

Physik II für Medis 2022

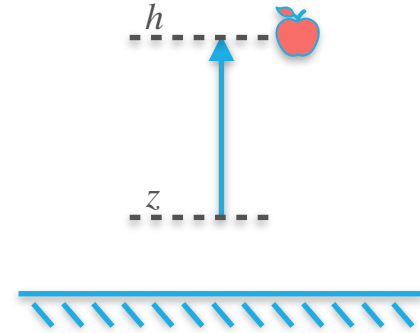
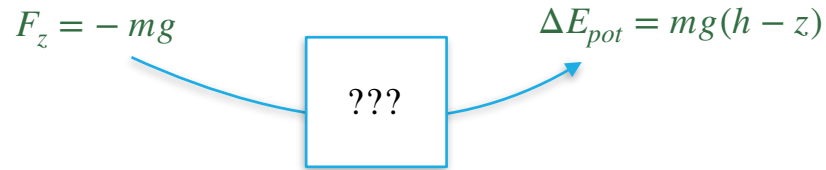
Übungsgruppe

Stunde 4



Zum Einstieg: Integrieren

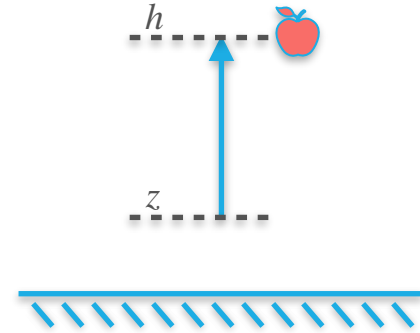
- A Wieviel potentielle Energie gewinnt ein Apfel, wenn er von Höhe z nach Höhe h gehoben wird? **Annahme:** $h \ll r_E$



Zum Einstieg: Integrieren

- A** Wieviel potentielle Energie gewinnt ein Apfel, wenn er von Höhe z nach Höhe h gehoben wird? **Annahme:** $h \ll r_E$

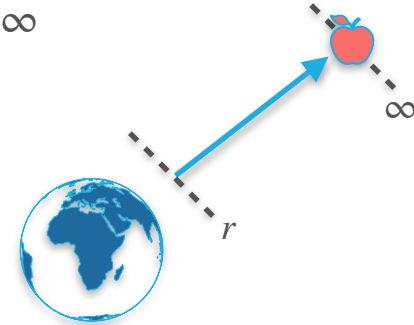
$$F_z = -mg \quad \rightarrow \quad -\int_z^h F_{z'} dz' \quad \rightarrow \quad \Delta E_{pot} = mg(h - z)$$



- B** Wieviel potentielle Energie gewinnt der Apfel, wenn er von Abstand r bis Abstand ∞ von der Erde entfernt wird?

Gravitationskraft: $F_r = -\frac{mMG}{r^2}$

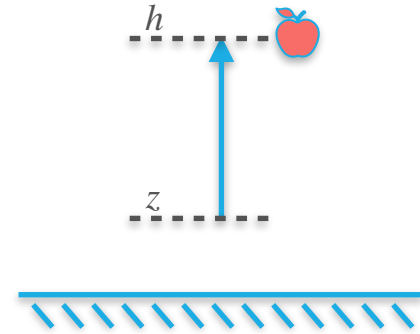
$$\Delta E_{pot}(r \rightarrow \infty) = ???$$



Zum Einstieg: Integrieren

- A** Wieviel potentielle Energie gewinnt ein Apfel, wenn er von Höhe z nach Höhe h gehoben wird? **Annahme:** $h \ll r_E$

$$F_z = -mg \quad \rightarrow \quad -\int_z^h F_{z'} dz' \quad \rightarrow \quad \Delta E_{pot} = mg(h - z)$$

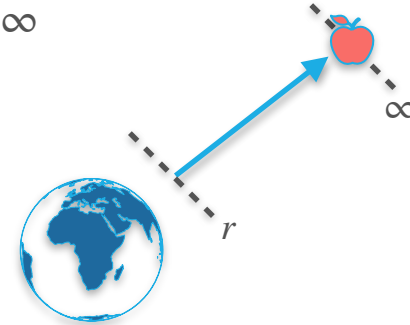


- B** Wieviel potentielle Energie gewinnt der Apfel, wenn er von Abstand r bis Abstand ∞ von der Erde entfernt wird?

Gravitationskraft: $F_r = -\frac{mMG}{r^2}$

$$-\int_r^\infty F_r dr \quad \rightarrow \quad \Delta E_{pot}(r \rightarrow \infty) = \frac{mMG}{r}$$

Entspricht benötigter Energie, um aus Erdgravitation auszutreten!

