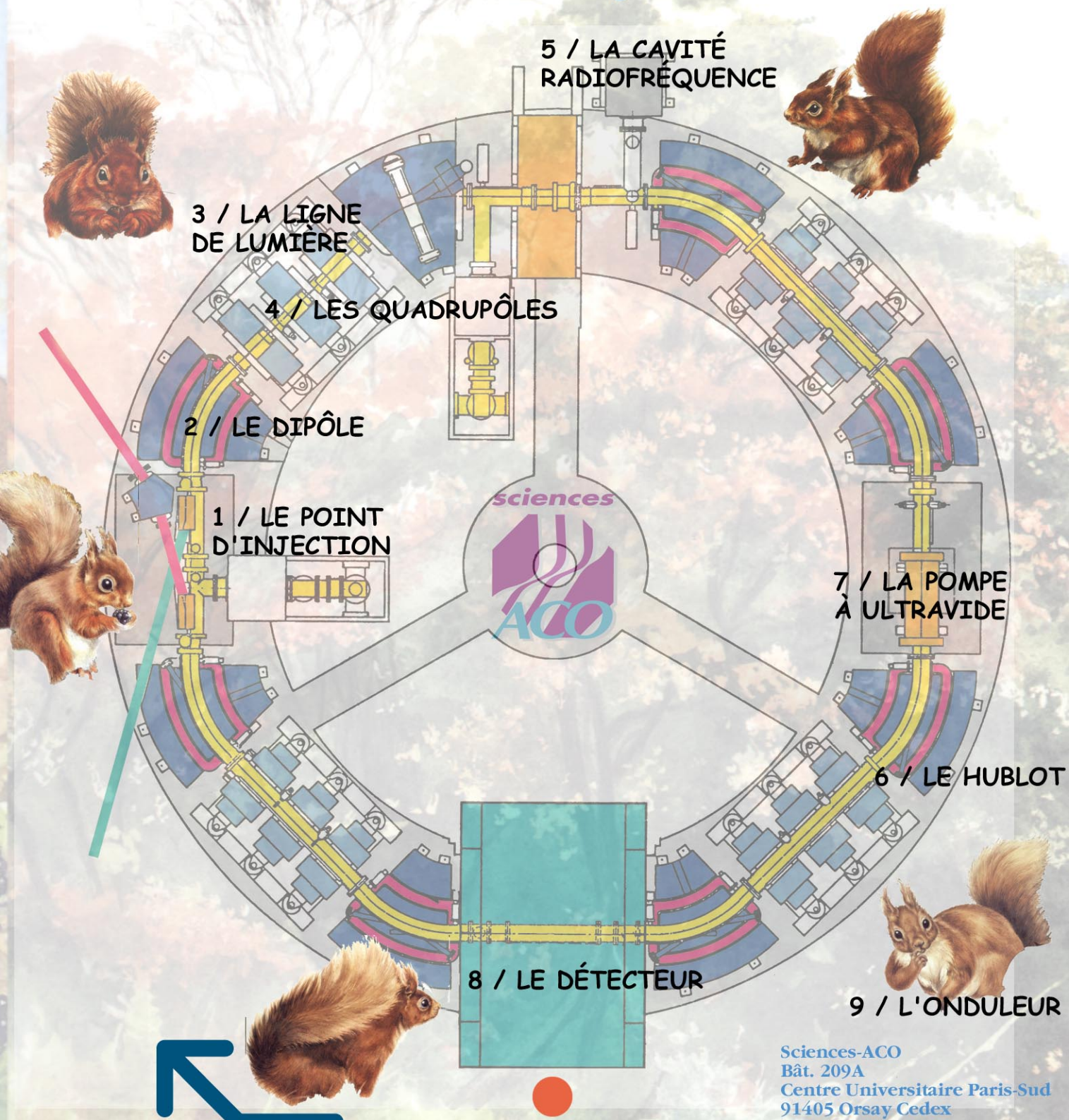


Le sentier de découverte de l'Anneau de Collisions d'Orsay



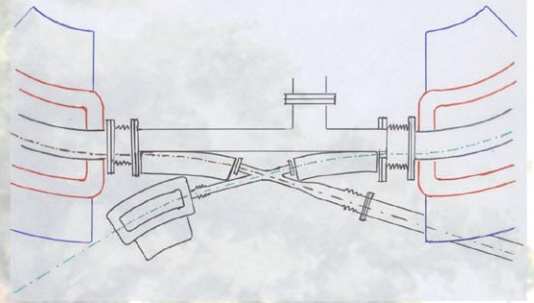
Sens de la visite

Sciences-ACO
Bât. 209A
Centre Universitaire Paris-Sud
91405 Orsay Cedex

Informations : J. Haissinski
tél. : 01 64 46 84 86

Les particules entrent dans l'anneau¹

LA SECTION D'INJECTION



La section d'injection est l'endroit où l'on fait entrer les particules dans l'anneau. Celles-ci proviennent d'un accélérateur linéaire situé dans une galerie souterraine communiquant avec la salle ACO. Deux tubes distincts amènent l'un les électrons, l'autre les positrons.

Principe

Sur chacune des deux lignes d'arrivée -en provenance de l'accélérateur- un électro-aimant, brièvement alimenté (on dit qu'il est pulsé), incurve la trajectoire des particules pour qu'elle devienne très proche de l'orbite sur laquelle ces particules doivent tourner par la suite. Les électrons ou les positrons pénètrent ensuite dans la chambre à vide de l'anneau en traversant une fenêtre d'acier très mince et vont rejoindre les paquets des particules déjà stockées dans l'anneau.

Fonctionnement

L'injection commence par les positrons et continue par les électrons.

Les particules sont injectées par bouffées à la cadence d'une dizaine de bouffées par seconde. Il faut des milliers de bouffées pour former un faisceau stocké.

Au total, l'injection des deux types de particules dure environ une demi-heure.

sciences



Guidage des deux faisceaux d'électrons et positrons

2

LE DIPÔLE



