

Grundwissenskatalog Physik Jahrgangsstufe 10

Elektromagnetismus

Das magnetische Feld

Ein magnetisches Feld ist der Zustand des Raumes um Magnete, durch den auf andere Magnete oder Stoffe mit magnetischen Eigenschaften Kräfte ausgeübt werden. Magnetische Felder veranschaulicht man mithilfe von Feldlinien (FL). Ein Feldlinienbild ist ein Modell des real existierenden magnetischen Feldes. Es lässt sich mit Kompassnadeln oder Eisenfeilspänen veranschaulichen. Eine Kompassnadel richtet sich an jeder Stelle des Magnetfeldes tangential zur magnetischen Feldlinie aus.

Eigenschaften von magnetischen FL:

1. Magnetische Feldlinien verlaufen außerhalb eines Magneten stets vom Nordpol zum Südpol.
2. Magnetische Feldlinien sind stets geschlossene Linien (bei Permanentmagneten erfolgt der „Schluss“ innerhalb des Magneten).

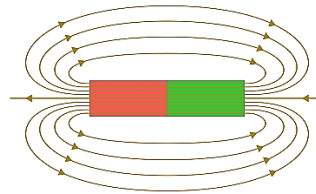


Abbildung 1: Geschlossene Feldlinie beim Stabmagneten; entnommen aus: <https://www.grund-wissen.de/physik/elektrizitaet-und-magnetismus/magnetismus.html>

3. Magnetfeldlinien schneiden sich nicht.
4. Die „Dichte“ der Feldlinien ist ein Maß für die Stärke des Feldes.

Stromdurchflossene Leiter

Stromdurchflossene Leiter besitzen ein Magnetfeld. Bei einem geraden Leiter bilden die Magnetfeldlinien konzentrische Kreise, die in Ebenen senkrecht zum Draht liegen. Mit der **Rechten-Faust-Regel** lässt sich die Richtung der Feldlinien bestimmen:

Hält man den Daumen der rechten Hand so, dass er in Stromrichtung zeigt, und umfasst man in Gedanken mit den restlichen Fingern den Leiter, so geben die Fingerspitzen die Orientierung des Magnetfeldes an.

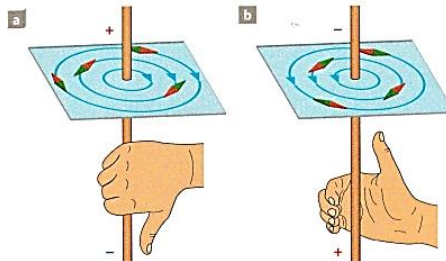


Abbildung 2: Magnetfeldlinien um einen geraden, stromdurchflossenen Leiter; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Magnetfeld einer langgestreckten Spule

Das Magnetfeld im Innenraum einer langgestreckten Spule ist annähernd homogen (die FL verlaufen parallel und im selben Abstand zueinander). Homogene Magnetfelder sind an jedem Ort gleich stark und gleich gerichtet:

Mit der **Rechten-Faust-Regel für Spulen** lässt sich der Nordpol einer Spule ermitteln:

Liegen die Finger der rechten Hand so auf der Spule, dass die Fingerspitzen in Stromrichtung zeigen, dann zeigt der Daumen zum Nordpol der Spule.

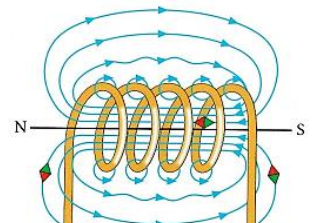


Abbildung 3: Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

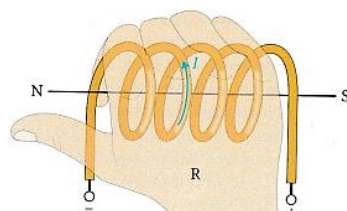


Abbildung 4: Rechte-Faust-Regel für Spulen; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik

Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld

Auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkt in einem Magnetfeld immer dann eine Kraft, wenn die Stromrichtung und die Magnetfeldrichtung nicht parallel zueinander verlaufen. Die Kraft ist am größten, wenn die beiden Richtungen im rechten Winkel zueinander stehen.

Für den Fall, dass die Stromrichtung genau senkrecht zur Magnetfeldrichtung verläuft, lässt sich die Richtung der Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter mit der **Drei-Finger-Regel der rechten Hand** bestimmen (siehe Abb.).

