ magnétique au fil du temps. Si on place une charge électrique dans un champ électrique, elle subit une force proportionnelle au champ électrique et à la valeur de sa charge.

Champ magnétique

Un champ magnétique est créé en tout point de l'espace par des charges électriques en mouvement et/ou par la variation d'un champ électrique au fil du temps. Depuis les travaux de Maxwell, on sait décrire les champs électrique et magnétique dans un formalisme unique, le champ électromagnétique.

Charge

Les charges décrivent la sensibilité d'une particule aux différentes interactions fondamentales. On les appelle respectivement charge électrique pour l'interaction électromagnétique, isospin faible pour l'interaction faible, et couleur pour l'interaction forte. Ainsi, si la charge électrique d'une particule est nulle – par exemple pour le neutrino – la particule est insensible à l'interaction électromagnétique ; dans le cas contraire, cette force agit, et ce d'autant plus que la charge électrique est

élevée. De même, les électrons n'ont pas de couleur (charge forte), ce qui revient à dire que l'interaction forte n'a aucun effet sur eux.

Charme

« Charme » est le nom donné par les physiciens – jamais en mal d'imagination – au quatrième des six quarks connus actuellement. Le quark « c » a été découvert fin 1974 aux États-Unis, quelques années après avoir été prédit pour expliquer des observations expérimentales qui ne trouvaient pas de justification dans un modèle avec seulement trois quarks légers : up, down et étrange. Cette découverte, connue depuis sous le nom de « révolution de novembre », a montré que les quarks sont un élément clef dans la compréhension de l'infiniment petit.

Cible fixe

Dans une expérience sur cible fixe, un faisceau de particules accélérées est projeté sur un morceau de matière, en général une plaque de métal. Les collisions ont alors lieu entre les particules et des atomes de la cible. Si les collisions faisceau – cible fixe sont plus faciles à mettre en œuvre que les collisions faisceau – faisceau, l'expérience sur cible fixe a deux désavantages principaux. D'une part, les particules ne sont utilisées qu'une seule fois ; d'autre part, seule une petite partie de l'énergie amenée par le faisceau est effectivement utilisée pour créer de nouvelles particules.

Collaboration

Au fur et à mesure qu'une science progresse, les expériences s'intéressent à des effets plus fins et plus complexes. En physique des deux infinis, cette tendance fait que les projets sont de plus en plus gros (par exemple la taille des accélérateurs augmente pour atteindre des énergies de collisions plus élevées) et génèrent des données toujours plus abondantes. Les équipes qui financent, construisent et exploitent ces détecteurs s'adaptent à cette évolution : leur taille augmente, elles sont internationales et regroupent de nombreux métiers différents. On parle de collaborations.

Collisionneur

Un collisionneur est un type particulier d'accélérateurs dans lequel deux faisceaux de particules sont accélérés en sens contraire et forcés d'entrer en collision au centre d'un détecteur construit précisément pour observer ces événements. Seules quelques particules participent à une collision donnée ; les autres sont récupérées et réutilisées pour les collisions ultérieures. En effet, les faisceaux suivent des trajectoires quasi circulaires dans des « anneaux de stockage » et ne se rencontrent qu'en des points bien précis. La difficulté consiste à maintenir une circulation stable des faisceaux dans l'accélérateur tout en s'assurant qu'au moins une fraction des particules – minus-

cules ! – s’entrechoquent effectivement à chaque croisement. Un autre avantage des collisionneurs est que l’énergie disponible lors des collisions correspond à la somme des énergies des faisceaux alors qu’une grande partie de l’énergie disponible est perdue lors des expériences sur cible fixe.

Confinement

L’interaction forte a ceci de particulier que son intensité augmente avec la distance : plus deux quarks sont éloignés, plus le « lien » qui les relie est fort ! Le confinement est la conséquence de cet effet : un quark ne peut pas exister de manière isolée, il est toujours confiné avec un ou deux autres quarks à l’intérieur de particules composites, appelées de manière générique « hadrons ».

Conservation de l’énergie

Il existe de nombreuses formes d’énergie : énergie cinétique, chaleur, énergies potentielles, énergie de masse, etc. Bien que ces grandeurs soient en apparence très différentes, elles sont en fait plusieurs facettes d’une même réalité, l’énergie, qui est globalement conservée lors de tous les phénomènes physiques. Ainsi un skieur descendant une pente voit son énergie potentielle de pesanteur diminuer tandis que sa vitesse (et donc son énergie ciné-

tique) augmente. Ou encore la fission d’un noyau lourd, par exemple de l’uranium, produit des noyaux plus légers dont la somme des masses est plus faible que celle du noyau de départ. La masse manquante n’est pas perdue, elle s’est convertie en énergie cinétique. La conservation de l’énergie est un principe clef de la physique.

Corps noir

Un corps noir est un objet idéal qui absorbe tous les rayonnements qu’il reçoit et réémet une partie de cette énergie sous la forme d’ondes électromagnétiques. À l’équilibre, les caractéristiques de cette émission (c’est-à-dire la manière dont l’énergie émise varie en fonction de la longueur d’onde) ne dépendent que de la température du corps noir. Mesurer le rayonnement d’un corps noir permet donc d’estimer la température de l’objet qui l’a produit.

Corpuscule

Un corpuscule est un corps dont la taille est négligeable par rapport à toutes les autres dimensions mises en jeu dans un problème physique donné. Il peut donc se réduire à un point. C’est l’une des images que l’on utilise en physique de l’infiniment petit pour décrire une particule élémentaire. Dans certaines expériences, par exemple lors d’un choc entre deux particules, le modèle de

corpuscule est parfaitement adapté. Dans d'autres cas – comme en optique – il échoue complètement à rendre compte du phénomène observé puisque la particule se comporte plutôt comme une onde.

Cosmologie

La cosmologie est la science qui étudie les caractéristiques globales de l'Univers, comme ses grandes structures, son contenu en matière et en énergie, ainsi que son évolution depuis le Big-bang jusqu'à nos jours. C'est une branche de l'astronomie au carrefour entre l'infiniment petit et l'infiniment grand.

Couche

Dans un atome, les électrons qui se trouvent autour du noyau sont organisés en couches, chacune associée à un niveau d'énergie donné. Cette structure, gouvernée par la mécanique quantique, est à la base de toute la chimie : les interactions entre nuages atomiques constituent le fondement des liens entre atomes au sein des molécules, et elles permettent d'expliquer pourquoi certaines réactions chimiques sont « faciles » et d'autres plus « difficiles ». De même, on peut décrire l'organisation des protons et des neutrons à l'intérieur d'un noyau selon un tel modèle en couches et déterminer si le noyau ainsi construit est stable ou s'il se désintègre rapidement.

