

Skript zur Physik

9. September 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
2	Größen und Einheiten	6
2.1	Grundgrößen	7
2.2	Abgeleitete Größen	8
2.3	Einheiten	9
3	Mechanik	10
3.1	Grundgrößen der Mechanik	10
3.2	Grundgesetze der Mechanik	11
3.3	Erhaltungssätze	12
3.4	Translation	13
3.5	Rotation	15
3.6	Arbeit, Energie, Impuls, Leistung	18
3.7	Gravitation	18
3.8	Reibung	19
3.9	Dichte	19
3.10	Auftrieb	19
3.11	Gesetz von Bernoulli	20
4	Schwingungen und Wellen	21
4.1	Pendel	21
4.2	Harmonische Schwingung	22
4.3	Gedämpfte Schwingung	23
4.4	Elementarwelle	23
4.5	Harmonische Welle	24
4.6	Überlagerung von Wellen	24
4.7	Stehende Welle	25
4.8	Polarisation	25
5	Wärmelehre	26
5.1	Temperatur	26
5.2	Innere Energie	27
5.3	Aggregatzustände der Materie	28
5.4	Osmotischer Druck	28
5.5	Arbeit und Wärme	29

5.6	Hauptsätze der Wärmelehre	29
5.7	Gasgesetze	31
5.8	Zustandsgleichungen	33
5.9	Wärmekraftmaschinen	35
5.10	Anomalie des Wassers	35
6	Elektrizitätslehre	36
6.1	Elektrostatik	36
6.1.1	Elektrische Ladungen	36
6.1.2	Elektrostatisches Feld	37
6.1.3	Elektrische Spannung	38
6.2	Gleichstrom	39
6.2.1	Stromstärke	39
6.2.2	Elektrische Leiter	39
6.2.3	Ohm'scher Widerstand	40
6.2.4	Ohm'sches Gesetz	41
6.2.5	Kirchoff'sche Gesetze	42
6.2.6	Elektrische Leistung	43
6.2.7	Elektrische Arbeit	43
6.2.8	Magnetfeld	44
6.3	Wechselstrom	48
6.3.1	Effektivwert	49
6.3.2	Amplitude	49
6.3.3	Frequenz	50
6.4	Elektromagnetische Wellen	51
6.4.1	Elektromagnetische Wellen	52
6.4.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit	52
7	Optik	54
7.1	Geometrische Optik	54
7.2	Wellenoptik	58
7.3	Dualismus	58
7.4	Teilchen - Welle	59
7.5	Absorption	60
7.6	Optische Geräte	60
7.7	Physiologische Optik	60
8	Atomphysik	62
8.1	Atomaufbau	62
8.2	Atomkern	64
8.3	Starke Wechselwirkung	64
8.4	Schwache Wechselwirkung	65
8.5	Elektronen Orbitale	65
8.6	Kernkräfte	67
8.7	Kernspaltung	67

8.8	Kernfusion	69
8.9	Antiteilchen	70
8.10	Radioaktive Stoffe	70
8.11	Radioaktivität	71
8.12	Aktivität	72
8.13	Ionisierende Strahlung	72
8.14	Kosmische Strahlung	73

9	Abbildungsverzeichnis	74
----------	------------------------------	-----------

1 Vorwort

Dieses Skriptum soll einen Überblick über die Grundlagen der Physik geben, welche im Med-AT Zulassungstest für das Medizinstudium gefordert sind. Es orientiert sich an der gegebenen Stichwortliste des Basiskonntnistests und soll dessen Themengebiete abdecken. Es wurde erstellt in der Hoffnung, bei den Vorbereitungen zum Test hilfreich sein zu können und soll einen „Roten Faden“ durch das komplexe Gebiet der Physik anbieten.

Für die Richtigkeit und stoffliche Entsprechung mit dem Basiskonntnistests kann keine Garantie übernommen werden, da dieser von Jahr zu Jahr variiert.

2 Größen und Einheiten

Um in der Physik Relationen zwischen verschiedenen Ereignissen aufstellen zu können, ist es notwendig die Ereignisse miteinander vergleichen zu können. Damit ist gemeint Fahrzeug 1 fährt schneller wie Fahrzeug 2, Objekt 1 ist schwerer wie Objekt 2, usw.