Lorentzkraft

Auf ein elektrisch geladenes Teilchen, das sich in einem Magnetfeld bewegt, die Bewegungsrichtung aber nicht parallel zu den Feldlinien ist, wirkt eine Kraft, die sogenannte Lorentzkraft.

Ihr Betrag ist bei gleicher Geschwindigkeit maximal, wenn die Bewegung des Teilchens senkrecht zur Magnetfeldrichtung erfolgt.

Die Richtung der Lorentzkraft lässt sich mit der **Drei-Finger-Regel der rechten Hand** bestimmen. Achtung: Der Daumen wird bei positiv geladenen Teilchen in Bewegungsrichtung gehalten, bei negativ geladenen Teilchen entgegen der Bewegungsrichtung.

Elektromagnetische Induktion

Induktionsgesetz: In einer Spule wird eine Spannung induziert, wenn sich das von der Spule umfasste Magnetfeld zeitlich ändert.

Hält man die anderen Einflussgrößen konstant, so ist der Betrag der Induktionsspannung dabei umso größer,

- je größer die Windungszahl der Spule ist;
- je schneller die Änderung des Magnetfeldes geschieht.

Regel von Lenz: Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt.

Der Transformator

Aufbau:

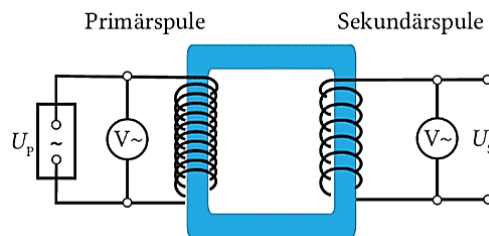


Abbildung 6: Transformator; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Beim idealen, schwach belasteten Transformator ist das Verhältnis der Sekundärspannung zur Primärspannung gleich dem Verhältnis der entsprechenden Windungszahlen:

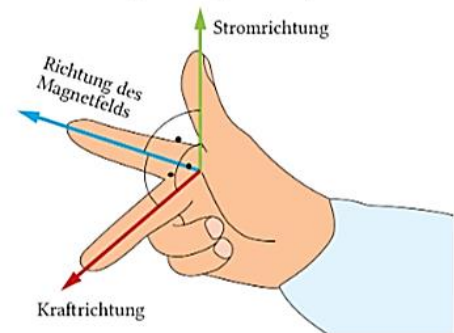
$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Beim idealen, schwach belasteten Transformator ist das Verhältnis der Stromstärken gleich dem umgekehrten Verhältnis der entsprechenden Windungszahlen:

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$

Drei-Finger-Regel der rechten Hand:

Verlaufen Stromrichtung und Magnetfeldrichtung im rechten Winkel zueinander, so ergibt sich die Krafrichtung nach folgender Regel:



Daumen:

Stromrichtung („von Plus nach Minus“)

Zeigefinger:

Magnetfeldrichtung („von Nord nach Süd“)

Mittelfinger:

Krafrichtung

Die drei Finger der rechten Hand bilden dabei paarweise jeweils einen rechten Winkel.

Abbildung 5: Drei-Finger-Regel der rechten Hand; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Impulserhaltung

Der Impuls

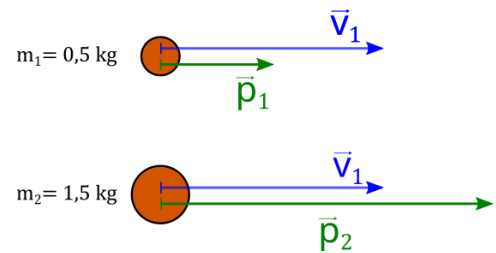
Der Impuls \vec{p} ist eine vektorielle Größe. Der Impuls eines Körpers ist dem Betrag nach festgelegt als Produkt aus der Masse m und dem Geschwindigkeitsbetrag v eines Körpers:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad \text{die Einheit ist } [p] = 1Ns = 1kg \cdot \frac{m}{s}$$

Impulspfeile und dazugehörige Geschwindigkeitspfeile zeigen stets in die gleiche Richtung (vgl. Abb.)

