

CHAMBRE À BROUILLARD



Chambre à brouillard - Définition et Explications

Une chambre à brouillard est un détecteur de particules dans lequel l'ionisation produite par le passage d'une particule chargée dans un gaz saturé en vapeur provoque la formation de gouttelettes de condensation le long de la trajectoire, ce qui permet de la visualiser et de la photographier. Chaque type de particule (proton, électron, positon) produit une trace caractéristique qui permet de l'identifier. Inventé en 1912 par le physicien écossais Charles Thomson Rees Wilson, utilisé jusque dans les années 1950, ce type de détecteur a été supplanté par la chambre à bulles, plus performante.

Chambre à brouillard thermoélectrique refroidie à eau

Les modules thermoélectriques (cellules Peltier) permettent de fabriquer des chambres à brouillard compactes avec un équilibre qui se met en place rapidement.

Principe de fonctionnement

8 cellules Peltier sont placées sur un échangeur de chaleur dans lequel circule de l'eau chargée d'évacuer la puissance thermique produite par les Peltiers. La température de l'eau est maintenue à environ 30°C (dans les conditions extérieures standard) grâce à un circuit de refroidissement (l'eau passe ensuite dans des radiateurs munis de ventilateurs afin d'évacuer son énergie).

Le circuit électrique de la machine repose sur une alimentation 12V pouvant délivrer un fort ampérage (environ 60A) à partir d'une prise secteur 220V. Les tensions de sortie permettent d'alimenter les différents composants de la machine : le système d'éclairage à leds, les ventilateurs, les modules thermoélectriques, la pompe, la sonde de température et le module haute tension.

La haute tension est un élément important de l'expérience. Le champ électrique permet de drainer dans la couche sursaturée les ions créés par le passage des particules ce qui augmente la sensibilité de la chambre (plus de traces sont détectables). Le champ joue aussi sur la qualité des tracés en empêchant que les ions ne « s'éparpillent » trop et forment des traces épaisses. Enfin il neutralise en partie supérieur de l'enceinte les ions créés par le rayonnement naturel en évitant la formation de brouillard parasite perturbant l'observation.

La haute tension est produite à partir de la tension continue de l'alimentation via un circuit dédié et un générateur type Cockroft Walton (l'ancêtre des accélérateurs de particules). Cette tension est « inoffensive » dans le sens où par les qualités intrinsèques du circuit multiplicateur de tension l'ampérage est au maximum d'une centaine de micro-ampères (une résistance de 2Mohms limite encore le courant de sortie).

Champ magnétique

Le design de la machine a été étudié afin de pouvoir introduire un aimant permanent (type Néodyme Fer Bore possédant les champs rémanents les plus intenses) en-dessous et au plus près de la surface d'interaction sans perturber l'équilibre de l'enceinte. Le champ magnétique par l'intermédiaire de la force de Lorentz permet de dévier les particules légères (électrons et positons) provenant du rayonnement cosmique ou des sources radioactives introduites dans la chambre. En mesurant le rayon de courbure de la particule et en observant son sens de déviation on peut déterminer sa charge et estimer son énergie.

Le champ magnétique permet d'observer les créations de paires (e^- , e^+) lorsqu'un rayonnement gamma s'annihile et de discriminer les muons des électrons (l'électron ayant une masse 207 fois plus faible que le muon il sera dévié facilement par le champ magnétique tandis que le muon n'y sera que peu sensible).

L'intensité du champ magnétique diminuant très rapidement avec la distance, il faut que l'aimant soit le plus près possible du passage des particules. Il est ainsi possible de positionner un aimant de dimension maximale 7×16 cm et de 4,5 cm d'épaisseur à 25 mm de la surface d'interaction. L'emplacement de l'aimant est accessible en remontant le panneau latéral de la machine.

Chambre en verre

Le nettoyage régulier de l'enceinte (les poussières étant attirées par le champ électrique) a montré que la chambre se rayait facilement lorsque celle-ci était faite de plastique. Le verre est plus difficile à découper que le plexiglass mais il est inrayable et optiquement plus intéressant lorsque l'on doit photographier l'intérieur de l'enceinte ou retransmettre sur écran les événements.

Le verre étant deux fois plus dense que le plastique, il y a plus de particules observables par la multiplication des rayonnements gamma dans le verre. Il arrive aussi, assez rarement, qu'un proton (ou neutron) interagisse dans la paroi pour éjecter d'autres protons que l'on peut ensuite détecter.

