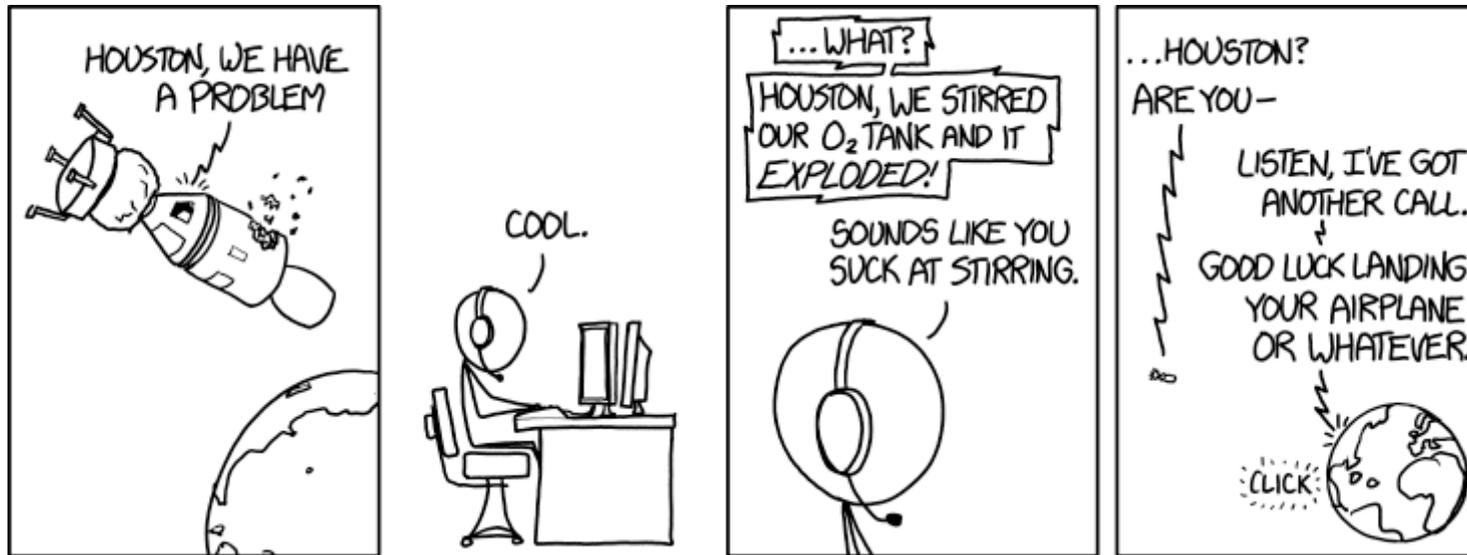


# Impuls

## Physik 1 für Chemiker und Biologen 6. Vorlesung



<https://xkcd.com/1438/>

Heute:

- Impuls und Impulserhaltung
- Stöße: elastisch und inelastisch

Prof. Dr. Ralf Jungmann

[Jungmann@physik.lmu.de](mailto:Jungmann@physik.lmu.de)

Prof. Dr. Jan Lipfert

[Jan.Lipfert@lmu.de](mailto:Jan.Lipfert@lmu.de)

# Impuls



$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

**Einheit:**  
[p] = kg·m/s

Der Impuls-Vektor zeigt in die gleiche Richtung wie der Geschwindigkeitsvektor!

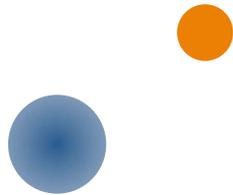
Newtons 2. Axiom in Impulsform:

# Impulssatz



Der Gesamtimpuls  $\vec{p} = \sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i = \sum_i \vec{p}_i$   
eines abgeschlossenen Systems aus  
Massepunkten  $m_1, m_2, \dots$  ist zeitlich **konstant**.

# Schwerpunktsatz



Der Schwerpunkt  $\vec{r}_S = \frac{1}{M} \sum_i m_i \vec{r}_i$   
eines abgeschlossenen Systems bewegt  
sich geradlinig-gleichförmig.

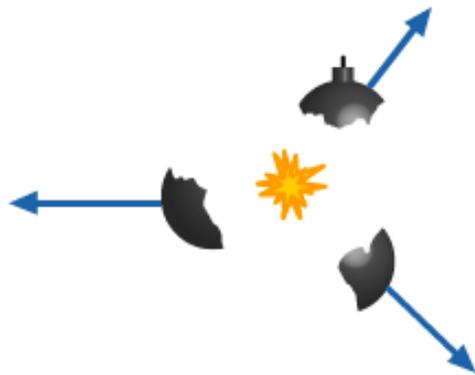
# Verständnisfrage zur Impulserhaltung

Eine in Ruhe befindliche Bombe explodiert und zerfällt in drei gleichschwere Teile. Welche Konfiguration der Endgeschwindigkeiten ist möglich?

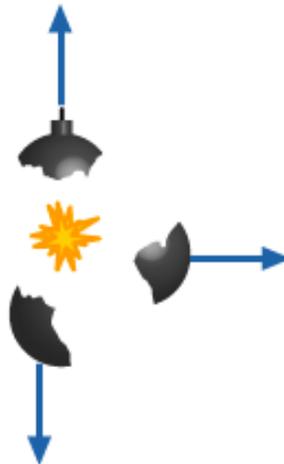
*Vorher:*



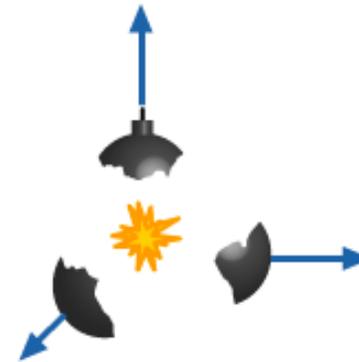
*Nachher:*



A



B



C

# Impulserhaltung auf der Luftschiene

Zwei Wagen auf einer Luftschiene starten aus der Ruhe und werden nach links und rechts beschleunigt.