Couleur

À chaque force correspond une charge. Pour la force électromagnétique, c'est la charge électrique qui peut être positive ou négative. Pour l'interaction forte, la charge (c'est-à-dire le fait d'être ou non sensible à cette force) est associée à un paramètre particulier qui peut prendre trois valeurs. Par analogie poétique avec la décomposition de la lumière blanche, les physiciens parlent de « couleur » et ses trois états sont appelés « bleu », « vert » et « rouge ». Cette description est rendue encore plus riche par le fait que les quarks d'antimatière, les antiquarks, ont une « anticouleur ». Une particule faite de quarks, un hadron, est « blanche » : elle contient soit un quark d'une couleur et un antiquark de l'anticouleur associée, soit trois quarks, chacun d'une couleur différente.

Déconfinement

Les quarks sont confinés à l'intérieur des hadrons par l'interaction forte qui est responsable de la cohésion des noyaux atomiques – sans cette force, la matière et encore moins la vie ne pourraient exister. Si on apporte aux quarks une très grande quantité d'énergie, ces particules s'agitent d'une manière si intense qu'elles peuvent s'affranchir de l'interaction forte et quitter les hadrons. Ce déconfinement produirait une nouvelle forme de matière, appelée plasma,

dans laquelle quarks et gluons (les particules médiatrices de l'interaction forte) sont libres.

Désintégration alpha

La radioactivité alpha ou émission alpha (symbole α) est un type de désintégration radioactive dans laquelle une particule alpha (un noyau d'hélium) est émise.

Désintégration bêta

La radioactivité bêta ou émission bêta (symbole β) est un type de désintégration radioactive dans laquelle une particule bêta (un électron ou un positron) est émise. On parle de désintégration bêta moins (β^-) ou bêta plus (β^+) selon que c'est un électron (particule chargée négativement) ou un positron (particule chargée positivement) qui est émis. L'interaction faible est responsable de cette forme de radioactivité. Par exemple, un neutron est converti en proton en émettant un électron et un antineutrino.

Détecteur

Un détecteur est un appareil qui réalise des mesures dans le cadre d'une expérience. Ce peut être la caméra d'un télescope sensible à des photons d'une longueur d'onde précise, ou encore un dispositif qui absorbe l'énergie d'une particule et fournit un signal électrique proportionnel à sa valeur.

Dimension

L'espace dans lequel nous vivons comporte trois dimensions, c'est-à-dire trois directions indépendantes dans lesquelles nous pouvons nous déplacer : vers le haut/bas, vers la gauche/droite et devant/derrière. Tout mouvement, aussi complexe soit-il, peut se décomposer en trois mouvements séparés selon chacune de ces directions. Depuis la théorie de la relativité d'Einstein, le temps s'est ajouté aux trois dimensions d'espace pour former l'espace-temps à quatre dimensions. Cette dernière coordonnée est fondamentalement différente des trois autres : alors qu'on peut revenir en arrière dans l'espace, le temps ne fait qu'avancer. Par contre, le temps est relatif, tout comme l'espace : la manière dont il s'écoule change d'un observateur à l'autre.

Certaines théories, en particulier celles qui cherchent à unifier la gravitation et les trois autres forces (électromagnétique, faible et forte) auxquelles les particules élémentaires sont sensibles, font appel à des dimensions d'espace supplémentaires. Ces dernières seraient suffisamment petites pour être passées inaperçues jusqu'à maintenant dans les expériences. Si aucune indication ne va pour le moment dans ce sens, aucun principe fondamental n'interdit de telles dimensions supplémentaires : affaire à suivre donc, par exemple au LHC !

Down

Le quark down (« bas » en français) est l'un des deux quarks qui entrent dans la composition des neutrons et des protons – l'autre est le « up ». L'ensemble de la matière qui nous entoure est formée de trois particules élémentaires : les quarks « u » et « d » et l'électron.

Durée de vie

Un corps instable (par exemple un atome radioactif ou un noyau artificiel produit par une expérience de physique nucléaire) se désintègre au bout d'un certain temps pour former des produits plus stables. L'instant où un corps instable donné se désintègre est imprévisible (car aléatoire). La loi de probabilités qui gouverne le phénomène est connue. Son expression mathématique ne dépend que d'un seul paramètre, appelé durée de vie. Plus il est élevé et plus le corps instable mettra de temps en moyenne à se désintégrer. Les durées de vie peuvent être très différentes d'un corps à l'autre : une fraction de seconde pour le muon, une quinzaine de minutes pour un neutron isolé, plus de quatre milliards d'années pour le noyau d'uranium 238. Lorsqu'un temps égal à la durée de vie s'est écoulé, il ne reste qu'environ 37 % des particules ou des noyaux instables présents au dé-

part. À la place de la durée de vie, on utilise souvent la notion de « temps de demi-vie » qui correspond à la durée au bout de laquelle la moitié des corps instables présents au départ se sont désintégrés en moyenne.

Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un matériau éclairé par de la lumière. Découvert au milieu du XIX^e siècle, ce phénomène a la particularité de ne se produire que si la longueur d'onde de la lumière est suffisamment faible, et ce indépendamment de son intensité. Einstein explique cette observation en 1905 par l'absorption des quanta de lumière, les photons. Ceux-ci arrivent indépendamment les uns des autres sur le matériau et n'arrachent des électrons que s'ils ont une énergie suffisante.

Électrofaible

L'interaction électrofaible décrit dans un cadre unique l'électromagnétisme et l'interaction faible qui nous semblent pourtant très différentes : la première a une portée infinie tandis que l'effet de la seconde ne dépasse pas le noyau atomique. Ce n'est qu'à haute énergie (100 GeV environ) que l'unification devient visible : les bosons W^+ , W^- et Z^0 en sont la trace.

Électromagnétisme

La théorie de l'électromagnétisme, introduite par Maxwell en 1864, unifie l'électricité et le magnétisme. Bien que ces phénomènes aient des manifestations expérimentales très différentes, ils ont en fait une origine commune, liée au champ électromagnétique. En plus d'élucider la nature de la lumière, cette théorie introduit une nouvelle constante (la vitesse de la lumière dans le vide), dont le caractère universel est incompatible avec la mécanique classique. Ce problème sera finalement résolu en 1905 par la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.