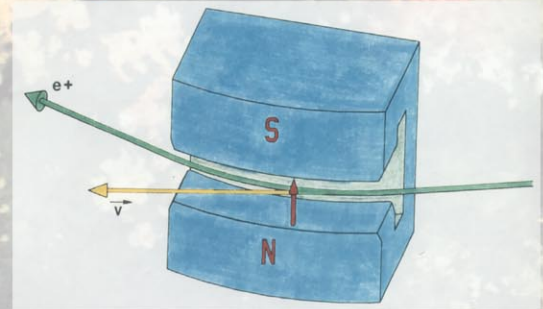
Les dipôles sont des aimants de courbure. Ils produisent un champ magnétique vertical, spatialement uniforme, qui courbe la trajectoire des particules chargées.

Principe

Le rôle des éléments magnétiques est de guider et de confiner les particules de haute énergie à l'intérieur de la chambre à vide de l'anneau. Il en existe 2 grands types : les dipôles et les quadrupôles. Les faisceaux sont dirigés dans l'anneau grâce aux dipôles ou aimants de courbure. Ils courbent la trajectoire des particules et les guident le long de leur orbite circulaire.

Fonctionnement

Sur ACO, il y a 8 dipôles produisant chacun une rotation de 45° entre ces aimants, les particules circulent en ligne droite. Ce sont des électroaimants dans lesquels on fait circuler un courant de quelques centaines d'ampères.



sciences



Les particules perdent de l'énergie sous forme de lumière : le rayonnement synchrotron

LA LIGNE DE LUMIÈRE

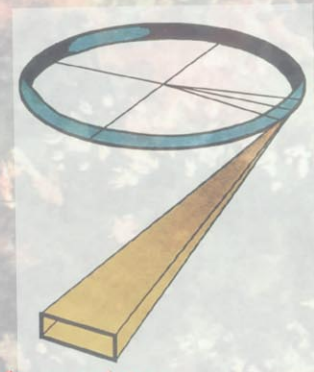


3

Dans l'anneau, les particules (électrons et positrons) perdent de l'énergie le long des parties courbes de leur trajectoire. Cette énergie est perdue sous forme de lumière.

Principe

La lumière synchrotron a un spectre qui couvre une large gamme de longueurs d'ondes. Elle a des propriétés remarquables (intensité, polarisation,...) utilisées pour l'étude de la matière condensée, inerte ou vivante, et intéresse de nombreux domaines scientifiques. ACO émettait dans l'infrarouge, le visible, l'ultraviolet et les rayons X.



