# Physik I

## BIOL/PHARM

Übungsstunde 11

06.12.2021

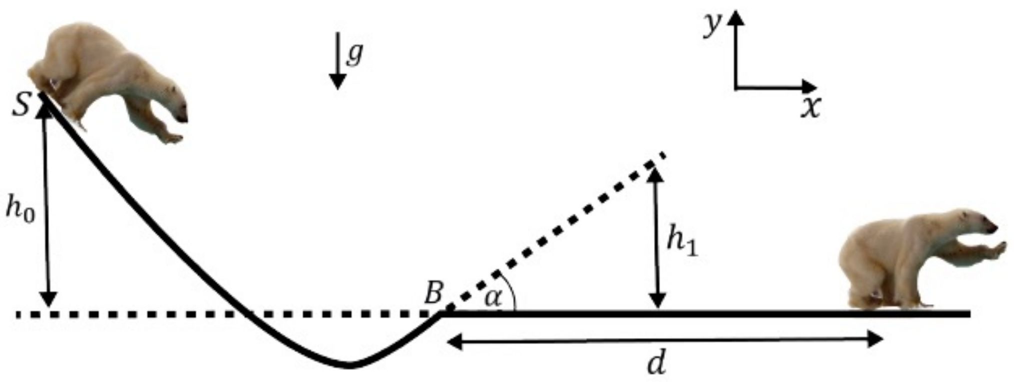
- Fundamentale Wechselwirkungen
- Impuls

Jesse Zhang, zhangje@ethz.ch

# Nachbesprechung: Eisbär

**Aufgabe 11.1.** *Eisbär*

Ein kleiner Eisbär (Masse $m = 65\,\mathrm{kg}$) rutscht aus der Ruhe (Punkt S) in der Höhe $h_0 = 5\,\mathrm{m}$ von einem Eisberg. Der Eisbär verlässt den Eisberg am Punkt B unter dem Winkel $\alpha = 33°$ relativ zur Horizontalen und fällt im Abstand $d$ von Punkt B ins Wasser.
*Hinweis: Vernachlässigen Sie die Luftreibung bei allen Teilaufgaben.*




(a) Wir nehmen zunächst an, dass der Eisbär reibungsfrei auf dem Eis gleitet. Welche Geschwindigkeit $v_{ges}$ besitzt der Eisbär beim Absprung im Punkt B?

(b) Wie gross ist die Maximalhöhe $h_1$, die der Eisbär anschliessend während seines freien Flugs erreicht?
*Hinweis: Zerlegen Sie im Punkt B die Gesamtgeschwindigkeit $v_{ges}$ in eine horizontale Komponente $v_x$ und eine vertikale Komponente $v_y$.*

(c) In welcher Entfernung $d$ vom Punkt B fällt der Eisbär ins Wasser? Geben Sie einen Ausdruck für $d$ in Abhängigkeit von $h_0$ und $\alpha$ an. Berechnen Sie dann den Zahlenwert für $d$.

(d) Nun gleitet der Eisbär nicht mehr reibungsfrei. Wie viel Energie muss durch Reibung dissipiert werden, damit der Eisbär gerade am Absprungpunkt des Eisberges (Punkt B) zum Stehen kommt?

a) Energieerhaltung
b) Energieerhaltung: Kinetische Energie der senkrechten Bewegung wird in potentielle Energie umgewandelt
c) Schräger Wurf (siehe Slides Ex.2) Bewegung in x und y Richtung separate betrachten, welche durch Zeit t verbunden sind
d) Energieerhaltung

# Nachbesprechung 11.2: Die potentiele Energie und Kraft

**Aufgabe 11.2.** *Die potentielle Energie und die Kraft*

Gegeben sei die relative potentielle Energie

$$V(x, y, z) = E_{\text{pot}}(x, y, z) - E_{\text{pot},0} = \frac{A}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \tag{1}$$

wobei $A$ eine Konstante ist.

(a) Bestimmen Sie die Kraft $\vec{F}$ und geben Sie die Kraft $\vec{F}$ als Funktion des Ortsvektor $\vec{r}$ an. In welche Richtung Zeigt $\vec{F}$?

(b) Welche Kräfte kennen Sie, die diese exakte Form haben?

a) $\vec{F} = -\vec{\nabla}\, V(x, y, z)$

b) Welche Kräfte zeigen in diese Richtung?

Fundamentale Wechsel-wirkungen

# Lernziele

- Gravitation- und Elektromagnetische Kraft als fundamentale Wechselwirkung kennen
- Zusammenhang zwischen Kraft und Potential kennen
- Die relative Grössenordnung der beiden Kräfte kennen

# Gravitationskraft

Die **Gravitations-** und **die Elektromagnetische Wechselwirkung** sind zwei der vier fundamentalen Wechselwirkungen in der Natur. Sie lassen sich nicht herleiten und sind uns als der Beobachtung der Natur und durch Messungen bekannt.