Vorher:



Nachher:

Experiment: Impulserhaltung Luftschiene

# Stöße

**Zentraler Stoß:** Die Massenmittelpunkte der Körper fliegen in einer geraden Linie aufeinander zu.

1. Grenzfall: **Perfekt (vollständig) inelastischer Stoß** - Impulserhaltung

Vorher:



Nachher:



Experiment: Stöße auf der Luftschiene

# Perfekt elastischer Stoß

## 2. Grenzfall: **Perfekt elastischer Stoß**: Energieerhaltung + Impulserhaltung

Vorher:



Nachher:



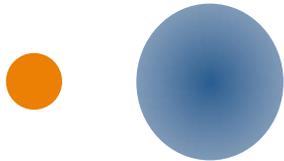
# Perfekt elastischer Stoß: Grenzfälle

- Gleiche Massen



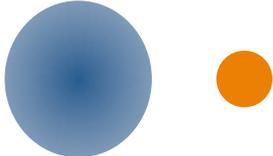
$$m_1 = m_2$$

- Schweres Ziel



$$m_1 \ll m_2$$

- Schweres Geschoss



$$m_1 \gg m_2$$

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$$

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

Experiment: Stoßkugeln

Experiment: Zwei Flummies

Reale Stöße liegen oft zwischen den Grenzfällen!

# Nicht-zentrale Stöße: Impuls-Erhaltung ist ein vektorielles Gesetz

*Beispiel:* Münze stößt **nicht zentral** mit ruhender Münze gleicher Masse. Der Stoß ist genähert elastisch. *In welche Richtungen bewegen sich die Münzen nach dem Stoß?*

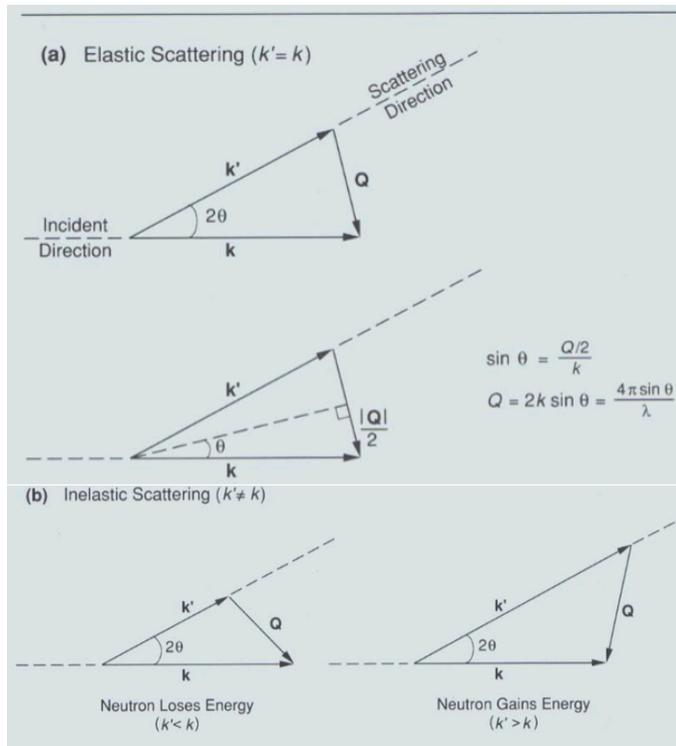


<https://de.wikipedia.org/wiki/Billard>

**Impuls-Erhaltung:**

**Energie-Erhaltung:**

# Stoßgesetze auf mikroskopischer Skala: Beispiel Neutronenstreuung



[https://de.wikipedia.org/wiki/Technische\\_Universit%C3%A4t\\_M%C3%BCnchen](https://de.wikipedia.org/wiki/Technische_Universit%C3%A4t_M%C3%BCnchen)

Forschungsreaktor in Garching (TUM)

Roger Pynn, *Neutron scattering primer*

# Raketenphysik

„Proton“ Rakete



[https://de.wikipedia.org/wiki/Proton\\_%28Rakete%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Proton_%28Rakete%29)

Experiment: Wasserrakete

## Zusammenfassung: Impuls und Stöße

- Definition des Impuls  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
- 2. Newtonsches Axiom in Impulsform:  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \dot{\vec{p}}$
- Impulserhaltung:

Der Gesamtimpuls 
$$\vec{p} = \sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i = \sum_i \vec{p}_i$$

eines abgeschlossenen Systems aus Massepunkten  $m_1, m_2, \dots$  ist zeitlich **konstant**.

# Zusammenfassung: Stöße

## 1. Grenzfall: **Perfekt (vollständig) inelastischer Stoß**



*Impulserhaltung*

## 2. Grenzfall: **Perfekt (vollständig) elastischer Stoß**



*Impulserhaltung  
+ Energieerhaltung*

### Inelastischer Stoß

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

### Elastischer Stoß

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$$

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

# Zusammenfassung: Raketenphysik

„Proton“ Rakete

## Impulserhaltung für nicht konstante Masse

- Effektive Ausströmgeschwindigkeit:  $w$
- Schub („Antriebskraft“ der Rakete):  $-w \frac{dm}{dt}$  ( $= m \frac{dv}{dt}$ )
- Geschwindigkeit nach Zeit  $t$ :  $v(t) = -w \ln \left( \frac{m(t)}{m_0} \right)$



[https://de.wikipedia.org/wiki/Proton\\_%28Rakete%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Proton_%28Rakete%29)