

Axion-like Particle Search (ALPS)

Ein Experiment zur Suche nach dunkler Materie

Dieter Notz

Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY, Hamburg, Germany

EMAIL: Dieter.Notz@desy.de

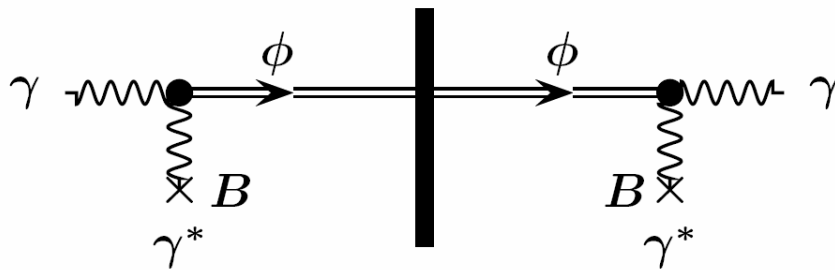
SEI Tagung FZR Rossendorf, 26. 3. – 28. 3. 2007

Zusammenfassung

Axionen sind hypothetische Teilchen mit einer winzigen Masse im milli-eV Bereich. Sie koppeln schwach an normale Materie und könnten ein Kandidat für dunkle Materie sein. Wir wollen bei DESY axion-ähnliche Teilchen mit einem Laser in einem Magnetfeld erzeugen, durch einen Absorber schicken und die regenerierten Photonen nachweisen.

Um zu erklären, weshalb das elektrische Dipolmoment beim Neutron so klein ist, wurden von Roberto Peccei und Helen Quinn Korrekturen eingeführt, die von Steven Weinberg und Frank Wilczek als neue Teilchen mit dem Namen Axion interpretiert wurden. Das Axion ist ein Pseudoskalar (0^-) und sollte die Masse Null haben, bekommt aber durch Wechselwirkungen mit Instantonen eine kleine Masse von $1 \mu\text{eV} < m(\text{Axion}) < 0,01 \text{ eV}$. Sie sind daher Kandidaten für dunkle Materie. (Das Weltall könnte zu etwa 73 Prozent aus dunkler Energie, 23 Prozent aus dunkler Materie, rund 4 Prozent „gewöhnlicher Materie“ (z.B. Atomen) und 0,3 Prozent aus Neutrinos bestehen.)

Die Teilchen die wir suchen sind Axion-ähnlich. Die Masse beträgt etwa 0.001 eV (1 meV). Erzeugt werden sie in einem Prozess, der durch folgenden Feynmangraphen dargestellt wird:



Photonen kommen von links, machen eine Wechselwirkung mit einem Magnetfeld und erzeugen Axionen Φ . Diese fliegen weiter und durchdringen ohne Störungen einen Absorber, während alle anderen Photonen absorbiert werden. Hinter dem Absorber können die Axionen mit dem 2. Magnetfeld wechselwirken und wieder ein Photon generieren (Regenerationsexperiment, Licht durchscheint eine Wand). Diese wenigen Photonen werden in einem Detektor nachgewiesen.

Wir brauchen also

1. eine starke Lichtquelle mit vielen Photonen (Laser);
2. einen Magneten mit Absorber in der Mitte und
3. einen Detektor.

Der Magnet

Bei DESY gibt es einen HERA Dipolmagneten, der als Ersatz für die Beschleunigermagnete betriebsbereit gehalten wird.



Das Bild zeigt den HERA Dipolmagneten, der rechts und links mit der Kälteversorgung verbunden ist. Das Bild ist eine Fälschung, da derselbe Mitarbeiter zweimal dargestellt wird. Die magnetische Länge beträgt 8.82 m, das Feld erreicht 5.355 T. Ein Nachteil ist, dass das Strahlrohr gebogen und dem Beschleuniger HERA angepasst ist. Es bleibt aber eine kleine Öffnung, durch die die Teilchen geradlinig fliegen können. In der Mitte des Magneten kommt der Absorber, links wird der Laserstrahl und rechts der Detektor aufgebaut. Für den Betrieb wird der Magnet auf 4.2 K abgekühlt. So kalt (und im Vakuum) ist auch das (gebogene) Strahlrohr. Um Experimentieren zu können gibt es noch ein 2. Rohr in ca. 5 mm Abstand vom Strahlrohr, das durch Stickstoffströmung auf Zimmertemperatur gehalten wird.

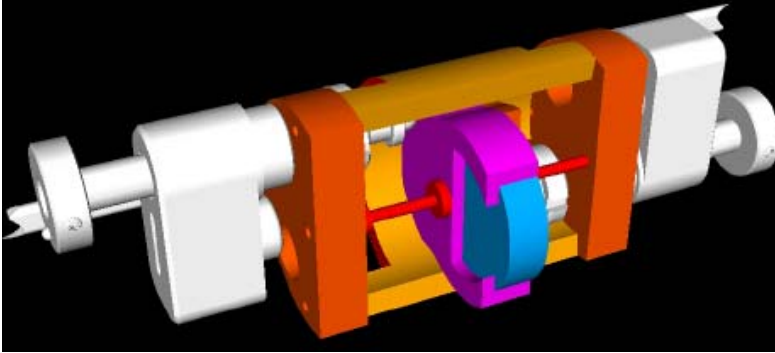
Einbauten in den Magneten

Der Laserstrahl hat eine Leistung im Magneten von ca. 200 W. Diese Leistung wollen wir nicht im Absorber absorbieren, da wir dann Kühlungsprobleme bekommen. Daher wird der Laser auf mit einem Spiegel wieder zurückreflektiert. Zwischen Lasereintritt und dem Spiegel wird ein evakuiertes Rohr mit Quarzfenstern eingebaut. In dieses Rohr könnte man ein Puffergas einspeisen, um über den Brechungsindex die Geschwindigkeit der Photonen der Masse der Axionen anzupassen. Neuere Entwicklungen haben aber gezeigt, dass es zu diesen Überlegungen gewichtige Gegenargumente gibt.