Fonctionnement

Le rayonnement synchrotron est émis dans les parties courbes de la machine. C'est là que sont insérées "les lignes de lumière" par lesquelles le rayonnement sort de la machine. Physiquement, ces lignes sont des tubes contenant des miroirs conduisant la lumière synchrotron jusqu'aux échantillons à étudier. Chaque ligne est munie d'une vanne de sécurité en cas d'incident détériorant le vide et d'un monochromateur qui sélectionne la longueur d'onde désirée.

Les éléments magnétiques maintiennent les 2 faisceaux de particules à l'intérieur de l'anneau.

4



LES QUADRUPÔLES

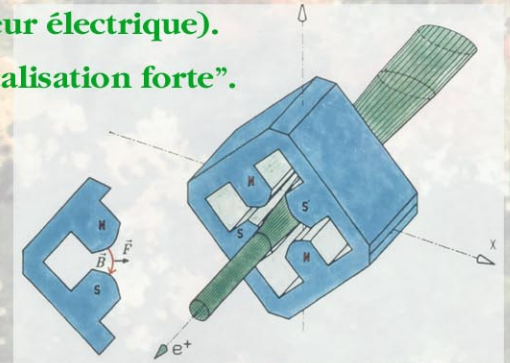
Grâce aux quadrupôles, les particules de haute énergie sont confinées dans la chambre à vide.

Principe

Pour empêcher les faisceaux de diverger et les maintenir près de l'axe de la chambre à vide, on les recentre grâce des lentilles magnétiques.

Ces éléments focalisateurs ou bobines de refocalisation sont des aimants quadrupolaires (à quatre bobines de conducteur électrique).

Dans le cas d'ACO, ceux –ci assurent une "focalisation forte".



Fonctionnement

Les quadrupôles sont des lentilles magnétiques qui fonctionnent comme des lentilles optiques. Mais les quadrupôles sont toujours focalisant dans un plan (par exemple, horizontal) et défocalisant dans l'autre (ici, vertical) ; il faut donc en associer plusieurs pour maintenir une concentration du faisceau. En général, les quadrupôles fonctionnent par 2 ou 3 pour focaliser les faisceaux. Sur ACO, 12 quadrupôles permettent de "resserrer" les faisceaux tout au long de leur orbite circulaire.

Un champ électrique oscillant accélère les particules



LA CAVITÉ RADIOFRÉQUENCE

Les particules perdent de l'énergie en tournant dans l'anneau, il faut donc leur en redonner régulièrement. C'est la fonction de la cavité accélératrice ou cavité radio fréquence

Principe

La cavité accélératrice ou cavité radio fréquence communique à chaque tour une accélération qui compense les pertes par rayonnement synchrotron permettant ainsi le stockage, c'est-à-dire la conservation dans l'anneau des faisceaux de particules sur une longue durée.

ACO permet un stockage des particules d'énergie élevée pendant environ une journée.

Fonctionnement

Cette cavité produit un champ électromagnétique oscillant qui change de sens régulièrement. Elle fournit une tension qui accélère à la fois les particules + (positrons) dans un sens et les particules - (électrons) dans l'autre sens.

Pour assurer cette accélération, la fréquence de la cavité est synchronisée avec la fréquence de révolution des particules. Chaque particule doit passer au bon moment pour être accélérée. Compte tenu de la variation de longueur des trajectoires selon l'énergie, ce système regroupe les particules en paquets.

On obtient finalement deux paquets d'électrons (-) et deux paquets de positrons (+).

Une fenêtre pour contrôler les particules dans l'anneau



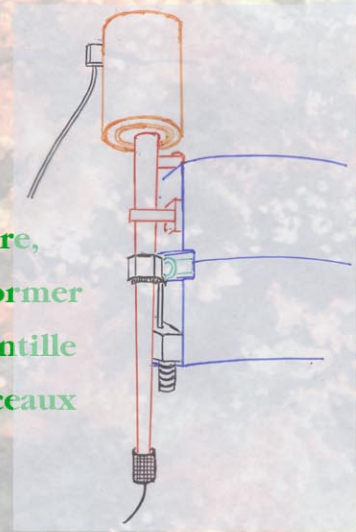
LE HUBLLOT

6

ACO comporte des caméras de télévision qui, à travers des hublots en saphir, voient les paquets d'électrons et de positrons tourner dans l'anneau.

Principe

Les deux faisceaux qui circulent dans l'anneau émettent de la lumière, appelée "rayonnement synchrotron". Avec cette lumière, on peut former l'image de chacun des faisceaux qui apparaît sous la forme d'une lentille bleutée. De telles images permettent de mesurer l'intensité des faisceaux stockés et de vérifier que ceux-ci restent stables.



