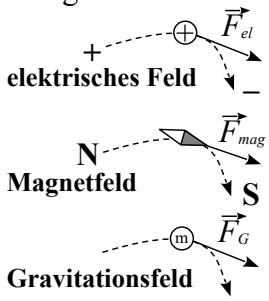
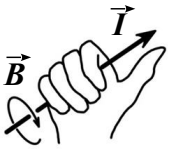
Ph 10 Feldbegriff, Induktion 1

- **Feld:** Besonderer Zustand eines Raumbereichs, in dem auf einen Körper aufgrund seiner Eigenschaften (z. B. Ladung, Magnetismus, Masse) eine Kraft wirkt.

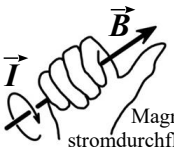


- **<u>Feldlinien</u>** veranschaulichen Felder modellhaft:
  sie **schneiden sich nie** und sind **in Kraftrichtung gerichtet.**
  (Die Kraft auf eine kleine, positive Probeladung / auf den Nordpol eines Probemagneten / eine kleine Probemasse wirkt tangential zur Feldlinie)

- elektrische Ströme $\vec{I}$
  (= bewegte Ladungen)
  erzeugen Magnetfelder $\vec{B}$:



Rechte-Faust-Regel

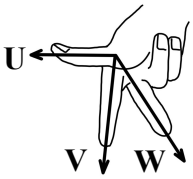


Magnetfeld in einer stromdurchflossenen Spule

- **UVW-Regel**
  (Drei-Finger-Regel):

  Ursache
  Vermittlung
  Wirkung

  rechte Hand



	elektromotorisches Prinzip (erzeugt Bewegung)	**Generatorprinzip** (erzeugt Strom)
U	Stromrichtung	ausgeübte Kraft
V	Magnetfeldrichtung	Magnetfeldrichtung
W	Lorentzkraft	Stromrichtung

(techn.) Stromrichtung = Bewegungsrichtung positiver Ladungen = Gegenrichtung der Elektronenbewegung!

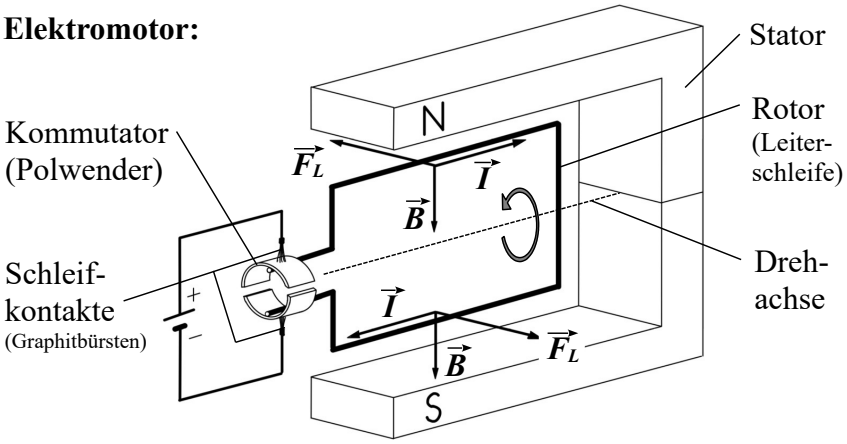
- **Induktion:** Zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Erzeugung einer **Induktionsspannung** U_i **:**
  - Änderung der wirksamen Leiterschleifenfläche (Magnetfeld unverändert)
  - Änderung der Magnetfeldstärke (Leiterschleifenfläche unverändertert)

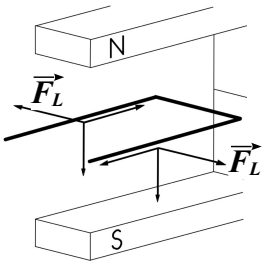
  } **Änderung der Durchsetzung**

  Der Betrag von U_i ist umso größer, je schneller die Änderung erfolgt.

Ph 10 Elektromotor, Generator 2

- **Elektromotor:**





Totpunkt: Umpolen der Stromrichtung durch den Kommutator

- **Funktionsprinzip:** Der Stromfluss in der Leiterschleife verursacht im Magnetfeld des Hufeisenmagneten Lorentzkräfte, diese versetzen den Rotor in Drehung. Kurz vor dem Totpunkt unterbricht der Kommutator den Stromfluss, die Leiterschleife dreht sich aufgrund ihrer Trägheit weiter. Kurz nach dem Totpunkt sorgt der Kommutator für eine Umkehrung des ursprünglichen Stromflusses, die resultierenden Lorentzkräfte treiben den Rotor in der gleichen Drehrichtung weiter an. **Umwandlung von elektr. in mechan. Energie**

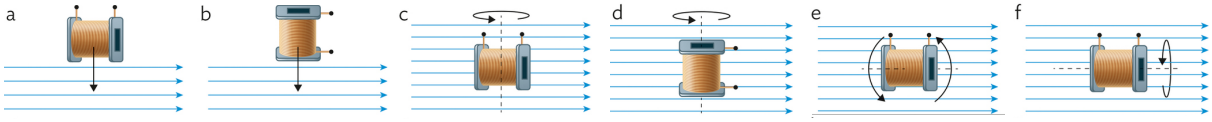
- **Generator:** Schließt man anstelle des Kommutators ein Voltmeter an die Leiterschleife an und versetzt sie mechanisch in eine Drehung um die Drehachse, so zeigt das Voltmeter eine Sinuswechselspannung an. **Umwandlung von mechan. in elektr. Energie**

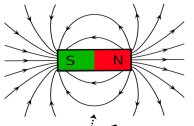
(1) Beschreibe den Verlauf der magnetischen Feldlinien im Inneren einer stromdurchflossenen Spule und in ihrem Außenbereich.

