

ULTRAKALTE NEUTRONEN

Petra Schulz

[Originaltext aus: Mensch und Technik naturgemäß, Heft 2/1989, S. 65-69, Layout und Inhalt geringfügig geändert, eine Abbildung eingefügt im Jahre 2003.]

So ganz kann ich es nicht abstreiten, daß ich ein Anhänger eines mechanistisch erklärbaren Weltalls bin. Wann immer es geht, versuche ich, das auf versteckte Weise durch plastische Sprache zu demonstrieren wie hier am Beispiel ultrakalter Neutronen, die in einem für mich mechanisch erklärbaren elektromagnetischen Feld ihr Dasein bestreiten.

Menschliche Neutronen: gebunden

Der Mensch besteht zu rund 50 Prozent aus Neutronen, die einen wichtigen Bestandteil der Atomkerne ausmachen. Normalerweise leben diese Teilchen nicht lange, nach einer Viertelstunde sind 37 Prozent von ihnen gestorben. Aber die Neutronen, die beispielsweise wie beim Menschen in Atomkernen wohnen, wirken dennoch wie langlebige Kerlchen. Immer, wenn ein Neutron dahinsiecht, kann es damit rechnen, von seinen vielen hilfreichen Nachbarn einen Muntermacher in Form eines Pions (Kernkraftteilchen) zu erhalten. Fehlt dieser Lebenserwecker, so haben wir es mit einem radioaktiven Zerfall zu tun, der in der Natur relativ selten auftritt. Die Elementarteilchenphysiker interessieren sich allerdings weniger für „menschliche“ Neutronen, sondern vielmehr für freie Neutronen. Freie Neutronen sind allein lebende Teilchen, die an keinen Atomkern gefesselt sind und deren Zerfall nicht von hilfreichen Nachbarpartikeln aufgehalten werden kann.

Freie Neutronen sind selten und müssen erst künstlich in einem Kernreaktor hergestellt werden. Dort sammeln sie sich nur spärlich als Gas an. Bei Zimmertemperatur fliegen die Neutronen flott dahin, nur eins von 10^{11} Neutronen verdient den Titel ultrakalt.

Neutronenbremsen

Um die Neutronen zu bremsen, werden sie zunächst im Vakuum durch flüssigen schweren Wasserstoff bei 25 Kelvin (minus 248 Grad Celsius) gekühlt. Da sie gleichzeitig noch entgegen der Schwerkraft der Erde strömen, haben sie kräftig zu strampeln und erlahmen in ihrer Geschwindigkeit.

Durch einen weiteren experimentellen Kniff werden anschließend die ultrakalten Teilchen von den übrigen aussortiert. Leitet man nämlich die Neutronen durch ein gekrümmtes Metallrohr, so schlüpfen die schnellen Teilchen durch die Wandungen und bleiben in den Atomkernen der Reaktorabschirmung stecken, während die langsamen Neutronen an den gebogenen Metallwänden hin- und hergestoßen werden (siehe Abbildung), so daß sich die ultrakalten Neutronen am unteren Rohrende zu einem Stelldichein versammeln /1/, /2/.

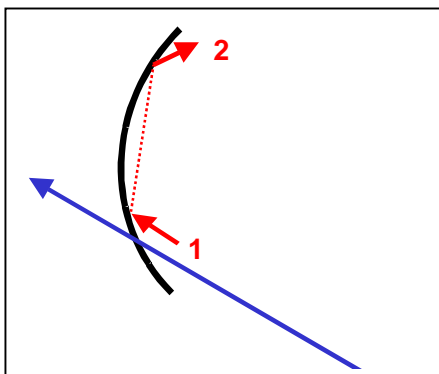


Abb. :

Ein schnelles Neutron (langer blauer Pfeil) geht durch die gekrümmte Metallwand hindurch und wird vom Reaktormaterial absorbiert.

Ein langsames Neutron (roter kurzer Pfeil) wird von den Metallwänden totalreflektiert. 1: einlaufendes und 2: austretendes Neutron.

