Point 8, LHCb Exhibition Point 8, Exposition LHCb



Guide for guides Guide pour les guides



General Introduction to LHCb

LHCb is an experiment set up to explore what happened after the Big Bang that allowed matter to survive and build the Universe we inhabit today.

Fourteen billion years ago, the Universe began with a bang. Crammed within an infinitely small space, energy coalesced to form equal quantities of matter and antimatter. But as the Universe cooled and expanded, its composition changed. Just one second after the Big Bang, antimatter had all but disappeared, leaving matter to form everything that we see around us — from the stars and galaxies, to the Earth and all life that it supports.

LHCb est une expérience mise en place pour étudier ce qui s'est passé après le Big Bang qui a permis à la matière de survivre et de construire l'Univers dans lequel nous vivons aujourd'hui. Il y a quatorze milliards d'années, l'Univers a commencé avec un bang. Entassés dans un espace

infiniment petit, de l'énergie s'est condensé pour former des quantités égales de matière et d'antimatière. Mais, tandis que L'Univers se refridissait et s'élargissait, sa composition a changé. Juste une seconde après le Big Bang, l'antimatière avait presque disparu, laissant la matière pour former tout ce que nous voyons autour de nous - des étoiles et des galaxies, à la Terre et toute la vie qu'elle abrite.



Near LHCb control room, Point 8, just above the detector itself, a public exhibition presents some detector elements and the latest experimental results.

Dans les locaux de la salle de contrôle de LHCb, Point 8, juste au-dessus du détecteur lui-même, une exposition présente au public des éléments du détecteur ainsi que les résultats expérimentaux les plus récents.



The Muon Chamber

The exposed panel is identical to those installed in the Multi-Wire-Proportional-Chambers of the 1st Muon station. Gold plated tungsten wires, nicely visible through the magnifying glass, are stretched over gold plated cathode pads. In a closed chamber the wire plane is in the center of a gas gap. When HV is applied to the wires and a charged particle crosses the chamber, ionization takes place and the electrons drift to the wire, causing an avalanche of electrons close to the wire surface due to the strong electric field. The electrons induce a signal on the respective wire and cathode pad, which can be readout through the Front-End electronics fixed on the boundary of the chamber. The cathode pad on which the signal is seen, identifies the position of the initial charged particle which crossed the chamber.

Le panneau mis en place est identique à ceux qui ont été installés dans les chambres à fils-multiples de la première station muon. Les fils de tungsten plaqué en or, bien visibles à travers la loupe, sont étalés sur une surface structurée (cathode) qui est également plaquée d'or. Dans une chambre fermée, la couche de fils est au centre d'un espace rempli de gaz. Lorsque la haute tension est appliquée sur les fils et qu'une particule chargée traverse la chambre, une ionisation a lieu et les électrons s'accumulent sur le fil et déclenchent une avalanche d'électrons à proximité de la surface des fils en raison du grand champ électrique. Les électrons produisent un signal sur le fil et la surface de la cathode, qui peut être perçu par l'électronique installée aux extrémités de la chambre. La surface de la cathode sur laquelle le signal est percu identifie la position de la particule chargée initiale qui a traversé la chambre.





More informations here (plus d'informations ici): http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/Muon-en.html

Prototype of a module of the LHCb Hadronic Calorimeter (HCAL)

The LHCb hadron calorimeter (HCAL) is a part of the Calorimeter system, and installed right after the Electromagnetic Calorimeter (ECAL). HCAL also implements the "calorimetric" principle of energy measurement: it measures the total energy deposition produced by a particle at its destruction in the detector. HCAL is intended for measuring energies of hadrons, strongly interacting particles. The most known hadrons are protons and neutrons, of which the atomic nuclei are composed.

Hadrons cannot be fully stopped by ECAL only, they produce energy depositions in both ECAL and HCAL. Their energies are therefore determined as a sum of energy depositions in ECAL and HCAL. Technically, the HCAL operation is based on the same principles as ECAL. At stopping the particle in the detector many secondary particles are produced in cascades. On their passage through scintillator tiles, light flashes occur. Total amount of light is proportional to the energy of the initial particle. The light is then captured by wave length shifting fibers and transported towards the photomultiplier tubes for measurements of the flash magnitudes. The special feature of this sampling structure is the orientation of the scintillating tiles that are running parallel to the beam axis. In order to be able to fully stop hadrons, HCAL is made much longer than ECAL.