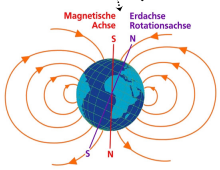
(2) „Feldlinien schneiden sich nicht.“ Begründe diese Aussage, indem Du die Annahme „Feldlinien schneiden sich“ widerlegst.

(3) Die kosmische Strahlung besteht u. a. auch aus Elektronen. Ein Elektron fliegt auf den Äquator der Erde zu. Ermittle, in welche Himmelsrichtung dieses Elektron abgelenkt wird.

(4) Entscheide begründet, in welchen Fällen eine Spannung in der Spule induziert wird:





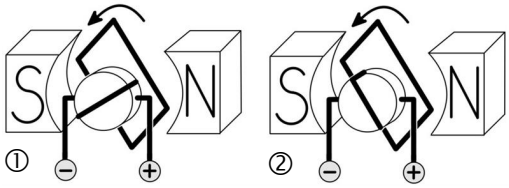


(1) Im Außenbereich einer Spule ist das erzeugte Magnetfeld identisch zum Magnetfeld eines Stabmagneten. Daher werden die Spulenenden oft mit den Namen der Magnetpole des Stabmagneten versehen. Im Inneren der Spule herrscht ein näherungsweise homogenes Magnetfeld, dessen Feldlinien parallel vom „Südpol“ der Spule zum „Nordpol“ der Spule verlaufen.
(2) Annahme: Zwei Feldlinien schneiden sich ⇒ im Schnittpunkt greifen zwei Kräfte an, die tangential zu den beiden Feldlinien verlaufen ⇒ durch Vektoraddition lässt sich eine Ersatzkraft ermitteln ⇒ diese gibt die Kraft an, die auf einen kleinen Probemagneten wirken würde und ist somit tangential zu einer einzigen Feldlinie, die durch den Schnittpunkt verlaufen muss ⇒ Widerspruch zur Annahme
(3) UVW-Regel: Stromrichtung entgegen der Flugrichtung, Magnetfeldrichtung vom geographischen Süd- zum zum geographischen Nordpol (vgl. Bild rechts) ⇒ Lorentzkraft nach Westen
(4) Die vom (konstanten) Magnetfeld durchsetzte Fläche ändert sich bei (a), (c) und (e), in diesen Fällen wird daher eine Spannung induziert. Bei (b), (d) und (f) liegt weder eine Änderung der durchsetzten Fläche noch eine Magnetfeldänderung vor, deshalb entsteht keine Induktionsspannung.

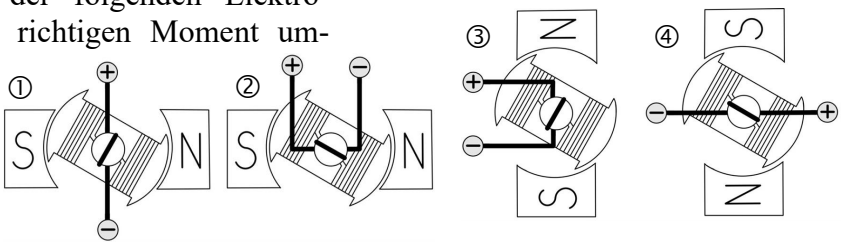
(1) Decke den unteren Teil der Vorderseite ab und erkläre in eigenen Worten das Funktionsprinzip des abgebildeten Elektromotors.

(2) Gib zwei Veränderungen im Vergleich zum gezeigten Versuchsaufbau an, mit denen man die Drehrichtung des Elektromotors umkehren kann.

(3) Entscheide, wie die Leiterschleife im Totpunkt ausgerichtet ist und bei welcher Anordnung der Kommutator im richtigen Moment umpolt:



