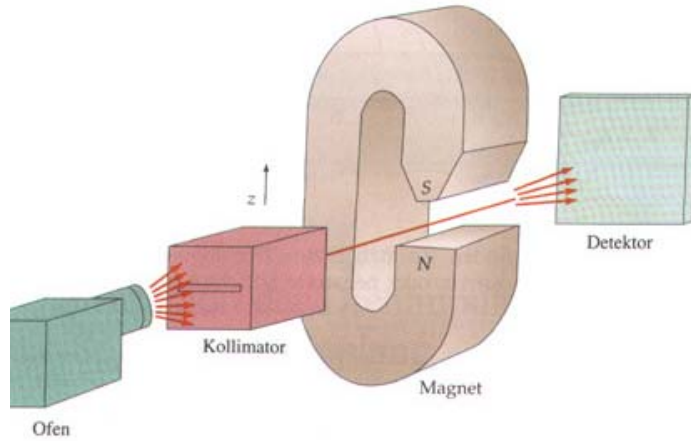
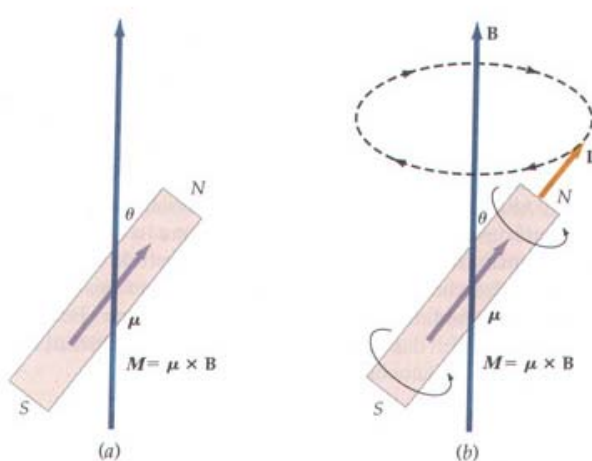


Der Stern-Gerlach-Versuch

Durch die Einführung des Elektronenspins konnte die Feinstruktur der Spektrallinien und die Zusammenhänge im Periodensystem erklärt werden. Weiterhin erlaubte sie die Deutung eines berühmten Experiments, das **Stern** und **Gerlach 1921** durchführten. Sie ließen einen Atomstrahl durch ein in z – Richtung inhomogenes Magnetfeld laufen.



37.10 Der Stern-Gerlach-Versuch: Aus dem Ofen treten Atome unter einem großen Raumwinkel aus und treffen auf ein Blendsystem, das nur die in einer bestimmten Richtung fliegenden Atome hindurchläßt. Dahinter liegt also ein Bündel aus Atomen vor, das man als „Atomstrahl“ bezeichnen kann. Der Atomstrahl durchläuft ein inhomogenes Magnetfeld und gelangt zum Detektor (einer Photoplatte).



37.11 Ein einfacher Stabmagnet als Modell für ein magnetisches Moment. a) In einem homogenen Magnetfeld wird der Stabmagnet durch das Drehmoment M in die Richtung des Feldes gedreht. b) Wenn der Stabmagnet rotiert, bewirkt dieses Drehmoment eine Präzession um die Richtung des Feldes.

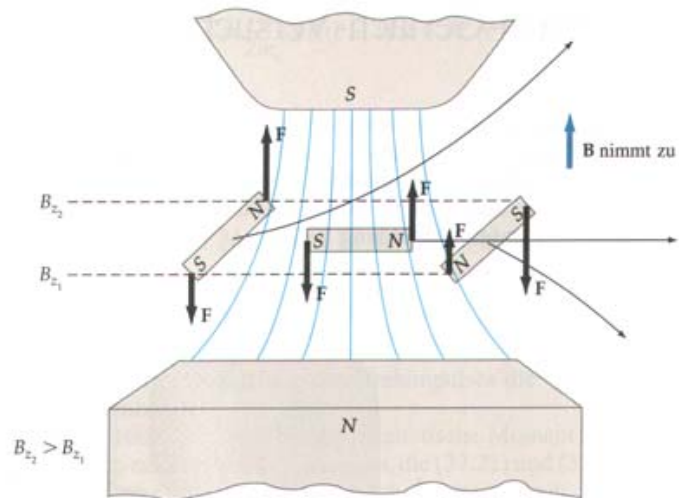
An diesem einfachen Beispiel können wir uns zunächst klarmachen, wie sich ein magnetisches Moment in einem homogenen Magnetfeld \vec{B} verhält.