The HCAL is segmented into two sections with square cells of size 13 cm and 26 cm. The structure is divided, perpendicular to the beam line, into two symmetric parts that are positioned on movable platforms, to allow access to the detector. Each half is built from 26 modules that were piled up on top of each other in the final installation phase. To facilitate the construction of modules, each module is sub divided into eight sub modules that have a manageable size for being assembled from the individual absorber plates. A total of 416 submodules were produced to form 52 modules that build up the two halves of the HCAL structure. The weight of one module is 9.5 tons. The total weight of HCAL is more than 500 tons. It has a surface of 6.8x8.3 m² and is 1.6 m long. It contains 1488 cells.

Le calorimètre hadronique de LHCb (HCAL) fait partie du système des calorimètres. Il est installé juste derrière le calorimètre électromagnétique (ECAL). HCAL utilise aussi le principe « calorimétrique » de mesure de l'énergie : il mesure l'énergie totale déposée par une particule lors de son arrêt dans le détecteur. HCAL est destiné à mesurer l'énergie des hadrons, particules interagissant fortement. Les hadrons les plus connus sont les protons et les neutrons qui composent les noyaux atomiques.

Les hadrons ne peuvent pas être totalement arrêtés seulement par l'ECAL et vont produire des dépôts d'énergie dans les deux ECAL et HCAL. Leurs énergies sont donc déterminées comme la somme des dépôts d'énergie dans ECAL et HCAL. Techniquement, le principe de fonctionnement de HCAL est similaire à celui de ECAL. En arrêtant les particules dans le détecteur de nombreuses particules secondaires sont produites en cascade. Sur leur passage à travers des tuiles de scintillateurs, de la lumière est produite. La quantité totale de lumière est proportionnelle à l'énergie de la particule initiale. La lumière est capturée par des fibres optique à décalage de longueur d'onde et transportée jusqu'à des tubes photomultiplicateurs qui vont la transformer en courant électrique. La particularité de cette structure d'échantillonnage est l'orientation des tuiles scintillantes qui sont parallèles à l'axe du faisceau. Afin de pouvoir arrêter complètement les hadrons, HCAL est beaucoup plus long que l'ECAL. HCAL est segmenté en deux sections ayant des cellules carrées de 13 cm et 26 cm d'arête. Perpendiculairement à la ligne du faisceau, la structure est divisée en deux parties symétriques qui sont positionnées sur des plates-formes mobiles pour permettre l'accès au détecteur. Chaque moitié est construite à partir de 26 modules qui sont empilés les uns sur les autres durant la phase d'installation finale. Afin de faciliter leur construction, chaque module est sous divisé en huit sous-modules qui ont une taille plus aisée pour permettre leur assemblage à partir des plaques absorbantes individuelles. 416 sous-modules ont été produits afin de réaliser ces 52 modules qui forment les deux moitiés de la structure HCAL. Le poids d'un module est de 9,5 tonnes. Le poids total de HCAL est supérieur à 500 tonnes. Il a une surface de 6,8 x 8,3 m² pour une profondeur de 1,6m et contient 1488 cellules.



More informations here (plus d'informations ici): http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/Calorimeters-en.html

A module of the LHCb Electromagnetic Calorimeter (ECAL)

The LHCb electromagnetic calorimeter (ECAL) is a part of the Calorimeter system. It is composed of modules as exhibit here. A module is a sandwich-like structure of interleaving lead plates and scintillator tiles (couple of individual plates/tiles lay near the module) and it is used to measure the energies of electromagnetically interacting particles like photons and electrons. When [electromagnetically interacting] particle enters the module it starts to interact with lead producing the cascade of less energetic particles and many of them in their turn produce their own cascades. As this system of cascades develops in module, the secondary particles produce scintillator light in tiles which is collected by optical fibers. The longitudinal sizes of the module/plates/tiles are chosen in a way that any [electromagnetically interacting] particle with typical for LHCb energy is absorbed inside the detector and the resulting amount of light from scintillator is proportional to its energy. This light is then passed to the photomultuplier tube, which is the device which converts the light signal into a pulse of electrical current. The latter is processed by analogto-digital converters so resulting digital information can go further into trigger/DAQ system.