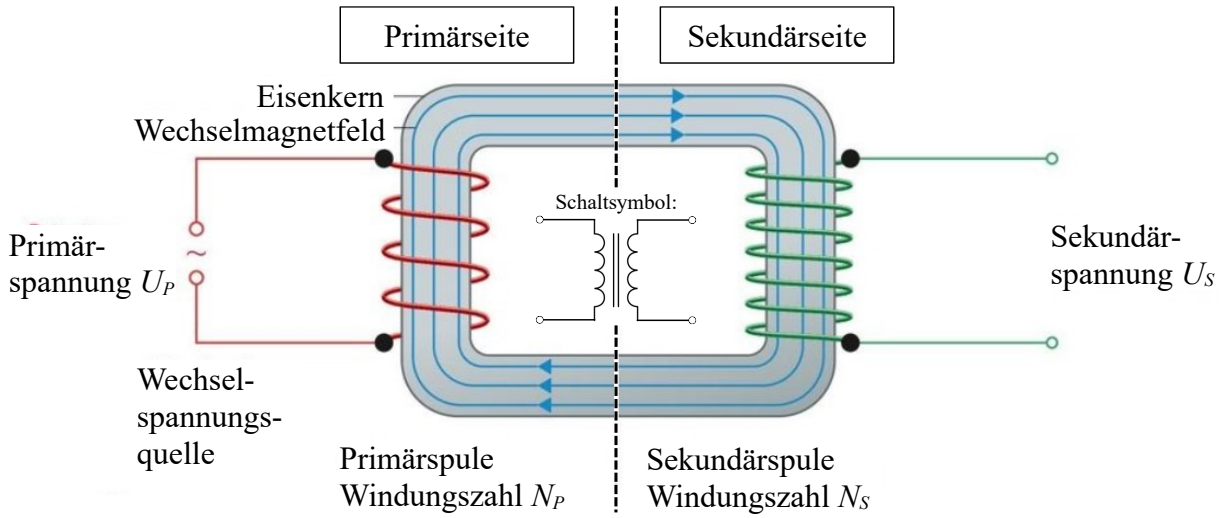
(4) Gib an, bei welchen der folgenden Elektromotoren der Rotor im richtigen Moment umgepolt wird. Ermittle auch die jeweilige augenblickliche Drehrichtung.



(1) vgl. Vorderseite
(2) Man kann entweder die Pole des Hufeisenmagneten vertauschen oder die Stromquelle umpolen.
(Macht man beides, ändert sich die Drehrichtung nicht!)
(3) Im Totpunkt steht die Leiterschleife senkrecht, so dass das von ihr erzeugte Magnetfeld im Magnetfeld des Stators ausgerichtet ist. Bei Anordung ① polt der Kommutator genau im richtigen Moment (= im Totpunkt) um.
(4) Bei ① und ② wird der Rotor im Totpunkt umgepolt, wenn der Doppel-T-Anker waagerecht steht. Bei ③ und ④ müsste der Rotor in der senkrechten Position umgepolt werden. Rechte-Faust-Regel zur Bestimmung der Magnetfeldrichtung in einer Spule: Bei ①, ③ und ④ befindet sich der Südpol des Rotormagnetfeldes links, bei ② ist er rechts (aus der Fließrichtung des Stroms in den Rotorspulen). Bei ① und ③ dreht sich der Anker im Uhrzeigersinn, bei ② und ④ dreht sich der Anker entgegen dem Uhrzeigersinn.

Ph 10 Lenzsche Regel, Transformator 3

- **Energieerhaltung bei der Induktion:** (Lenzsche Regel) Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er seine Ursache hemmt.
- **Transformator:** Aufbau



- **unbelasteter** (= R groß auf der Sekundärseite) **Transformator:** $\boxed{\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}}$
- **idealer** (= verlustfreier) **Transformator:** $\boxed{\frac{I_P}{I_S} = \frac{U_S}{U_P}}$

Ph 10 Impulserhaltung, Newtonsche Gesetze 4

- **(mechanischer) Impuls:** $\boxed{\vec{p} = m \cdot \vec{v}}$ Einheit: $[p] = 1\,\text{Ns} = 1\,\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}$
- **Impulserhaltung:** Der (mechanische) Gesamtimpuls ist in einem abgeschlossenen System zu jedem Zeitpunkt gleich groß: $\vec{p}_{ges,vorher} = \vec{p}_{ges,nachher}$
- **mehrdimensional:** Vektoraddition aller Einzelimpulse
  eindimensional: Addieren der Beträge mit passenden Vorzeichen
- **elastischer Stoß** (gibt es real nicht): kinetische Energie bleibt erhalten
  vollkommen inelastischer Stoß: ein Teil der kinetischen Energie vor dem Stoß wird in innere Energie ΔE_i umgewandelt
- **1. Newtonsches Gesetz (Trägheitssatz):** Wirkt auf einen Körper keine resultierende Kraft, dann behält er seine Geschwindigkeit bei.

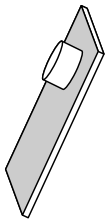
  2. Newtonsches Gesetz (Kraftgesetz): $F = m \cdot a$

  3. Newtonsches Gesetz (Wechselwirkungsgesetz): [zwei Körper, zwei Kräfte]
  Übt Körper A auf Körper B eine Kraft aus, so übt gleichzeitig auch Körper B auf Körper A eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft aus: $-\vec{F}_{A\to B} = \vec{F}_{B\to A}$

  Spezialfall des Kräftegleichgewichts: auf einen Körper wirken zwei entgegengesetzt gerichtete Kräfte

Ph 10 Lenzsche Regel, Transformator – Aufgaben 3

(1) Ein Scheibenmagnet wird auf schräg stehende Platten aus unterschiedlichen Materialien gelegt. Nenne und erkläre jeweils das Ergebnis des Versuchs, wenn die Platte aus (a) Kupfer, (b) Eisen (c) Aluminium oder (d) Plastik besteht.



(2)

Zwei Aluringe befinden sich an den Enden eines drehbar gelagerten Arms. Der linke Ring ist unterbrochen, der rechte nicht.

(a) Man nähert dem rechten Ring den Nordpol eines Stabmagneten.

(b) Man nähert dem linken Ring den Südpol eines Stabmagneten.

Erläutere und erkläre jeweils das Versuchsergebnis mit einer Kausalkette.

(3) Erkläre mit Hilfe einer Kausalkette, wie mit einem Transformator Spannung übertragen wird.