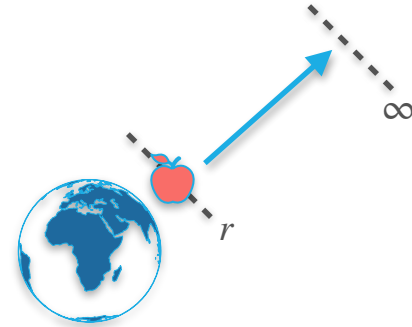


Fluchtgeschwindigkeit

$$\Delta E_{pot} = \frac{mMG}{r}$$

Welche Anfangsgeschwindigkeit muss der Apfel haben, um von r aus dem gravitativen Einfluss der Erde zu entkommen?

Tipp: Energieerhaltung!



Fluchtgeschwindigkeit

$$\Delta E_{pot} = \frac{mMG}{r}$$

Welche Anfangsgeschwindigkeit muss der Apfel haben, um von r aus dem gravitativen Einfluss der Erde zu entkommen?

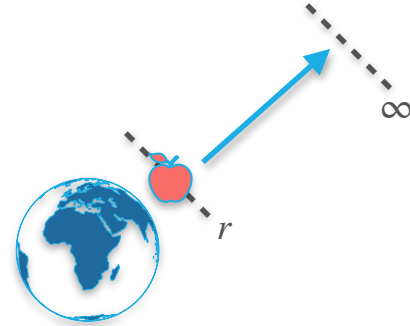
Tipp: Energieerhaltung!

Kinetische Energie wird in potentielle Energie umgewandelt:

$$E_{kin,0} = \Delta E_{pot}(r \rightarrow \infty)$$

$$\frac{1}{2}mv_{esc}^2 = \frac{mMG}{r}$$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2MG}{r}}$$



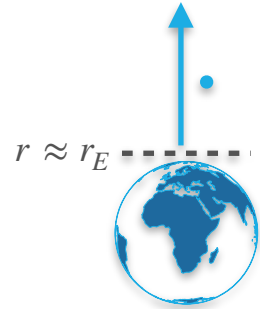
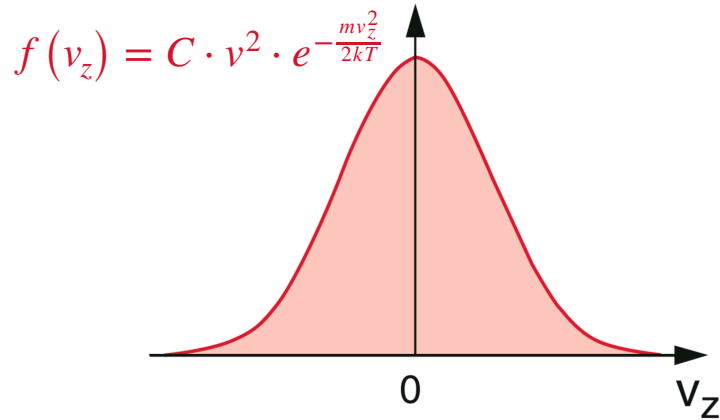
Warum haben wir kein H_2 und kein He in der Atmosphäre?

Fluchtgeschwindigkeit für He - Atome

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2MG}{r}} \approx 11 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

∞ -----

Was hat die Fluchtgeschwindigkeit mit der Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung und dem Verlust von He - Atomen zu tun?



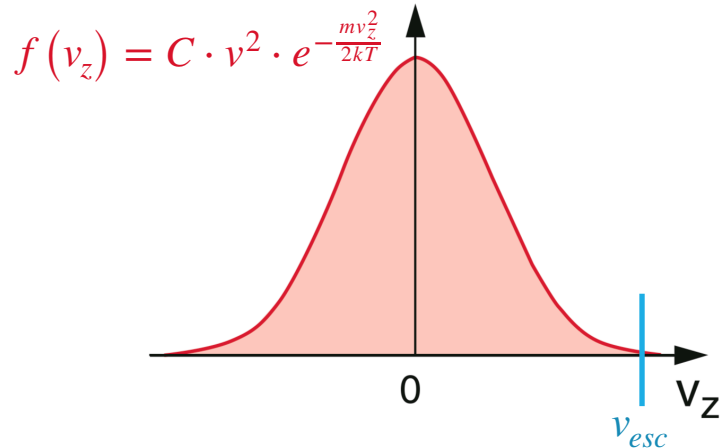
Warum haben wir kein H_2 und kein He in der Atmosphäre?