Fonctionnement

Grâce à des hublots de saphir, on laisse le rayonnement synchrotron sortir de la chambre à vide. La lumière qui sort est d'autant plus intense que chaque particule stockée passe 14 millions de fois par seconde devant chacun des hublots. Elle est renvoyée vers le haut par un miroir incliné à 45 degrés, puis elle est détectée par une caméra; enfin l'image du faisceau est envoyée sur un écran de la salle de contrôle de l'anneau.

sciences



Un vide poussé dit ultravide, dans l'anneau prolonge la vie du faisceau

On fait le vide dans l'anneau pour que les particules injectées ne soient pas rapidement perdues

Principe

Il faut éviter que les particules se heurtent aux atomes du gaz emprisonné dans le tube de la chambre à vide ce qui détruirait progressivement le faisceau. Pour cela, on fait le vide dans l'anneau. Ce vide doit être si poussé qu'on l'appelle "ultravide". De sa qualité dépend la durée de vie des deux faisceaux.

Fonctionnement

Après fabrication, les éléments de la chambre à vide de l'anneau sont chimiquement nettoyés et rincés. Ils subissent ensuite en laboratoire un pompage poussé puis un étuvage, le vide est à cette étape entretenu par des pompes turbomoléculaires à grande vitesse. Sur ACO, on utilisait des pompes ioniques et des pompes à sublimation de titane. On atteint un vide de l'ordre de 10^{-10} mbar, soit 10^{-8} Pascal. Le travail effectué sur ACO a contribué au développement des techniques de l'ultravide, aujourd'hui parfaitement maîtrisées.

Objectif atteint : on photographie les particules émises lors des collisions



8

LE DÉTECTEUR

Les collisions se produisent à des endroits bien localisés dans l'anneau : les "régions d'interactions".
Le détecteur est placé en l'un des ces points de croisement situé à l'opposé de la cavité accélératrice.
On cherche à visualiser les particules (souvent des paires : $\pi^+\pi^-$, k^+k^- , $\mu^+\mu^-$, etc.) provenant des annihilations e^+e^- .

Principe

A chaque collision, appelée "événement", des particules sortent de la chambre à vide de l'anneau dont la paroi est suffisamment mince pour permettre à ces particules de la traverser sans trop de perturbations dans leurs trajectoires.

Les premiers détecteurs ont utilisé le principe des décharges électriques dans un mélange gazeux : les chambres à étincelles.

Fonctionnement

Une chambre à étincelles est constituée de plaques métalliques parallèles les unes aux autres, un peu comme un mille-feuilles, placées dans une enceinte remplie de gaz. Quand des particules traversent les espaces interplaques remplis de gaz, elles arrachent des électrons tout au long de leurs trajectoires.

Par application d'une forte tension électrique, on obtient sur le trajet des particules une série d'étincelles alignées.

Chaque événement est alors photographié, puis la trajectoire des particules est identifiée, mesurée et analysée.

Augmenter la puissance du rayonnement synchrotron a ouvert de nouveaux champs de recherche

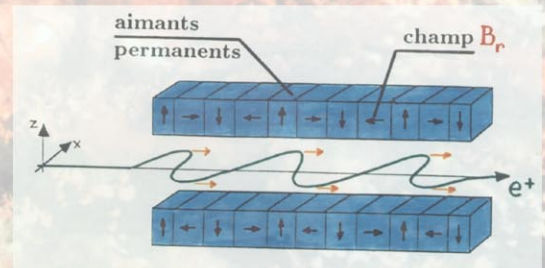


L'ONDULEUR

Un rayonnement synchrotron de plus grande brillance est produit par l'onduleur.

Principe

L'onduleur est un élément magnétique qui est utilisé pour provoquer un rayonnement intense d'un faisceau stocké (rayonnement synchrotron). Il est constitué d'une série d'aimants. Ce sont parfois des aimants permanents, mais certains onduleurs font appel à la technologie de la supraconductivité et fonctionnent donc à très basse température.



Fonctionnement

L'onduleur est constitué d'une alternance de dipôles qui produisent un champ magnétique périodique dans lequel les électrons oscillent transversalement. Le premier onduleur d'ACO était composé de matériaux supraconducteurs refroidis par de l'hélium liquide à -270 °C