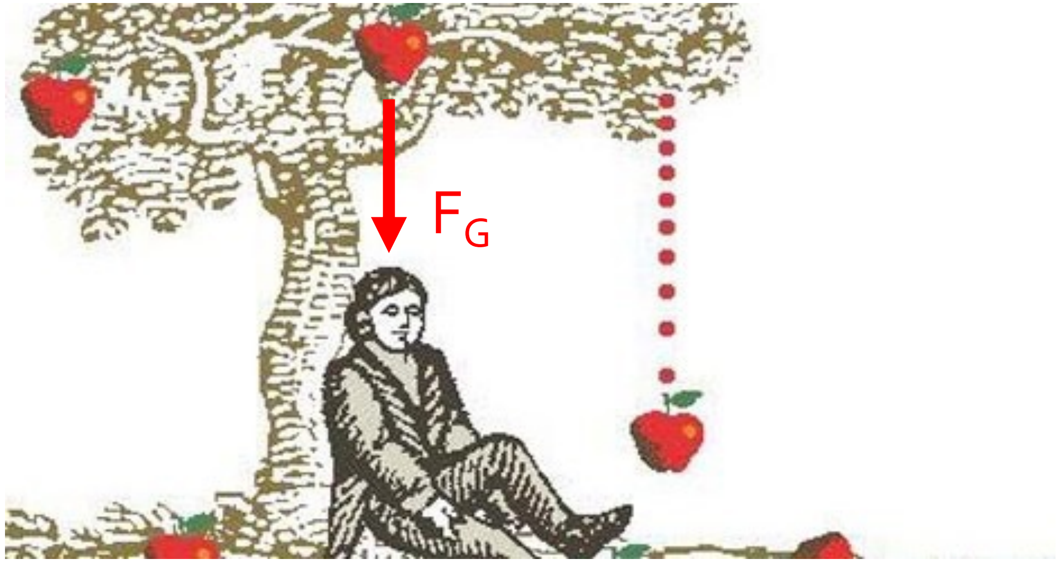
## Gravitation

Kraft: $\boldsymbol{F_G = G\,\frac{m_1 m_2}{r^2}}$,

mit G = 6.674 $e^{-11}$ $Nm^2kg^{-2}$

Potential: $\boldsymbol{E_{pot}(r) = -G\,\frac{m_1 m_2}{r}}$

$\vec{F} = -\vec{\nabla}E_{pot}$




**Erdanziehungskraft:**

$m_1$ = Masse Erde = 5.97 $e^{24}$ kg, r = Erdradius = 6371 km

$F_G = G\,\frac{m_1 m_2}{r^2} = G\,\frac{m_1}{r^2}\,m_2 = 9.81 Nkg^{-1}\,m_2$

# Elektromagnetische Kraft

Die **Gravitations-** und **die Elektromagnetische Wechselwirkung** sind zwei der vier fundamentalen Wechselwirkungen in der Natur. Sie lassen sich nicht herleiten und sind uns als der Beobachtung der Natur und durch Messungen bekannt.

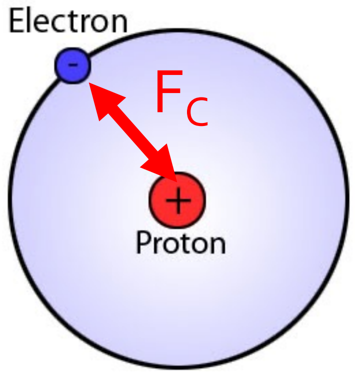
## Elektromagnetisch/Coulomb

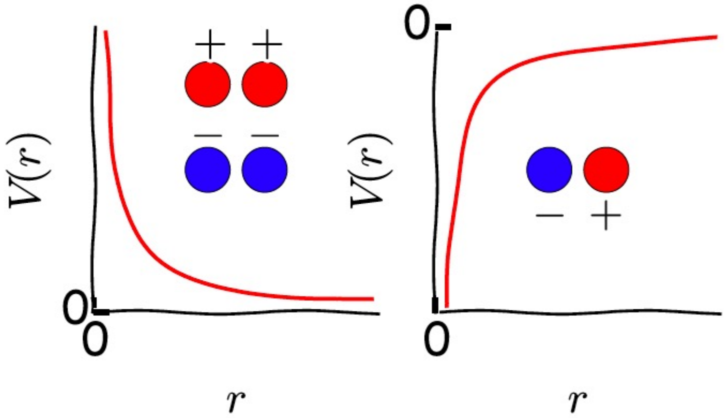
Kraft: $\boldsymbol{F_C = \frac{1}{4\,\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}}$,

mit $\epsilon_0$ = 8.854 e-12 $C^2N^{-1}m^{-2}$

Potential: $\boldsymbol{E_{pot}(r) = \frac{1}{4\,\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r}}$

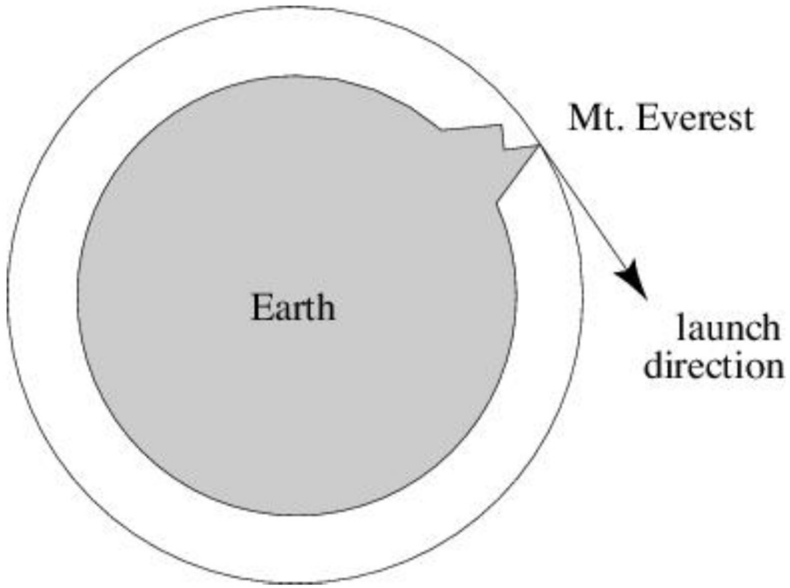
Bmgk: Bei gleichem Vorzeichen haben wir eine abstossende Kraft, bei ungleichen Vorzeichen eine anziehende Kraft.



# Verständnisfrage: Ball um die Erde

Angenommen die Erde hätte keine Atmosphäre. Ein Ball wird am höchsten Punkt der Erde tangential zur Erde geworfen. Die Anfangsgeschwindigkeit sei gross genug, dass der Ball die Erde kreisförmig umrundet. Was gilt für die Beschleunigung des Balls während dem Flug?