Électron

L'électron est une particule élémentaire, stable, massive et de charge électrique opposée à celle du proton. C'est l'une des trois particules formant la matière, avec les quarks up et down.

Élément chimique

Les atomes sont classés par numéro atomique, c'est-à-dire par le nombre de protons contenus dans leur noyau. À chaque numéro atomique correspond un élément chimique : par exemple, l'hydrogène a un proton, le carbone six et l'uranium quatre-vingt-deux. Le tableau périodique de Mendeleiev, proposé empiriquement en 1869, range les éléments chimiques

par colonnes qui regroupent des éléments dont les propriétés chimiques sont similaires. Cette classification a trouvé son sens plusieurs décennies plus tard lors de l'explication des propriétés chimiques par la configuration électronique des atomes, elle-même directement reliée au nombre de protons du noyau.

Élémentaire

Une particule élémentaire est une particule sans structure interne : insécable, ses propriétés ne sont pas le reflet d'objets plus simples qu'elle contiendrait. En pratique, le statut « élémentaire » d'une particule peut être remis en question à tout moment car il dépend de la précision obtenue par les expériences. Ainsi, à mesure des progrès de la science, l'atome (du grec « atomos », insécable), puis le noyau, puis les protons/neutrons ont été considérés comme élémentaires. Actuellement les quarks semblent l'être. Qu'en sera-t-il à la fin du siècle ?

Empirisme

L'empirisme est une méthode scientifique et philosophique qui consiste à s'appuyer sur l'expérience. Allant du concret vers l'abstrait, elle vise à faire émerger les lois générales d'une accumulation d'observations et de faits.

Erreur

En science, le mot erreur n'a pas le sens péjoratif qu'on lui connaît dans le langage courant. Aucun instrument n'ayant une précision infinie, toute mesure est entachée d'une incertitude, ou erreur. Par exemple, un thermomètre indique 20 degrés et sa notice définit sa précision à 0,5 degrés. La température mesurée est donc notée $20 \pm 0,5$ degrés ce qui veut dire qu'elle est vraisemblablement (mais pas obligatoirement) comprise entre 19,5 et 20,5 degrés. Garder en mémoire que toute mesure a une erreur et estimer cette incertitude aussi précisément que possible sont deux ingrédients importants pour exploiter au mieux les données d'un détecteur, qu'il soit tourné vers l'infiniment grand ou vers l'infiniment petit.

Erreur statistique

Un sondage est d'autant plus précis que le nombre de personnes interrogées est grand. C'est la même chose en physique : une partie de l'erreur sur une quantité vient du fait qu'on n'a réalisé la mesure qu'un nombre fini de fois – c'est l'erreur statistique. Mathématiquement, on peut démontrer que ce terme décroît comme l'inverse de la racine carré du nombre de mesures. En d'autres termes, une précision deux (dix) fois meilleure demande quatre (cent) fois plus d'expériences identiques.

Erreur systématique

L'interprétation des résultats d'une expérience se fait toujours *via* un modèle chargé de décrire de manière concise et réaliste la complexité d'un phénomène. Par exemple des mesures de pression, de température, de la vitesse du vent ou du niveau de pluviométrie à divers endroits de la région parisienne permettent de réaliser une prédiction du temps à Paris *intra muros* pour le lendemain.

Or, si le modèle permet de tirer des conclusions en combinant les informations recueillies, les hypothèses et les règles de calcul qu'il contient influencent la mesure finale. En reproduisant la même analyse après avoir modifié légèrement le modèle, on obtient en général un résultat (un peu) différent. Cette dépendance vis-à-vis de la méthode suivie est appelée erreur systématique. Le travail du physicien consiste à la rendre aussi faible que possible en choisissant un modèle à la fois complet (incluant tous les effets importants) et général (il reste valable dans ses grandes lignes même si certains détails sont modifiés).

Étrange

Le quark étrange (« strange » en anglais) est le troisième des six quarks. Son nom est hérité de particules découvertes lors d'expériences effectuées sur des rayons cosmiques peu de temps après la fin de la Seconde Guerre

mondiale. Leurs signatures étaient différentes de celles des particules connues jusqu'alors, d'où leur surnom « d'étranges ». Une fois les quarks découverts, ces comportements différents furent associés à la présence d'un nouveau quark dans ces particules, le quark « étrange ».

Événement

Dans le jargon des physiciens de l'infiniment petit, un événement est la désintégration d'une particule ou la collision de deux particules ou plus, observée dans un détecteur.

Famille

Les douze particules élémentaires connues à ce jour sont classées en trois groupes de quatre : les familles. La première famille est liée à la matière ordinaire : elle contient l'électron, les quarks up et down qui entrent dans la composition des protons et des neutrons et un neutrino, associé à l'électron. Les deux autres familles sont bâties sur le même modèle : un « cousin » lourd de l'électron (le muon ou le tau), deux quarks (l'un dont les propriétés ressemblent au quark up, l'autre plutôt voisin du down) et un neutrino. Bien que cette classification soit intégrée dans la théorie et légitimée par l'expérience, elle pose encore de nombreuses questions. Pourquoi trois familles ? Pourquoi quatre types de particules différents ? Comment expliquer les écarts de masse énormes

entre les particules les plus légères et les plus lourdes ? Etc.

Fission

La fission est la brisure d'un noyau lourd en plusieurs fragments plus petits sous l'effet d'un choc avec un neutron. Pour ces noyaux lourds dit fissiles, la masse des produits de la réaction est inférieure à celle du noyau de départ. La masse manquante M ne s'est pas perdue, elle s'est transformée en énergie E (emportée par les produits de la réaction) *via* la formule d'Einstein $E = Mc^2$ où c est la vitesse de la lumière dans le vide. Le facteur c^2 , un nombre gigantesque, 90 millions de milliards de joules par kilogramme, explique pourquoi les réactions nucléaires de fission sont des sources importantes d'énergie exploitées dans diverses applications, civiles (production d'électricité) et militaires (bombes atomiques).

Force faible

La force faible est l'une des quatre forces de la nature avec l'électromagnétisme, l'interaction forte et la gravitation. Elle est responsable d'une partie des désintégrations de noyaux radioactifs et elle n'intervient qu'à l'intérieur du noyau atomique.

Force forte

La force forte est l'une des quatre forces de la nature avec l'électro-

magnétisme, l'interaction faible et la gravitation. Elle est responsable du confinement des quarks dans les hadrons et de la stabilité du noyau atomique. Comme son nom l'indique, c'est la plus intense des forces même si sa portée est restreinte au monde subatomique.