ECAL is made of 3300 modules. Its structure is segmented into three sections with one type of module per section. All three types of module have an identical square size of 12 cm, but differ by the number of readout cells. The weight of one module is around 30 kg. ECAL has a surface of 6.3x7.8 m² and is 0.8 m long. Its structure is divided, perpendicular to the beam line, into two symmetric parts that are positioned on movable platforms, to allow access to the detector. The total amount of readout cells is 6016.

Le calorimètre électromagnétique de LHCb (ECAL) fait partie du système des calorimètres. Il est composé de modules comme celui exposé ici. Un module est un assemblage, en sandwich, de plaques de plomb entrelacées de tuiles de scintillateur (quelques échantillons de plaques de plomb et de tuiles de scintillateur sont exposés à côté du module). Il permet de mesurer l'énergie des particules interagissant par force électromagnétique comme les photons et les électrons. Quand une particule (interagissant électromagnétiquement) pénètre dans le module, elle commence par interagir avec le plomb produisant une cascade (ou gerbe) de particules moins énergétiques. Beaucoup de ces particules vont à leur tour propres cascades. produire leurs Lors de ce développement de cascades dans le module, les particules secondaires produisent de la lumière de scintillation dans les tuiles qui est collectée par des fibres optiques. dimensions longitudinales Les des modules/plaques/tuiles sont choisies de sorte que toute particule (interagissant électromagnétiquement) dans la gamme d'énergie typique de LHCb soit absorbée à l'intérieur du détecteur. La quantité de lumière issue du scintillateur est proportionnelle à l'énergie de la particule initiale. Cette lumière est ensuite transmise à un photomultiplicateur, dispositif qui transforme un signal lumineux en un courant électrique. Ce dernier sera ensuite traité par un convertisseur analogique – digital et l'information ainsi numérisée sera transmise aux systèmes de déclenchement et d'acquisition de l'expérience.

ECAL est composé de 3300 modules. Sa structure est segmentée en trois zones, avec un type de module par zone. Les trois types de modules ont une section carrée identique de 12 cm de côté, mais diffèrent par le nombre de voies de lecture. Le poids d'un module est d'environ 30 kg. ECAL a une surface de 6.3 x 7.8 m² et une profondeur de 0.8 m. Perpendiculairement à la ligne du faisceau, la structure est divisée en deux parties symétriques qui sont positionnées sur des plates-formes mobiles pour permettre l'accès au détecteur. Le nombre total de cellules est 6016.



Herebraugenetic calorimeters in white of the memory intervention of the memory intervention of the memory of the memory intervention of the memory intervention of the memory of the memory intervention of the memory intervention of the memory of the memory intervention of the memory intervention of the memory of the memory intervention of the memory intervention of the memory of the memory intervention of the memory intervention of the memory intervention of the memory intervention of the memory of the memory intervention of the

More informations here (plus d'informations ici): http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/Calorimeters-en.html



A silicon detector module of the LHCb Inner Tracker

Seen here is a silicon detector module of the LHCb Inner Tracker. The Inner Tracker consist of 336 such modules, half of them equipped with only ONE sensor, while the other half consist of modules with two sensors that are bonded together, just like the one here on display.

The sensors have a total of 384 fine strips, and each of the strips is bonded - connected via a tiny piece of wire - to the readout hybrid which you see at the top end of the module. The readout hybrid contains the actual readout chip with preamplifier, shaper and data buffer as well as capacitors and resistors as noise filters of the power supply. The readout hybrid is a flexible Kapton printed circuit which is glued together with the sensors onto a carbon fibre-foam sandwich support structure.

The long Kapton tail at the very top of the module has the connector which carries all the signal, control and power lines needed for the operation of the module.