Dazu behilft man sich nun die zu beschreibende Eigenschaft, also Gewicht, Geschwindigkeit, Stromstärke, mittels einer Einheit festzulegen. Ein dazugehöriger Zahlenwert gibt dann an „wie viel“ davon vorhanden ist.

$$45kg$$

Die Zahl 45 ist hier der Zahlenwert und kg ist die Maßeinheit. Zusammen erhalten wir die Information, dass etwas die Masse $45kg$ hat.

Für Skalare Größen ist diese Angabe ausreichend. Die Angabe enthält die komplette Information über das Objekt der Einheit betreffend.

Am Beispiel der Geschwindigkeit aber sieht man, dass manche Größen gerichtet sind, d.h. sie haben eine Richtung in die sie wirken.

Ein Objekt bewegt sich mit einer gewissen Geschwindigkeit in eine Richtung. Mathematisch lassen sich diese gerichteten Größen mittels Vektoren beschreiben. Daher nennt man diese auch vektorielle Größen.

$$\vec{v} = 4 \frac{m}{s} \vec{e}$$

Hier stellt \vec{e} den Einheitsvektor in Richtung \vec{e} dar, also die Richtung in die sich das Objekt mit 4 Metern pro Sekunde bewegt.

Mithilfe der vektoriellen Darstellung lässt sich wieder die komplette Information des Objekts bezüglich der untersuchten Einheit angeben.

2.1 Grundgrößen

Es bestand lange Zeit das Problem, dass in unterschiedlichen Ländern unterschiedliche Einheiten verwendet wurden. Als Beispiel, das man auch heute noch antrifft, seien die Temperaturangaben genannt. In Österreich sind wir die Grad Celsius Skala gewohnt, fährt man aber in die USA wird man vermutlich über die Fahrenheit Skala überrascht sein.

Man kann sich vorstellen, zu welchen Missverständnissen eine uneinheitliche Größenskala führen kann, nicht zu vernachlässigen, der hohe Zeitaufwand der zur Umrechnung verschiedener Größen benötigt wird.

Daher hat man sich auf ein Gemeinsames Einheitensystem festgelegt, das Weltweit in der Wissenschaft verwendet wird, das SI-Einheitensystem. SI steht für *Système international d'unités*, französisch für Internationales Einheitensystem.

Größe	Einheit	Abkürzung
Länge	Meter	<i>m</i>
Masse	Kilogramm	<i>kg</i>
Zeit	Sekunde	<i>s</i>
Stromstärke	Ampere	<i>A</i>
Temperatur	Kelvin	<i>K</i>
Lichtstärke	Candele	<i>cd</i>
Stoffmenge	Mol	<i>mol</i>

Tabelle 2.1: Die 7 SI-Grundeinheiten

Anhand dieser 7 standardisierter Einheiten lassen sich alle anderen Größen darstellen.

2.2 Abgeleitete Größen

Will man nun etwas anderes darstellen wie es die Standardeinheiten ermöglichen, kann man diese kombinieren. Als Beispiel nehmen wir wieder die Geschwindigkeit.

Die Einheit der Geschwindigkeit ist $\frac{m}{s}$.

$$Geschwindigkeit = \frac{Länge}{Zeit}$$

Das Objekt bewegt sich also eine Gewisse Länge (Meter, Kilometer, Zoll) pro Zeiteinheit (Sekunde, Stunde, Woche).

So sind alle anderen Einheiten außerhalb des SI-Einheitensystems durch Kombination aus SI-Einheiten zusammengesetzt.

2.3 Einheiten

Die Einheiten werden verwendet um die Größen mit denen gearbeitet wird zu beschreiben. Nach dem SI-System bietet sich die Einheit $\frac{m}{s}$ für die Geschwindigkeit an, im Alltag ist wohl eher $\frac{km}{h}$ geläufig.

Dies liegt daran, dass wir uns dafür interessieren wie viele Kilometer wir in einer Stunde mit dem Auto zurücklegen können anstatt wie viele Meter wir pro Sekunde zurück legen.

Für die Maßeinheiten kann man noch Vorsätze verwenden, wie es hier bei Kilometer gemacht wurde. Ein Kilometer entspricht Eintausend Metern. Kilo entspricht somit der Multiplikation mit 1000 bzw. 10^3 .