Formule d'Einstein

La formule d'Einstein, certainement l'une des équations les plus connues au monde, relie la masse M et l'énergie de repos E d'une particule : $E = Mc^2$ où c est la vitesse de la lumière dans le vide. Bien que son écriture soit simple, cette équation a des conséquences profondes. Tout d'abord la masse n'est qu'une forme particulière d'énergie ; ensuite, l'équivalence entre masse et énergie permet en principe de créer l'une des deux substances à partir de l'autre. En particulier, une masse contient une quantité d'énergie colossale puisque le facteur c^2 est énorme : 90 millions de milliards de joules par kilogramme ! On peut réécrire la formule comme $M=E/c^2$. Ainsi, une masse peut s'exprimer en GeV/c^2 , le GeV étant une unité d'énergie.

Fusion

Lors d'une réaction de fusion, deux noyaux légers se combinent pour donner un noyau plus lourd et un proton ou un neutron. Une partie de la masse de départ est convertie en énergie lors

de ce processus. C'est par exemple par des réactions de fusion que le Soleil produit l'énergie qu'il rayonne vers les planètes du système solaire, la Terre en particulier.

GeV

Un gigaélectronvolt (GeV) correspond à un milliard d'électronvolts. L'électronvolt est l'énergie acquise par un électron accéléré par une tension électrique d'un volt. Par la formule d'Einstein, le GeV/c^2 est une unité de masse.

Gluon

Un gluon véhicule l'interaction forte qui confine les quarks au sein des protons et des neutrons. De huit types différents, les gluons ont une masse et une charge électrique nulles, et sont eux-mêmes sensibles à l'interaction forte (car porteurs d'une couleur et d'une anticouleur).

Gravitation

La gravitation est l'interaction responsable de l'attraction réciproque des corps massifs entre eux. Elle s'observe au quotidien : c'est l'attraction terrestre qui nous retient au sol. La gravité est responsable entre autres des marées, de l'orbite des planètes autour du Soleil, et de la structure à grande échelle de l'univers. À l'heure actuelle, la théorie de la relativité générale, proposée par Albert Einstein en 1915, rend compte de toutes les observations

astronomiques et cosmologiques, et constitue donc la meilleure description de la gravitation. Aux échelles microscopiques, la gravitation est la plus faible des quatre interactions fondamentales de la physique ; elle devient dominante au fur et à mesure que les échelles de grandeur augmentent. La gravitation et la force électromagnétique sont les deux seules interactions à agir au-delà de la dimension du noyau atomique.

Gravitation universelle

La loi de la gravitation, ou loi de l'attraction universelle, élaborée par Isaac Newton à la fin du XVII^e siècle, décrit la gravitation comme une seule et même force responsable de la chute des corps et du mouvement des astres. De façon générale, elle décrit l'attraction entre deux corps comme une force proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Elle constitue une excellente approximation de la théorie de la relativité générale d'Einstein dans les cas les plus usuels, et reste de ce fait encore très utilisée.

Hadron

Un hadron est une particule composite, constituée de quarks et/ou d'antiquarks, maintenus ensemble par des gluons. On distingue les mésons, formés de paires quark/antiquark et les baryons, formés de trois quarks.

D'autres hadrons de compositions différentes, dits exotiques, ont été récemment découverts : ce sont les tétraquarks (rassemblant deux quarks et deux antiquarks) et les pentaquarks (rassemblant quatre quarks et un antiquark).

Incertitude

L'incertitude désigne la marge d'imprécision sur la valeur d'une grandeur physique. Le calcul d'incertitude permet d'évaluer correctement les erreurs qui se produisent lors de mesures, car les instruments ne sont jamais d'une précision infinie.

Ion

Un ion est une espèce chimique électriquement chargée, obtenue le plus souvent en ajoutant ou en enlevant des électrons à un atome ou à une molécule neutre. En physique des particules, on désigne en particulier sous le nom d'« ions lourds » des noyaux atomiques d'éléments lourds comme le plomb et privés de tous leurs électrons.

Ioniser

Enlever ou ajouter des charges électriques (des électrons) à un atome ou une molécule. C'est en particulier ce qui se passe quand une particule chargée circule dans un détecteur et arrache des électrons aux constituants du milieu traversé.

Isotope

Deux noyaux atomiques sont dits isotopes s'ils ont le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons. Deux isotopes ont des masses très proches et des propriétés chimiques quasi identiques, car ces dernières dépendent essentiellement des électrons entourant le noyau, en nombre identique pour tous les isotopes d'un même élément. En général, un ou deux isotopes d'un noyau donné sont stables, tandis que les autres sont radioactifs. C'est le cas en particulier du carbone-14 (8 neutrons et 6 protons), isotope radioactif du carbone-12 (6 neutrons et 6 protons) et du carbone-13 (7 neutrons et 6 protons) stables.

LEP

Le grand collisionneur électron-positon (*Large Electron Positron collider*) était un accélérateur de particules circulaire de 27 km de circonférence, passant sous le site du CERN entre la France et la Suisse. En fonction de 1989 à 2000, le LEP demeure le plus puissant collisionneur électron-positon jamais construit.

Lepton

Classe regroupant six des douze particules élémentaires connues (l'électron, le muon, le tau et leurs trois neutrinos associés) qui ont plusieurs propriétés fondamentales en com-

mun. Par exemple, elles ne sont pas sensibles à l'interaction forte.

Longueur d'onde

Grandeur physique, homogène à une longueur, utilisée pour caractériser des phénomènes périodiques. Une onde est un phénomène physique qui se propage et qui se reproduit identique à lui-même un peu plus tard dans le temps et un peu plus loin dans l'espace. La longueur d'onde est la distance la plus courte séparant deux points de l'onde strictement identiques à un instant donné. Dans le cas d'une onde électromagnétique se propageant dans le vide, la longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence.

Lumière

Voir l'entrée « C » pour la vitesse de la lumière. En physique classique, la lumière est décrite comme un rayonnement électromagnétique, c'est-à-dire une onde correspondant à la propagation d'un champ magnétique et d'un champ électrique (l'un étant perpendiculaire à l'autre) en ligne droite. En physique quantique, on peut décrire la lumière de deux manières différentes, soit par la propagation d'un rayonnement électromagnétique (variation des champs électrique et magnétique), soit par l'émission d'un corpuscule de masse nulle nommé photon et dont l'énergie est proportionnelle à la fréquence de l'onde.