(4) In der kabellosen Ladestation eines Smartphones fließt durch 20 Windungen ein Strom von 1,25 A. Die Ausgangsleistung auf der Sekundärseite soll 15 W bei einer Spannung von 5,0 V sein. Ermittle die Windungszahl der Spule, die im Smartphone eingebaut sein muss.

(1) (a), (c) Der Magnet rutscht nach unten, infolge des sich ändernden Magnetfeldes entstehen Wirbelströme in der Platte, die die Abwärtsbewegung hemmen (ein Teil der kinetischen Energie der Abwärtsbewegung wird in elektrische Energie umgewandelt).
(b) Der Magnet haftet an der ferromagnetischen Eisenplatte. (c) Der Magnet rutscht ungebremst nach unten.

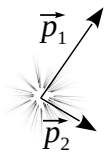
(2) (a) Der Magnet wird in den geschlossenen Ring getaucht. ⇒ Das Magnetfeld im Ring ändert sich. ⇒ Es wird ein Strom im Ring induziert, der seine Ursache hemmt. ⇒ Im Ring entsteht ein Magnetfeld, das dem des Stabmagneten entgegengerichtet ist. ⇒ Der Ring dreht sich vom Magneten weg. (Welchen Pol des Stabmagneten man dem Ring nähert, ist unerheblich.)
(b) Im unterbrochenen Ring kann kein Ringstrom fließen. Die Kausalkette aus (a) reißt beim dritten Schritt ab.

(3) An die Primärspule wird Wechselspannung angelegt, deshalb fließt in ihr Wechselstrom. Dieser erzeugt ein sich ständig änderndes Magnetfeld („Wechselmagnetfeld"). Der Eisenkern verstärkt das Magnetfeld und verlängert es in die Sekundärspule hinein. Zwischen den Enden der Sekundärspule entsteht durch das Wechselmagnetfeld eine Induktionsspannung U_S, auch diese ist eine Wechselspannung.

(4) $P_S = U_S \cdot I_S \;\Leftrightarrow\; I_S = P_S : U_S = 15\,\text{W} : 5{,}0\,\text{V} = 3{,}0\,\text{A}$; $\frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S} \;\Leftrightarrow\; N_S = \frac{I_P \cdot N_P}{I_S} = \frac{1{,}25\,\text{A} \cdot 20}{3{,}0\,\text{A}} = 8{,}333... \approx 8$ Windungen

Ph 10 Impulserhaltung, Newtonsche Gesetze – Aufgaben 4

(1) Ein Feuerwerkskörper zerplatzt in zwei Teile gleicher Masse mit den Impulsen $\vec{p_1}$ und $\vec{p_2}$, die sich voneinander entfernen (vgl. Skizze rechts).



(a) Begründe, dass die Impulse trotz gleicher Masse unterschiedlich groß sein können.

(b) Bestimme die ursprüngliche Bewegungsrichtung des Feuerwerkskörpers.

(2) Tara ($m_T = 60\,\text{kg}$) springt mit Anlauf auf einen stehenden Schlitten ($m_S = 12\,\text{kg}$). Beide bewegen sich anschließend mit $v_{TS} = 2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

(a) Berechne die Geschwindigkeit von Tara, mit der sie auf dem Schlitten gelandet ist.

(b) Weise nach, dass die kinetische Energie bei diesem Vorgang nicht erhalten bleibt.

(c) Gib die Art des Stoßprozesses an.

(3) Ein Jeanshersteller wirbt mit nebenstehendem Logo. Erläutere, ob es einen Unterschied macht, wenn zwei Pferde ziehen oder wenn nur das rechte Pferd zieht und die Hose links an einem Pfosten befestigt ist.

(1) (a) Die Massen sind zwar gleich groß, aber wegen $p = m \cdot v$ können die Impulse bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten trotzdem verschieden sein. (b) vgl. Skizze der Vektoraddition rechts

(2) (a) Impulserhaltung: $p_T + p_S = p_{TS}$ mit $p_S = 0$ wegen $v_S = 0 \;\Leftrightarrow\; m_T \cdot v_T = (m_T + m_S) \cdot v_{TS} \;\Leftrightarrow$
$v_T = [(m_T + m_S) \cdot v_{TS}] : m_T = [(60\,\text{kg} + 12\,\text{kg}) \cdot 2{,}5\,\text{ms}^{-1}] : 60\,\text{kg} = 3{,}0\,\text{ms}^{-1}$

(b) $E_{kin,v} = \frac{1}{2} \cdot m_T \cdot v_T^2 + \frac{1}{2} \cdot m_S \cdot v_S^2 = \frac{1}{2} \cdot 60\,\text{kg} \cdot (3\,\text{ms}^{-1})^2 + 0 = 270\,\text{J} = 0{,}27\,\text{kJ}$
$E_{kin,n} = \frac{1}{2} \cdot (m_T + m_S) \cdot v_{TS}^2 = \frac{1}{2} \cdot 72\,\text{kg} \cdot (2{,}5\,\text{ms}^{-1})^2 = 225\,\text{J} = 0{,}26\,\text{kJ}$

(c) vollkommen inelastischer Stoß, ein Teil der E_{kin} wird in innere Energie umgewandelt

