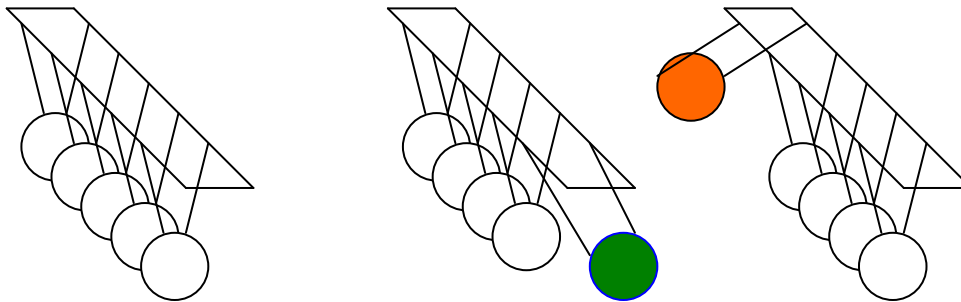


Energie und Impuls

Das stoßende Pendel

Fünf Kugeln gleicher Masse und Größe hängen in einer Reihe so an einem Rahmen, dass sie sich leicht berühren und nur in einer Richtung schwingen können.



Lenkt man die **erste Kugel** aus und lässt sie auf die übrigen prallen, kommt sie zur Ruhe, die **letzte Kugel** der Reihe schwingt nach oben, während die drei mittleren Kugeln sich nur wenig (im Idealfall überhaupt nicht) bewegen.

Warum schwingt nur eine Kugel nach oben?

Zur Erklärung denken wir uns das System so, dass Reibung und andere Störeffekte ausgeschlossen sind.

Es gilt in der Physik der Impulserhaltungssatz: Ein Gegenstand wie unsere **erste Kugel** mit einer Masse m und der Geschwindigkeit v besitzt einen Impuls $p = m \cdot v$. Stößt er dabei an andere Objekte, so überträgt er seinen Impuls in irgendeiner Weise auf diese; der Impuls geht nicht verloren.

- Die erste Kugel kommt nach dem Aufprall zur Ruhe, damit wird ihr Impuls null, denn ihre Geschwindigkeit v ist ebenfalls null.
- Die **letzte Kugel** übernimmt den vollen Impuls der ersten Kugel. Ihr Impuls beträgt damit beim Beginn des Hochschwingens $p = m \cdot v$

Pirmasens, den 24.09.2008

Arbeitskreis Didaktik
Dr. Ralf Andreas Jacobi

In der Physik gilt aber auch der Energieerhaltungssatz: Energie wird weder erzeugt noch verbraucht, sondern immer nur umgewandelt.

- Die aufprallende Kugel besitzt eine Bewegungsenergie von $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$. Dieser Betrag wird gleich null, wenn die Kugel zur Ruhe kommt ($v = 0$)
- Die **letzte Kugel** übernimmt die Energie der ersten Kugel, damit beträgt ihre Energie beim Beginn des Hochschwingens $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.

Damit sind sowohl Energie- als auch Impulserhaltungssatz erfüllt.

Wären diese beiden Sätze auch erfüllt, wenn gleichzeitig zwei Kugeln mit jeweils halber Geschwindigkeit ($\frac{1}{2} \cdot v$) hochschwängen?

Man rechne nach und berücksichtige, dass $(\frac{1}{2} \cdot v)^2 = (\frac{1}{2} \cdot v) \cdot (\frac{1}{2} \cdot v) = \frac{1}{4} \cdot v^2$ ist!

Lösung:

Der Impulssatz bliebe unverletzt:

Der Impuls der aufprallenden Kugel beträgt $p_{\text{auf}} = m \cdot v$. Schwingen zwei Kugeln mit jeweils halber Geschwindigkeit hoch, besitzt jede einen Impuls von $p_{\text{ab}} = m \cdot \frac{1}{2} \cdot v$ (oder umgestellt $p_{\text{ab}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v$), zusammen ergibt dies einen Gesamtimpuls von $p_{\text{ges}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v = m \cdot v = p_{\text{auf}}$, entspricht also dem Impuls der aufprallenden Kugel.

Der Energiesatz jedoch würde missachtet:

Die aufprallende Kugel überträgt die Energie $E_{\text{auf}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.

Eine mit halber Geschwindigkeit ($\frac{1}{2} \cdot v$) abgehende Kugel besitzt eine Energie von $E_{\text{ab}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (\frac{1}{2} \cdot v)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{1}{4} \cdot v^2$, zwei davon folglich eine Gesamtenergie von $E_{\text{ges}} = \frac{1}{4} \cdot m \cdot v^2$. Dies entspricht nur noch der Hälfte der Energie der aufprallenden Kugel. Die andere Hälfte der Energie ginge verloren.

Nun kann gemäß Energieerhaltungssatz entgegen umgangssprachlicher Ausdrucksweisen Energie (genauso wie Materie) weder „erzeugt“ noch „vernichtet“, sondern immer nur umgewandelt werden. Daher muss die eine abgehende Kugel den Impuls samt der Energie der aufprallenden Kugel übernehmen.

Analoge Berechnungen für beliebig viele Kugeln zeigen, dass die Zahl der abgehenden Kugeln immer gleich derjenigen der aufprallenden sein muss.