P	Name	Wert
T	Tera	10^{12}
G	Giga	10^9
M	Mega	10^6
k	Kilo	10^3
da	Deka	10^1
d	Dezi	10^{-1}
c	Zenti	10^{-2}
m	Milli	10^{-3}
μ	Mikro	10^{-6}
n	Nano	10^{-9}
p	Piko	10^{-12}

Tabelle 2.2: Einige Einheitenvorsätze und deren Werte

Diese Einheitenvorsätze trifft man immer wieder in der Physik an. Oft will man sehr kleine bzw. große Systeme beschreiben. Dafür verwendet man der Einfachheit halber die Vorsätze. Es ist schließlich leichter über Entfernungen zwischen Städten in Kilometern zu sprechen wie in Metern.

3 Mechanik

Eines der ältesten Gebiete der Physik ist die Mechanik. Sie behandelt die Bewegung von Körpern und den Kräften die dabei auf diese wirken.

3.1 Grundgrößen der Mechanik

In der klassischen Mechanik verwendet man 3 der 7 SI-Grundeinheiten. Diese sind Länge, Zeit und Masse. Alle anderen Größen lassen sich von diesen ableiten.

Größe	Einheit	Abkürzung
Länge	Meter	<i>m</i>
Masse	Kilogramm	<i>kg</i>
Zeit	Sekunde	<i>s</i>

Tabelle 3.1: Die 3 Grundgrößen der Mechanik

Als Beispiel sei hier die Kraft genannt mit der Einheit *Newton* [*N*]. Vergleicht man diese Einheit mit dem zweiten Axiom von Newton im folgenden Unterkapitel, erkennt man aus welchen Grundeinheiten die Einheit *Newton* aufgebaut ist.

$$F = m \cdot a$$

Hier ist *F* die Kraft [*N*], *m* die Masse [*kg*] und *a* die Beschleunigung [$\frac{m}{s^2}$]. Mit der Einheitenrechnung sieht man, dass die Einheit *Newton* zusammengesetzt ist aus:

$$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

3.2 Grundgesetze der Mechanik

Als Grundgesetze der Mechanik werden die Newtonschen Axiome betrachtet, da aus ihnen ein Großteil der klassischen Mechanik abgeleitet werden kann.

1. Newtonsche Axiom

Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmig geradlinigen Translation, sofern er nicht durch einwirkende Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.

Eine Änderung des Bewegungszustands eines Körpers kann nur durch eine Äußere Kraft erreicht werden.

2. Newtonsche Axiom

Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.

Bekannter ist dieses Axiom nach der Formulierung von Euler:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Die Kraft $1N$ wird benötigt um die Geschwindigkeit eines Körpers der Masse $1kg$ in einer Sekunde um $1\frac{m}{s}$ zu ändern. Dies kann die Geschwindigkeit erhöhen, abbremsen oder aber, wenn die Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung steht, den Körper auf eine Kreisbahn lenken.

3. Newtonsche Axiom

Kräfte treten immer paarweise auf. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (actio), so wirkt eine gleich große, aber entgegen gerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (reactio).

Jede Kraft die Auftritt erzeugt eine entgegengesetzte, gleich große Gegenkraft. Das führt dazu, dass in einem Abgeschlossenem System die Summe aller Kräfte gleich 0 ist.

Superposition der Kräfte

Unter Superposition der Kräfte versteht man, dass sich die Kraftvektoren vektoriell addieren, also sich zu einer resultierenden Kraft aufsummieren.

$$\vec{F}_{res} = \sum_n \vec{F}_n = \vec{F}_1 + \dots + \vec{F}_n$$

3.3 Erhaltungssätze

Energieerhaltung

Die Gesamtenergie eines Systems bleibt immer konstant. Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, lediglich von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden.

Anhand eines Beispiels lässt sich dies erklären:

Ein Wagen steht auf einem Berg und man lässt ihn herabfahren. Die potentielle Energie, also die Energie die hier der Wagen durch seine Höhenlage hat, wird beim hinabfahren in kinetische Energie, also die Energie die in der Geschwindigkeit steckt, umgewandelt. Ein Teil davon geht auch durch Reibung verloren, also wird in Wärmeenergie umgewandelt. Man spricht hier von „verloren“ da man die Reibungswärme nur sehr schlecht in sinnvolle Energieformen umwandeln kann.

