

Habt ihr schon gewusst - 329 Impuls-Drehimpulswandlung

Schüler:

... Wir haben bei Ihnen den **Impulserhaltungssatz** kennengelernt. Und nun kennen wir auch den **Drehimpulserhaltungssatz**. Jetzt habe ich eine Lösung meines Problems, das ich bisher hatte. Wenn sich ein Körper auf einer Kreisbahn bewegt, dann hat er keinen Impuls, denn er bewegt sich ja von der Zentripetalkraft gehalten auf einer Kreisbahn ständig ortsfest im Kreis. Er führt keine lineare Bewegung im Raum aus. Also hat er keinen Impuls. Wenn man aber die Halteschnur, die den Körper auf der Kreisbahn hält, durchschneidet, fliegt der Körper tangential weg. In diesem Moment dachte ich bisher, dass der Impulserhaltungssatz an dieser Stelle verletzt wird, denn im Moment des Durchschneidens entsteht beim tangentialen Wegfliegen ein linearer Impuls. Mit dem Drehimpulserhaltungssatzes ist das Problem für mich erledigt ... Denn vor dem Durchschneiden hat der Körper einen Drehimpuls und keinen Impuls - und nach dem Durchschneiden hat der Körper Impuls und keinen Drehimpuls mehr - das heißt, der Drehimpuls vor dem Durchschneiden wird zum Impuls nach dem Durchschneiden umgewandelt. Schon eine tolle Physik.

Korrekt?

Christoph hat natürlich nicht Recht! Es gibt einen **Impuls** – definiert über $p = m \cdot v$ und es gibt tatsächlich einen **Impulserhaltungssatz**.

Es gibt natürlich auch einen **Drehimpuls** definiert über $L = I \cdot \omega$... mit ω als Winkelgeschwindigkeit und I als Trägheitsmoment – im Spezialfall einer punktförmigen Masse, die sich im Abstand R um eine Drehachse bewegt, ist $I = m \cdot R^2$. Und es gibt natürlich auch einen **Drehimpulserhaltungssatz**.

Beide Erhaltungssätze sind Erhaltungssätze für Vektoren und gelten völlig unabhängig voneinander!

Wo liegt also die Lösung für das Problem von Christoph – ganz sicher nicht in einer „Umwandlung“ !

Die **Lösung** liegt eigentlich auf der Hand ... wir wollen dabei folgende Schritte gehen:

- Zunächst „anschauliche Argumente“, dass die Umwandlung eines Drehimpulses in einen Impuls oder umgekehrt nicht möglich ist!

Die **Einheiten** für den Impuls ist $1\text{Hy} (=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s})$, falls man die didaktische Einheit Huygens nicht verwenden will ☺) ... Die Einheit für den Drehimpuls ist $[\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}]$... Eine häufige S-Argumentation: „Die unterschiedlichen Einheiten sprechen doch nicht dagegen ... es könnte doch so sein, wie bei der Umwandlung Masse in Energie ... der Energieerhaltungssatz ist ja eigentlich auch keine korrekte Formulierung ... eigentlich gilt ja nur ein „Energie-Massen-Erhaltungssatz“ ... In diesem Sinne könnte es doch auch einen „Drehimpuls-Impuls-Erhaltungssatz“ geben.

Das ist aber leider falsch, denn Energie und Masse sind direkt proportional zueinander und die Lichtgeschwindigkeit in dieser Gleichung $E=m\cdot c^2$ ist eine Konstante ... keine variable physikalische Größe!

Im Gegensatz dazu kann man aus der Bahngeschwindigkeit v eines Körpers mit der Masse m auf einer Kreisbahn direkt ohne weitere Angaben auf den Impuls schließen, den der Körper hat, wenn er die Kreisbahn verlässt (weil z.B. der Haltefaden reißt). Diese beiden Angaben genügend aber für die Angabe des Drehimpulses nicht!

Also haben zwei Körper mit gleicher Masse m und gleicher Bahngeschwindigkeit v beim Verlassen der Kreisbahn den gleichen Impuls ... aber sie können ganz unterschiedliche Drehimpulse haben ... der Drehimpuls hängt davon ab, welcher Radius im Spiel ist.