Luminosité

Le taux de collisions dans un accélérateur de particules est mesuré grâce à une quantité appelée luminosité : plus celle-ci est grande, plus le taux de collisions est élevé. Les particules circulent dans l'accélérateur sous forme de paquets. La luminosité est d'autant plus élevée que le nombre de paquets est important, que le nombre de particules par paquet est grand et que les paquets sont de taille réduite au point de collision.

Matière nucléaire

Cet assemblage de protons et de neutrons constitue le noyau atomique.

Masse

Elle désigne deux grandeurs attachées à un corps : l'une quantifie l'inertie du corps (la masse inerte) et l'autre la contribution du corps à la force de gravitation (la masse grave ou charge gravitationnelle). Bien qu'*a priori* distinctes, l'égalité de ces deux masses est expérimentalement vérifiée avec une excellente précision. En mécanique classique, la masse intervient dans le principe fondamental de la dynamique, et elle apparaît donc dans tous les calculs de la physique classique. En relativité restreinte, la masse (inertielle) constitue une forme d'énergie du corps.

Mécanique quantique

Elle décrit les phénomènes fondamentaux aux échelles atomique et

subatomique, et complète ainsi la physique classique, qui s'intéresse aux échelles macroscopiques. Elle permet en particulier d'expliquer certains phénomènes surprenants, comme la superfluidité, la supraconductivité ou l'effet photo-électrique. Les principes de la mécanique quantique se révèlent en rupture avec ceux de la physique classique, notamment en abolissant la distinction entre onde et corpuscule (ainsi, on peut décrire un électron tantôt comme une particule, tantôt comme une onde) et en abandonnant la notion de valeur parfaitement déterminée et parfaitement prédictible de quantités physiques (comme la position et la vitesse) en faveur de probabilités dont le calcul est l'objet de la mécanique quantique.

Méson

Un méson est une particule formée d'un quark d'une couleur donnée et d'un antiquark de l'anticouleur associée. Par exemple, les pions sont des mésons.

Mesure

La mesure est une activité essentielle en physique, puisque cette science s'appuie sans cesse sur la comparaison entre observations et modèles. Il est donc essentiel d'obtenir des mesures aussi précises que possible. Toutefois, l'exactitude absolue ne peut être atteinte : des mesures répétées vont varier en

raison de différents facteurs d'environnement, comme la température, et des facteurs intrinsèques à la mesure, comme la méthode choisie. De plus, en physique des particules, la plupart des phénomènes étudiés sont de nature aléatoire : une même mesure répétée à plusieurs reprises ne donnera pas exactement le même résultat. Il faut alors refaire un grand nombre de fois la même mesure pour obtenir une compréhension globale, statistique, du phénomène.

MeV

En physique, l'électronvolt (symbole eV) est une unité de mesure d'énergie. Sa valeur est définie comme l'énergie cinétique d'un électron initialement au repos et accéléré par une différence de potentiel d'un volt. Un électronvolt est donc égal à environ :

$$1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19} \text{ joule (J)}$$

1 MeV (ou mégaélectronvolt) correspond à un million d'eV.

Micro

Dans le Système International d'unités, micro est le préfixe d'unité de mesure équivalent à 10^{-6} (soit un millionième).

Modèle Standard

Le Modèle Standard de la physique des particules est une théorie qui décrit les interactions forte, faible et électromagnétique, ainsi que l'ensemble des particules élémentaires

connues à ce jour. Conçue dans les années 1970, cette théorie quantique des champs est compatible avec les principes de la mécanique quantique et de la relativité restreinte. À l'heure actuelle, le Modèle Standard est en excellent accord avec l'ensemble des tests expérimentaux pour lesquels des prédictions sont disponibles.

Molécule

Une molécule est un assemblage chimique électriquement neutre d'au moins deux atomes. Il s'agit de la plus petite quantité de matière possédant les propriétés caractéristiques de la substance considérée. Par exemple, la molécule d'eau est H₂O, deux atomes d'hydrogène pour un atome d'oxygène.

Muon

Le muon est un cousin massif de l'électron, partageant les mêmes propriétés, hormis sa masse, 207 fois plus élevée. Chargé négativement et noté μ^- , il possède une antiparticule, notée μ^+ . Sur Terre, les muons sont produits par la désintégration de pions chargés, eux-mêmes issus de rayons cosmiques pénétrant dans la haute atmosphère.

Neutre

Une particule neutre est une particule ne possédant pas de charge électrique, et n'interagissant pas avec les champs électromagnétiques.

Neutrino

Les neutrinos sont des particules élémentaires du Modèle Standard de la physique des particules, produites lors de désintégrations causées par l'interaction faible (par exemple, la radioactivité bêta des noyaux atomiques instables). Il existe trois types de neutrinos différents, associés respectivement à l'électron, au muon et au tau. On a longtemps pensé que leur masse était nulle, mais des expériences récentes (basées sur l'étude des oscillations de neutrinos) ont montré que ces masses sont en fait très petites comparées à celles des autres particules, mais non nulles.

Neutron

Le neutron est une particule subatomique qui se compose de deux quarks down et d'un quark up. Elle est de charge neutre et a pour masse $939 \text{ MeV}/c^2$. Elle se désintègre en moyenne au bout d'une quinzaine de minutes quand elle est isolée. En revanche, elle est stable quand elle se trouve dans les noyaux atomiques, en compagnie de protons.

Noyau

Le noyau atomique désigne la région située au centre d'un atome et constituée de protons et de neutrons. La taille du noyau (10^{-14} m) est environ 10 000 fois plus petite que celle de l'atome (10^{-10} m) mais concentre quasiment toute sa masse.

Nuage électronique

Le nuage électronique désigne l'ensemble des électrons présents autour d'un noyau atomique pour constituer un atome. Ce terme, volontairement un peu flou, suggère que la position des électrons ne peut pas être déterminée de façon parfaitement précise du fait de la nature quantique des objets en jeu.

Nucléon

Le terme nucléon désigne de façon générique les composants du noyau atomique, *i.e.* les protons et les neutrons qui sont chacun constitués de trois quarks. Le nombre de nucléons par atome est généralement noté « A » et appelé « nombre de masse ».

Onde

Une onde est la propagation d'une perturbation, qui produit sur son passage une variation réversible des propriétés physiques. Par exemple, une vague sur la mer est une onde, puisque son passage modifie la hauteur de l'eau de façon locale et temporaire. En mécanique quantique, on peut dans certains cas assimiler les particules élémentaires à des ondes, et *vice versa*. Cette caractéristique des objets quantiques explique en particulier pourquoi le grain de lumière élémentaire, le photon, peut être considéré à la fois comme une onde et comme une particule. Selon les circonstances, l'un ou l'autre des deux aspects sera mis en avant.