--

On voit ici un module du détecteur au silicium du trajectographe interne de l'expérience LHCb. Le trajectographe interne se compose de 336 modules de ce type, la moitié d'entre eux équipée d'un seul capteur, tandis que l'autre moitié se compose de modules de deux capteurs qui sont liés ensemble, comme celui présenté ici. Les capteurs comptent 384 fines bandes, et chacune des bandes est liée - connecté par un petit fil - au système hybride de lecture que vous voyez à l'extrémité supérieure du module. Le système hybride de lecture contient la puce de lecture contenant un pré-amplificateur, et un système de mise en forme et de sauvegarde des données, ainsi que des condensateurs et des résistances servant de filtres de bruits pour l'alimentation. Le système hybride de lecture est un circuit imprimé en Kapton souple collé aux capteurs sur un support en fibres de carbone.

La bande de Kapton tout en haut du module est équipée d'un connecteur qui transporte les signaux, ainsi que les lignes de contrôle et d'alimentation nécessaires au fonctionnement du module.



More informations here (plus d'informations ici): <u>http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/Trackers-en.html</u>

A focusing RICH (Ring Imaging Cherenkov) detector

The main parts of a focusing RICH (Ring Imaging CHerenkov) detector are the focusing mirror and the photon detectors. One of the spare RICH2 mirror segments is on display with three prototype photon-detectors. The mirror has been optimised for size (as big as possible to reduce the number of segments), thickness (as thin as possible to reduce material) and the reflectivity has been tuned to match the photon detector quantum efficiency. The mirror support wall is a structure made mostly from aluminium and provides high rigidity over a large size (6x1.5m2) while minimising the amount of material on the path of the particles. The Hybrid Photon Detector (HPD) was developed in collaboration with industry specifically for the LHCb RICH and combines vacuum tube technology with silicon sensors. Detected photons release electrons at the photo-cathode layer on the inside of the entry window, which are accelerated by an electric field up to 20 kV and captured efficiently and with very low noise by a silicon pixel sensor inside the vacuum tube. There are 1000 pixels in each HPD and 500 HPDs in the two RICH detectors.

On the wall one can see Cherenkov light generated by a 500 MeV electron beam and captured by colour film. The circle in the middle is Cherenkov light generated in nitrogen and the outer ring is light generated in an aerogel tile (with a higher refractive index). Cherenkov light is mostly blue and this can be seen in the colour film.

Les parties principales du détecteur de focalisation RICH (Ring Imaging Cherenkov) sont le miroir de focalisation et les détecteurs de photons. Un des segments de miroir RICH2 de rechange est exposé avec trois prototypes de détecteurs de photons. Le miroir a été optimisé en ce qui concerne sa taille (le plus grand possible pour réduire le nombre de segments), son épaisseur (aussi mince que possible pour réduire le matériau) et sa réflectivité a été réglée pour correspondre au rendement quantique du détecteur de photons. La paroi de support de miroir est faite principalement d'aluminium et assure une grande rigidité sur une grande surface (6x1.5m2) tout en minimisant la quantité de matière au niveau du passage des particules. Le détecteur de photons hybride (HPD) a été développé en collaboration avec l'industrie spécifiquement pour le RICH de LHCb et combine la technologie de tube à vide avec capteurs en silicium. Les photons détectés libèrent des électrons sur la photo-cathode à l'intérieur de la fenêtre d'entrée, qui sont accélérés par un champ électrique allant jusqu'à 20 kV et capturés de manière efficace et avec un très faible bruit par un capteur de pixel de silicium à l'intérieur du tube à vide. Il y a 1000 pixels dans chaque HPD et 500 HPD dans les deux détecteurs RICH

Sur le mur, on peut voir la lumière Cherenkov produite par un faisceau d'électrons de 500 MeV et capturé par le film de couleur. Le cercle du milieu représente la lumière Cherenkov générée dans de l'azote et l'anneau extérieur représente la lumière générée dans une tuile d'aérogel (avec un indice de réfraction plus élevé). La lumière de Cherenkov est la plupart du temps dans le spectre bleu et ceci peut être vu dans le film couleur.





More informations here (plus d'informations ici): <u>http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/RICH-en.html</u>



The Vertex Locator (VELO) module

This Vertex Locator (VELO) module is composed of three components: the base; the middle black part, very rigid and light, made of carbon fibers; and the top, the most complicated part, in green, which contains electronics. This part is capable of reading silver silicon sensors composed of about 2000 channels. Each one is capable of detecting the passage of particles with the precision of a few microns at a rate of 40 million times per second. On the other side of the module, there is also electronics and silicon sensors. One side of the detector records the distance between the crossing point of the particles and the beam. The other side of the detector records the position of the passage of particles around the beam which allows us to reconstruct the position of particles in three dimensions. 42 of these modules have been built and form the core of the LHCb experiment.