Es ist also kaum möglich, dass sich völlig unterschiedliche Drehimpuls in den gleichen Impuls verwandeln ... das wäre höchst erstaunlich ... ein Indiz dafür, dass das wohl nicht sein kann.
- Wenn ein Auto auf der Straße steht, ist der Impuls des Autos null. Fährt das Auto an – wir denken uns in Richtung der positiven x-Achse -, dann hat das Auto nach diesem Beschleunigungsvorgang einen Impuls. Dieser Impuls entstand aber nicht aus dem Nichts – denn es gilt ja der Impulserhaltungssatz! ... Das Auto holte sich diesen Impuls aus der Erde ... das heißt, die Erde bekam beim Anfahren einen gleich großen Impuls in Richtung der negativen x-Achse. Die Impulssumme war vor dem Anfahren Null und ist nach dem Anfahren ebenfalls Null, weil sich der Impuls des Autos und der Zusatzimpuls der Erde nach dem Anfahren wieder genau aufheben. Dass wir den Impuls der Erde „nicht sehen“, liegt an der ungeheuer großen Masse der Erde ... im Vergleich zur Automasse!
- Wenn eine Masse m im Radius R auf die Winkelgeschwindigkeit ω beschleunigt wird, hat diese Masse anschließend den Drehimpuls $L = m \cdot R^2 \cdot \omega$. Diesen Drehimpuls holte sich aber der Motor, der diese Masse um die Drehachse „winkelbeschleunigte“, aus der Erde ... d.h. die Erde bekam bei diesem „Andrehen“ einen genau gleich großen Drehimpuls mit entgegen gesetztem Vorzeichen. Die Drehimpulssumme war vor dem Andrehen Null ... und sie ist nach dem Andrehen ebenfalls Null. Dass wir den Drehimpuls der Erde „nicht sehen“, liegt an ungeheuer großen Masse der Erde ...
- Während der Kreisbahn des Körpers, ändert sich der Impuls des Körpers ständig – das ist nur möglich, wenn dem Körper „von außen“ ständig Impuls zufließt ... oder vom Körper wegfließt ... genau das erfolgt durch den Haltefaden. Der Haltefaden bringt die Zentripetalkraft auf ... $F_{ZP} = dp/dt$... also bekommt der Körper ständig in der Zeit dt die Impulsänderung dp .
- Diese Überlegung macht deutlich, dass man den Körper nicht als „impulsmäßig“ oder „drehimpulsmäßig abgeschlossenes System“ betrachten darf. Wenn man aber ein „Impuls-“ und „drehimpuls-mäßig“ abgeschlossenes System findet, dann ist vor dem Andrehen der Masse m im Abstand R auf die Winkelgeschwindigkeit ω der Gesamt-Drehimpuls in diesem „drehimpulsmäßig abgeschlossenen System“ Null – nach dem Andrehen ist der Gesamt-Drehimpuls immer noch Null – und wenn der Faden reißt, bleibt der Gesamt-Drehimpuls in diesem System immer noch Null!

In gleicher Weise ist der Gesamt-Impuls in einem „impulsmäßig abgeschlossenen System“ vor dem Andrehen Null – nach dem Andrehen Null – und nach dem Reißen des Fadens immer noch Null.
- Wenn nun der Faden reißt, der die Masse m auf ihrer Kreisbahn mit dem Radius R gehalten hat, dann fliegt die Masse m tangential davon ... aber die „Erde“ fliegt ebenfalls tangential davon ... so eigenartig das wirken mag ... aber da der Radius der „Erde“ um den Mittelpunkt der Kreisbahn auf Grund der dominierenden Erdmasse vernachlässigbar klein ist, vergisst man diesen Teil gerne und kommt dann leicht zum oben formulierten Trugschluss ... einer vermeintlichen Verletzung des Impulserhaltungssatzes.

Lernzielkontrolle

Ein Auto steht auf einer Drehscheibe, die ideal reibungsfrei gelagert ist.

1. Schritt: Das Auto steht auf der Drehscheibe still ...
2. Schritt: Das Auto fährt auf der Drehscheibe an ...
3. Schritt: Das Auto fährt nun mit einer konstanten Bahngeschwindigkeit auf einer Kreisbahn auf der Drehscheibe ...
4. Schritt: Das Auto kommt auf der Drehscheibe auf eine ganz glatte Stelle, so dass das Auto die Kreisbahn tangential verlässt ...

Diskutiere mit deinem Team für jeden Schritt die folgenden Aspekte ... gib dabei immer ganz genau an, welches System dabei diskutiert wird!

- Energieerhaltungssatz
- Impulserhaltungssatz
- Drehimpulserhaltungssatz