Onde électromagnétique

Une onde électromagnétique décrit la variation du champ électrique et du champ magnétique suscitée (par exemple) par le mouvement alternatif de charges électriques. Elle est caractérisée par sa fréquence (ou de manière équivalente par sa longueur d'onde). Les ondes électromagnétiques constituent la version ondulatoire du photon. Ondes électromagnétiques et photons correspondent à la même réalité qui, selon la nature du problème physique étudié, apparaît soit comme une onde, soit comme un corpuscule. La lumière visible représente une fraction des ondes électromagnétiques. Classées par fréquence croissante, les ondes électromagnétiques sont appelées ondes radios, micro-ondes, infrarouge, rouge, jaune, vert, bleu, violet, ultraviolet, rayons X, rayons gamma.

Oscillation de neutrino

Lorsqu'un neutrino est créé par la désintégration d'une autre particule, sa saveur (électron, muon ou tau) est bien déterminée. Par contre, si on le laisse se propager et qu'on mesure cette même propriété au bout d'un certain temps, on peut trouver un résultat différent. Cet effet déroutant trouve son explication dans le cadre de la mécanique quantique : un neutrino est vu comme la superposition de trois ondes qui correspondent à

des particules de masses différentes. Ces dernières ne se propagent donc pas à la même fréquence, ce qui change la composition du mélange au cours du temps, et donc la saveur du neutrino mesurée expérimentalement. L'oscillation d'un neutrino entre différentes saveurs dépend de l'énergie du neutrino et de la distance parcourue entre sa création et sa détection. Elle ne peut se produire que si les masses des neutrinos sont différentes : en observant des oscillations entre les trois saveurs, on a montré qu'au moins deux neutrinos ont des masses non nulles (mais très faibles, au plus quelques millièmes de celle de l'électron, la plus légère des particules élémentaires chargées). Le plus souvent, une expérience ne peut détecter qu'une des trois saveurs. Le phénomène d'oscillation s'y manifeste soit comme un déficit de neutrinos (quand le détecteur voit la même saveur de neutrinos que celle créée au départ), soit comme l'apparition d'une saveur de neutrinos initialement absente (quand il est sensible à une autre saveur que celle produite).

Paquet

Dans un collisionneur, les particules ne circulent pas en flot continu mais sont organisées en paquets très denses, séparés par du vide. Ainsi, à l'automne 2015, environ 2 200 paquets contenant chacun plus de 100 milliards de protons circulaient

dans le LHC dans lequel ils parcouraient 11 245 tours par seconde.

Particule

Les particules élémentaires sont les constituants fondamentaux de la matière. Elles sont dites élémentaires car personne n'a réussi pour le moment à mettre en évidence une taille ou une structure interne en dépit des expériences les étudiant. Un atome n'est pas une particule élémentaire car il est constitué d'électrons, de protons et de neutrons. Les nucléons ne sont pas non plus élémentaires car ils sont constitués de quarks. En revanche, électrons et quarks sont des particules élémentaires... jusqu'à preuve du contraire.

Période

En chimie, la période désigne l'ensemble des éléments disposés sur une ligne du tableau de la classification périodique des éléments.

Photomultiplicateur

Un photomultiplicateur est un détecteur de photons. Le signal produit lors de l'interaction d'un photon sur un photomultiplicateur est très fortement amplifié (en général par un facteur de l'ordre de 10^6) et converti en impulsion électrique lue par une carte d'électronique. Cet instrument permet la détection de photons individuels avec une bonne résolution temporelle.

Photon

Le photon (souvent symbolisé par la lettre grecque gamma γ) est le grain élémentaire de lumière. En physique des particules, toutes les ondes électromagnétiques sont vues comme constituées de photons dont l'énergie est proportionnelle à la fréquence de l'onde. De plus, le photon véhicule l'interaction électromagnétique. Ainsi, deux particules chargées électriquement s'attirent ou se repoussent en échangeant des photons.

Pico

Dans le Système International d'unités, pico est le préfixe d'unité de mesure équivalent à 10^{-12} (soit un milliardième de milliardième).

Pion

Un pion est une des trois particules notées π^+ , π^0 ou π^- . Ce sont les plus légers des mésons, constitués d'un quark et d'un antiquark, chacun de type up ou down.

Plasma

En physique, un plasma est un gaz suffisamment excité pour que les atomes se voient arracher certains de leurs électrons (ils sont alors ionisés), de sorte que le milieu contient des ions et des électrons chargés électriquement au lieu d'atomes neutres. On rencontre des plasmas auprès des éclairs, des aurores po-

lares, dans les étoiles, ou encore... dans certains écrans de téléviseurs.

Portée

La portée d'une interaction est la distance typique jusqu'à laquelle son action est sensible. La gravitation et l'interaction électromagnétique ont une portée infinie, tandis que les interactions forte et faible ont une portée restreinte aux distances subatomiques.

Positron

Le positron (encore orthographié « positon ») est l'antiparticule de l'électron. C'est la première particule d'antimatière à avoir été prédite (en 1927 par Dirac) puis découverte (en 1932 par Anderson). L'électron et le positron ont de nombreuses propriétés communes (par exemple leur masse) mais des charges électriques opposées.

Probabilité

La probabilité est une évaluation quantitative de la fréquence avec laquelle un événement est susceptible de se produire. La mécanique quantique adopte un point de vue purement probabiliste pour toutes les observations, et permet de calculer la probabilité d'observer tel ou tel phénomène.

Proton

Le proton est une particule subatomique portant une charge électrique élémentaire. Il est composé de deux

quarks up et d'un quark down, qui sont maintenus ensemble par l'interaction forte. C'est une particule stable, base des noyaux atomiques.

Quantum (pluriel quanta)

Un quantum (mot latin signifiant « combien ») désigne la plus petite unité indivisible pouvant être acquise, perdue ou échangée, que ce soit pour l'énergie, la quantité de mouvement ou la masse. Cette notion est centrale en théorie des quanta, introduite au début du XX^e siècle et qui donnera naissance à la mécanique quantique. Cette nouvelle théorie s'oppose à la mécanique classique pour laquelle l'énergie et les autres caractéristiques physiques peuvent être échangées en quantités arbitrairement petites.

