Physik I

BIOL/PHARM

Übungsstunde 12

13.12.2021

- Kraftstoss
- Erhaltungsgrössen

Jesse Zhang, zhangje@ethz.ch

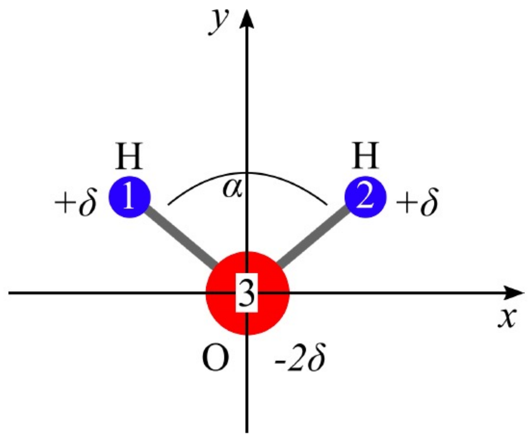
Nachbesprechung 12.2: Wassermolekül

Aufgabe 12.2. *Wassermolekül*

Wir betrachten ein Wassermolekül, wie in der Abbildung dargestellt. Das Wassermolukül weisst Partialladungen $\delta = 0.3e$ ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ist die Elementarladung) auf, wobei die negative Ladung am Ort des Sauerstoffs und die positive Ladung am Ort der beiden Wasserstofsatome konzentriert ist. Die Bindungslänge der Wasserstoffbrücke beträgt $\ell = 95$ pm und der Winkel zwischen der Verbingunslinien H-O ist $\alpha = 105°$.

(a) Wie gross sind die Kräfte, die auf die Atome wirken? Geben Sie sowohl den Betrag als auch den Vektor der Kräfte an.

(b) Berechnen Sie die potentielle Energie des Wassermoleküls. Vergleichen Sie dieses Resultat mit der Bindungsenergie $\epsilon = 411\,\mathrm{kJmol^{-1}}$ [Di Thomas Engel und Philip J. Reid, Physikalische Chemie].

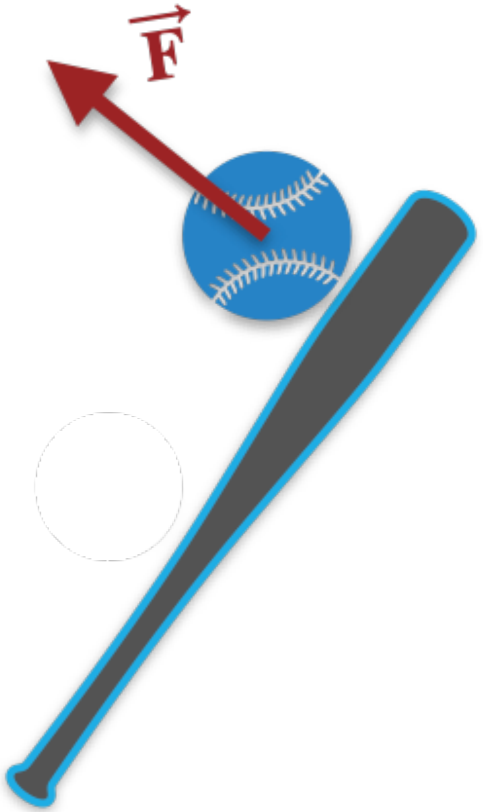


Kraftstoss

Lernziele

- Das Konzept des Kraftstoss kennen
- Mittels Impulserhaltung mechanische Probleme lösen
- Impuls und Masse der Körper vor und nach dem Stoss in verschiedenen Szenarien erkennen

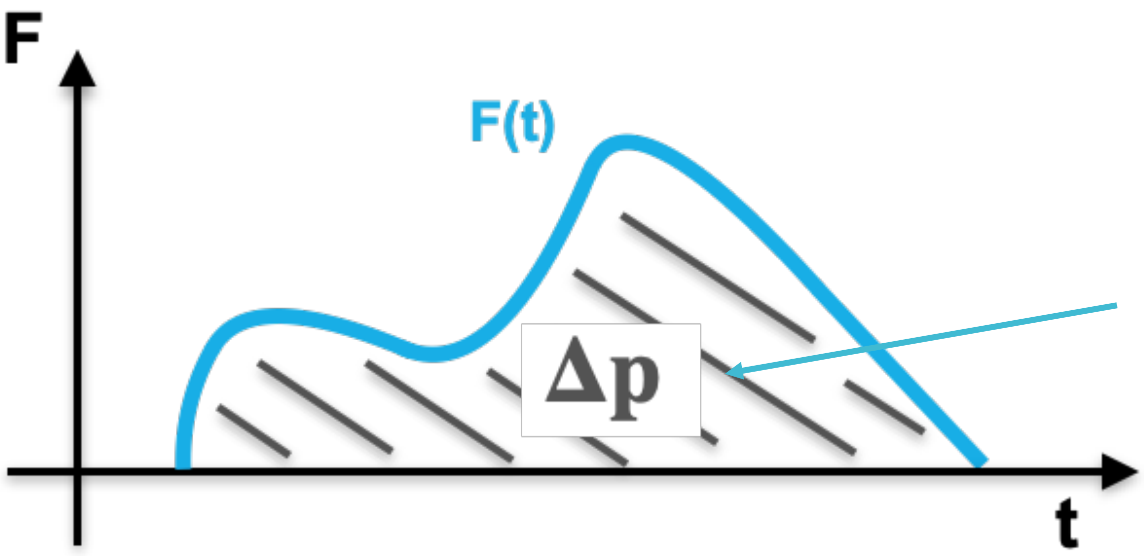
Grundidee beim Kraftstoss:



Verlauf der Kraft über Zeit ist oft zu komplex für Berechnung.