Fluchtgeschwindigkeit für He - Atome

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2MG}{r}} \approx 11 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

∞ -----

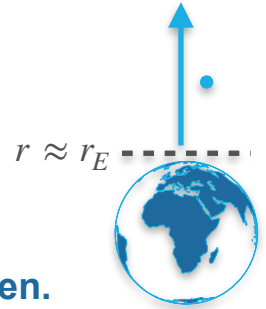
Was hat die Fluchtgeschwindigkeit mit der Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung und dem Verlust von He - Atomen zu tun?



Durch Kollisionen wird MWB-Verteilung aufrechterhalten.

Atome mit $v > v_{esc}$ können die Erde verlassen.

Für leichte Atome sind hohe v_z viel wahrscheinlicher.

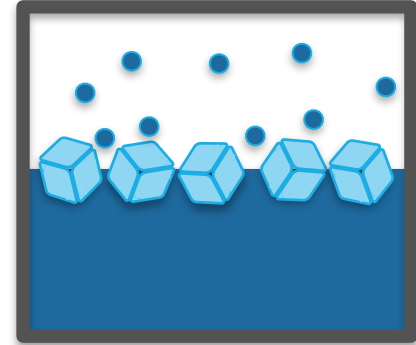


Intro - Frage

Ein Volumen wird mit Wasser und kleinen Eiswürfeln gefüllt und verschlossen. Zu Beginn der Beobachtung liegen 2 l Wasser mit einer Temperatur von 10°C vor, sowie 500 g Eis bei 0°C .

Das Gasvolumen beträgt 1 l und ist gesättigt mit Wasserdampf. Welche Aussagen stimmen?

- A) Nach langer Zeit wird die Mischungstemperatur etwa 8°C betragen.
- B) Der Druck im Gasvolumen wird am Ende kleiner sein als am Anfang.
- C) Der gesamte Wasserdampf wird in flüssiges Wasser übergehen.
- D) Im thermischen Gleichgewicht liegen alle drei Phasen vor. Das Wasser hat dann 0°C .



Thermodynamik

Phasenübergänge

Sättigungsdampfdruck

Wärmekapazität



Themen heute



Nächste Woche:

Einführung Hauptsätze

Volumenarbeit

Kinetische Gastheorie + ideales Gas

Kürzer

Mittlere Energie der Teilchen

$$\bar{E}_{\text{kin}} = \frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m_{\text{mol}} \bar{v}^2$$

$$\text{mit } \bar{v}^2 = \frac{1}{N} \sum_i v_i^2$$

Druck und Geschwindigkeit

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 \quad p = \frac{1}{3} \frac{N m_{\text{mol}}}{V} \bar{v}^2$$

Gase

- von mikroskopisch
zu makroskopisch

Geschwindigkeitsverteilung der Gasteilchen

$$f(v) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}}$$

Maxwell-Boltzmann-Verteilung

Ideale Gase

Ideale Gase haben:

- hohe Temperatur
- viel Platz
- kleine Moleküle
- geringe Teilchendichte

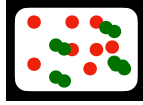
$$pV = nRT \quad R = 8.3 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

univ. Gaskonstante

oder

$$pV = Nk_B T \quad N = n \cdot N_A$$

Partialdruck



Wärmekapazität

Wieviel Wärme braucht es
für Temperaturänderung?

$$\Delta Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

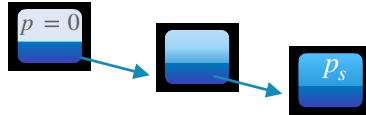
Schmelzwärme / Verdampfungswärme

Wieviel Wärme braucht
Schmelzen / Verdampfen?

$$\Delta Q = c_{Schmelz} \cdot m$$

**Gasgemische und
Phasenübergänge**

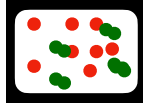
Sättigungsdampfdruck



Relative Feuchte

Taupunkt

Partialdruck



Anteil des Gesamtdrucks, der durch gleichartige Moleküle erzeugt wird.

$$p_i = \frac{n_i}{n_{\text{tot}}} p_{\text{tot}} \quad p_{\text{tot}} = \sum p_i$$

Wärmekapazität

Wieviel Wärme braucht es für Temperaturänderung?

$$\Delta Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

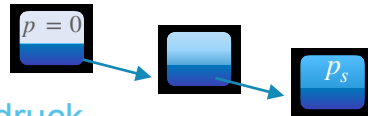
Schmelzwärme / Verdampfungswärme

Wieviel Wärme braucht Schmelzen / Verdampfen?

$$\Delta Q = c_{\text{Schmelz}} \cdot m$$

Gasgemische und Phasenübergänge

Sättigungsdampfdruck



Verdunstung sorgt für Gasdruck über Flüssigkeiten. Bei Sättigungsdampfdruck kommt Verdunstung netto zum Erliegen.