Geschwindigkeitspfeile: 1 cm $\hat{=}$ 1 m/s

Impulspfeile: 1 cm $\hat{=}$ 1 Ns



Der Impulserhaltungssatz

In einem System von Körpern, auf das keine Kräfte von außen, sondern nur Kräfte zwischen den Körpern wirken, also einem „abgeschlossenem System“, bleibt der Gesamtimpuls erhalten. Der Gesamtimpuls \vec{p}_{ges} ist die **vektorielle Summe** der Einzelimpulse aller Körper des Systems:

$$\vec{p}_{1,A} + \vec{p}_{2,A} = \vec{p}_{1,E} + \vec{p}_{2,E}$$

$\vec{p}_{1,A}, \vec{p}_{2,A}$: Impulspfeile vor der Wechselwirkung

$\vec{p}_{1,E}, \vec{p}_{2,E}$: Impulspfeile nach der Wechselwirkung

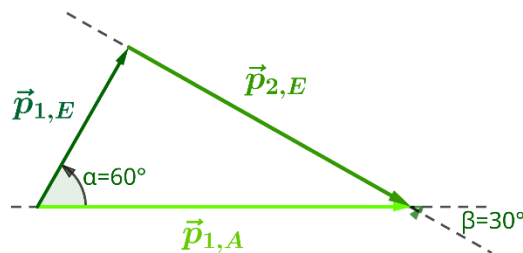


Abbildung 7: Vektoraddition für den Spezialfall $p_{2,A} = 0$

Achtung: Bei der Bewegung eines Körpers muss der Geschwindigkeitspfeil \vec{v} und der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$ unterschieden werden.

Genauso verhält es sich auch beim Impuls:

Der Impulspfeil \vec{p} zeigt in dieselbe Richtung wie der Geschwindigkeitspfeil \vec{v} des Körpers. Wirkt eine Kraft \vec{F} auf den Körper ein, so kommt es zu einer Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$ des Körpers und damit auch zu einer Impulsänderung $\Delta\vec{p}$. Der Pfeil der Impulsänderung $\Delta\vec{p}$ zeigt dabei in dieselbe Richtung wie $\Delta\vec{v}$ und somit die gleiche Richtung wie der Kraftpfeil \vec{F} .

Wechselwirkungsprinzip versus Kräftegleichgewicht

Wechselwirkungsprinzip (Abb. oben): Wenn ein Körper 1 auf einen Körper 2 eine Kraft $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ ausübt, so übt gleichzeitig der Körper 2 auf den Körper 1 eine betragsmäßig gleich große aber entgegengesetzt gerichtete Kraft $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ aus. Die beiden Kräfte greifen dabei an unterschiedlichen Körpern an.

Greifen an ein und demselben Körper (nur) zwei Kräfte mit gleichem Betrag aber entgegengesetzter Richtung an, so befindet sich der Körper in einem Kräftegleichgewicht und bewegt sich nach dem Trägheitssatz so weiter, als würden keine Kräfte auf ihn wirken (Abb. unten).

Vollkommen elastischer Stoß

Bleibt bei einem Stoßvorgang neben dem Impuls auch die kinetische Gesamtenergie des Systems erhalten, so spricht man von einem vollkommen elastischen Stoß.

Vollkommen inelastischer Stoß

Bewegen sich nach dem Stoß die beiden Körper mit gleicher Geschwindigkeit in die gleiche Richtung, so spricht man von einem vollkommen inelastischen Stoß. Hier ist die kinetische Energie keine Erhaltungsgröße.

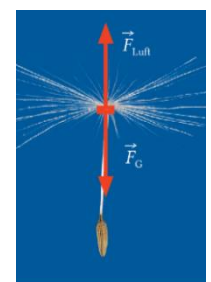
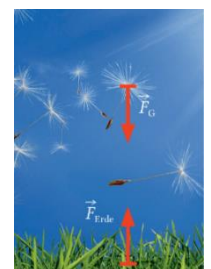


Abbildung 8: oberes Bild: Wechselwirkungsprinzip; unteres Bild: Kräftegleichgewicht; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Bewegungen modellieren

Zeit-Ort-Diagramm (t-x-Diagramm)

In einem t-x-Diagramm wird eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit durch Geradenstücke dargestellt. Die Geschwindigkeit der Bewegung lässt sich mit einem Steigungsdreieck aus der Geradensteigung ermitteln:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

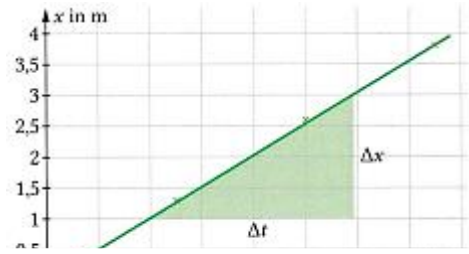


Abbildung 9: t-x-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Folgende Informationen lassen sich aus einem t-x-Diagramm ablesen:

- Je größer die Geschwindigkeit ist mit der die Bewegung erfolgt, desto steiler ist der zugehörige Abschnitt des Graphen.
- Waagrecht verlaufende Abschnitte des Graphen zeigen an, dass sich der Körper in Ruhe befindet.
- Steigt der Graph an, so bedeutet das, dass die Bewegung in positiver x-Richtung stattfindet. Fällt der Graph ab, findet die Bewegung in entgegengesetzter Richtung statt.
- Die Steigung zum Zeitpunkt t gibt die Momentangeschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt an.