Das gleiche Prinzip funktioniert auch umgekehrt. Ein Wagen fährt mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf einen Berg zu und kann diesen je nach kinetischer Energie die in ihm steckt überwinden oder nicht. Dies hängt davon ab, wie viel potentielle Energie benötigt wird um den Berg zu überwinden.

$$E_{kin_{vorher}} + E_{pot_{vorher}} = E_{kin_{nachher}} + E_{pot_{nachher}}$$

Impulserhaltung

Wirkt keine äußere Kraft auf ein System muss für jede wirkende Kraft eine gleich große entgegen wirkende Kraft vorhanden sein. Die Vektorsumme aller Kräfte ist daher gleich 0. Da eine Kraft gleich der Änderung des Impulses ist, ist somit auch die Summe aller Impulse gleich 0.

Ein Beispiel dazu ist der Stoß zweier Kugeln. Die Summe der Impulse vorher muss gleich der Summe der Impulse nachher sein. So lässt sich der Stoß von z.B. Billardkugeln je nach Stoßwinkel berechnen.

3.4 Translation

Die Translation ist die Bewegung, bei der jeder Punkt eines Körpers die selbe Bewegungsrichtung hat. Zu einem gegebenen Zeitpunkt sind alle Bewegungen und Geschwindigkeiten identisch.

Die wichtigen Größen der Translation sind Geschwindigkeit, Beschleunigung, Energie und Impuls.

Geschwindigkeit und Beschleunigung

Geschwindigkeit ist der Unterschied im Ort pro Zeit, während die Beschleunigung der Unterschied in der Geschwindigkeit pro Zeit ist.

$$Geschwindigkeit[\frac{m}{s}] = \frac{Weg[m]}{Zeit[s]}$$

$$Beschleunigung[\frac{m}{s^2}] = \frac{Geschwindigkeit[\frac{m}{s}]}{Zeit[s]}$$

Energie

Die Energie der Bewegung, die kinetische Energie, steckt in Form der Bewegung im System. Mit folgender Formel ist diese zu bestimmen:

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Außer der kinetischen Energie kann noch die potentielle Energie im System stecken. Diese ist die Energie die durch das Schwerfeld verursacht wird. Hebt man einen Gegenstand auf, steckt man gleichzeitig potentielle Energie in diesen, was dann beim Fallen lassen frei gesetzt wird. Die Formel um diese zu bestimmen ist:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

m ist die Masse des Körpers, g ist die gravitative Beschleunigung und h ist der Höhenunterschied.

Impuls

Unter dem Impuls kann man sich die „Wucht“ eines Objekts vorstellen. Je schwerer und je massereicher ein Objekt ist, desto höher ist auch sein Impuls.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Der Impuls ist gleich Masse mal Geschwindigkeit, es ist eine gerichtete Größe.

Anwendungen

Ist die Beschleunigung eines Körpers bekannt, kann man die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit bestimmen:

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

Wobei v_0 die Geschwindigkeit zu Beginn darstellt.

Ebenfalls lässt sich die zurückgelegte Strecke in Abhängigkeit der Zeit bestimmen:

$$x(t) = a \cdot t^2 + v \cdot t + x_0$$

x_0 ist der Ort zu Beginn, $v \cdot t$ entspricht der Strecke die mit der Geschwindigkeit v in einer Zeit t zurückgelegt wird und mit $a \cdot t^2$ wird die Änderung der Geschwindigkeit berücksichtigt.

3.5 Rotation

Betrachtet man die Newtonschen Axiome stellt man fest, dass eine kreisförmige Bewegung, also eine Rotation, nur dann möglich ist, wenn ständig eine Kraft auf das Objekt wirkt, die es auf eine Kreisbahn zwingt.