Quark

Les quarks sont des constituants élémentaires de la matière. Ils existent en six sortes, appelées saveurs, auxquelles on a donné des noms poétiques. Les deux plus légers constituent la matière usuelle, et sont appelés up et down (u et d). Les quatre suivants sont des copies plus massives des deux quarks les plus légers. Il s'agit — par masse croissante — des quarks étrange (s), charme (c), bottom (b) et top (t). À chaque quark est associée son antiparticule, appelée antiquark. Soumis à l'interaction forte, les quarks ne se rencontrent jamais isolés : ils sont toujours associés en paire quark-

antiquark ou par groupe de trois par le biais de cette interaction.

Radioactivité

La radioactivité est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables, dits « radio-isotopes », se transforment spontanément (« désintégration »). Ils dégagent alors de l'énergie sous forme de rayonnements divers, pour se désintégrer en des noyaux atomiques plus stables ayant perdu une partie de leur masse. Les rayonnements ainsi émis sont appelés, selon le cas, des rayons α (noyaux d'hélium) des rayons β (électron ou positron), ou des rayons γ (photons énergétiques). Les radio-isotopes les plus fréquents dans les roches terrestres sont l'isotope 238 de l'uranium (^{238}U), l'isotope 232 du thorium (^{232}Th), et l'isotope 40 du potassium (^{40}K). Un autre radio-isotope naturel est le radiocarbone, c'est-à-dire l'isotope 14 du carbone (^{14}C), produit dans la haute atmosphère par des rayons cosmiques interagissant avec le di-azote, et utilisé pour la datation archéologique.

Radioactivité naturelle

La radioactivité « naturelle » provient de sources indépendantes de l'activité humaine : radon, croûte terrestre, rayons cosmiques, etc. Elle s'oppose à la radioactivité « artificielle », produite par l'homme : centrales nucléaires, examens médicaux, etc.

Rayon cosmique

Le rayonnement cosmique désigne le flux de particules de haute énergie présent dans tout l'Univers et qui pénètre en permanence dans les couches supérieures de l'atmosphère. Il s'agit, pour sa partie chargée, principalement de protons et de noyaux d'hélium, le reste étant constitué d'électrons, de différents noyaux atomiques plus lourds ainsi que de quantités infimes d'antiprotons et de positrons. La partie neutre est constituée de rayons gamma ainsi que de neutrinos.

Rayon X

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de haute fréquence dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 5 picomètres et 10 nanomètres. L'énergie de ces photons va de quelques eV (électronvolt), à plusieurs dizaines de MeV. Ce rayonnement a de nombreuses applications, dont l'imagerie médicale et la cristallographie.

Reconstruction

Les accélérateurs génèrent des collisions énergétiques entre particules afin d'en créer de nouvelles dont la nature et les interactions sont étudiées par des détecteurs. Les perturbations que ces particules engendrent lors de leur passage et/ou de leur désintégration au sein des détecteurs sont enregistrées. Ensuite, il faut reprendre ces enre-

gistrements pour reconstruire la chaîne des évènements, depuis la collision initiale jusqu'à la sortie de toutes les particules produites hors du détecteur. Cette étape, appelée reconstruction, nécessite une bonne connaissance des phénomènes physiques en jeu ainsi que du comportement du détecteur lors du passage de chaque type de particule.

Relativité

Le principe de relativité affirme que les lois physiques s'expriment de manière identique dans tous les référentiels inertiels (référentiels dans lesquels un objet sur lequel ne s'exerce aucune force est soit immobile, soit en mouvement de translation rectiligne uniforme). Cela implique que deux expériences préparées de manière identique dans deux référentiels inertiels donnent les mêmes résultats.

Relativité générale

La relativité générale est une théorie relativiste de la gravitation. Elle décrit la manière dont la présence de matière modifie le mouvement d'objets massifs (par exemple l'orbite d'un satellite autour de sa planète en présence du Soleil). Cette théorie recourt à une vision géométrique selon laquelle la présence de matière modifie la structure de l'espace et le temps. La relativité générale englobe et supprime la théorie de la gravita-

tion universelle d'Isaac Newton qui en représente la limite aux petites vitesses (comparées à la vitesse de la lumière) et aux champs gravitationnels faibles.

Saveur

La saveur est, en physique des particules, une caractéristique permettant de distinguer différents types de leptons et de quarks. Les leptons (électron, neutrino) se déclinent en trois saveurs (associées à l'électron, au muon et au tau) et les quarks en six saveurs (up, down, étrange, charme, bottom, top). Les saveurs permettent de différencier certaines classes de particules qui ne se distinguent que par leur masse, alors que leurs autres propriétés (charge électrique, etc.) sont similaires.

Signal

En physique des particules, le signal rassemble les collisions où s'est effectivement produit le processus étudié, par opposition au bruit de fond, constitué de collisions qui leur ressemblent mais qui proviennent d'autres processus.

Signature d'une particule

La signature d'une particule désigne l'ensemble des traces (trajectoire, dépôts d'énergie, etc.) qu'elle laisse dans un détecteur. Converties en signaux électriques et enregistrées sur informatique, ces données brutes

sont ensuite interprétées par les physiciens pour estimer les propriétés de la particule qui les a émises : masse, vitesse, énergie, etc.

Simulation

Pour comprendre en détail la manière dont un détecteur identifie les différentes particules produites lors des collisions et s'assurer que le signal recherché est correctement séparé des différentes sources de bruit de fond, il faut souvent recourir à des simulations numériques qui reproduisent les processus physiques ayant lieu au sein des détecteurs. On peut ainsi déterminer si les analyses effectuées sur les véritables données sont suffisamment fiables et précises en utilisant des données « simulées » dont on contrôle parfaitement l'origine.

SNO

L'Observatoire de Neutrinos de Sudbury (SNO) est un détecteur de neutrinos solaires construit sous deux kilomètres de roche dans une mine située à 25 kilomètres du centre-ville de Grand-Sudbury, en Ontario, au Canada. Le lieu a été choisi pour se protéger des rayons cosmiques susceptibles de parasiter les mesures. SNO est un détecteur Tcherenkov à eau lourde, c'est-à-dire qu'il est sensible à la lumière de l'effet Tcherenkov émise par les électrons produits lors

de réactions des neutrinos avec l'eau contenue dans le détecteur.

Stable

Une particule stable est une particule qui ne se désintègre pas, par exemple le proton ou l'électron.