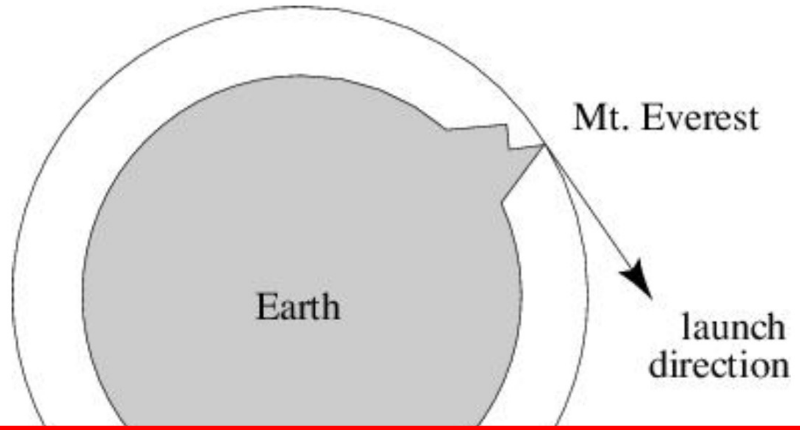



a) Viel kleiner als g
b) Etwa g
c) viel grosser als g
d) hängt von der Geschwindigkeit des Ball ab

**https://pollev.com/jessezhang348**

# Verständnisfrage: Ball um die Erde

Angenommen die Erde hätte keine Atmosphäre. Ein Ball wird am höchsten Punkt der Erde tangential zur Erde geworfen. Die Anfangsgeschwindigkeit sei gross genug, dass der Ball die Erde kreisförmig umrundet. Was gilt für die Beschleunigung des Balls während dem Flug?




a) Viel kleiner als g

b) Etwa g

c) viel grosser als g

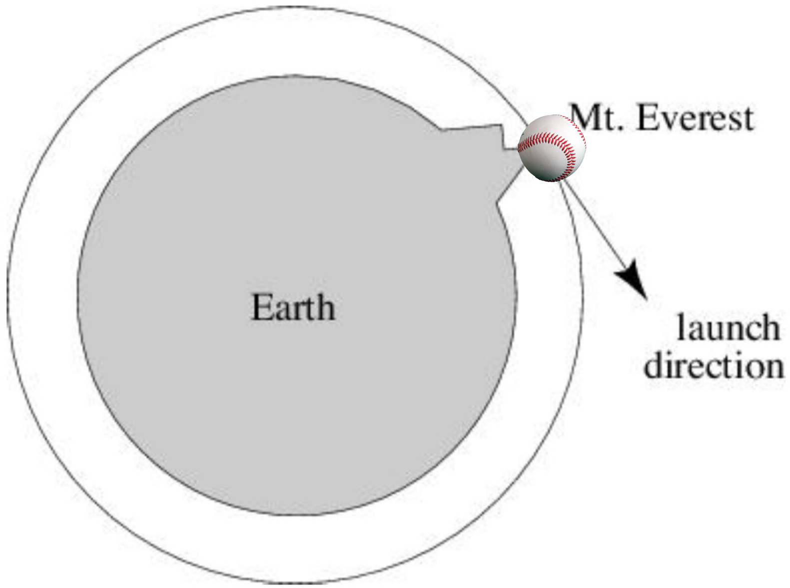
d) hängt von der Geschwindigkeit des Ball ab

Es wirkt nur eine Art von Beschleunigung auf den Ball, die Erdbeschleunigung. Auf der Höhe des Mount Everest ist die Erdbeschleunigung zwar nicht mehr so gross wie auf Meereshöhe, unterscheidet sich aber nur gering davon. Von der Geschwindigkeit des Balls kann die Beschleunigung nicht abhängen, da eine ganz bestimmte Geschwindigkeit nötig ist, damit der Ball in dieser Höhe eine Kreisbewegung um die Erde vollführt.
-> b) ist richtig

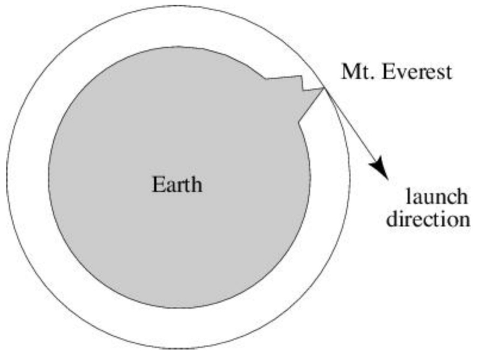
# Beispielsaufgabe: Ball um die Erde

Wie schnell müsste der Ball am Anfang geworfen werden? Nehme an man wirft einen Baseball ($m = 150$ g) und man stehe auf dem Mt. Everest ($h = 8848$ m ü. M.).
Für die Erde gilt $R_E = 6470$ km, $M_E = 5.97 \times 10^{24}$ kg. Die Gravitationkonstante beträgt $G = 6.674 \times 10^{-11}$ Nm$^2$kg$^{-2}$.

Wie lange müsste man auf dem Mt. Everest warten, wir der Ball auf der anderen Seite wieder zurück kommt?



# Beispielsaufgabe: Ball um die Erde




- Für kreisförmiger Umlauf wirkt Gravitationskraft als Zentripetalkraft:

$$F_Z = F_G$$

$$\frac{mv^2}{r} = G\,\frac{M_E m}{r^2}$$

mit $r = (R_E + h) = 6'478'848$ m

- Somit gilt für die Geschwindigkeit:

$$\boldsymbol{v} = \sqrt{G\,\frac{M_E}{r}} = \mathbf{7842\ m/s} = 28'230\ \text{km/h}$$

- Für die Kreisbewegung gilt:

$$v = r\,\omega = \frac{2\pi\,r}{T}$$

somit: $\boldsymbol{T} = \frac{2\pi\,r}{v}$ = **5191 s** ≈1.5 h

**Zum Vergleich:**
Weltrekord schnellster Baseballwurf in MLB:
July 11, 2014: Aroldis Chapman:
**169.1 km/h**
$\ll$ 28'230km/h

# Verständnisfrage: Satelliten um die Erde

Zwei Satelliten A und B der selben Massen umkreisen die Erde kreisförmig. Die Distanz des Satelliten B zum Zentrum der Erde ist doppelt so gross wie die Distanz des Satelliten A.
Was ist das Verhältnis der Tangentialgeschwindigkeit von B zu A?