Der nichtrotierende Stabmagnet wird durch das Drehmoment \vec{M} in die Richtung des Feldes gedreht. Wenn der Magnet um seine Längsachse rotiert, dann führt dieser eine Präzession um die Feldlinien aus.

Bei einem inhomogenen äußeren Feld ist die Kraft auf einen der Magnetpole größer als die auf den anderen.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt dies für drei gleichartige Stabmagnete, die sich an verschiedenen Stellen in einem inhomogenen Magnetfeld befinden.

37.12 In einem inhomogenen Magnetfeld erfahren drei gleichartige Stabmagnete, die um die Feldrichtung präzedieren, in z-Richtung eine Kraft, die von ihren Orientierungen relativ zum Feld abhängt. In diesem Beispiel wird B_z zum Südpol des großen Magneten hin größer, so daß die Kraft in dieser Richtung ansteigt. Die Ablenkung, die die Stabmagnete erfahren, ist jeweils durch Pfeile gekennzeichnet. Die ebenfalls vorhandene Präzession des Stabmagneten um die Feldrichtung ist nur aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit eingezeichnet.



Zusätzlich zum Drehmoment, das die Präzession hervorruft, wirkt in positiver oder negativer z – Richtung die Kraft

$$F_z = \mu_z \frac{dB_z}{dz}$$

auf die Stabmagneten.

Bei der klassischen Betrachtung erwartet man, dass alle möglichen Orientierungen der magnetischen Momente vorkommen und daher der Atomstrahl kontinuierlich aufgefächert wird, wie in der obersten Abbildung dargestellt.

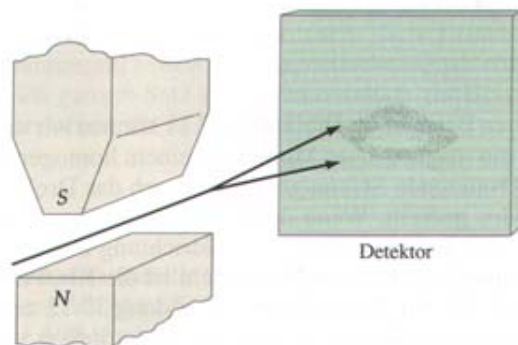
Nach der Quantentheorie ist jedoch bei einem Atom das magnetische Moment gequantelt, und dessen z – Komponente kann nur $(2J + 1)$ Werte haben. Hierbei ist J die Quantenzahl, die dem gesamten Drehimpuls des Atoms zugeordnet ist, der sich aus der Vektoraddition von Spin und Bahndrehimpuls der Elektronen ergibt.

Beim Stern-Gerlach-Versuch wird demnach der gesamte Drehimpuls des Atoms gemessen. Ist $J = 0$, dann ist der Drehimpuls gleich null, und der Atomstrahl wird im inhomogenen Magnetfeld nicht abgelenkt.

Bei $J = 1$ gibt es drei mögliche Orientierungen der z – Komponente des magnetischen Moments, und der Strahl wird in drei Teile aufgespalten.

Bei $J = \frac{1}{2}$ ergeben sich zwei Teilstrahlen, weil das magnetische Moment **zwei** Orientierungen relativ zum äußeren Magnetfeld annehmen kann.

37.13 Das Ergebnis des Stern-Gerlach-Versuchs mit Silberatomen. Das Auftreten von zwei Teilstrahlen deutet darauf hin, daß die magnetischen Momente räumlich in zwei Orientierungen gequantelt sind. Die stärkere Krümmung der oberen Linie am Detektor entsteht dadurch, daß die Inhomogenität des Magnetfeldes in der Nähe des oberen Magnetpol größer ist.



Beim Stern-Gerlach-Versuch von 1921 wurden Silberatome verwendet; ein ähnliches Experiment wurde 1927 von Phipps und Taylor mit Wasserstoffatomen durchgeführt. In

beiden Fällen entstanden zwei Teilstrahlen. Die Aufspaltung in zwei Strahlen stützt den Befund, dass das magnetische Moment, das dem **Elektronenspin** mit $s = \pm \frac{1}{2}$ entspricht, zwei Orientierungen haben kann. Diese Erscheinung nennt man **räumliche Quantelung**.