Super Kamiokande

Super Kamiokande est un observatoire de neutrinos, situé au Japon près de la ville de Mozumi. C'est un cylindre de 40 mètres de haut et 40 mètres de diamètre rempli de plus de 50 000 tonnes d'eau. Comme SNO, il est situé dans une mine pour se protéger des rayons cosmiques et étudie la lumière Tcherenkov émise par les électrons ou les muons créés lors de réactions des neutrinos avec l'eau contenue dans le détecteur.

Supersymétrie

La supersymétrie est une des théories actuellement proposées pour étendre le Modèle Standard des particules. Elle prévoit en particulier le doublement du nombre de particules élémentaires *via* une nouvelle « super symétrie » – d'où le nom de cette gamme de modèles, souvent abrégée à l'anglaise en « SUSY ». Cette propriété supplémentaire permet de régler au niveau théorique certains des « défauts » du Modèle Standard, liés en particulier au boson de Higgs et à la question des

masses des particules. Aujourd'hui, SUSY est encore une simple hypothèse que le LHC cherche à confirmer ou à infirmer.

Supraconductivité

La supraconductivité est un phénomène qui apparaît à très basse température pour certains matériaux. Lorsqu'il se produit, toute résistance électrique cesse et un courant circule sans perte dans le conducteur. L'absence de pertes par effet Joule permet de faire circuler des courants très importants et, par exemple, de créer des champs magnétiques très forts. Ces propriétés seraient très intéressantes à température ambiante ce qui explique pourquoi de nombreuses recherches actuelles portent sur les supraconducteurs « chauds ». Si la recherche progresse petit à petit, les objectifs sont encore loin d'être atteints : le record actuel de température pour un supraconducteur est autour de ... -140 degrés Celsius !

Tau

Le tau est le lepton de la 3^e famille des particules élémentaires. C'est un cousin plus massif du muon et de l'électron.

TeV

Un téraélectronvolt (TeV) correspond à mille milliards d'électronvolts.

Théorie

En physique, le terme de théorie désigne généralement le support mathématique, dérivé d'un petit ensemble de principes de base et d'équations, permettant de prédire des phénomènes observables expérimentalement. On distingue généralement la théorie, à visée large et testée de façon intensive, et le modèle, au champ d'application réduit et reproduisant les données plus qualitativement que quantitativement.

Théorie quantique des champs

La théorie quantique des champs est issue du mariage de la mécanique quantique et de la relativité restreinte. Dans le cadre de la théorie quantique des champs, les particules ne sont plus l'objet central de la description mathématique. Elles sont les excitations élémentaires d'un objet plus fondamental : le champ. Ce dernier est une fonction prenant des valeurs différentes en différents points de l'espace-temps. En guise d'illustration, on peut imaginer un « champ » qui mesure la hauteur de l'eau sur l'océan par rapport à un certain niveau de référence. Les excitations élémentaires de ce champ sont des vagues qui se propagent à la surface. En mécanique quantique, la hauteur des vagues ne peut prendre que certaines valeurs précises (on

dit qu'elles sont « quantifiées ») et ces « vagues élémentaires » ne sont autres que les particules.

Tomographie

La tomographie est une technique d'imagerie, très utilisée en médecine, ainsi qu'en géophysique et en astrophysique. Cette technique permet de reconstruire les caractéristiques d'un objet en trois dimensions en accumulant des informations de nature uni-ou bi-dimensionnelles.

Top

Le quark top (souvent abrégé en quark « t ») est le quark le plus massif actuellement connu, avec une masse de $171 \text{ GeV}/c^2$, soit presque autant qu'un atome d'or.

Trajectographe

Un trajectographe est un ensemble de détecteurs utilisés pour suivre les trajectoires des particules chargées qui le traversent. Il s'agit de mesurer l'endroit où elles ont été produites, appelé vertex, ainsi que leurs caractéristiques (masse, vitesse et énergie). Schématiquement, un trajectographe enregistre des « coups » c'est-à-dire des points où une particule quelconque est passée à un instant donné. Des logiciels très complexes

traitent tous les coups observés lors d'un événement et cherchent à associer ceux qui ont sans doute été produits par la même particule. Les trajectoires ainsi reconstituées sont utilisées par les physiciens pour effectuer leurs mesures.

Transmutation

La transmutation est une réaction nucléaire induite par des neutrons qui conduit à la transformation d'un élément chimique en un autre. Dans l'avenir, on envisage d'utiliser cette réaction pour transformer les déchets radioactifs les plus nocifs et à durée de vie très longue en déchets moins dangereux et à durée de vie plus courte.

Trigger

Un *trigger*, en français « déclencheur », est un instrument de très haute technologie utilisé dans les détecteurs de physique des particules pour décider en temps réel si un événement doit ou non être enregistré. En effet, le taux de collisions est si important qu'il est impossible de garder toutes les informations produites, et ce d'autant plus que seule une petite fraction des événements est utile pour une exploitation physique ultérieure. Un trigger comporte plusieurs niveaux successifs :

à chaque étape, les événements sont sélectionnés par des algorithmes qui exploitent de plus en plus complètement les informations enregistrées par le détecteur. Le premier niveau écarte la plupart des événements sur la base d'un petit nombre de paramètres essentiels, immédiatement disponibles ; le dernier, au contraire, a beaucoup moins d'événements à étudier ce qui lui permet de « prendre son temps » et de baser sa décision sur une lecture complète du détecteur. L'ensemble du processus prend une fraction de seconde.

Up

Le quark up (« haut » en français) est le quark le plus léger avec une masse comprise entre 1,5 et 4 MeV/c². Il forme, avec le quark down, les protons et les neutrons.

Vertex

Dans le jargon des physiciens des particules, le vertex est l'endroit où une particule donnée a été créée, soit

suite à une collision, soit lors d'une désintégration d'une autre particule, instable.

Vide

Littéralement, un espace vide ne contient rien. En physique, le vide absolu n'existe pas : un volume donné, quelles que soient les conditions dans lesquelles il se trouve, contient toujours des molécules.

Comment faire le vide ? On prend une enceinte étanche et on pompe l'air au maximum. On définit la qualité du vide par la pression d'air résiduelle, exprimée en pascals (Pa), ou en millibars (mbar). L'atmosphère a une pression de 100 000 pascals environ (ou 1 bar). On ne peut jamais atteindre un vide total. Un vide considéré comme très poussé, l'« ultra-vide », correspond à une pression de l'ordre de 10⁻⁸ Pa ; on y dénombre encore 2 millions de molécules par centimètre cube. Par comparaison, la densité au sein des gaz interstellaires est de l'ordre de quelques atomes par centimètre cube.