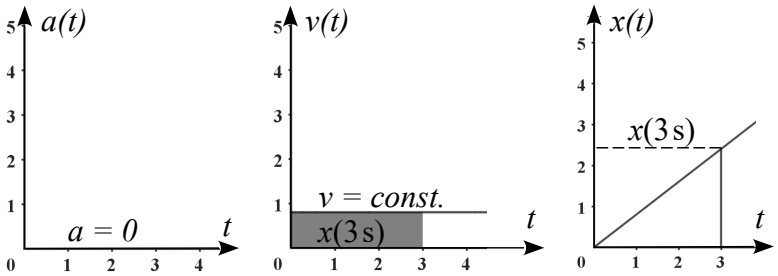
(3) <u>Zwei Pferde:</u> Kräftegleichgewicht (zwei Kräfte wirken gegengleich auf eine Hose); <u>Pferd und Pfosten:</u> Wechselwirkungsgesetz (das Pferd übt auf Hose und Pfosten eine Kraft aus, der Pfosten übt daher eine gleich große entgegengesetzt gerichtete Kraft auf Hose und Pferd aus. Die auf die Hose wirkenden Kräfte unterscheiden sich in beiden Fällen nicht, die Hose befindet sich beide Male im Kräftegleichgewicht.

- Bewegung mit **konstanter Geschwindigkeit v ≠ 0 :**

$$x(t) = v \cdot t + x_0$$

$$v(t) = v = const.$$

$$a(t) = 0 \; (= const.)$$

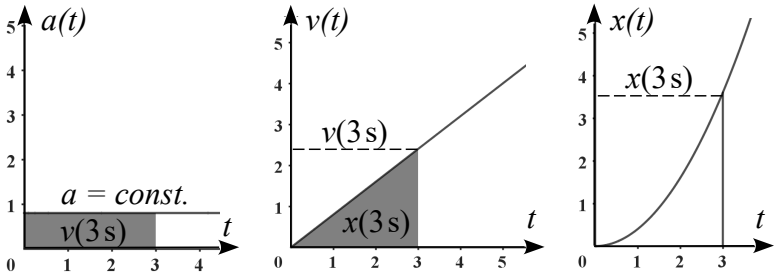


- Bewegung mit **konstanter Beschleunigung $a \neq 0$:**

$$x(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$$

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

$$a(t) = a = const.$$



- **freier Fall:**
  „frei“ ≙ Die **einzige auf einen Körper wirkende Kraft** (oft wird näherungsweise die [Luft-] Reibung vernachlässigt) ist die **Gewichtskraft.**
  „Fall“ ≙ Die Bewegung verläuft nach unten (⇒ Minuszeichen).

$$x(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v(t) = -g \cdot t$$

$$a(t) = -g = -9{,}81 \tfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

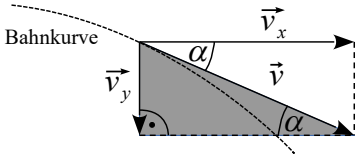
- **waagrechter Wurf:**
  Die Bewegung lässt sich in eine *x*-Komponente und eine *y*-Komponente aufteilen, die unabhängig voneinander sind.
  - **x-Komponente: Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit**

$$x(t) = v_0 \cdot t + x_0 \qquad v_x(t) = v_0 \qquad a_x = 0$$

  - **y-Komponente: Bewegung mit konstanter Beschleunigung *g* (= freier Fall)**

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \qquad v_y(t) = -g \cdot t \qquad a_y = -g = -9{,}81 \tfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Mithilfe der Geschwindigkeitskomponenten lassen sich **Winkelbestimmungen** vornehmen:



$$v^2 = v_x^2 + v_y^2$$

$$\sin\alpha = \frac{v_y}{v} \qquad \cos\alpha = \frac{v_x}{v} \qquad \tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

Der Geschwindigkeitsvektor verläuft immer tangential zur Bahnkurve.

Ph 10 Bewegungsfunktionen, Diagramme – Aufgaben 5

(1) Ein Jet mit einer Masse von 320 t rollt mit einer Geschwindigkeit von $18\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf die Startbahn und beschleunigt dann geradlinig und konstant auf die Geschwindigkeit $324\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$, bei der er 50 s nach Beginn des Startvorgangs abhebt.

(a) Berechne die Strecke, die das Flugzeug bis zum Abheben zurücklegt.

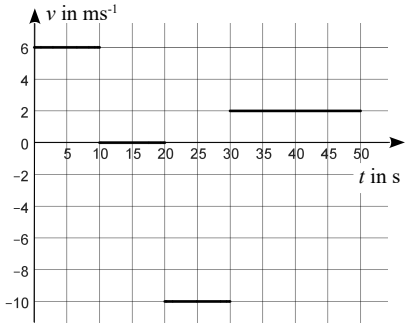
(b) Bestimme den Betrag der resultierenden Kraft, die beim Start auf den Jet wirken muss.

(c) Ermittle die Zeit, in der das Flugzeug bei einer Reisegeschwindigkeit von $900\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ die Strecke von 1 km zurücklegt.

(2) (a) Beschreibe die im nebenstehenden *t*-*v*-Diagramm dargestellte Bewegung.

(b) Ermittle aus diesem Diagramm, welche Strecke im Zeitraum zwischen 0 s und 40 s zurückgelegt wurde.

(c) Zeichne ein passendes *t*-*x*-Diagramm.