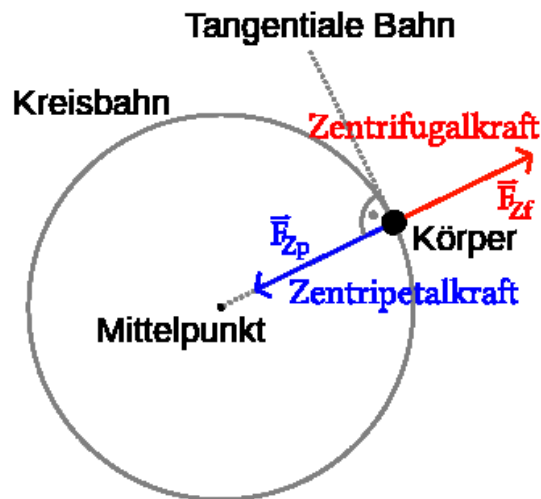


Abbildung 3.1: Kräfte bei Kreisbewegung

Diese Kraft nennt man Zentripetalkraft. Ihr entgegengesetzt wirkt die Zentrifugalkraft. Sie ist eine Scheinkraft, die man nur im bewegten System merkt. Wenn man zum Beispiel in einem Auto um die Kurve fährt spürt man eine Kraft nach außen hin. Dies ist die Zentrifugalkraft. Eigentlich ist es nur der Körper der auf seiner Bahn bleiben will, die Zentripetalkraft zwingt ihn aber auf die Kreisbahn.

Analog zur Translation kann man bei der Rotation wieder die Größen Geschwindigkeit, Impuls und Energie bestimmen. Die Beschleunigung ist analog zur Translation.

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit der Rotation wird oft mit der Winkelgeschwindigkeit angegeben:

$$\text{Winkelgeschwindigkeit} \phi = \frac{\text{Winkel}}{\text{Zeit}[s]}$$

Die Winkelgeschwindigkeit ist unabhängig vom Radius und gibt an welcher Winkel pro Zeitintervall überschritten wird. Mithilfe folgender Formel lässt sich die Bahngeschwindigkeit ermitteln:

$$v = \phi \cdot r$$

Das heißt, je weiter entfernt vom Zentrum der Punkt, desto schneller bewegt er sich. dennoch ist seine Winkelgeschwindigkeit konstant. Die Umlaufzeit lässt sich wie folgt berechnen:

$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi \cdot r}{\phi \cdot r} = \frac{2\pi}{\phi}$$

Drehimpuls

Der Drehimpuls ist wie die Energie und der Impuls eine universelle Erhaltungsgröße. Er ist das Produkt aus Masse, Radius und Bahngeschwindigkeit und steht senkrecht auf dem Radius und dem Geschwindigkeitsvektor. Daher lässt sich dieser mit dem Vektorprodukt darstellen:

$$\vec{L} = m \cdot \vec{r} \times \vec{v}$$

Meist wird dieser vereinfacht dargestellt, da man den Drehimpuls oft nur betraglich braucht und unter dem Wissen, dass dieser senkrecht auf dem System steht:

$$L = m \cdot r \cdot v$$

Rotationsenergie

Wie in der Translation kann auch in der Rotation Energie stecken. Analog zur Trägheit, die in der Translation in der Masse steckt, gibt es hier ein Trägheitsmoment J . Dies ist der Abstand der Masse zur Drehachse:

$$J = m \cdot r^2$$

Ersetzt man dieses Trägheitsmoment mit der Masse der kinetischen Energie, erhält man die Rotationsenergie:

$$E_{rot} = \frac{J \cdot v^2}{2}$$

Würden wir nun anstatt einem Wagen eine Kugel den Berg runter rollen lassen, wandelt sich die potentielle Energie zum einen Teil in Rotationsenergie um und zum anderen Teil in kinetische Energie.

Früher wurde oft überschüssige Energie von Kraftwerken in Schwungrädern gespeichert. Dies ist möglich, da die überschüssige Energie in die Rotationsenergie des Schwungrades umgewandelt wurde. Wenn diese Energie wieder benötigt wurde, konnte man diese aus dem Schwungrad ziehen. So konnten bei der Stromerzeugung Netzschwankungen ausgeglichen werden.

3.6 Arbeit, Energie, Impuls, Leistung

Energie und Impuls wurden in den vorherigen Unterkapiteln behandelt. Stellt sich nun die Frage was Arbeit und Leistung ist.

Arbeit wird an einem Körper verrichtet. Wirkt Kraft längs eines Wegs auf einen Körper, verrichtet man Arbeit. Zum Beispiel wenn man einen Körper hoch hebt, wirkt Kraft nach unten und man verrichtet gegen die nach unten wirkende Kraft Arbeit.

$$Arbeit[W] = \vec{F} \cdot \vec{s} = |F| \cdot |s| \cos \angle(F, s)$$

Leistung ist die Arbeit, die in einer gewissen Zeiteinheit verrichtet wurde.

$$LeistungP[W] = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

3.7 Gravitation

Die Gravitation ist die Anziehung zweier Massen. Jede Masse wirkt eine gravitative Kraft aus. Jede andere Masse spürt diese Kraft. Die Gravitation ist immer eine anziehende Kraft. Es gibt nicht wie im Elektromagnetismus bei zwei gleichen Ladungen eine abstoßende Kraft.