Betrachte stattdessen Impulsübertrag, der insgesamt stattfindet!

$\Rightarrow$ **Integral**



$$\Delta \vec{p} = \int_{t_0}^{t_1} \vec{F}(t)dt$$

Rechnen mit Stössen

Kräfte während Stoss zu komplex
- benutze Erhaltungssätze

Situation bevor Stoss

Stelle Gesamtimpuls auf

Beispiel zwei Massen, 1D: $\sum p_i = m_1 v_1 + m_2 v_2$

voll elastisch

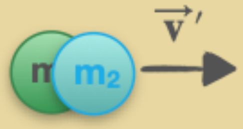
- *Kombiniere Impuls- <u>und</u> Energieerhaltung*

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i \vec{p}'_i \qquad \sum_i E_i = \sum_i E'_i$$

- *Löse dann nach gesuchter Geschwindigkeit auf.*

Beispiel zwei Massen, 1D: $v'_1 = 2 \cdot \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_1$

voll inelastisch



- *Erhalte Geschwindigkeit aus Impulserhaltung* $\sum_i \vec{p}_i = \sum_i \vec{p}'_i$

Beispiel zwei Massen, 1D: $v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$

- *Energie ΔU geht in Verformung!*

$$\Delta U = \sum_i E'_i - \sum_i E_i = -\frac{1}{2}\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}(v_1 - v_2)^2$$

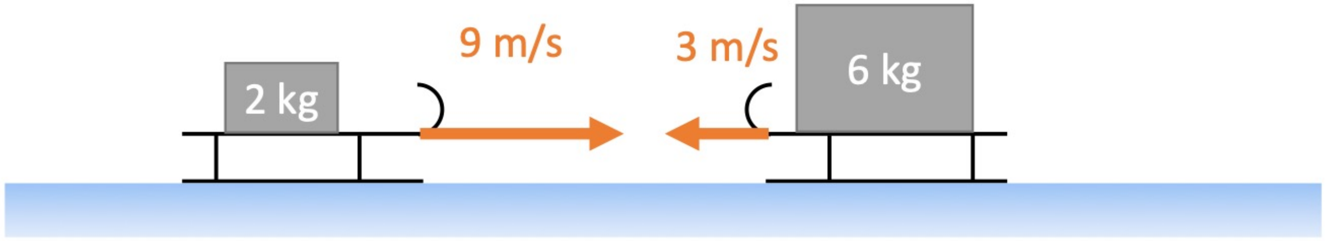
Verständnisfrage: Schlittencrash

Zwei Schlitten rutschen auf dem Eis und stossen zusammen. Sie bleiben in einander stecken. Wie gross ist die Geschwindigkeit der beiden Schlitten am Ende?

a) - 2m/s

b) 0 m/s

c) 2 m/s



https://pollev.com/jessezhang348

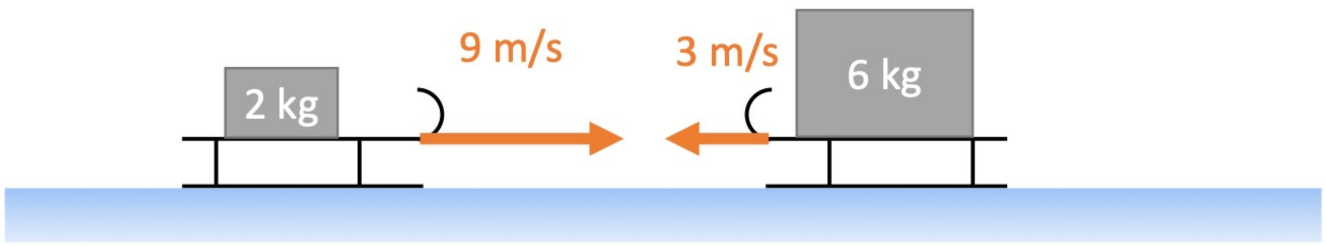
Verständnisfrage: Schlittencrash

Zwei Schlitten rutschen auf dem Eis und stossen zusammen. Sie bleiben in einander stecken. Wie gross ist die Geschwindigkeit der beiden Schlitten am Ende?

a) - 2m/s

b) 0 m/s

c) 2 m/s



$$\overrightarrow{p_1} = \begin{pmatrix} 2*9\ kgm/s \\ 0 \end{pmatrix} \text{ und } \overrightarrow{p_2} = \begin{pmatrix} -3*6\ kgm/s \\ 0 \end{pmatrix}$$