Ce module, localisateur de points de collision (VELO), est composé de 3 parties : la base en bas ; au milieu, une partie noire, très rigide et légère, composée de fibres de carbone ; et le haut, la partie la plus compliquée, en vert, qui contient l'électronique. Celle-ci est capable de lire des capteurs en argent-silicium composés d'environ 2000 canaux. Chacun d'eux est capable de détecter le passage de particules avec la précision de quelques microns à une fréquence de 40 millions de fois par seconde. De l'autre côté du module, il y a aussi de l'électronique et des capteurs en silicium. Un côté du détecteur enregistre la distance entre le point de passage des particules et le faisceau. L'autre côté du détecteur enregistre la position du passage des particules autour du faisceau - ce qui permet de reconstruire la position des particules en 3 dimensions. 42 de ces modules ont été construits et forment le coeur de l'expérience LHCb.



More informations here (plus d'informations ici): http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/VELO-en.html



$\mathsf{B}^{\scriptscriptstyle +} \boldsymbol{\rightarrow} \ \overline{\mathsf{D}}^{\overline{\mathsf{O}}} \, \mu^{\scriptscriptstyle +} \, (\nu) \ \boldsymbol{\rightarrow} \pi^{\scriptscriptstyle +} \, \pi^{\scriptscriptstyle -}$

A beauty B⁺ particle decay into antimatter particle $\overline{D^0}$, μ^+ and neutrino \mathbf{v} is shown. The μ^+ is seen as a purple track traversing the whole detector while the neutrino is not observed in the detector. B⁺ particle is composed of a beauty antiquark (\overline{D}) bound with an up quark (u) and the $\overline{D^0}$ particle is composed of a charm antiquark (\overline{C}) bound with an up quark (u). The $\overline{D^0}$ decays in turn into two pions, π^+ and π^- , seen as a pair of blue tracks traversing the detector and absorbed in the calorimeters. The lower left image shows the zoom around the proton-proton collision point, origin of many particle tracks. The μ^+ purple track originates from the B⁺ decay point located 17 mm from the proton-proton collision. The π^+ and π^- blue tracks originate from the $\overline{D^0}$ decay point located 9 mm from the B⁺ decay point. Similar events in which matter charm particles D⁰ are produced are identified by a presence of μ^- in the event instead of μ^+ . Using these two types of events LHCb physicists are studying a difference between properties of matter and antimatter by looking for the difference between the number of D⁰ and $\overline{D^0}$ decays into π^+ and π^- pairs.

On voit ici la désintégration d'une particule beauté B⁺ en une particule d'antimatière $\overline{D^0}$, un muon (μ^+) et un neutrino (ν). Le μ^+ est représenté par une trace violette traversant l'ensemble du détecteur tandis que le ν n'est pas observé dans le détecteur. Une particule B⁺ est composée d'un antiquark beau (\overline{D}) lié à un quark up (u) et l'antiparticule $\overline{D^0}$ est composée d'un antiquark charmé (\overline{c}) lié à un quark up (u) et l'antiparticule $\overline{D^0}$ est composée d'un antiquark charmé (\overline{c}) lié à un quark up (u). L'antiparticule $\overline{D^0}$ se désintègre à son tour en deux pions, π^+ et π , représentés ici par les deux traces bleues qui traversent le détecteur et sont absorbées dans les calorimètres. L'image inférieure gauche montre le zoom autour du point de collision proton-proton, l'origine de nombreuses traces de particules. La trace violette du μ^+ provient du point de désintégration B⁺ situé à 17 mm de la collision proton-proton. Les traces bleues de π^+ et π proviennent du point de désintégration $\overline{D^0}$ situé à 9 mm du point de désintégration B⁺. Des événements similaires, dans lesquels les particules de matière charmées D⁰ sont produites, sont identifiés par la présence de μ dans l'événement au lieu de μ^+ . En utilisant ces deux types d'événements, les physiciens de LHCb étudient la différence entre les propriétés de la matière et celles de l'antimatière en recherchant la différence entre le nombre de désintégrations D⁰ et celui de $\overline{D^0}$ en des paires de π^+ et π .

