

Teilchendetektoren II

Kalorimeter

Mit der vom Magnetfeld der Spule gekrümmten Teilchenbahn, die mit Spurdetektoren aus Silizium erfasst wird, wird der Impuls der Teilchen berechnet. Die Energie der Teilchen wird mit den nächsten Detektoren bestimmt, den sogenannten Kalorimetern. Elektronen, Positronen und Photonen erscheinen im elektromagnetischen Kalorimeter, Hadronen, also aus Quarks aufgebaute Teilchen, im Hadronkalorimeter. Doch nach welchem Prinzip funktionieren diese Detektoren? [Video] Eigentlich werden die Teilchen dort auf die gleiche Weise sichtbar wie im Fadenstrahlrohr oder in der Braun'schen Röhre. Dort treffen Elektronen entweder auf Gasatome in der Röhre, oder auf die Atome der Fluoreszenzschicht des Leuchtschirms. In beiden Fällen werden die Außenelektronen dieser Atome auf ein höheres Energieniveau angeregt, die Energiedifferenz wird beim Zurückfallen als Licht frei.

Natürlich beobachtet man in modernen Teilchendetektoren wie dem CMS die Teilchen nicht mit bloßem Auge. Von dem durchsichtigen Material, in dem die Teilchen Lichtblitze hervorrufen, in der Fachsprache „Szintillator“ genannt, führen Lichtleiter 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.

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. Frank Hartmann von der Universität Karlsruhe. [Video8] [Video7]