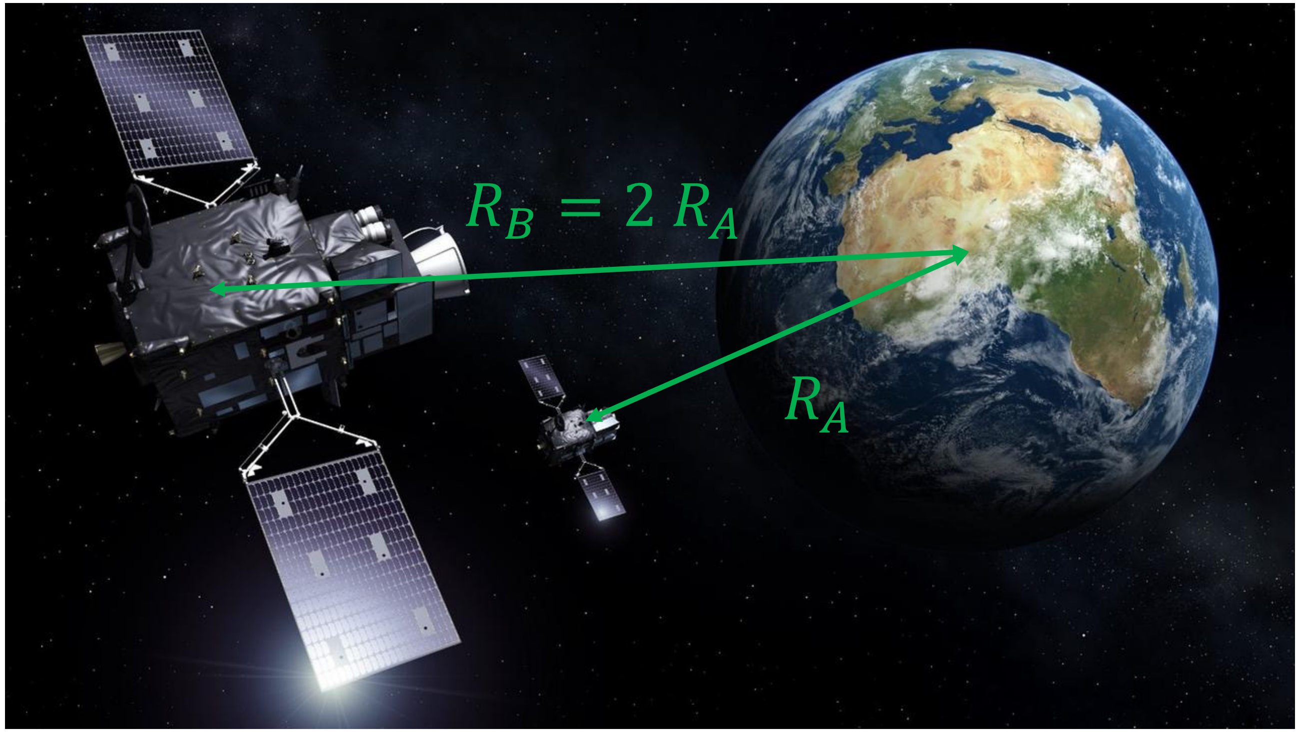
a) $\frac{v_B}{v_A} = \frac{1}{2}$

b) $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{1}{2}}$

c) $\frac{v_B}{v_A} = 1$

d) $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{2}$

e) $\frac{v_B}{v_A} = 2$



# Verständnisfrage: Satelliten um die Erde

Zwei Satelliten A und B der selben Massen umkreisen die Erde kreisförmig. Die Distanz des Satelliten B zum Zentrum der Erde ist doppelt so gross wie die Distanz des Satelliten A.
Was ist das Verhältnis der Tangentialgeschwindigkeit von B zu A?