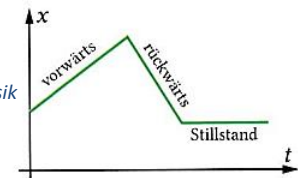
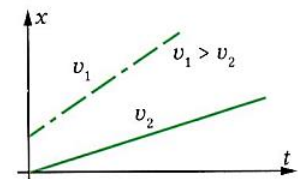
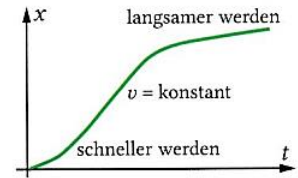


Abbildung 10: Verschiedene t-x-Diagramme; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm (t-v-Diagramm)

In einem t-v-Diagramm wird eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung durch Geradenstücke dargestellt. Die Beschleunigung der Bewegung lässt sich mit einem Steigungsdreieck aus der Geradensteigung ermitteln:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

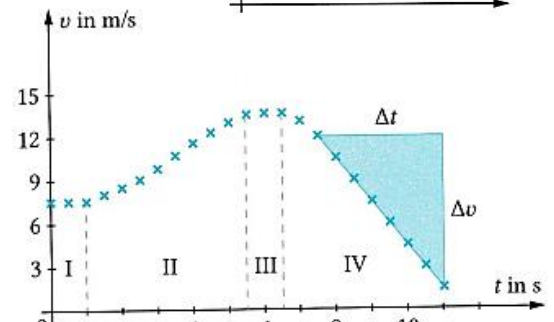


Abbildung 11: t-v-Diagramm; Abschnitt IV: Bewegung mit konstanter Verzögerung; entnommen aus: Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Folgende Informationen lassen sich aus einem t-v-Diagramm ablesen:

- Waagrecht verlaufende Abschnitte zeigen eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit an.
- Steigt der Graph, so nimmt die Geschwindigkeit zu, fällt der Graph so nimmt die Geschwindigkeit ab.
- Die Steigung zum Zeitpunkt t gibt die momentane Beschleunigung zu diesem Zeitpunkt an. Bei steigendem Graphen ist die Beschleunigung positiv, bei fallendem ist sie negativ.
- Der Flächeninhalt unter dem Graphen im t-v-Diagramm entspricht der im zugehörigen Zeitintervall Δt zurückgelegten Strecke Δx. Somit lässt sich das zum t-v-Diagramm gehörige t-x-Diagramm ermitteln, wenn der Anfangsort x0 bekannt ist.

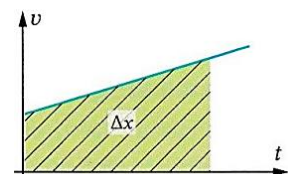
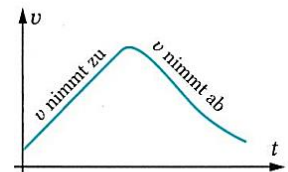
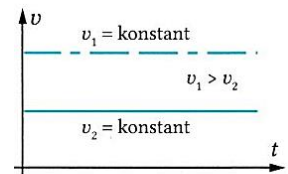


Abbildung 12: Verschiedene t-v-Diagramme; entnommen aus Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Bewegungsfunktionen

Über die Bewegungsfunktionen $x(t)$ und $v(t)$ sind mathematische Beschreibungen von Bewegungen und damit Vor- ausberechnungen möglich.