Näherungsweise gilt $p_s \sim e^{-\frac{E_B}{kT}}$

Relative Feuchte

Wie nah ist eine Komponente an ihrer Sättigung?

$$\varphi = \frac{p_i}{p_{s,i}} \cdot 100 \%$$

Taupunkt

Temperatur, bei der Komponente 100% rel. Feuchte erreichen würde.

Nebel und Schnee im Wald

An kalten Wintertagen mit Nebel kann manchmal beobachtet werden, dass der Nebel zwischen den schneebedeckten Bäumen weniger dicht ist, als auf Lichtungen.

Woran liegt das?

Tipp: $p_s^{Eis}(T < 0^\circ C) < p_s^{Wasser}(T < 0^\circ C)$



Nebel und Schnee im Wald

An kalten Wintertagen mit Nebel kann manchmal beobachtet werden, dass der Nebel zwischen den schneebedeckten Bäumen weniger dicht ist, als auf Lichtungen.

Woran liegt das?

Tipp: $p_s^{Eis}(T < 0^\circ C) < p_s^{Wasser}(T < 0^\circ C)$

Antwort:

Der höhere Sättigungsdruck über den Nebeltropfen kann dafür sorgen, dass Wasserdampf zum Eis auf den Bäumen abwandert und dort “anwächst”.



Schmelzwärme und Wärmekapazität

$$c_{\text{schmelz}} = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Eiswürfel der Gesamtmasse $m_1 = 1 \text{ kg}$ werden in 2l Wasser mit Temperatur $T_2 = 100^\circ\text{C}$ gegeben.

$$m_2 = 2 \text{ kg}$$

Das Wasser ist nach aussen thermisch isoliert.

Welche Temperatur hat das Gemisch nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts?

A)

B)

Schmelzwärme und Wärmekapazität

$$c_{\text{schmelz}} = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Eiswürfel der Gesamtmasse $m_1 = 1 \text{ kg}$ werden in 2l Wasser mit Temperatur $T_2 = 100^\circ\text{C}$ gegeben.

$$m_2 = 2 \text{ kg}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Das Wasser ist nach aussen thermisch isoliert.

Welche Temperatur hat das Gemisch nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts?

A) Temperaturänderung des Wassers durch Schmelzen des Eises:

$$Q_{\text{schmelz},1} = \Delta Q_2$$

B) Temperaturänderung zum Angleichen der Temperaturen:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2$$

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 = ?$$

Schmelzwärme und Wärmekapazität

$$c_{\text{schmelz}} = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Eiswürfel der Gesamtmasse $m_1 = 1 \text{ kg}$ werden in 2l Wasser mit Temperatur $T_2 = 100^\circ\text{C}$ gegeben.

$$m_2 = 2 \text{ kg}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Das Wasser ist nach aussen thermisch isoliert.

Welche Temperatur hat das Gemisch nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts?

A) Temperaturänderung des Wassers durch Schmelzen des Eises:

$$Q_{\text{schmelz}} = c_{\text{schmelz}} \cdot m_1 = m_2 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T_S \quad \rightarrow \quad \Delta T_S = \frac{c_s}{2 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}} \approx 40 \text{ K}$$

Temperaturen dann $T_1' = 0 \text{ K}$
 $T_2' = 60 \text{ K}$

B) Temperaturänderung zum Angleichen der Temperaturen:

$$m_1 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T_2 \quad \rightarrow \quad \Delta T_1 = 2 \cdot \Delta T_2$$

$$\text{Ausserdem gilt } \Delta T_1 + \Delta T_2 = 60 \text{ K} \quad \rightarrow \quad \dots \quad \rightarrow T_{\text{end}} = 40^\circ\text{C}$$

Aufgabe zum Sättigungsdampfdruck

$$p_s(20^\circ\text{C}) = 0.023 \text{ bar}$$

Ein geschlossener Kolben gefüllt mit Wasser und Luft wird bei einer Temperatur von $T_0 = 20^\circ\text{C}$ und einem Druck von $p_0 = 1 \text{ bar}$ geschlossen.

Der Kolben wird erhitzt und bei $T_{\text{end}} = 100^\circ\text{C}$ wird schliesslich ein Gesamtdruck von $p_{\text{end}} = 2.29 \text{ bar}$ gemessen.