Das rechte Rohr enthält den Absorber, den wir aber zu Kallibrierzwecken öffnen und schließen müssen. Darum besteht das rechte Rohr aus zwei ineinandergesteckten Rohren. Durch Drehen des inneren Rohres können wir den Absorber für Kallibrationsarbeiten am Laser öffnen.

Spiegel

Der Spiegel in der Mitte des Magneten wird mit Pikomotoren justiert. Diese Motoren können im Magnetfeld arbeiten und brauchen keinen Strom, um die einmal eingestellte Position zu halten.



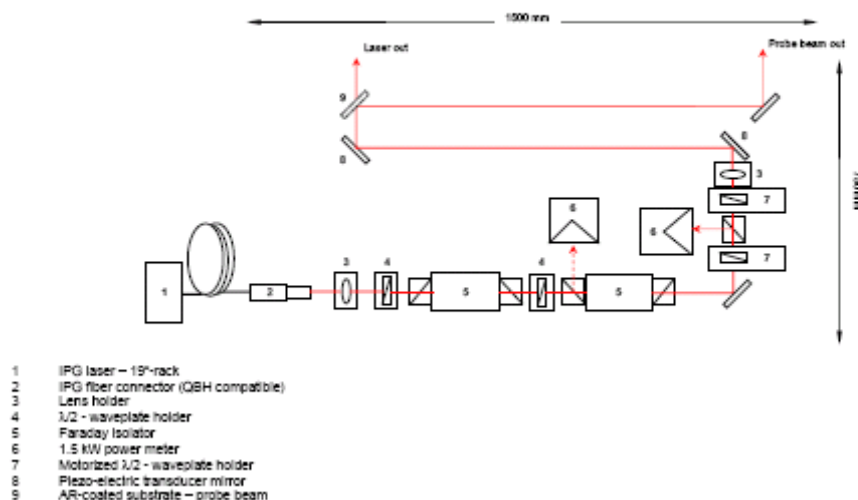
Der Spiegelhalter muss in das Rohr passen und hat daher einen maximalen Außendurchmesser vom 4.3 cm. Rechts und links sind die Pikomotoren sichtbar, die gegen den Spiegelhalter drücken und den Spiegel um zwei Achsen drehen können.

Der Laser

Der Laser muss leistungsstark sein, damit viele Photonen geliefert werden können. Nachdem wir ursprünglich einen Laser aus der Industrieschweißtechnik angesehen hatten (8 kW) bevorzugen wir nunmehr einen Laser von 400 W. Wichtig für uns ist wegen der beengten Raumverhältnisse ein Laserstrahl mit hoher Strahlqualität, d. h. mit geringer Divergenz. Wir benutzen einen Laser der Firma IPG. Die Frequenz des Lasers bestimmt die Energie der einzelnen Photonen. Da die Axion-ähnlichen Teilchen leicht sind, kann die Energie niedrig, d. h. die Frequenz niedrig und die Wellenlänge lang sein. Wir haben uns für die Wellenlänge von 1070 nm im nahen Infrarot entschieden.

Der Laserstrahl wird vom Spiegel zurückreflektiert. Er darf aber auf keinen Fall die Strahlquelle treffen, da diese dann zerstört würde. Es müssen also Vorkehrungen getroffen werden, dass dies nicht passiert.

Schematic Laser Setup – LZH



M. Hildebrandt 10.01.07

Der Laseraufbau zeigt neben $\lambda/2$ Platten zur Drehung der Polarisation (und damit auch zu Reduktion der Leistung) zwei sog. Faraday-Isolatoren. Diese arbeiten nach folgendem Prinzip: Der Strahl wird um 45° gedreht. Der zurückkommende Strahl wird nicht um 45°

zurückgedreht, sondern um 45° weitergedreht. Er ist daher um 90° gedreht und kann aus dem Strahlengang herausreflektiert werden. Neben dem eigentlichen Laserstrahl gibt es noch zu Justagezwecken einen zweiten Strahl mit minimaler Intensität, der für das Autoalignment benutzt wird.

Der Detektor

Großes Kopfzerbrechen bereitete der Detektor. Dieser muss Photonen von 1070 nm detektieren, und das bei einer sehr niedrigen Rate. Die meisten Nachweisgeräte zeigen zu starkes elektronisches Rauschen beim Auslesen oder einen zu hohen Dunkelstrom. Si-Detektoren sind bei 1070 nm kaum noch sensitiv. Wir hatten uns dann für einen Detektor von Teledyne entschieden, der auf einem HgCdTe Chip basiert. Dieser zeigt geringes Rauschen, so dass man Photonen hätte nachweisen können. Dieser Typ war aber nicht mehr zu bekommen, so dass wir auf einen InGaAs Chip ausgewichen sind. Um das Rauschen zu verringern, arbeitet dieser Detektor bei 80 K Temperatur. Er wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Erste Tests haben wir mit einer CCD Kamera SBIG, Modell ST-402 gemacht. Diese Kamera wird ohne Objektiv geliefert. Man kann aber Charakteristika wie z. B. Dunkelstrom, Ausleserauschen sowie ihre Abhängigkeit von der Temperatur untersuchen. Die Temperatur kann durch ein Peltierelement um 30 Grad abgesenkt werden. Die Arbeitsweise mit der PC-USB Auslese und der Zugriff auf einzelne Pixels wurde studiert.



Weiterführende Informationen

<http://alps.desy.de>