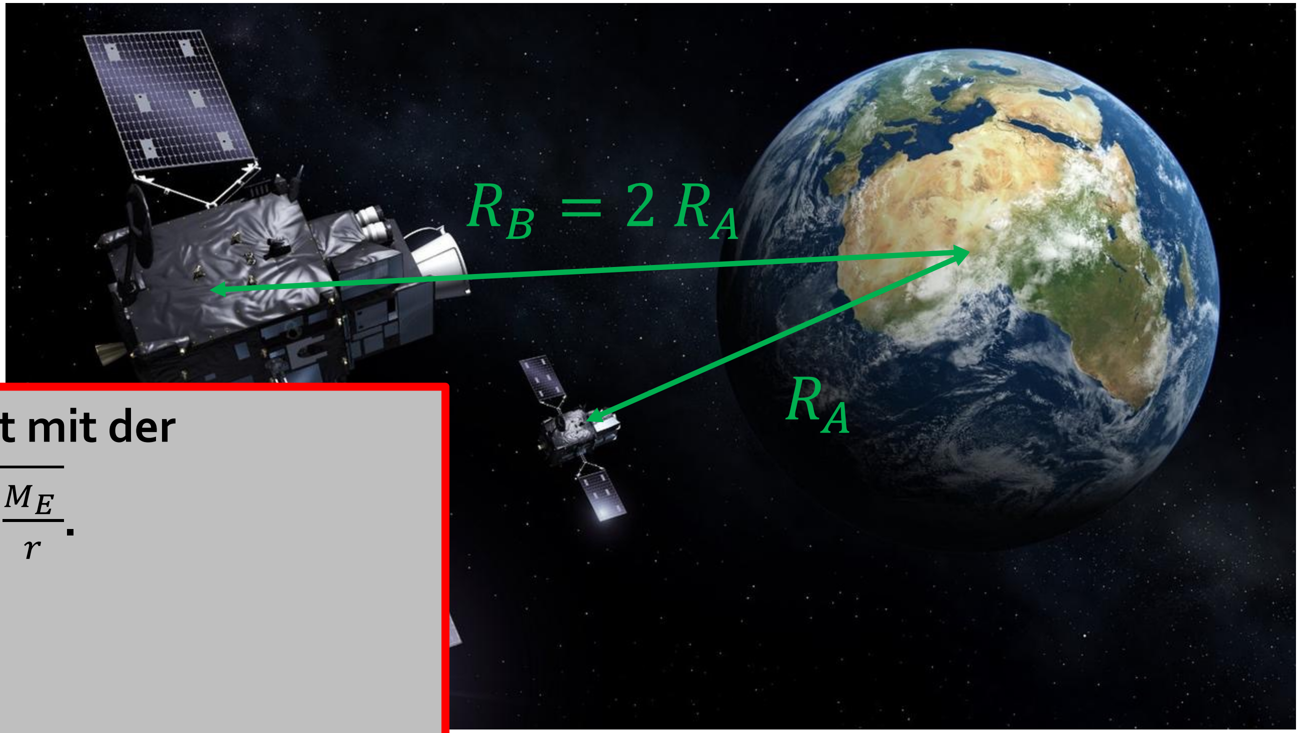
a) $\frac{v_B}{v_A} = \frac{1}{2}$

b) $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{1}{2}}$

c) $\frac{v_B}{v_A} = 1$

d) $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{2}$

e) $\frac{v_B}{v_A} = 2$




**Gleichsetzen der Zentripetalkraft mit der Gravitationkraft liefert:** $v = \sqrt{G\,\frac{M_E}{r}}$**.**

**Somit ist** $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{r_A}{r_B}}$

**-> b) ist richtig**

# Verständnisfrage: Normalkraft

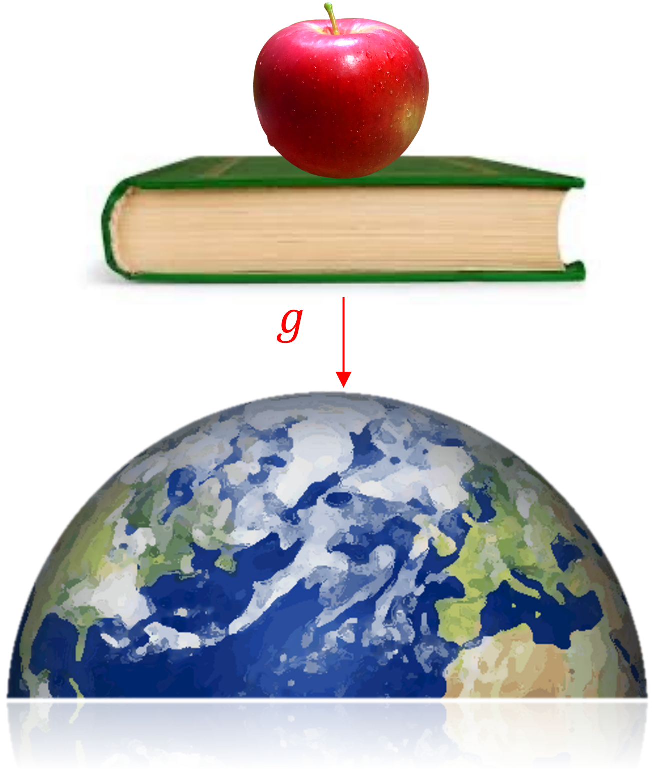
Ein Apfel wird auf ein Buch gelegt. Der Betrag der Normalkraft sei in diesem Fall $F$. Wenn man die Kombination Apfel-auf-Buch fallen lässt, dann ist die Normalkraft …

a) immer noch gleich $F$

b) gleich null

c) kleiner als $F$, aber nicht null

d) grösser als $F$




Disclaimer: Drawing not to scale

# Verständnisfrage: Normalkraft

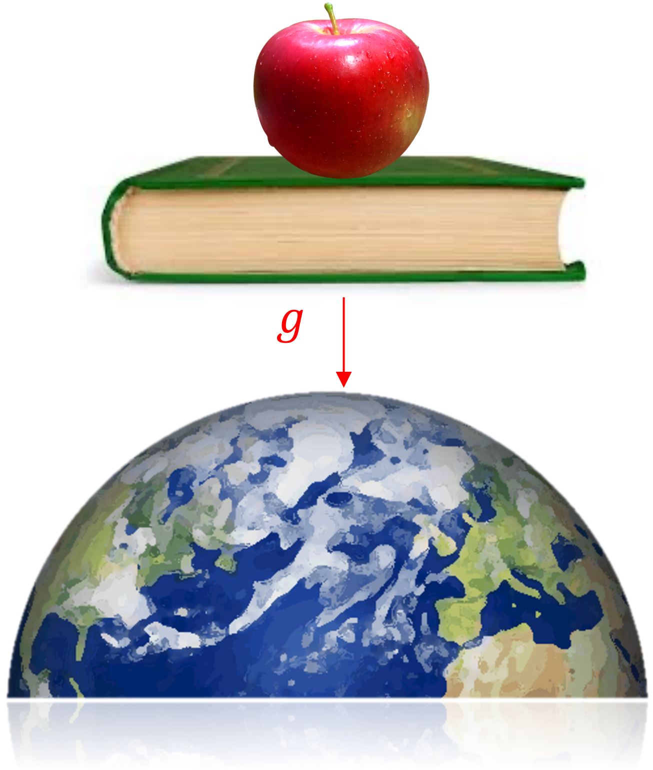
Ein Apfel wird auf ein Buch gelegt. Der Betrag der Normalkraft sei in diesem Fall *F*. Wenn man die Kombination Apfel-auf-Buch fallen lässt, dann ist die Normalkraft …

a) immer noch gleich *F*.

b) gleich null.

c) kleiner als *F*, aber nicht null.

d) grösser als *F*.




Disclaimer: Drawing not to scale

**In Ruhe (z.b. wenn das Buch auf einem Tisch liegt), kompensiert die Normalkraft die Gravitationskraft des Apfel, sodass der Apfel nicht durch das Buch fällt. Wenn beides zusammen fällt, bewegen sich beide mit der Beschleuningung g nach unten (freier Fall). Somit ist die Nettokraft gleich der einzigen Kraft $F_G$ und die Normalkraft verschwindet.**
**-> b) ist richtig**

# Verständnisfrage: Stein fällt auf Erde

Ein Stein, ursprünglich in Ruhe und unendlich weit entfernt von der Erde, wird freigelassen und beschleunigt auf die Erde zu. Ein Beobachtungsturm auf der Höhe h = 3 $R_E$ beobachtet den Stein als er auf die Erde stürzt. Ohne Reibung, ist die Geschwindigkeit des Steins auf der Erdoberfläche