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Hier ist F_G die Gravitationskraft, also die Kraft zwischen m_1 Masse 1 und m_2 Masse 2 die den Abstand r haben. Zusätzlich wird mit dem Proportionalitätsfaktor $G = 6,7 \cdot 10^{-11} [\frac{m^3}{kg \cdot s^2}]$, der Gravitationskonstanten, multipliziert.

3.8 Reibung

Bei der Reibung betrachten wir den Kraftaufwand der nötig ist um ein Objekt in Bewegung zu bringen, die Haftreibung, und der Kraftaufwand, der nötig ist um das Objekt in Bewegung zu halten, die Gleitreibung. Die Haftreibung ist immer größer wie die Gleitreibung.

$$\begin{aligned}F_{gleit} &= \mu_{gleit} \cdot F_N \\F_{haft} &= \mu_{haft} \cdot F_N\end{aligned}$$

F_N ist die zur Oberfläche senkrecht stehende Kraft und wird mit Normalkraft bezeichnet. Die Größen μ sind materialabhängig und dimensionslos.

3.9 Dichte

Die Dichte ist eine materialabhängige Konstante. Jedes Material hat eine spezifische Dichte. Multipliziert man die Dichte mit dem Volumen des Körpers, erhält man dessen Masse.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho[\frac{kg}{m^3}]$ ist die Dichte, m die Masse und V das Volumen.

3.10 Auftrieb

Jeder Körper in einer Flüssigkeit oder in einem Gas erfährt einen Auftrieb. Ist dieser groß genug, schwimmt der Körper. Die Auftriebskraft lässt sich wie folgt berechnen:

$$F_A = g \cdot \rho_{flss.} \cdot V_{vrdr.}$$

F_A ist die Auftriebskraft, g die Erdbeschleunigung, $\rho_{flss.}$ ist die Dichte der Flüssigkeit und $V_{vrdr.}$ das durch den Körper verdrängte Volumen. Auf den Körper wirkt natürlich noch die Erdanziehungskraft. Ist die Auftriebskraft größer, wird der Körper schwimmen, ist sie gleich groß schwebt er und ist sie kleiner sinkt der Körper ab.

Mithilfe einer Mischdichte aus Luft und Holz oder Stahl kann man so Schiffe zum schwimmen bringen.

3.11 Gesetz von Bernoulli

Das Gesetz von Bernoulli bezieht sich auf reibungsfreie Strömungen. Der statische Druck, der dynamische Druck und der Schweredruck müssen konstant sein.

$$p_{stat} + p_{schwer} + p_{dyn} = const.$$

Setzt man die einzelnen Formeln ein, so erhält man:

$$p_{stat} + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = const.$$

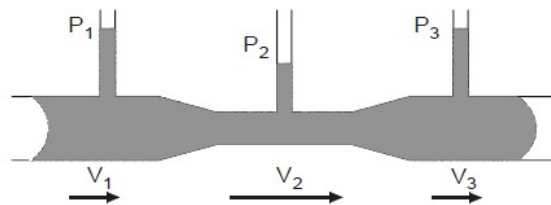


Abb. 19 - Druck und Geschwindigkeitszustände

Abbildung 3.2: Verschieden Drücke bei verschiedenen Rohrdurchmessern.

Bei dieser Rohrleitung verändert sich der statische Druck nicht. Das ist der Druck, der im System herrscht. Ist die Rohrleitung nun verengt, muss die Strömungsgeschwindigkeit ansteigen. Die Summe aus dynamischen Druck, Schweredruck und statischem Druck muss konstant sein. Da der statische Druck überall im System gleich ist, und v_2 höher ist als v_1 , muss P_2 kleiner sein als P_1 , um die Konstanz der Drücke zu gewährleisten.

4 Schwingungen und Wellen

Schwingungen brauchen im Gegensatz zu Wellen ein Medium in dem sie sich ausbreiten, sie sind mehr als eine Eigenschaft eines Objekts zu verstehen, eine periodische Bewegung. Eine Schwingung kann auch einfach nur ein einzelner Massepunkt sein wie zum Beispiel ein Pendel. Eine Welle wiederum braucht nicht unbedingt ein Medium in dem sie sich ausbreiten kann. Eine elektromagnetische Welle breitet sich auch im Vakuum aus.