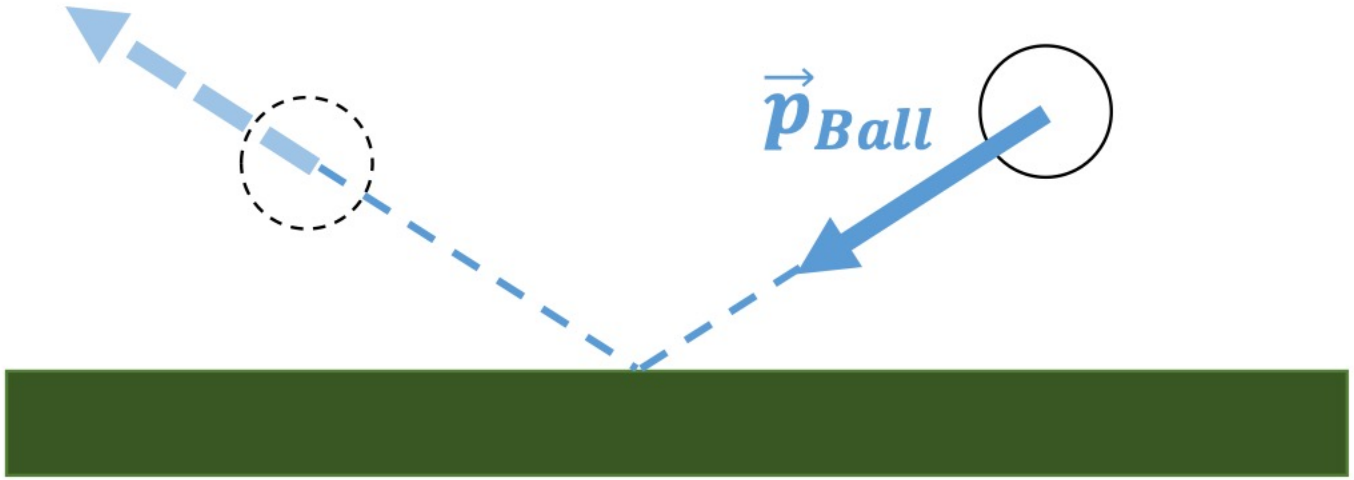
-> $\overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} = 0$

$\rightarrow \vec{v} = 0$

-> b) ist richtig

Verständnisfrage: Pingpong-Ball

Ein Ping-Pong-Ball fliegt mit Impuls $\vec{p}_{Ball}$ und stösst elastisch mit dem Tisch zusammen, wie gezeigt. Wie gross ist der Betrag der Impulsaänderung $|\Delta\vec{p}|$, welche der Ball erfährt?



a) $|\Delta\vec{p}| = |\vec{p}_{Ball}|$

b) $|\Delta\vec{p}| < 2\,|\vec{p}_{Ball}|$

c) $|\Delta\vec{p}| = 2\,|\vec{p}_{Ball}|$

d) $|\Delta\vec{p}| > 2\,|\vec{p}_{Ball}|$

Verständnisfrage: Pingpong-Ball

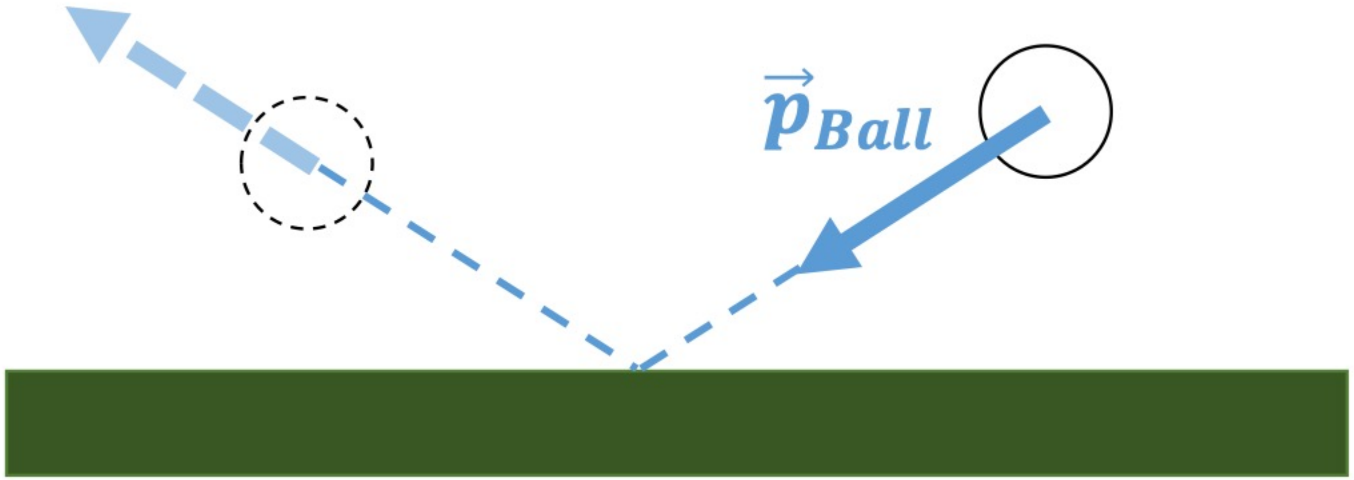
Ein Ping-Pong-Ball fliegt mit Impuls $\vec{p}_{Ball}$ und stösst elastisch mit dem Tisch zusammen, wie gezeigt. Wie gross ist der Betrag der Impulsaänderung $|\Delta\vec{p}|$, welche der Ball erfährt?

a) $|\Delta\vec{p}| = |\vec{p}_{Ball}|$

b) $|\Delta\vec{p}| < 2\,|\vec{p}_{Ball}|$

c) $|\Delta\vec{p}| = 2\,|\vec{p}_{Ball}|$

d) $|\Delta\vec{p}| > 2\,|\vec{p}_{Ball}|$



Der Ball hat $\vec{p}_{Ball} = (p_x, p_y)$. Die Impulsänderung durch den Tisch ist:

$$\Delta p_x = 0$$

$$\Delta p_y = -2\,p_y$$

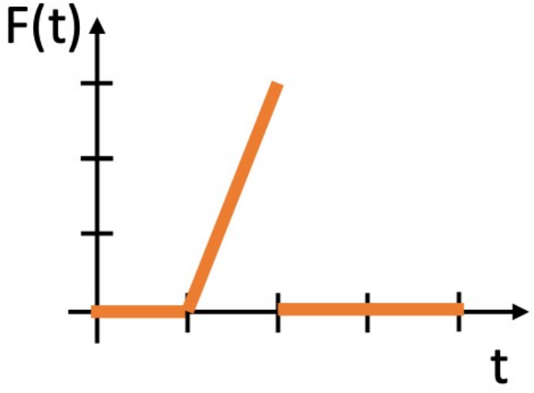
somit ist $\Delta\vec{p} = (0, -2\,\mathrm{p_y})$ und $|\Delta\vec{p}| = 2\mathrm{p_y} < 2\sqrt{p_x^2 + p_y^2} = 2\,|\vec{p}_{Ball}|$