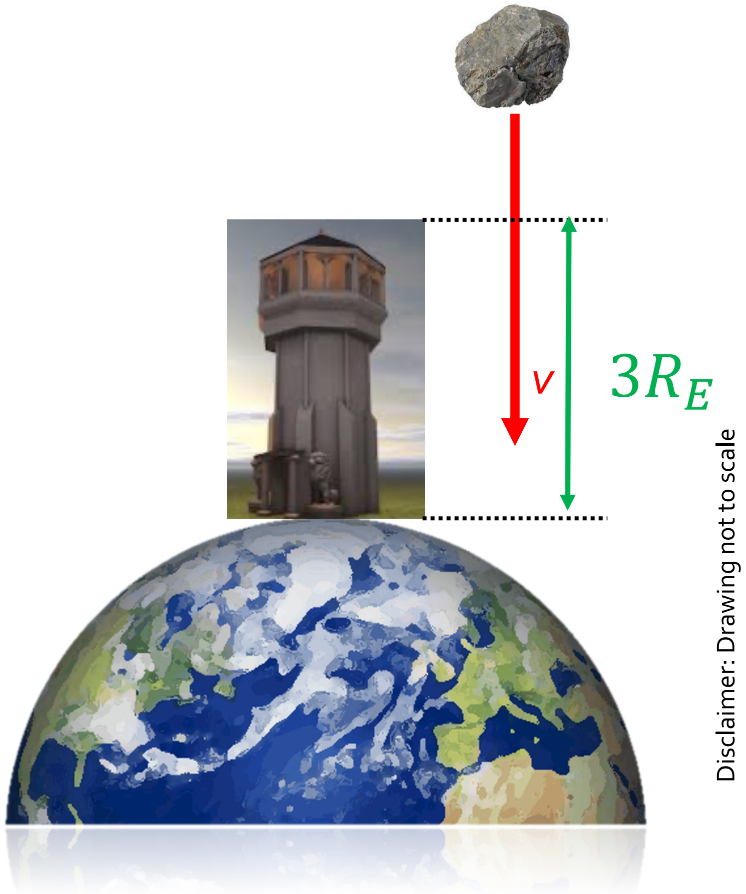
a) halb so gross

b) gleich gross

c) doppelt so gross

d) viermal so gross

wie die Geschwindigkeit auf der Höhe des Beobachtungsturm.




Disclaimer: Drawing not to scale

# Verständnisfrage: Stein fällt auf Erde

Ein Stein, ursprünglich in Ruhe und unendlich weit entfernt von der Erde, wird freigelassen und beschleunigt auf die Erde zu. Ein Beobachtungsturm auf der Höhe h = 3 $R_E$ beobachtet den Stein als er auf die Erde stürzt. Ohne Reibung, ist die Geschwindigkeit des Steins auf der Erdoberfläche

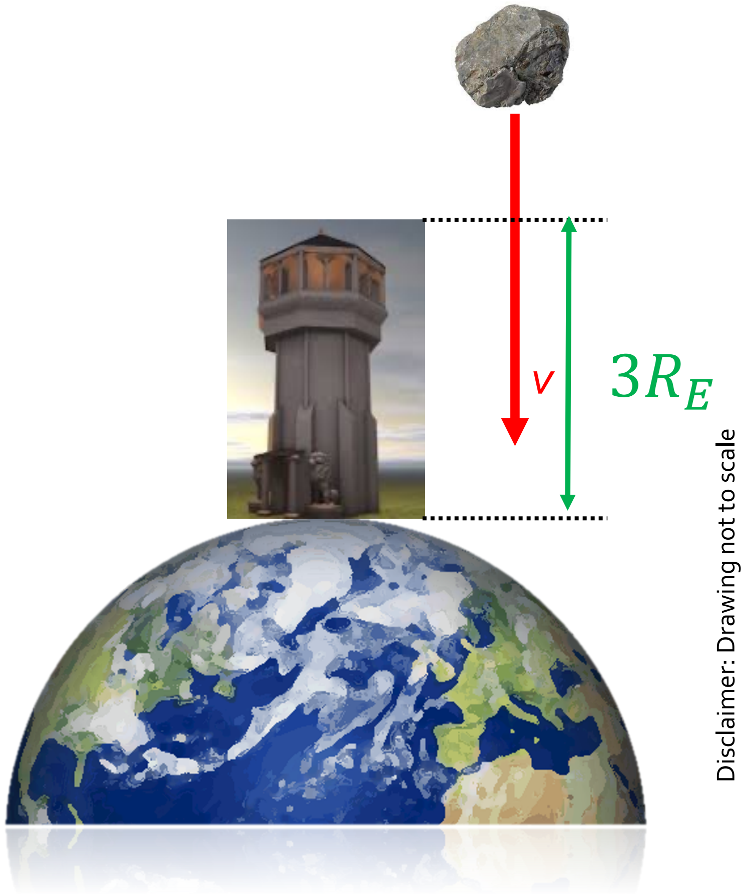
a) halb so gross

b) gleich gross

c) doppelt so gross

d) viermal so gross

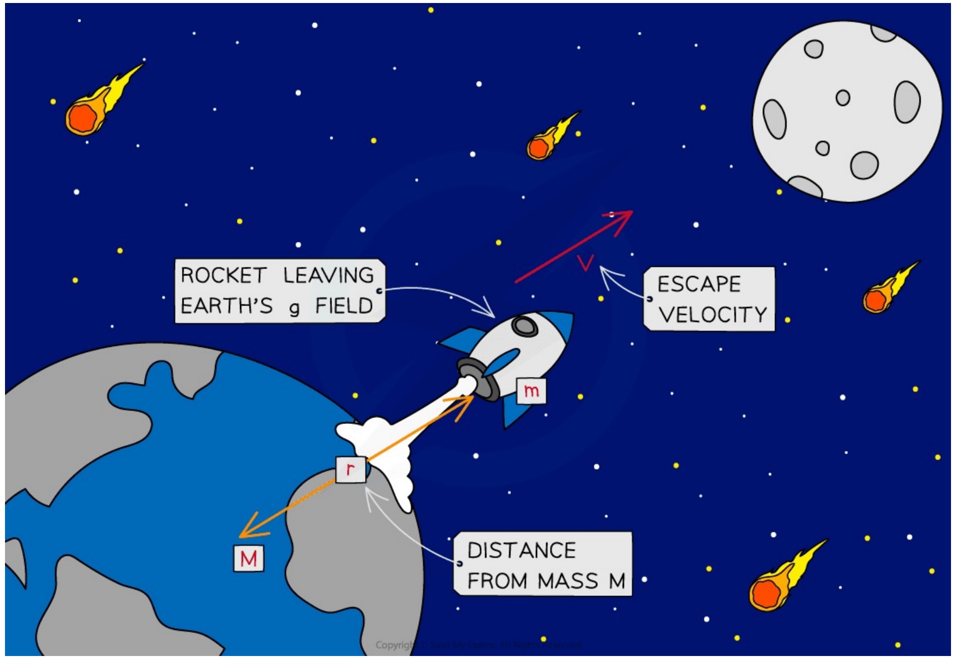
wie die Geschwindigkeit auf der Höhe des Beobachtungsturm.