(1) (a) $v = a \cdot t + v_0 \quad \Leftrightarrow \quad a = (v - v_0) : t = (306 : 3{,}6)\,\text{ms}^{-1} : 50\,\text{s} = 1{,}7\,\text{ms}^{-2}$;

$x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t = \frac{1}{2} \cdot 1{,}7\,\text{ms}^{-2} \cdot (50\,\text{s})^2 + (18 : 3{,}6)\,\text{ms}^{-1} \cdot 50\,\text{s} = 2375\,\text{m} \approx 2{,}4\,\text{km}$

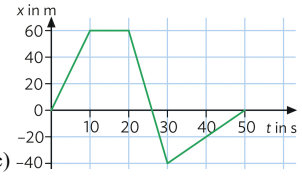
(b) $F = m \cdot a = 320 \cdot 10^3\,\text{kg} \cdot 1{,}7\,\text{ms}^{-2} = 544000\,\text{N} \approx 0{,}54\,\text{MN}$

(c) $x = v \cdot t \quad \Leftrightarrow \quad t = x : v = 1000\,\text{m} : [(900 : 3{,}6)\,\text{ms}^{-1}] = 4\,\text{s}$

(2) (a) Der Körper bewegt sich 10 s lang mit einer konstanten Geschwindigkeit von $6\,\text{ms}^{-1}$ vorwärts, steht dann für 10 s still, bevor er sich 10 s lang mit $10\,\text{ms}^{-1}$ rückwärts bewegt. Direkt im Anschluss daran bewegt er sich 20 s lang mit $2\,\text{ms}^{-1}$ vorwärts.

(b) Flächen unter der *t*-*v*-Kurve $\Rightarrow$ Der Körper bewegt sich 20 m rückwärts.

(c)



Ph 10 freier Fall, waagrechter Wurf – Aufgaben 6

(1) Das nebenstehende *t*-*v*-Diagramm stellt den freien Fall eines Gegenstandes von der Spitze des Hamburger Elbtowers näherungsweise dar $\left(\text{mit } g \approx 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$.

(a) Bestimme die Höhe dieses Hochhauses.

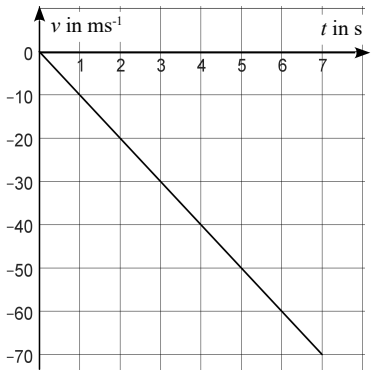
(b) Zeichne ein passendes *t*-*x*-Diagramm.

Man wirft einen Baseball mit einer Geschwindigkeit von $40\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ waagrecht von der Spitze ab.

(c) Berechne die horizontale Entfernung, in der der Ball auf dem Boden auftrifft.

(d) Ermittle den Winkel, unter dem der Ball aus (c) auf dem Boden auftrifft.

(e) Bestimme den Prozentsatz, um den die Bahngeschwindigkeit vom Abwurf bis zum Auftreffen ansteigt.



(2) Eine Kugel wird waagrecht abgeschossen. Gib an, wie sich die Wurfweite ändert, wenn …

(a) … man bei gleicher Abschusshöhe die Abschussgeschwindigkeit verdoppelt.

(b) … man bei gleicher Abschussgeschwindigkeit die Abschusshöhe verdoppelt.

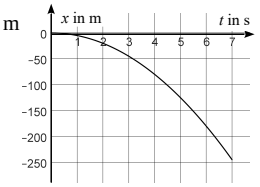
(1) (a) $x = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = -5\,\text{ms}^{-2} \cdot (7\,\text{s})^2 = -245\,\text{m}$ oder Fläche unter der Kurve: $x = \frac{1}{2} \cdot 7\,\text{s} \cdot 70\,\text{ms}^{-1} = 245\,\text{m}$

(b) vgl. rechts (c) $x = v_0 \cdot t = 40\,\text{ms}^{-1} \cdot 7\,\text{s} = 280\,\text{m}$

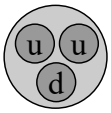
(d) $\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{70\,\text{ms}^{-1}}{40\,\text{ms}^{-1}} \quad \Leftrightarrow \quad \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{70}{40}\right) = 60{,}255\ldots° \approx 60°$

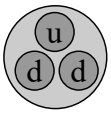
(e) $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(40\,\text{ms}^{-1})^2 + (70\,\text{ms}^{-1})^2} = 80{,}62\ldots\,\text{ms}^{-1} \approx 81\,\text{ms}^{-1} \quad \Leftrightarrow$ Anstieg um etwa 102%

(2) (a) Die Wurfweite verdoppelt sich. (b) Die Wurfweite vergrößert sich um den Faktor $\sqrt{2}$



Ph 10 Kernaufbau, Radioaktivität 7

- Ein **Atomkern** ${}^{A}_{Z}\mathit{Element}$ ist aus $\boldsymbol{Z}$ **Protonen** und $N = A - Z$ **Neutronen** aufgebaut.
- innere Struktur: Proton: (nur ein „d“) 

Neutron: (nur ein „u“) 

u: Up-Quark
d: Down-Quark
- **Radioaktive Strahlung** kann über ihre
  - **ionisierende Wirkung** (Geiger-Müller-Zählrohr, Nebelkammer) oder die
  - **Schwärzung von Photopapier** (Filmdosimeter) nachgewiesen werden.