Ultrakalte Neutronen konservieren

Nachdem auf trickreiche, aber mühevoller Art die ultrakalten Neutronen erzeugt sind, geht es darum, sie als solche möglichst lange zu bewahren. Nach circa eintausend Stößen gegen die harten Wände, wobei das Neutron zunächst nur reflektiert wird, fällt es schließlich gefräßigen Störfrieden aus dem Gefäßmaterial zum Opfer. Schnelle und leichte Teilchen wie Wasserstoffkerne sind auf Grund ihrer fixen Bewegungen und der vergleichbaren Masse die gefährlichen Feinde der Neutronen, denn die dahineilenden Protonen (Wasserstoffkerne) stoßen häufiger als andere Teilchen folgenschwer mit den Neutronen zusammen. Bei einer solchen Begegnung frißt der Wasserstoff die Neutronen auf und verwandelt sich mit dieser Speise im Leib in Deuterium (schweren Wasserstoff). Er spuckt die Neutronen nicht wieder aus, denn er hat ja vorher überhaupt keine besessen. Diesen Neutronenschluckvorgang bezeichnen die Physiker als inelastische Streuung. Wasserstoffkerne sind zum Leidwesen der Forscher als Verunreinigung in Wasserspuren oder deren Bruchstücken allgegenwärtig und setzen die Haltbarkeit der kostbaren ultrakalten Neutronen deutlich herab.

Die ultrakalten Neutronen lassen sich bedeutend länger konservieren, wenn man sie von den Störfrieden der Wände fernhält. Da Neutronen kleine Magnete sind, folgen sie willig den Feldlinien (Kraftstraßen) eines supraleitenden (extrem starken) Magneten, wie er im Max-von-Laue-Paul-Langevin-Institut in Grenoble/Frankreich steht. In derartigen magnetischen Flaschen erhoffen sich die Physiker genaue Messungen der Lebensdauer der Neutronen. Ein sterbendes freies Neutron zerfällt in ein Proton, Elektron und ein angeblich masseloses Antineutrino.

Das Innenleben von Neutronen: das Dipolmoment

Auch das Innenleben der Neutronen möchten die Hochenergiephysiker kennenlernen. Obgleich das Neutron ein neutrales Gebilde ist, kann es aus einem positiven und einem negativen Anteil an Quarks aufgebaut sein, den zur Zeit kleinsten denkbaren Bestandteilen von Atomkernen. Wenn sich diese Quarks nicht am selben Platz aufhalten, weil sie sich schließlich ständig bewegen, machen sie das Neutron voluminös und zu einem elektrischen Dipol. Ob nun das negative und positive Ende zusammenfallen oder nicht, also ob das Neutron ein punkt- oder strichförmiges Herz besitzt, wissen die Elementarteilchenphysiker heute noch nicht. Die Messung bereitete bislang große Schwierigkeiten, da Plus- und Minuspol im Neutron offenbar sehr dicht nebeneinander liegen.

Wenn ein Teilchen ein elektrischer Dipol ist, sagen die Naturwissenschaftler auch, es besäße ein elektrisches Dipolmoment (Ladung mal Abstand der Ladungen). Eine Partikel mit solchem Dipolmoment gleicht in ihrem Verhalten einem Menschen, der entweder auf- oder abwärts geht, und die Erdanziehungskraft als Gegen- oder Mitspieler hat. Die beiden Bewegungsrichtungen, auf und ab, nützen als Vorstellungshilfe, denn die Richtung des Dipolmoments, die Minus-Plus-Richtung, spielt eine wichtige Rolle im elektrischen Feld. Ein elektrisches Feld ähnelt dem Erdanziehungs-Kraftfeld oder noch besser einem strömenden Fluß. Ein Mensch, der gegen den Strom schwimmt, muß sich mehr anstrengen als eine Person, die sich mit dem Strom bewegt. Auch ein Teilchen ohne Dipolmoment läßt sich nach dem benutzten Hilfsbild gut vorstellen, es entspricht einem ruhenden Menschen auf der Oberfläche eines Flusses.