-> b) ist richtig

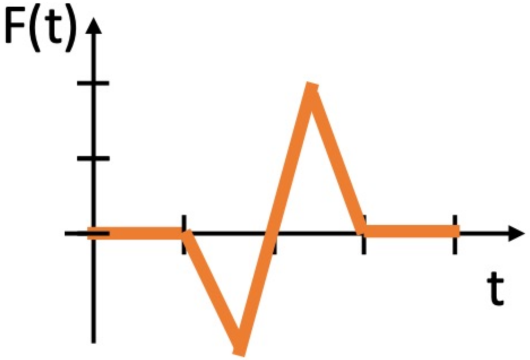
Verständnisfrage: Tennisaufschlag

Roger Federer konzentriert sich am Aufschlag: Er lässt den Ball ein Paar mal auf den Boden elastisch prellen. Wie muss das F-t Diagramm der Kraft, welche der Ball erfährt, ungefähr aussehen?

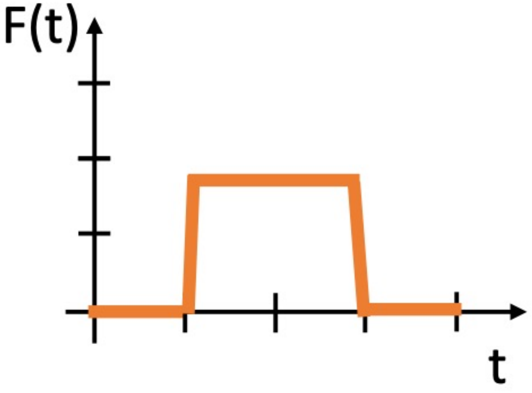
a)



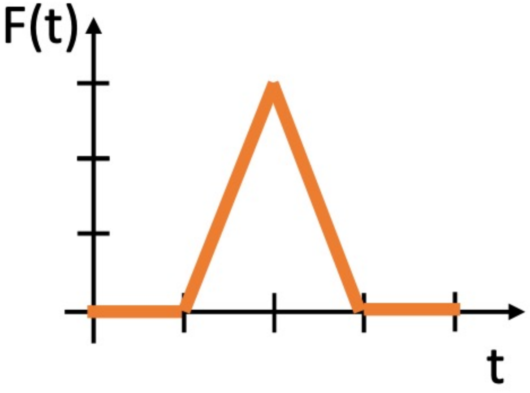
b)



c)



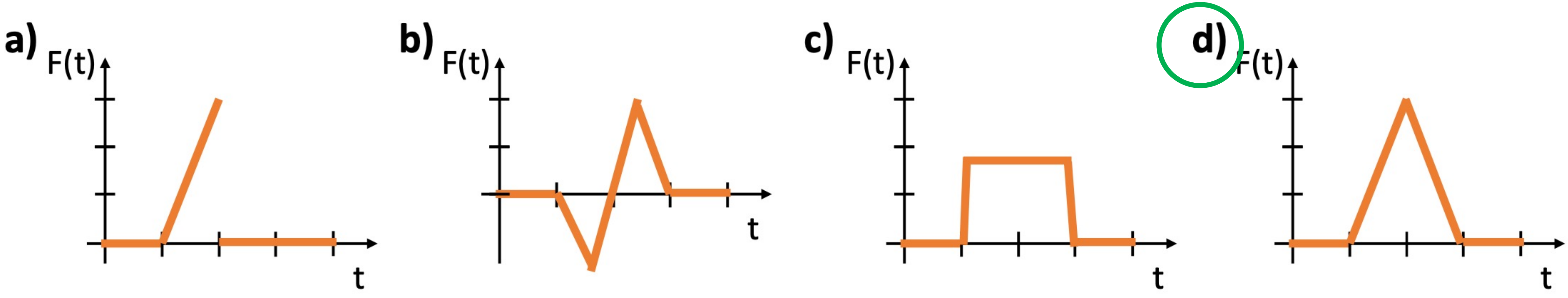
d)



Verständnisfrage: Tennisaufschlag

Roger Federer konzentriert sich am Aufschlag: Er lässt den Ball ein
Paar mal auf den Boden el
der Kraft, welche der Ball e

a) nicht, weil so der Ball dann nach der maximalen Krafteinwirkung (also maximale Kompression) plötzlich keine Kraft mehr spüren würde.
b) nicht, weil die Kraft des Bodens immer in dieselbe Richtung zeigt
c) nicht, weil die Kraft des Bodens nicht konstant sein kann. Der Ball deformiert sich und es muss ungefähr ein Hooke'sches Gesetz gelten.
-> d) ist richtig



Verständnisfrage: Autopanne

Autopanne! Das Auto wird während 1 s mit der Kraft F geschoben und erreicht die Geschwindigkeit v. Wie lange müsste das Auto mit F/2 geschoben werden, um wieder v zu erreichen?

a) 0.5 s

b) 2s

c) 4 s

d) Mann muss die Masse kenne

Verständnisfrage: Autopanne

Autopanne! Das Auto wird während 1 s mit der Kraft F geschoben und erreicht die Geschwindigkeit v. Wie lange müsste das Auto mit F/2 geschoben werden, um wieder v zu erreichen?

a) 0.5 s

b) 2s

c) 4 s

d) Mann muss die Masse kennen.

