

15 Drehimpuls-Kopplung: Spin-Bahn und Spin-Spin, elastisch und inelastisch

Thema

In der Quantenmechanik-Vorlesung lernen die Studierenden die Spin-Spin- und die Spin-Bahn-Kopplung kennen. Dabei entsteht leicht der Eindruck, dass es sich hier um Vorgänge handelt, die nur in der Quantenwelt auftreten – was natürlich nicht der Fall ist.

Es ist daher besser, sich die Vorgänge zunächst an einem System klar zu machen, das nicht quanten-physikalisch ist.

Das Gerät

Es besteht im Wesentlichen aus zwei Schwungrädern A und B, die an einer horizontalen Stange S befestigt sind (Abb. 1). Jedes der Schwungräder ist frei um seine eigene vertikale Achse drehbar. Außerdem kann die gesamte Anordnung um eine vertikale Achse durch ihren Schwerpunkt rotieren.

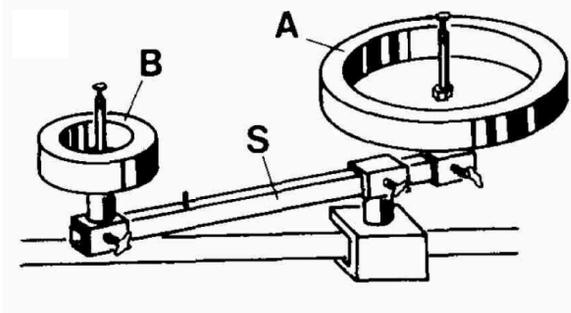


Abb. 1

Man kann leicht zeigen, dass sich der Gesamtdrehimpuls L als Summe ergibt:

$$L = L_A + L_B + L_{AB}$$

Hier sind L_A und L_B die „Eigendrehimpulse“ von A und B. Der „Bahndrehimpuls“ L_{AB} ist der Drehimpuls des Systems AB, das man erhält, wenn man sich die Masse von A im Schwerpunkt von A und die von B im Schwerpunkt von B vereinigt denkt.

Mittels einer Kupplungsvorrichtung (in Abb. 1 nicht dargestellt) kann der Drehimpuls übertragen werden

- von einem auf das andere Schwungrad;
- von einem Schwungrad auf das System AB.

Die Übertragung kann sowohl elastisch (ohne Energiedissipation) als auch inelastisch (mit Energiedissipation) erfolgen. Dementsprechend modelliert dieses System ein breites Spektrum von Phänomenen, zum Beispiel:

- die (inelastische) Drehimpulsübertragung von der Eigendrehung der Erde auf die Bahnbewegung des Systems „Erde-Mond“ (mit Hilfe der Gezeiten);
- die Spin-Spin- oder Spin-Bahn-Kopplung (nicht dissipativ, elastisch) in einem Atom.

Der Versuch

1. Keine Kopplung

Man kann alle drei Teilsysteme einzeln in Rotation versetzen. Man sieht, dass jedes von ihnen seinen Drehimpuls im Wesentlichen behält, abgesehen von einer geringen Abnahme in allen drei Teilsystemen; denn die Reibung stellt eine schwache Kopplung dar, sowohl zwischen A, B und AB, als auch zwischen AB und der Erde, siehe auch [Video 1](#).

2. Dissipative Spin-Bahn-Kopplung

Eine Schnur wird um die Schnurrolle, die sich an der Unterseite des großen Schwungrades befindet, geschlungen, und über eine Feder gespannt, Abb. 2. Die Schnur wirkt als Bremse und ermöglicht einen Drehimpuls-Austausch zwischen A und AB. Man lädt zunächst das Schwungrad A mit (Eigen-)Drehimpuls, indem man es mit der Hand in schnelle Drehung versetzt. Man sieht, dass die Rotationsbewegung von A langsamer wird, d.h. dass L_A abnimmt, und dass das Gesamtsystem sich zu drehen beginnt, d.h. dass L_{AB} zunimmt, [Video 2](#). Man kann auch das System AB am Anfang mit etwas negativen Drehimpuls laden, [Video 3](#). Man sieht, wie dieser dann zunächst kompensiert wird, und dann positive Werte annimmt.