**Die kinetische Energie des Stein auf einer beliebigen Höhe entspricht dem Betrag der potentiellen Energie auf dieser Höhe. Der Turm ist viermal weiter entfernt zum Zentrum der Erde als die Oberfläche, d.h. an der Oberfläche hat der Stein die vierfache kinetische Energie und somit die doppelte ($v \sim \sqrt{E_{kin}}$) Geschwindigkeit.**
**-> c) ist richtig**

# Verständnisfrage: Fluchtgeschwindigkeit

Wenn ein Körper dem Gravitationsfeld der Erde entkommen will, benötigt sie eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit, welche grösser als die sogenannte Fluchtgeschwindigkeit ist. Diese Fluchtgeschwindigkeit, auf der Erdoberfläche, hängt ab von




a) Radius der Erde r

b) Masse der Erde M

c) Masse des Körpers m

d) r und M

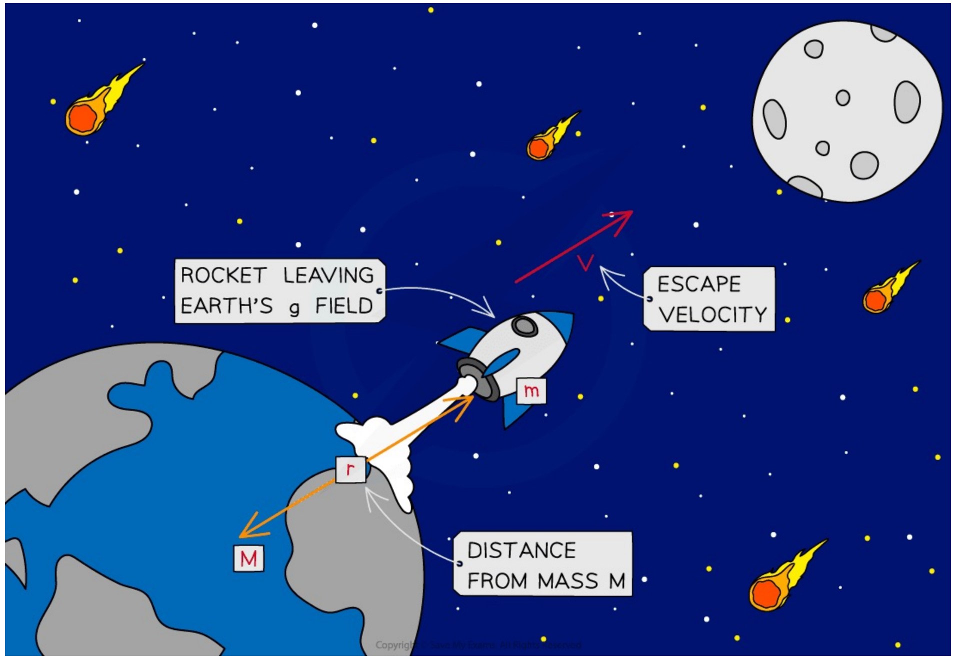
e) r und m

f) M und m

g) r, M und m

# Verständnisfrage: Fluchtgeschwindigkeit

Wenn ein Körper dem Gravitationsfeld der Erde entkommen will, benötigt sie eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit, welche grösser als die sogenannte Fluchtgeschwindigkeit ist. Diese Fluchtgeschwindigkeit, auf der Erdoberfläche, hängt ab von




a) Radius der Erde r

b) Masse der Erde M

c) Masse des Körpers m

d) r und M

e) r und m

f) M und m

g) r, M und m

**Der Körper kann dem Gravitationsfeld entfliehen, wenn die kinetische Energie grösser als die potentielle Energie ist. Also $\frac{1}{2}m\,v^2 \geq G\,\frac{mM}{r}$. Wir können m von der Gleichung eliminieren, somit hängt die Fluchtgeschwindigkeit nur von M und r (und G) ab.**

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \approx 11.2\ \text{km/s}$$

**-> d) ist richtig**

# Verständnisfrage: Mond

Der Mond fällt nicht auf die Erde weil

a) er im Gravitationsfeld der Erde ist.
b) er jenseits der Anziehung der Erdgravitation ist.
c) er von der Sonne und den anderen Planeten auch angezogen wird und sich die Anziehungkräfte ausgleichen.
d) allen von den obrigen Antworten.
e) keine von den obrigen Anworten.

# Verständnisfrage: Mond

Der Mond fällt nicht auf die Erde weil

a) er im Gravitationsfeld der Erde ist.
b) er jenseits der Anziehung der Erdgravitation ist.
c) er von der Sonne und den anderen Planeten auch angezogen wird und sich die Anziehungkräfte ausgleichen.
d) allen von den obrigen Antworten.
e) keine von den obrigen Anworten.

**Der Mond wird aufgrund der Gravitationskraft der Erde konstant zur Erde beschleunigt. Diese Anziehung ist nötig um den Mond auf einer Kreisbahn zu halten und bewirkt eine Kreisbewegung statt eine lineare Bewegung bei der Mond sich der Erde nähern würde.**
**-> e) ist richtig**

# Tips Aufgabe 12.1: Geostationäre Satelliten

**Aufgabe 12.1.** *Geostationäre Satelliten*

Ein Fernsehsatellit muss sich immer über derselben Stelle über der Erdoberfläche befinden. Man nennt solche Satelliten auch geostationär.