- **Eigenschaften** der drei Strahlungsarten:

Strahlenart	$\boldsymbol{\alpha}$	$\boldsymbol{\beta}$	$\boldsymbol{\gamma}$
Abschirmung durch ...	Papier	wenige mm dicke Metallfolie	dicken Bleiblock (nur Schwächung)
Reichweite	wenige cm	wenige m	unbegrenzt
	Helium-Kerne (Ladung $+2e$)	**Elektronen (Ladung $-1e$)**	**Photonen**
Geschwindigkeit	5% – 10% von c	95% von c	$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
Ablenkung im $\vec{B}$ - / $\vec{E}$ -Feld	schwach	stark	keine

- **Radioaktiver Zerfall ist statistisch,** für einzelne Kerne kann nicht vorhergesagt werden, wann sie zerfallen.

Ph 10 Massendefekt, Zerfallsgesetz 8

- **Generische** (= allgemeine) **Zerfallsgleichungen:**

$\overline{\nu}_e$: Elektron-Antineutrino

$\boldsymbol{\alpha}$: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y^{2-} + {}^{4}_{2}He^{2+}$ $\qquad$ $\boldsymbol{\beta}$: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y^{+} + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_e$ $\qquad$ $\boldsymbol{\gamma}$: $X^{*} \rightarrow X + \gamma$

- Die **Reaktionsenergie (der Q-Wert)** einer Kernreaktion lässt sich aus dem **Massendefekt** $\boldsymbol{\Delta m = m_{Edukte} - m_{Produkte} > 0}$ **berechnen:**

$$\boxed{Q = \Delta E = \Delta m \cdot c^2}$$

$Q_\alpha = [m_X - m_Y - m_{He}] \cdot c^2$ $\qquad$ $Q_\beta = [m_X - m_Y] \cdot c^2$ $\qquad$ $Q > 0 \Leftrightarrow$ exoenergetisch

- **Atomare Masseneinheit 1 u:** Ein Zwölftel der Masse des Kohlenstoffisotops ${}^{12}_{6}C$.
  $1\,\mathrm{u} = 1{,}660539 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
- Umrechnung:

$$\mathbf{1\,u \cdot c^2} = 1{,}660539 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg} \cdot \left(2{,}997925 \cdot 10^{8}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 \approx 1{,}492418 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{J} =$$
$$= \frac{1{,}492418 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{J}}{1{,}602177 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}} \cdot e = \frac{1{,}492418 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{VAs}}{1{,}602177 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{As}} \cdot e \approx \mathbf{931{,}49 \cdot 10^{6}\,eV}$$

- In einer **Halbwertszeit** $\boldsymbol{T_H}$ wandelt sich jeweils die Hälfte der noch vorhandenen instabilen (radioaktiven) Atomkerne um (von einer genügend großen Anzahl von Kernen!).
- Für eine <u>genügend große Anzahl</u> an Kernen wird der radioaktive Zerfall trotz seiner statistischen Natur durch das exponentielle **Zerfallsgesetz** beschrieben:

$$\boxed{N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_H}}}$$

$N(t)$: Anzahl der nach der Zeit t noch vorhandene Atomkerne
N_0: Anzahl der anfänglich vorhandenen Atomkerne

- Das Zerfallsgesetz gilt entsprechend mit Massen statt der Anzahlen:

$$\boxed{m(t) = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_H}}}$$

Ph 10 Kernaufbau, Radioaktivität – Aufgaben 7

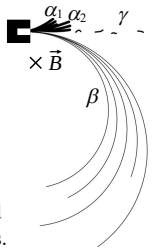
(1) (a) Ein radioaktiver Gesteinsbrocken in einer Nebelkammer sendet α-, β- und γ-Strahlung aus. Die Strahlung tritt senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes Magnetfeld. Skizziere den Strahlenverlauf in einer geeigneten Zeichnung qualitativ.

(b) Beschreibe das Vorgehen, wenn man nur die γ-Strahlung des Mischstrahlers in eine Versuchsanordnung gelangen lassen möchte.

(2) Die Strahlung eines unbekannten radioaktiven Präparates gelangt in ein etwa 4 cm entferntes Geiger-Müller-Zählrohr und verursacht dort eine relativ hohe Zählrate Z_0. Bringt man zwischen Präparat und Zählrohr eine Bleiplatte, geht die Zählrate stark zurück auf Z_1, liegt aber noch über der Nullrate; ersetzt man die Bleiplatte durch ein Blatt Papier, so sinkt die Zählrate von Z_0 auf $Z_2 < Z_1$, ein nicht allzu starkes Magnetfeld senkrecht zur Strahlungsrichtung beeinflusst die Zählrate praktisch nicht. Triff auf der Grundlage dieser Versuche eine begründete Aussage über die Strahlungsarten, die das Präparat aussendet.

(3) Gib die Elementarteilchen an, aus denen ein ${}^{71}_{32}Ge$ -Atom besteht.