Der Kraftstoss ergibt $\Delta p = m\,\Delta v = F\,\Delta t = F\ \cdot 1\mathrm{s}$
Für den gefragten Fall gilt ergibt $\Delta p = m\,\Delta v = {}^{F}/_{2}\ \Delta t' \ \rightarrow \Delta t' = 2\mathrm{s}$
Insbesondere muss man die Masse nicht kennen, solange sie in beiden Fällen gleich ist.
-> b) ist richtig

Verständnisfrage: Faulersack

Es ist ein schöner Tag, ich sitze im Liegestuhl auf der Veranda und geniesse das Leben. Leider habe ich vergessen die Veranda-Türe zu schliessen (Fliegen und so…). Ich habe absolut keine Lust aufzustehen und glücklicherweise habe ich 2 Bälle neben mir liegen: 1) ein perfekt klebriger Ball, 2) ein perfekt elastischer Flummi. Beide haben dieselbe Masse. Welchen sollte ich werfen, damit die Tür eher zugeht?

a) Den klebrigen Ball

b) Den elastischen Flummi

c) Spielt keine Rolle, da beide die selben Masse haben

Verständnisfrage: Faulersack

Es ist ein schöner Tag, ich sitze im Liegestuhl auf der Veranda und geniesse das Leben. Leider habe ich vergessen die Veranda-Türe zu schliessen (Fliegen und so...). Ich habe absolut keine Lust aufzustehen und glücklicherweise habe ich 2 Bälle neben mir liegen: 1) ein perfekt klebriger Ball, 2) ein perfekt elastischer Flummi. Beide haben dieselbe Masse. Welchen sollte ich werfen, damit die Tür eher zugeht?

a) Den klebrigen Ball
b) Den elastischen Flummi
c) Spielt keine Rolle, da beide die selben Masse haben

Der maximale Impulsübertrag des klebrigen Balles ist $\Delta p = p_{Ball}$.
Der maximale Impulsübertrag des Flummis ist allerdings $|\Delta p| = 2p_{Ball}$, weil er nicht gestopt wird, sondern mit $\overrightarrow{p'} = -\vec{p}_{Ball}$ von der Tür zurückkommt.
-> b) ist richtig

Verständnisfrage: Fortbewegung in Weltall

Eine Astronautin behauptet, sie habe im schwerelosen Raum eine schwere Eisenkugel auf eine Geschwindigkeit von 0.1 m/s beschleunigt ohne sich dabei irgendwo festzuhalten. Welche Aussage ist richtig?

a) Nach dem Vorgang fliegt sie selbst in die entgegengesetzte Richtung wie die Kugel. Das Verhältnis ihrer Körpermasse zur Kugelmasse ist dabei vom Betrag gleich dem Verhältnis der Kugelgeschwindigkeit zu ihrer Körpergeschwindigkeit.

b) Im schwerelosen Raum hat die Eisenkugel kein Gewicht. Deshalb braucht die Astronautin keine Kraft um die Kugel zu beschleunigen, muss sich demzufolge auch nicht festhalten und leistet keine Beschleunigungsarbeit.

c) Die Astronautin kann die Kugel im schwerelosen Raum gar nicht beschleunigen, weil sie aufgrund des dritten Newtonschen Gesetzes selbst einen Rückstoss erleidet, wenn sie sich nicht festhält.

d) Im schwerelosen Raum spielt die Masse der Kugel und auch die Körpermasse der Astronautin keine Rolle. Nach dem Vorgang bewegen sich beide mit entgegengesetzt gleichen Geschwindigkeiten auseinander.

Verständnisfrage: Fortbewegung in Weltall

Eine Astronautin behauptet, sie habe im schwerelosen Raum eine schwere Eisenkugel auf eine Geschwindigkeit von 0.1 m/s beschleunigt ohne sich dabei irgendwo festzuhalten. Welche Aussage ist richtig?

a) Nach dem Vorgang fliegt sie selbst in die entgegengesetzte Richtung wie die Kugel. Das Verhältnis ihrer Körpermasse zur Kugelmasse ist dabei vom Betrag gleich dem Verhältnis der Kugelgeschwindigkeit zu ihrer Körpergeschwindigkeit.

b) Im schwerelosen Raum hat die Eisenkugel k
beschleunigen, muss sich demzufolge auch ni

c) Die Astronautin kann die Kugel im schwerel
Gesetzes selbst einen Rückstoss erleidet, wen

Impulserhaltung gilt auch im Weltall!
Der Gesamtimpuls vor dem Wurf ist 0. Somit ist gilt:

$$0 = m_A \vec{v}_A + m_K \vec{v}_K$$

$\vec{v}_A$ und $\vec{v}_K$ zeigen in die entgegengesetzte Richtung und $\frac{m_A}{m_K} = \frac{v_A}{v_K}$

-> a) ist richtig

d) Im schwerelosen Raum spielt die Masse der Kugel und auch die Körpermasse der Astronautin keine Rolle. Nach dem Vorgang bewegen sich beide mit entgegengesetzt gleichen Geschwindigkeiten auseinander.