Wie gross ist der Sättigungsdampfdruck von Wasser bei 100°C ?

A) Aus welchen Partialdrücken besteht der Gesamtdruck bei T_0 ?

$$p_0 = ??? + ???$$

B) Wie verändert sich der Luftdruck von T_0 zu T_{end} ? *(ideales Gas, konstantes Volumen!)*

$$p'_{\text{Air}} = ??? \cdot p_{\text{Air},0}$$

C) Woraus setzt sich der Gesamtdruck bei T_{end} zusammen?

$$p' = ???$$

Aufgabe zum Sättigungsdampfdruck

$$p_s(20^\circ\text{C}) = 0.023 \text{ bar}$$

Ein geschlossener Kolben gefüllt mit Wasser und Luft wird bei einer Temperatur von $T_0 = 20^\circ\text{C}$ und einem Druck von $p_0 = 1 \text{ bar}$ geschlossen.

Der Kolben wird erhitzt und bei $T_{\text{end}} = 100^\circ\text{C}$ wird schliesslich ein Gesamtdruck von $p_{\text{end}} = 2.29 \text{ bar}$ gemessen.

Wie gross ist der Sättigungsdampfdruck von Wasser bei 100°C ?

A) Aus welchen Partialdrücken besteht der Gesamtdruck bei T_0 ?

$$p_0 = p_{\text{Air},0} + p_s(20^\circ\text{C}) \approx p_{\text{Air},0}$$

B) Wie verändert sich der Luftdruck von T_0 zu T_{end} ? *(ideales Gas, konstantes Volumen!)*

$$p'_{\text{Air}} = \frac{Nk_B T'}{Nk_B T_0} \cdot p_{\text{Air},0} = \frac{T'}{T_0} \cdot p_{\text{Air},0} = \frac{373}{293} \cdot p_{\text{Air},0} = 1.27 \cdot p_{\text{Air},0}$$

C) Woraus setzt sich der Gesamtdruck bei T_{end} zusammen?

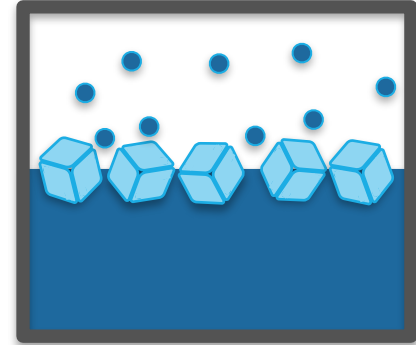
$$p' = p'_{\text{Air}} + p_s(100^\circ\text{C}) \quad p_s(100^\circ\text{C}) = p' - p'_{\text{Air}} \approx 1.0 \text{ bar}$$

Intro - Frage

Ein Volumen wird mit Wasser und kleinen Eiswürfeln gefüllt und verschlossen. Zu Beginn der Beobachtung liegen 2 l Wasser mit einer Temperatur von 10°C vor, sowie 500 g Eis bei 0°C .

Das Gasvolumen beträgt 1 l und ist gesättigt mit Wasserdampf. Welche Aussagen stimmen?

- A) Nach langer Zeit wird die Mischungstemperatur etwa 8°C betragen.
- B) Der Druck im Gasvolumen wird am Ende kleiner sein als am Anfang.
- C) Der gesamte Wasserdampf wird in flüssiges Wasser übergehen.
- D) Im thermischen Gleichgewicht liegen alle drei Phasen vor. Das Wasser hat dann 0°C .



Intro - Frage

$$c_{\text{Schmelz}} = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Ein Volumen wird mit Wasser und kleinen Eiswürfeln gefüllt und verschlossen. Zu Beginn der Beobachtung liegen 2 l Wasser mit einer Temperatur von 10°C vor, sowie 500 g Eis bei 0°C .

Das Gasvolumen beträgt 1 l und ist gesättigt mit Wasserdampf. Welche Aussagen stimmen?

A) Nach langer Zeit wird die Mischungstemperatur etwa 8°C betragen.

 Der Druck im Gasvolumen wird am Ende kleiner sein als am Anfang.

C) Der gesamte Wasserdampf wird in flüssiges Wasser übergehen.

 Im thermischen Gleichgewicht liegen alle drei Phasen vor. Das Wasser hat dann 0°C .

Beim Schmelzvorgang kühlt sich das Wasser hier bis auf 0°C ab!

Auch bei 0°C gibt es einen Dampfdruck über der Flüssigkeit und dem Eis