(1) (a) α-Teilchen besitzen ein hohes Ionisationsvermögen bei kurzer Reichweite $\Rightarrow$ dicke, kurze Spuren
Aufgrund der großen Masse werden α-Teilchen im Magnetfeld nur schwach abgelenkt.
Die Energie aller α-Teilchen eines Zerfalls ist gleich groß (diskret), weshalb die Spuren gleich lang sind.
β-Teilchen sind im Magnetfeld stärker ablenkbar und besitzen nur eine schwache ionisierende Wirkung, deshalb sind die Nebelspuren dünner und länger. Es gibt bei einem Zerfall β-Teilchen mit unterschiedlichsten Energien, deshalb sind die Spuren unterschiedlich lang. Da γ-Teilchen nur ein geringes Ionisationsvermögen besitzen, erzeugen sie praktisch keine Spuren: Nur einzelne Sekundärprozesse können nachgewiesen werden.



(b) Man bringt eine dünne Aluminiumplatte zischen den Mischstrahler und die Versuchsanordnung.

(2) Blei vermindert die Zählrate, deshalb wird γ-Strahlung ausgesandt. Da Papier die Zählrate ebenfalls erniedrigt, wird auch α-Strahlung ausgesandt. Die unveränderte Zählrate bei einem schwachen Magnetfeld schließt β-Strahlung aus.

(3) ${}^{71}_{32}Ge$ besteht aus 32 Protonen und Elektronen und 71 – 32 = 39 Neutronen bzw. 32 Elektronen, 110 d-Quarks und 103 u-Quarks.

Ph 10 Massendefekt, Zerfallsgesetz – Aufgaben 8

Recherchiere bei allen Aufgaben die notwendigen Atommassen!

(1) Stelle jeweils die Reaktionsgleichung auf und berechne jeweils die Reaktionsenergie in eV.

(a) α-Zerfall von Ra-226 (b) β-Zerfall von Re-187

(2) Auch bei Kernreaktionen, die keinen radioaktiven Zerfall darstellen, kann die Reaktionsenergie über den Massendefekt berechnet werden: Ermittle den Q-Wert in eV für den Beschuss von N-14 mit α-Teilchen, bei dem einfach positiv geladenes O-17 entsteht. Stelle zunächst die Reaktionsgleichung auf.

(3) **<u>Radiokarbonmethode:</u>** Bei lebenden Organismen ist das Verhältnis von radioaktivem ${}^{14}_{6}C$ zu ${}^{12}_{6}C$ konstant 10^{-12}. Stirbt der Organismus, beginnt das zum Todeszeitpunkt vorhandene ${}^{14}_{6}C$ mit einer Halbwertszeit von $T_H = 5730\,\text{a}$ zu zerfallen und man kann das Alter bestimmen. Berechne das Alter einer (organischen) Probe, in der das Verhältnis C-14 zu C-12 den Wert $12{,}5 \cdot 10^{-14}$ besitzt.

(1) (a) ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn^{2-} + {}^{4}_{2}He^{2+}$; $Q_\alpha = [m_{Ra} - m_{Rn} - m_{He}] \cdot c^2 = [226{,}025410 - 222{,}017578 - 4{,}002603]\,\text{u} \cdot c^2 = 5{,}229 \cdot 10^{-3}\,\text{u}\,c^2$

$\Rightarrow \quad Q_\alpha = 5{,}229 \cdot 10^{-3} \cdot 931{,}49 \cdot 10^6\,\text{eV} = 4{,}87076\ldots \cdot 10^6\,\text{eV} \approx 4{,}87\,\text{MeV}$

(b) ${}^{187}_{75}Re \rightarrow {}^{187}_{76}Os^{+} + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_e$; $Q_\beta = [m_{Re} - m_{Os}] \cdot c^2 = [186{,}955753 - 186{,}955751]\,\text{u} \cdot c^2 = 2 \cdot 10^{-6}\,\text{u}\,c^2$

$\Rightarrow \quad Q_\beta = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 931{,}49 \cdot 10^6\,\text{eV} = 1{,}862\ldots \cdot 10^3\,\text{eV} \approx 1{,}86\,\text{keV}$

(2) ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He^{2+} \rightarrow {}^{17}_{8}O^{+} + {}^{1}_{1}H^{+}$; $Q = \left[m_N + m_{He} - 2 \cdot m_e - (m_O - m_e + m_H - m_e)\right] \cdot c^2 = [m_N + m_{He} - m_O - m_H] \cdot c^2$

$\Rightarrow \quad Q = [14{,}003074 + 4{,}002603 - 16{,}999132 - 1{,}007825]\,\text{u} \cdot c^2 = -1{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 931{,}49 \cdot 10^6\,\text{eV} = -1{,}192\ldots \cdot 10^6\,\text{eV} \approx -1{,}19\,\text{MeV}$

Die Kernreaktion ist endoenergetisch, d. h. es muss Energie zugeführt werden, damit die Reaktion stattfindet.

(3) $m_{C14}(t) = m_{C14(orig.)} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_H}} \Leftrightarrow \frac{m_{C14}(t)}{m_{C12}} = \frac{m_{C14(orig.)}}{m_{C12}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_H}} \Leftrightarrow \frac{12{,}5 \cdot 10^{-14}}{10^{-12}} = \left(\frac{1}{8}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_H}} \Leftrightarrow 3 = \frac{t}{T_H} \Leftrightarrow t = 3 \cdot 5730\,\text{a} = 17190\,\text{a}$