4.1 Pendel

Beim Pendel wird abwechselnd die potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Die maximale potentielle Energie hat der Pendel am Umkehrpunkt, wo die Geschwindigkeit gleich 0 ist. Die maximale kinetische Energie ist am niedrigsten Punkt.

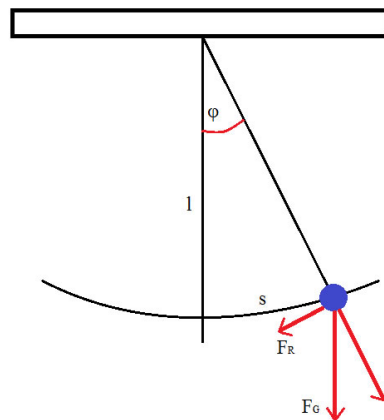


Abbildung 4.1: Pendel mit eingezeichneten Kräften

Hier ist l die Länge des Pendels, φ der Winkel der Auslenkung und s die Strecke der Auslenkung. F_G ist die Gewichtskraft des Pendels, die aufgeteilt werden kann in eine normal Komponente F_N (nicht im Bild eingezeichnet) und eine rückstellende Kraft F_R .

4.2 Harmonische Schwingung

Lenkt man das Pendel um einen Winkel Φ aus und lässt es los, hat man im Idealfall, ohne Berücksichtigung der Reibung, eine harmonische Schwingung.

Trägt man auf der x-Achse die Zeit t auf und auf der y-Achse die Auslenkung in Abhängigkeit der Zeit erhält man eine sinusförmige Schwingung.

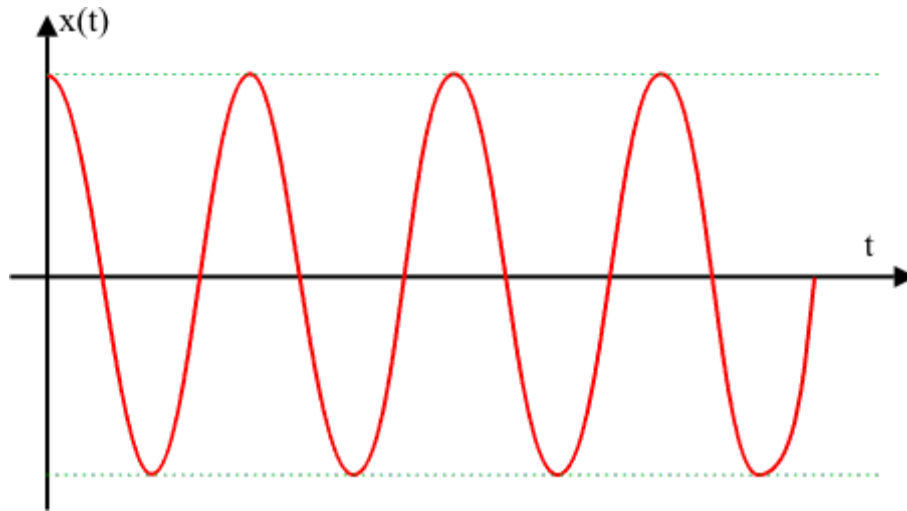


Abbildung 4.2: Sinusförmige Schwingung

Von einer harmonischen Schwingung spricht man immer dann, wenn die Rückstellkraft proportional zur Auslenkung ist. Zur Beschreibung des Pendels verwendet man folgende Formel:

$$s(t) = s_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$s(t)$ entspricht der Auslenkung des Pendels zur Zeit t , s_0 ist die maximale Auslenkung des Pendels und ω ist die Kreisfrequenz.

Stellt man sich einen kompletten Schwingungsdurchlauf vor wie wenn ein Kreis durchlaufen wird, kann man den Umfang des Kreises als „zurückgelegte Strecke“ der Schwingung identifizieren. Diese Strecke einer kompletten Schwingung entspricht 2π . Teilt man diese Strecke durch die Dauer der Schwingung, T , erhält man die Kreisfrequenz ω .