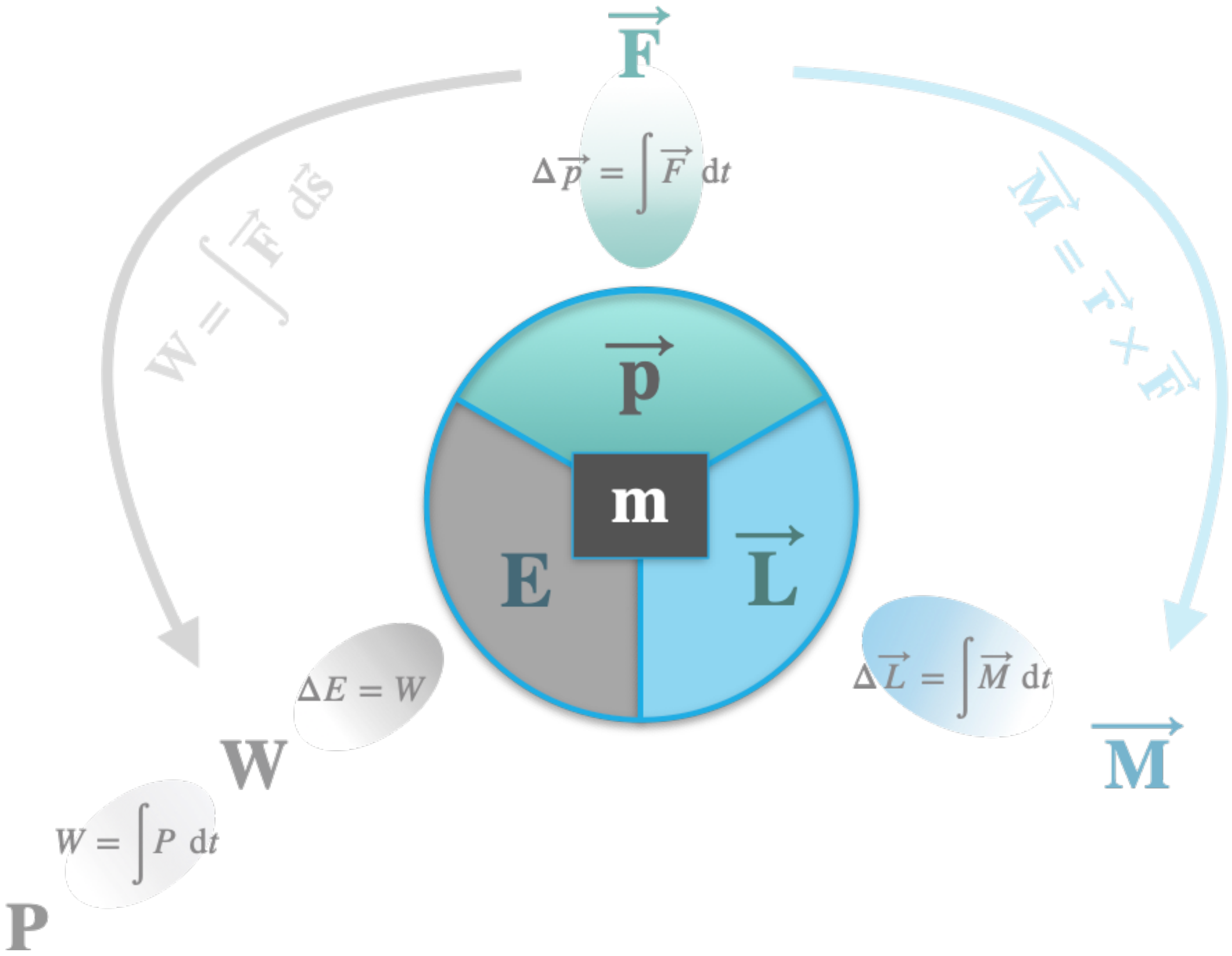
Erhaltungs-grössen

Lernziele

- Energie, Impuls und Drehimpuls als Erhaltungsgrössen kennen
- Mittels Erhaltungssätzen Mechanik Probleme lössen können

Mechanik von Massenpunkten

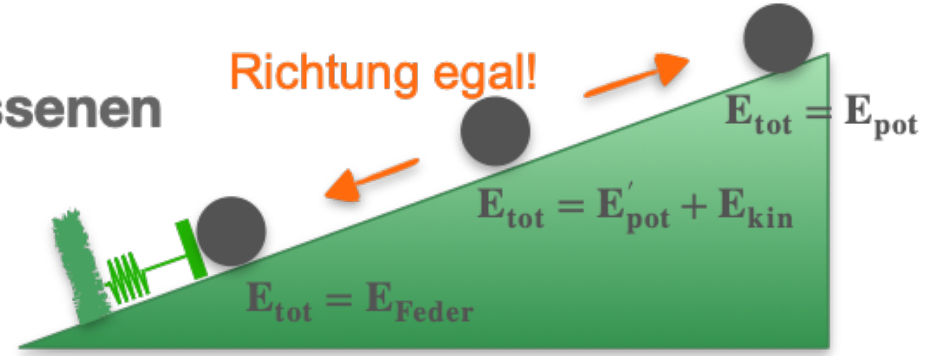
die zentralen Grössen



Erhaltungssätze

Energieerhaltung

Gesamtenergie im abgeschlossenen System bleibt erhalten.