RARE DECAYS: AN EXAMPLE ${\rm B^0}_{\,\rm S}\,{\to}\,\mu^+\mu^-$ Event recorded on the 31 of May 2012 at 15:03

This event display shows a typical candidate event of $B^{0}s$ (composed of antiquark b and quark s) decay in two muons $\mu^{+}\mu^{-}$. The two muons tracks are seen as a pair of purple tracks traversing the whole detector. The low left image shows the zoom around the proton-proton collision point, origin of many particle tracks. The two muons purple tracks originate from the $B^{0}s$ decay point located 14 mm from the proton-proton collision.

The low right insert shows the $\mu^+\mu^-$ invariant mass spectrum. The solid blue line shows that the data distribution presented as black dots is well understood and can be separated into different components presented with the help of different colour lines. The dashed red narrow distribution shows the $B^0 s \rightarrow \mu^+\mu^-$ contribution around the $B^0 s$ mass of 5366 MeV/c². The green dashed distribution shows a possible contribution from the $B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ contribution around the B^0 mass of 5280 MeV/c². Within the Standard Model the branching ratio for this decay is expected to be about 30 times smaller than that for the $B^0 s$ decay.

LHCb collaboration has presented the 12 of November 2012 the first evidence for the $B^{0}_{s} \rightarrow \mu^{+}\mu^{-}$ decay and found the branching ratio $B^{0}_{s} \rightarrow \mu^{+}\mu^{-} = (3.2^{+1.5}_{-1.2}) \times 10^{-9}$. This is the rarest B decay ever seen.

The result is in agreement with the Standard Model prediction of (3.54±0.30)x10⁻⁹ allowing to squeeze strongly the parameters of supersymmetric extensions of the Standard Model (SUSY).

More details can be found here: https://cdsweb.cern.ch/journal/CERNBulletin/2012/46/News%20Articles/1493237?In=en

Ce display montre un cas typique de candidat pour la désintégration de B⁰ s (composés d'antiquark b et de quark s) en deux muons $\mu^{+}\mu^{-}$. Les deux traces violettes qui traversent l'ensemble du détecteur représentent les traces laissées par le passage des muons. L'image en bas à gauche montre un zoom autour du point de collision proton-proton, l'origine de nombreuses traces de particules. Les deux traces de muons, violettes, proviennent du point de désintégration du B⁰ s situé à 14 mm de la collision proton-proton. L'image en bas à droite montre le spectre de masse invariante de $\mu^{+}\mu^{-}$. La ligne bleue montre que la distribution des données présentées sous forme de points noirs est bien comprise et peut être séparée en différents composants présentés à l'aide de lignes de couleurs différentes. La distribution en pointillés rouges montre la contribution de B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-}$ autour de la masse de B⁰ s 5366 MeV/c². La distribution en pointillés verts indique une éventuelle contribution de B⁰ $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-}$ autour de la masse B⁰ de 5280 MeV/c². Dans le modèle standard, le rapport d'embranchement pour cette désintégration devrait être environ 30 fois plus petite que celle de la désintégration B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-}$ et a trouvé le rapport d'embranchement B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-} = (3.2^{+1.5}._{1.2}) \times 10^{\circ}$. Il s'agit de la désintégration B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-}$ et a trouvé le rapport d'embranchement B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-} = (3.2^{+1.5}._{1.2}) \times 10^{\circ}$. Il s'agit de la désintégration B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-}$ et a trouvé le rapport d'embranchement B⁰ s $\rightarrow \mu^{+}\mu^{-} = (3.2^{+1.5}._{1.2}) \times 10^{\circ}$. Il s'agit de la désintégration B la plus rare jamais vue. Le résultat est en accord avec la prédiction du Modèle Standard (3,54 ± 0,30) x10⁻⁹ et permet de réduire énormément l'espace des paramètres possibles des extensions supersymétriques du modèle standard (SUSY). Plus de détails peuvent être trouvés ici : https://cdsweb.cern.ch/journal/CERNBulletin/2012/46/News%20Articles/1493237?ln=fr