Messung des elektrischen Dipolmoments

1. Elektrisches Feld

Die Physiker bereiten in Grenoble Messungen vor, um das elektrische Dipolmoment des Neutrons zu bestimmen. Zu diesem Zweck packen die Experimentatoren die ultrakalten Neutronen in ein starkes elektrisches Feld. Ein elektrisches Feld ist vergleichbar mit einem strömenden Fluß. Neutronen, die ein elektrisches Dipolmoment besitzen, würden nach unseren Vorstellungen kleinen Wesen entsprechen, die entweder entgegen oder mit der Strömung wandern. Wenn das elektrische Feld nur stark genug ist, wenn das Wasser also sehr schnell über das Flußbett schießt, wird der reißende Fluß erreichen, daß alle fremden Teilchen mit in seine Richtung gezogen werden. Mit anderen Worten bedeutet dies, das Dipolmoment und das elektrische Feld sind nach einer gewissen Anlaufzeit gleichgerichtet.

2. Konstantes Magnetfeld

Die Neutronenphysiker überlagern nun dem elektrischen Feld zunächst ein konstantes Magnetfeld. Ein magnetisches Feld ähnelt einer wirbelnden Wassersäule, also einem Strudel. Teilchen, die nicht den Drehsinn des Wasserstrudels aufweisen, werden bei genügender Wirbelstärke des Wassers nach der „Pfeife“ des Wassers tanzen. Die Überlagerung des elektrischen und magnetischen Feldes entspricht insgesamt einer vorwärts schreitenden rotierenden Wassersäule. Mitgerissene Teilchen werden schraubenförmig mitgeschleust.

3. Wechselndes Magnetfeld

Zu dem konstanten wird zu guter Letzt ein wechselndes Magnetfeld eingeschaltet. Der Wasserstrudel wird wie eine Unruhe sich abwechselnd links und rechts herum drehen und gleichzeitig voran schießen. Da die Physiker die Frequenz (Häufigkeit) der Richtungsumkehr zunehmend erhöhen, wird bei genügend hoher Frequenz (Resonanzfrequenz) dem Neutron die umgekehrte Drehrichtung aufgezwungen. Bei welcher Frequenz das Neutron in die Gegenrichtung trudelt, hängt von seinen Umweltbedingungen ab, davon, ob das elektrische Dipolmoment des Neutrons in die Richtung des elektrischen Feldes oder umgekehrt zeigt.

Wird das elektrische Feld umgepolt, muß sich die Resonanzfrequenz ändern, sofern das Neutron ein elektrischer Dipol ist. Ein falsch herum tanzendes Teilchen läßt sich leichter vom Vorwärtsstrudel mitreißen, wenn es in die gleiche Richtung wie das Wasser strömt. Ein verkehrt herum wirbelndes Teilchen ist bedeutend schwerer von dem gegensinnig eilenden Strudel mitzuziehen. Ein ruhendes Teilchen spürt dagegen nicht, wenn sich die Strömungsrichtung ändern sollte. Der Energieaufwand ist nämlich der gleiche.

Anwendungen

Noch bevor die Forscher genügend Material über das Innenleben der ultrakalten Neutronen und ihre Verhaltensweise kennengelernt haben, wollen sie mit Hilfe dieser Teilchen Jagd auf dünne Filme und feste Oberflächen machen. Neutronen erlauben, Strukturen von Materie auszukundschaften. Es stehen unter anderem die Untersuchung von Viren, vom Vererbungsmolekül DNS und von biologischem Gewebe auf dem Programm.

Die halbwegs mechanistische Beschreibung der elektromagnetischen Feldeffekte ist übrigens ohne weiteres übertragbar auf die übrigen Resonanzmethoden wie etwa die Kern- oder Elektronenspinresonanz, was hier allerdings nicht näher ausgeführt werden soll.

Literatur

- /1/ H. Golup; W. Mampe; J. M. Pendlebury; P. Ageron. Spektrum der Wissenschaft 1(8), S. 58-73 (1979)
- /2/ Physics Today, Juni 1980, S. 21-22