Bewegungsfunktionen für Bewegungen mit konstanter Beschleunigung ($a = \text{konstant}$):

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

Für den Sonderfall $a = 0 \frac{m}{s^2}$ resultieren daraus die Bewegungsfunktionen für Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit ($v_0 = \text{konstant}$):

$$v(t) = v_0; \quad x(t) = x_0 + v_0 \cdot t$$

Der freie Fall

Im Folgenden gilt: Die positive y - Achse ist stets nach oben gerichtet, Startort zum Zeitpunkt $t = 0s$ ist $y_0 = 0m$

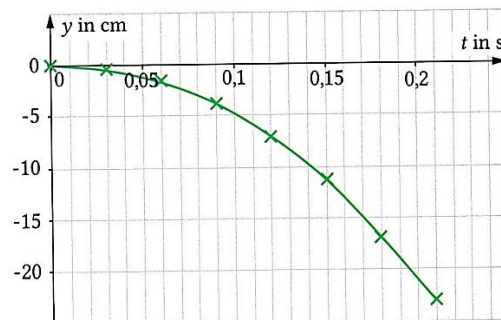


Abbildung 13: Beispiel eines t - y -Diagramms zum freien Fall; entnommen aus Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

Der freie Fall nahe der Erdoberfläche stellt eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung dar. Ihr Betrag ist

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Die zugehörigen Bewegungsfunktionen lauten

$$v(t) = -g \cdot t; \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Der waagrechte Wurf

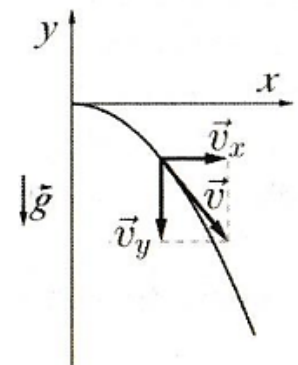
Der waagrechte Wurf stellt eine ungestörte Überlagerung einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in senkrechter Richtung und einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit v_0 in waagrechter Richtung dar.

Für die Berechnung der Punkte $(x(t)|y(t))$ auf der Flugbahn des Körpers gelten die Bewegungsfunktionen

$$x(t) = v_0 \cdot t \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Die Bahnkurve weist die Form eines nach unten geöffneten Parabelast auf und lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben (der Abwurfpunkt liegt am Scheitel der Parabel):

$$y(x) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{g}{v_0^2} \cdot x^2$$



Physik im Straßenverkehr

Der Anhalteweg Δx_A beim Bremsvorgang setzt sich aus zwei Teilen zusammen: Der Reaktionsweg Δx_R wird durch die Bewegungsgleichungen bei konstanter Geschwindigkeit ermittelt, der Bremsweg Δx_B durch die Bewegungsgleichungen bei konstanter Beschleunigung:

$$\Delta x_A = \Delta x_R + \Delta x_B$$

Kernphysik

Radioaktive Strahlung und ihre Eigenschaften

Bei radioaktiver Strahlung handelt es sich um ionisierende Strahlung, d.h. radioaktive Strahlung ist dazu in der Lage Atome und Moleküle zu ionisieren (Elektronen aus der Atomhülle zu entfernen).

Man unterscheidet drei Arten von radioaktiver Strahlung, deren Eigenschaften folgender Tabelle entnommen werden können:

Strahlenart	Prozess im Atomkern	Elektrische Ladung	Reichweite in Luft	Abschirmbarkeit durch
α-Strahlung	Ein Heliumkern (α-Teilchen) verlässt den Atomkern. Dadurch verringert sich die Massenzahl A um 4 und die Kernladungszahl Z um 2. ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}^{+2}$	Zweifach positiv	Wenige Zentimeter	Ein Blatt Papier
β-Strahlung	β-Zerfall: Ein Neutron wandelt sich in ein Proton um. Dabei werden ein Elektron und ein Elektronantineutrino ausgesendet. Die Massenzahl A bleibt gleich, die Kernladungszahl Z vergrößert sich um 1: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}_e$ β⁺-Zerfall: Ein Proton wandelt sich in ein Neutron um. Dabei werden ein Positron und ein Elektronneutrino ausgesendet. Die Massenzahl A bleibt gleich, die Kernladungszahl Z verkleinert sich um 1: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + e^+ + \bar{\nu}_e$	β-Strahlung: einfach negativ β ⁺ -Strahlung: einfach positiv	Einige Meter	1 – 3mm Metall
γ-Strahlung	Bei einem α- oder β-Zerfall wird der Tochterkern angeregt und sendet anschließend Energie in Form eines Photons aus. Die Photonenenergie beträgt dabei mehrere 100 keV. ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$	ungeladen	Große Distanzen (unendlich)	Einige Zentimeter Blei

In einem Magnetfeld werden Alpha- und Betateilchen aufgrund ihrer elektrischen Ladung unterschiedlich abgelenkt:

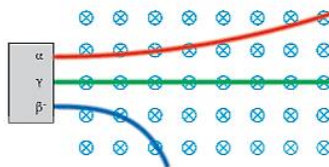


Abbildung 14: Ablenkung radioaktiver Strahlung im Magnetfeld; entnommen aus Gleixner, Christian(2022): Dorn.Bader. Physik 10 Gymnasium. Bayern, Westermann Bildungsmedien Verlag, Braunschweig

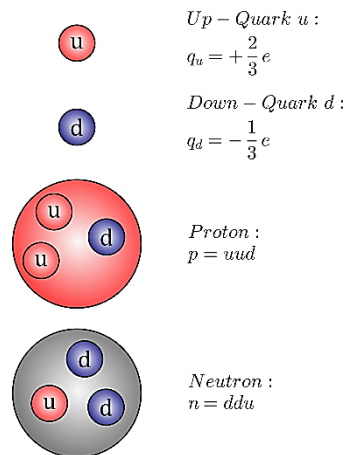
Schutzmaßnahmen vor radioaktiver Strahlung

Die 5-A-Regel:

- Aufenthaltsdauer verkürzen
- Abstand vergrößern
- Abschirmungen nutzen/ verstärken
- Aktivität vermindern
- Aufnahme in den Körper vermeiden

Quarks und Nukleonen

Protonen und Neutronen sind keine Elementarteilchen. Sie bestehen jeweils aus drei Quarks der Typen up-Quark (u) und down-Quark (d):



Aktivität

Die Aktivität A gibt die Anzahl der radioaktiven Zerfälle in einer Materialprobe pro Sekunde an:

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Anzahl der Zerfälle}}{\text{Zeitspanne}}$$

Ihre Einheit ist $[A] = 1 \text{ Becquerel} = 1 \text{ Bq} = \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Halbwertszeit

Radioaktive Kerne zerfallen zufällig, d.h. der Zeitpunkt des Zerfalls eines bestimmten Kerns kann nicht vorhergesagt werden.

Aufgrund der natürlichen Radioaktivität in der Umwelt misst man immer eine Nullrate.

Beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids verringert sich die Zählrate n während der Halbwertszeit $T_{1/2}$ jeweils auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes. Den zeitlichen Verlauf der Zählrate beschreibt das Zerfallsgesetz:

$$n(t) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \cdot n_0$$

Dabei ist n_0 die Zählrate bei $t = 0 \text{ s}$.

Masse und Energie

Masse und Energie sind äquivalente Größen. Die Masse m eines Körper ist damit ein Maß für dessen Energieinhalt E

$$E = m \cdot c^2$$

c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$$c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Masse kann in Energie umgewandelt werden und umgekehrt.

Beim α -Zerfall beispielsweise wird Kernenergie in kinetische Energie und innere Energie umgewandelt. Die umgewandelte Energiemenge ΔE lässt sich aus dem Massendefekt Δm berechnen:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Biologische Strahlenschäden

Radioaktive Strahlung kann deterministische oder stochastische Strahlenschäden hervorrufen.

Um die Auswirkungen radioaktiver Strahlung auf den Menschen beurteilen zu können, wurden zwei Größen festgelegt:

Die Energiedosis

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{Masse des absorbierenden Materials}}$$

$$D = \frac{\Delta E}{m}$$

Ihre Einheit ist $[D] = 1 \text{ Gray} = 1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Die Äquivalenzdosis berücksichtigt mit einem Wichtungsfaktor zusätzlich, dass die unterschiedlichen Strahlenarten unterschiedlich biologisch wirksam sind:

$$\text{Äquivalentdosis} = \text{Wichtungsfaktor} \cdot \text{Energiedosis}$$

$$H = w \cdot D = w \cdot \frac{\Delta E}{m}$$

Ihre Einheit ist $[H] = 1 \text{ Sievert} = 1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Wichtungsfaktoren:

Strahlenart	Wichtungsfaktor
α -Strahlung	20
β -Strahlung	1
γ -Strahlung	1
Röntgenstrahlung	1
Protonen	2
Neutronen (niedrige bis hohe Energie)	20 bis 2,5

Übersicht über physikalische Größen der 10. Jahrgangsstufe

Größe	Formelzeichen	SI-Einheit
Impuls	p	1Ns
Aktivität	A	$1 \text{ Bq} = \frac{1}{\text{s}}$
Halbwertszeit	$T_{1/2}$	1s
Zählrate	n	$\frac{1}{\text{s}}$
Äquivalentdosis	H	$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Energiedosis	D	$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$