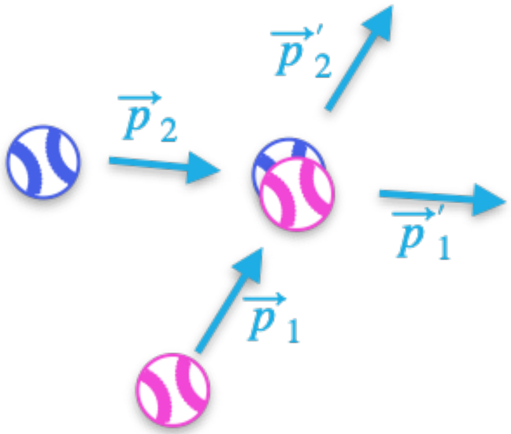


$$E_{tot} = E_{kin} + E_{pot} + \ldots = const\,.$$

“abgeschlossen”: Kein Energieaustausch von/nach aussen

Impulserhaltung

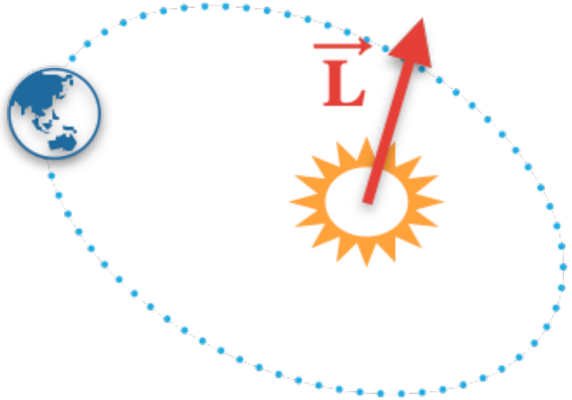
Summe aller Impulse ist konstant, wenn keine äussere Kraft wirkt



$$\sum_i \vec{p}_i = const\,.$$

inkl. Richtung!

Drehimpulserhaltung



$$\sum_i \vec{L}_i = const\,.$$

auch Drehachse bleibt erhalten!

Gesamtdrehimpuls im System bleibt konstant, wenn kein externes Drehmoment wirkt

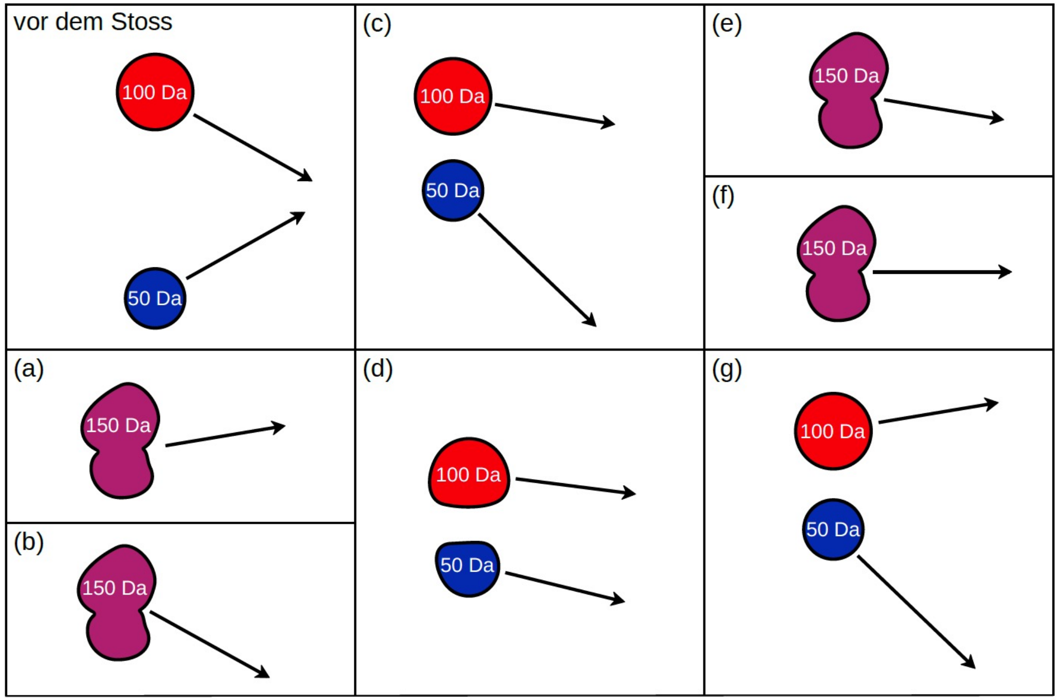
Tips Aufgabe 13.1: Konzeptaufgabe Inpulserhaltung

Aufgabe 13.1. *Konzeptaufgabe Impulserhaltung*

In Abbildung 13.1 sind zwei Moleküle der Massen 100 Da und 50 Da unmittelbar vor einem Stoss dargestellt. Die Teile (a) bis (g) des Bilds zeigen hypothetische Situationen nach dem Stoss. Die Pfeile stellen Geschwindigkeiten dar.

(a) Welche der Situationen (a) bis (g) sind möglich?

(b) Welche davon entsprechen elastischen, inelastischen, maximal inelastischen Stössen?



a) möglich $\equiv$ Gesamtimpuls erhalten (x und y Komponente)

b) elastisch: Energieerhaltung (betrachte E_{kin})
inelastisch: keine Energieerhaltung
völlgi inelastisch: Körper haften aneinander

Tips Aufgabe 13.2: Stoss mit Wand

Aufgabe 13.2. ***Stoss mit Wand***

Wir betrachten ein einzelnes Wassermolekül ($m_{H_2O} = 18\,\mathrm{Da}$), das sich entlang der x-Achse bewegt. Es hat anfangs eine Energie $E_1 = 2.1 \times 10^{-21}\,\mathrm{J} \simeq 13.1\,\mathrm{meV}$ und fliegt auf eine Wand zu, die sich mit der Geschwindigkeit $v_W = -1\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ nach links bewegt, siehe Abbildung 13.4.