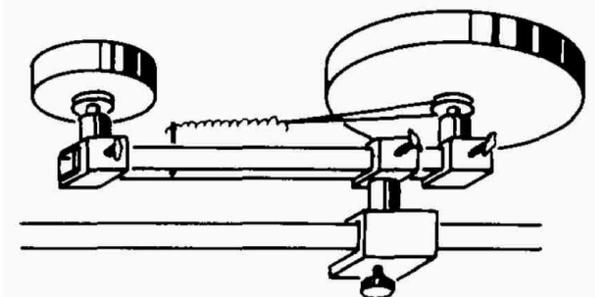


Abb. 2

3. Nichtdissipative Spin-Spin-Kopplung

An den Achsen von zwei gleich großen Schwungrädern wird eine Schnur befestigt, die sich aufwickelt, wenn das entsprechende Rad rotiert. Die beiden Schnüre werden dann über eine Feder miteinander verbunden, Abb. 3. Man wickelt nun die Schnüre auf, indem man die beiden Räder per Hand dreht, und zwar zunächst in dieselbe Richtung. Dabei wird die Feder gespannt. Dann lässt man die Räder los. Sie beginnen in dieselbe Richtung zu rotieren. Woher kommt dabei der Drehimpuls? Das Experiment zeigt es deutlich: Während der positive Drehimpuls der Räder zunimmt, nimmt auch der negative Drehimpuls des Systems AB zu. Die Feder entspannt sich dabei zunächst. Die Räder rotieren aber weiter, wickeln dabei die Schnüre wieder auf, spannen die Feder und kommen zum Stillstand, worauf sich der Vorgang mit umgekehrten Vorzeichen wiederholt, siehe [Video 4](#).

Der Drehimpuls schwingt also zwischen dem „Spinsystem“ (A und B) und dem Bahnsystem (AB) hin und her.

Schließlich wiederholt man das Experiment, dreht aber die Räder beim Aufwickeln der Schnüre in entgegengesetzte Richtungen. Jetzt schwingt der Drehimpuls nur zwischen A und B hin und her, [Video 5](#).

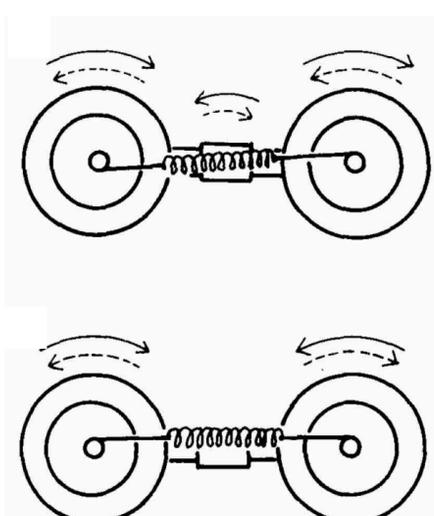


Abb. 3

Was man daraus lernen kann

- Man lernt, wie man den Drehimpuls in Anteile zerlegt. Die entsprechenden Teilsysteme sind nicht dieselben, wie bei der Zerlegung etwa von Masse oder Impuls.
- Der Drehimpulsaustausch zwischen Teilsystemen ist ein allgegenwärtiges Phänomen

Siehe auch:

[Demonstration of angular momentum coupling between rotating systems](#)

E. Herrmann, G. Bruno Schmid, Am. J. Phys. 53, 735 (1985)

Videos

Video 1

Die Teilsysteme sind nicht gekoppelt. Jedes behält seinen Drehimpuls.

Video 2

Spin-Bahn-Kopplung. Drehimpuls geht aus dem rotierenden Schwungrad A in das System AB.

Video 3

Das System AB hat am Anfang negativen Drehimpuls.

Video 4

Der Drehimpuls schwingt zwischen A und B einerseits und AB andererseits hin und her.

Video 5

Der Drehimpuls schwingt nur zwischen A und B hin und her.