Éclairage – Système de diffusion d'alcool

Le système d'éclairage consiste en un double réseau de 80 LEDs qui éclairent de façon rasante la surface d'interaction tout en minimisant les réflexions parasites. La technologie LED permet de ne pas perturber l'équilibre thermodynamique car la proportion d'infrarouge émis est réduite par rapport aux systèmes d'éclairage à incandescence. Le boîtier de contrôle (contenant l'indicateur LCD de température) dispose d'un interrupteur permettant d'éteindre l'éclairage, utile lors de l'introduction de sources radioactives fluorescentes (radium, tritium, autunite, oxyde d'uranium...).

L'alcool liquide (éthanol à 90% ou isopropanol) se place sur les ailettes disposées sur le couvercle. Environ 2 cm³ d'alcool déposés sur les ailettes permettent d'observer les rayonnements pendant une trentaine de minutes.

L'alcool se condensant sur la surface d'interaction il est possible de récupérer cet alcool pour une autre expérience. Cependant celui-ci contiendra une proportion d'eau non négligeable issu de la condensation de l'humidité ambiante sur la surface.

Que peut -on voir ?

- des particules alpha, issus du gaz Radon naturel, de minéraux ou de sources artificielles. Parfois on peut observer des collisions élastiques de particules alpha sur des noyaux,
- des électrons, issus par exemple du rayonnement naturel et qui sont aisément déviés par la force de Lorentz avec un champ magnétique. On voit aisément que les électrons subissent au cours de leurs parcours des collisions inélastiques avec les électrons atomiques ou les noyaux du milieu,
- des protons, issus du rayonnement cosmique, facilement reconnaissable par leurs traces très longues et rectilignes, avec parfois des collisions remarquables sur les noyaux du milieu,
- des muons, bien que ceux-ci soient très discrets compte tenu de leurs vitesses relativistes !
- Les interactions des rayonnements électromagnétiques dans la matière (effet photoélectrique, Compton ou de création de paires).

Que peut -on faire ?

- En prenant une photographie d'une trajectoire courbée, on peut mesurer le rayon de courbure et calculer l'énergie de la particule. Ce faisant, on se rend compte du spectre d'énergie continu des électrons émis lors de la désintégration Bêta, une source électronique donnant des trajectoires à rayons de courbures différentes.
- Le concept de demi-vie des radionucléides est visible avec le Radon 220 en observant le nombre de traces laissées par les désintégrations alpha qui diminue rapidement avec le temps (divisé par 2 toutes les 55 secondes).
- Des expériences simples illustrant le concept d'écran (feuille de mica stoppant progressivement des particules alpha), aluminium stoppant des électrons...
- Le renforcement de l'intensité du rayonnement cosmique en altitude (surtout pour la composante hadronique type protons)
- Des expériences un peu plus poussées pour l'instant non décrites sur le site (expérience de Rutherford, source neutronique type AmBe...)

Autres machines existantes

Il existe quelques (3) chambres à brouillard thermoélectrique disponible à la vente sur internet. Malheureusement la totalité de ces machines sont lentes c'est-à-dire qu'elles demandent un temps d'attente minimum de 10 à 20 minutes après l'allumage avant de pouvoir observer les premières particules et aucune ne peut héberger un aimant pour soumettre la surface à un champ magnétique.

Les temps d'attente un peu longs de ces machines s'expliquent par le peu d'éléments thermoélectriques utilisés. De manière générale, plus il y a de modules Peltier et plus la surface d'interaction se refroidit rapidement car on augmente la puissance thermique absorbable sur la surface. Mais à mesure que l'on ajoute des éléments thermoélectriques il faut que le système puisse dissiper la chaleur produite par ces modules qui est énorme (la température de la plaque chaude du peltier peut atteindre 100°C). L'ajout de modules thermoélectriques supplémentaires pour gagner en réactivité nécessite un échangeur dimensionné par rapport à la charge thermique à évacuer. Des matériaux supplémentaires pour la dissipation du caloporteur (air ou eau) sont nécessaires, ce qui augmente encore la complexité du dispositif (tuyauteries, câblages électriques, radiateurs et ventilateur performant, alimentation puissante... et prévoir un emplacement pour un aimant si c'est possible !)

Ces machines sont construites avec seulement un ou deux modules Peltier car techniquement, un échangeur thermique standard suffit à évacuer les calories produites ce qui est plus simple à fabriquer. En revanche, il faut attendre une dizaine de minutes le temps que la surface d'interaction soit à la bonne température (la nature de la surface active a aussi un rôle important dans cette réactivité).