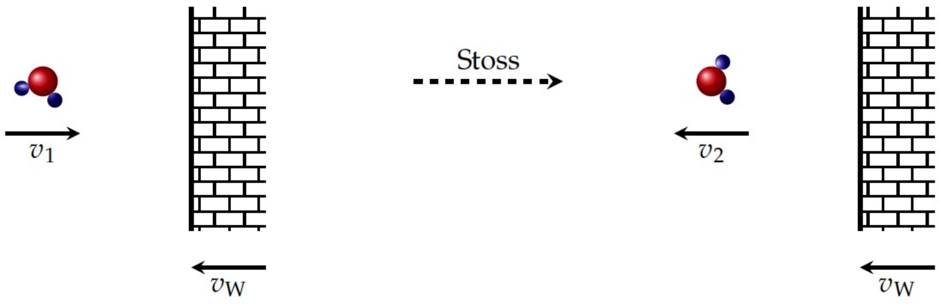


Abbildung 13.4: Ein Wassermolekül stösst mit einer bewegten Wand.

Wir möchten nun herausfinden, wie viel Energie bei dem Stoss mit der beweglichen Wand auf das Wassermolekül übertragen wird.

Hinweis. *Wir nehmen zur Vereinfachung an, dass die Wand 'unendlich schwer' ist, also '$m_W = \infty$'.*

(a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_1 des Wassermoleküls vor dem Stoss.

(b) Unter der Annahme eines elastischen Stosses mit der Wand, berechnen Sie die Geschwindigkeit v_2 nach dem Stoss.

Hinweis. *Sie können dazu die Resultate aus dem Skript mit $m_1 \equiv m_W \gg m_2 \equiv m_{H_2O}$ benutzen.*

(c) Welcher Impuls wurde übertragen? Wie lange hat der Stoss gedauert, wenn eine durchschnittliche Kraft von $F = 1 \times 10^{-8}\,\mathrm{N}$ wirkt?

(d) Wie gross ist der Energieunterschied des Wassermoleküls?

a) mit E_{kin} rechnen
b) Skript Seite 111
c) $\Delta p = m\,\Delta v = F\,\Delta t$
d) $\Delta \mathrm{E} = \mathrm{E}_{\mathrm{nacher}} - \mathrm{E}_{\mathrm{vorher}}$

Tips Aufgabe 13.3: Neutronenstreuung

Aufgabe 13.3. *Neutronenstreuung*

Ein Neutron der Masse $m_n = 1.67 \times 10^{-27}$ kg und der Geschwindigkeit $v_{n,A}$ stösst elastisch mit einem ruhenden Kohlenstoff der Masse $m_C = 1.99 \times 10^{-26}$ kg zusammen.

(a) Bestimmen Sie die Geschwindigkeiten der Teilchen $v_{n,E}$ und $v_{C,E}$ nach dem Stoss.

(b) Beschreiben Sie in Wörter, wie sich die Teilchen nach dem Stoss fortbewegen.

(c) Welchen Bruchteil der kinetischen Energie wird vom Neutron an den Kohlenstoff übertragen?

a) Impulserhaltung
b) Beschreibe Richtung und Betrage der Geschwindigkeiten der Teilchen.
c) Gesucht ist:

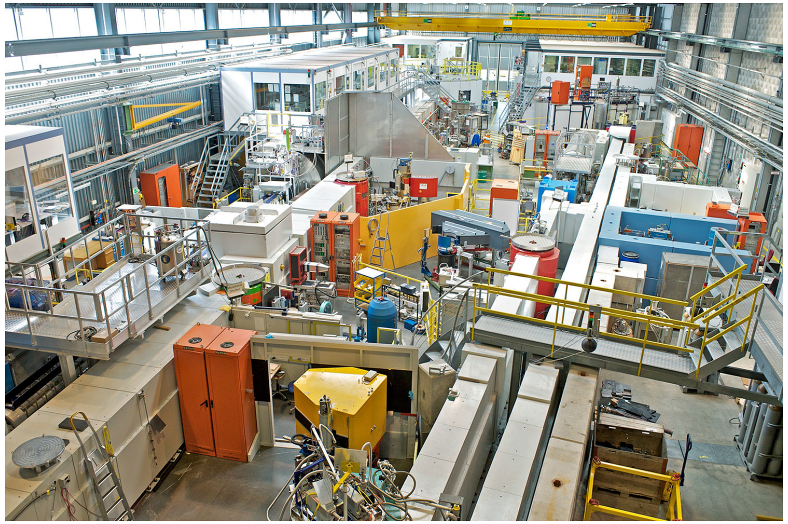
$$\frac{E_{kin}(C, nacher)}{E_{kin}(n, vorher)}$$

Neutronenstreuung – Angewandte Quantenmechanik

Die **Neutronenstreuung** untersucht Materie durch Beobachten der Streuung von langsamen Neutronen an einem Probekörper.

Welle –Teilchen Dualismus:
Wie alle Teilchen haben Neutronen nicht nur Teilchen-, sondern auch Welleneigenschaften.
Die Neutronen können also wie Röntgenstrahlen eingesetzt werden.

SINQ: Neutronenforschung am PSI
https://www.psi.ch/de/psiforum/forschungsanlagen



Neutronenstreuung – Beispiel

https://www.psi.ch/en/niag/movies

Aufbau des Experiment:

Wie Röntgen beim Arzt, nur interagieren Neutronen anderst mit dem target als Röntgenstrahlung.

Elastische Streuung: Maximaler Energieübertrag wenn Masse der Teilchen gleich -> Neutron interagiert mehr mit leichten Teilchen (e.g. Wasserstoffatom) -> leichte Teilchen sind im Video schwarz