(a) In welcher Höhe $h$ über der Erdoberfläche muss sich ein solcher Satellit befinden?

(b) Wie gross ist die Tangentialgeschwindigkeit des Satelliten?

(c) Was ist das Verhältnis zwischen der potentiellen Energie und der kinetischen Energie des Satelliten? Hängt diese Grösse von der Masse $m$ des Satelliten ab? Und von dem Abstand $h$?

*Hinweis:* die Masse der Erde ist $M_E = 5.97 \times 10^{24}$ kg und der Radius ist $R_E = 6370$ km. Die Gravitationskonstante beträgt $6.674 \times 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2kg^2}$.

- siehe Beispielsaufgabe auf Slide 11 & 12

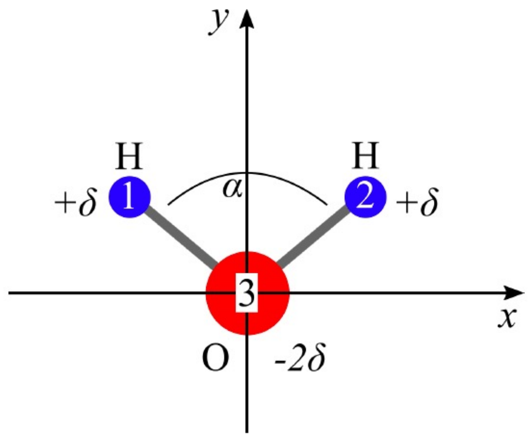
# Tips Aufgabe 12.2: Wassermolekül

**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 $\epsilon = 411$ kJmol$^{-1}$ [Di Thomas Engel und Philip J. Reid, Physikalische Chemie].




a) Betrag der Kraft:

- $\boldsymbol{F_C = \frac{1}{4\,\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}}$

Richtung der Kraft:

- Betrachte Richtungvektor der verschiedenen Atome .
- E.g. : $\hat{r}_{1\to3} = \begin{pmatrix} \sin\frac{\alpha}{2} \\ -\cos\frac{\alpha}{2} \end{pmatrix}$
- beachte Vorzeichen der Ladung
- Bemerkung: Auf jedes Atom wirken zwei Kräfte

b) $\boldsymbol{E_{pot} = \frac{1}{4\,\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r}}$

- Beachte, dass es drei Terme gibt:

$\boldsymbol{E_{1,2}\ , E_{2,3}\ , E_{1,3}}$

Impuls

# Lernziele

- Den Impuls als kinematische Grösse kennen
- Mittels Impulserhaltung kinematische Variablen berechnen

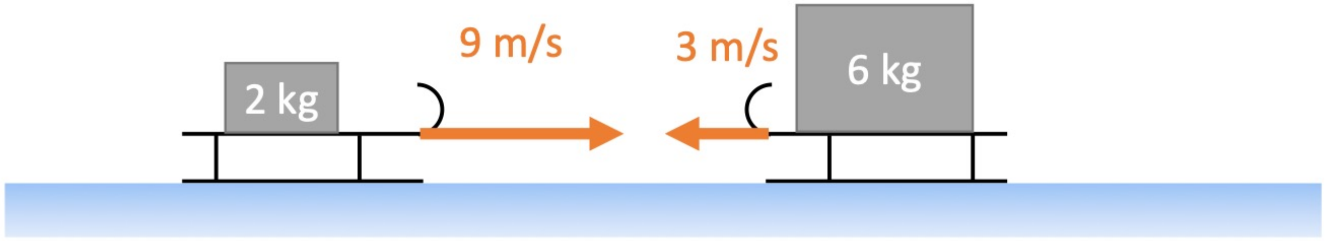
# Verständnisfrage: Schlittencrash

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



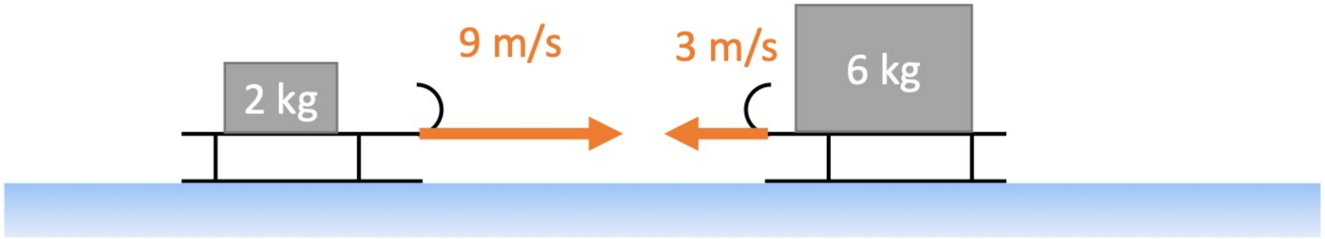
# Verständnisfrage: Schlittencrash

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




$\overrightarrow{p_1} = \begin{pmatrix} 2*9\ kgm/s \\ 0 \end{pmatrix}$ 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

# Tips Aufgabe 12.3: Bindung Enzym-Ligand

**Aufgabe 12.3.** *Bindung von Enzym und Ligand*

Im ersten Schritt der Glycolyse wird D-Glucose durch eine Hexokinase phosphoryliert. Die dabei auftretende Bindung von Glucose ($m_G = 180\,\mathrm{Da}$) an die wesentlich grössere Hexokinase ($m_H = 100\,\mathrm{kDa}$) kann als völlig inelastischer Stoss aufgefasst werden.

Ein Glucose-Molekül bewegt sich mit einer Geschwindigkeit $v_1 = 3.00\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ und trifft auf eine Hexokinase, die sich vor dem Stoss in dem von uns gewählten Bezugssystem nicht bewegt. In dieser Aufgabe werden Sie die Geschwindigkeit und den Impuls des Komplexes nach der Bindung berechnen.

(a) Welche Grössenordnung erwarten sie für die Geschwindigkeit des Komplexes nach der Bindung?

(b) Benutzen Sie den Impulserhaltungssatz, um den Impuls und die Geschwindigkeit des Komplexes nach der Bindung zu berechnen.

- a) betrachte die Grössenordnung der Massen
- b) Impulserhaltung
  - p = mv