

Kalorimeter

Kalorimeter

Die Energie der Teilchen wird in Kalorimetern bestimmt, die sich ebenfalls innerhalb der großen Spule befinden. Doch nach welchem Prinzip funktionieren Kalorimeter? Eigentlich werden die Teilchen dort auf die gleiche Weise sichtbar wie in der Braun'schen Röhre oder im Fadenstrahlrohr. [Video] Dort treffen Elektronen entweder auf die Fluoreszenzschicht des Leuchtschirms oder Gasatome in einem Glaskolben. In beiden Fällen werden die Außenelektronen dieser Atome zunächst auf ein höheres Energieniveau angeregt. Beim Zurückfallen in den Grundzustand wird die Energiedifferenz als Licht frei.

[live] Statt des Gases verwendet man in modernen Teilchendetektoren wie dem CMS Kristalle oder durchsichtige Kunststoffe, in denen Teilchen Lichtblitze hervorrufen. In der Fachsprache heißen diese Materialien Szintillator. Die Lichtblitze, die schnelle Teilchen im Szintillator hervorrufen, werden natürlich nicht mit bloßem Auge beobachtet: Lichtleiter führen zu Photodetektoren, die die Lichtimpulse in elektrische Signale umwandeln. Die Photodetektoren arbeiten dabei mit dem Photoeffekt, dem seit über 100 Jahren bekannten Phänomen, dass Licht aus einer geladenen Metallplatte Elektronen auslöst. Da die Lichtblitze im Szintillator sehr schwach sind, wird das durch den Photoeffekt freigesetzte primäre Elektron mit einer Hochspannung zwischen mehreren Elektroden verstärkt.

Kalorimeter, die die Energie der Teilchen messen sollen, bestehen allerdings nicht nur aus einem Szintillator allein: zwischen mehreren Szintillator-Schichten ist dickes Absorptionsmaterial, beim Hadron-Kalorimeter des CMS-Detektors sind dies dicke Stahlplatten von ausgemusterten russischen Kriegsschiffen. Die eintreffenden Teilchen stoßen mit den Atomen des Absorptionsmaterials zusammen und zerfallen dadurch in zahlreiche Sekundärteilchen. Diese zerfallen in den nächsten Absorptionsschichten lawinenartig weiter, bis die Energie des ursprünglichen Teilchens aufgebraucht ist. Dann kann auf die Energie des Anfangsteilchens zurückgerechnet werden: sie ist proportional zur Eindringtiefe und zur Lichtmenge, die von den Szintillatoren gemessen wurde. Teilchen mit hoher Energie erzeugen natürlich einen viel größeren Teilchenschauer als langsame Teilchen.

Beim Hadron-Kalorimeter des CMS-Detektors erkennt man gut die abwechselnden Schichten von Absorptionsmaterial und den Szintillatoren, in denen die Teilchen Lichtblitze erzeugen. Ebenfalls unverkennbar sind die Bündel der Lichtleiter, die zu den Photodetektoren führen.

[live] Bei den Teilchenzerfällen, die in den Kalorimetern natürlich erwünscht sind, entsteht aber sehr viel Strahlung, die die Elektronik des Detektors aushalten muss. Alle Bauteile mussten deshalb auf Unempfindlichkeit gegenüber Strahlung getestet werden, und auch für den Außenbereich sind entsprechende Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich. Dazu Frank Hartmann von der Universität Karlsruhe. [Video8] [Video7]