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

4.3 Gedämpfte Schwingung

Bei der gedämpften Schwingung wird die Reibung berücksichtigt. Daher ergibt sich eine exponentiell abfallende Einhüllende, die die eigentliche Schwingung abdämpft.

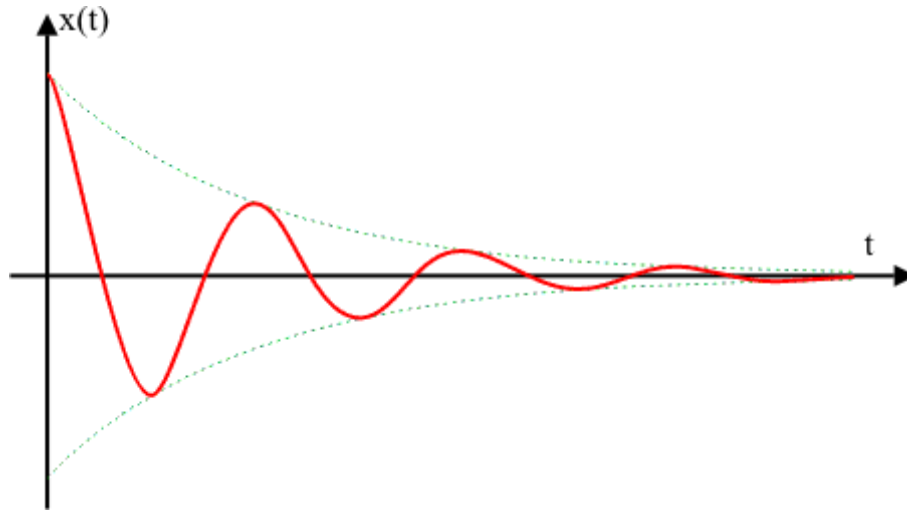


Abbildung 4.3: Gedämpfte sinusförmige Schwingung

Die Dämpfung δ wirkt sich in der Formel wie folgt aus:

$$s(t) = s_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

4.4 Elementarwelle

Eine Elementarwelle ist eine Welle die in einem Punkt ihren Ursprung hat und sich von diesem Punkt kreisförmig ausbreitet.

Das Huygens'sche Prinzip für Elementarwellen besagt, dass jeder Punkt einer beliebig geformten Welle wieder als Ausgangspunkt einer Elementarwelle gesehen werden kann, die sich mit gleicher Phasengeschwindigkeit und Frequenz wie die ursprüngliche Welle ausbreitet. Trifft zum Beispiel eine Wellenfront auf einen Doppelspalt kann jeder der beiden Spalte als Ausgangspunkt einer Elementarwelle gesehen werden, die die Gleiche Frequenz und Phasengeschwindigkeit haben.

4.5 Harmonische Welle

Zusätzlich zur harmonischen Schwingung, die die Schwingung nur zeitlich abhängig an einem Ort betrachtet, kann man auch noch den Ort der Betrachtung variieren. Das führt dann zur allgemeinen Formel für harmonische Wellen:

$$x(t, r) = x_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \vec{k} \cdot \vec{r} + \Phi)$$

Hier ist k die Wellenzahl, r der Ort der Betrachtung und Φ ein Phasenfaktor.

4.6 Überlagerung von Wellen

Der Phasenfaktor ist die Verschiebung einer Welle. Als Beispiel sei hier der Cosinus und Sinus genannt. Der Cosinus ist gleich dem Sinus um $\frac{\pi}{2}$ bzw. 90° verschoben.

$$\sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = \cos x$$

Wellen kann man überlagern. Dies nennt man Superposition. Sie können konstruktiv interferieren oder destruktiv. Bei konstruktiver Interferenz verstärkt sich die resultierende Welle, bei destruktiver schwächt sich die resultierende Welle ab. Dies kann dazu führen, dass sich die Wellen gegenseitig auslöschen. Überlagert man zum Beispiel eine positive Sinusschwingung mit einer negativen Sinusschwingung löschen sich beide aus.

$$\sin x + (-\sin x) = 0$$

Was hier recht einfach und nichtssagend aussieht, ist Grundlage der Wellenphysik. Anhand von Überlagerungen von verschiedenen Wellen, ist es möglich unterschiedlichste resultierende Wellen zu erzeugen. Dies wird in der Nachrichtentechnik genutzt, wo eine Trägerwelle mit einer Informationswelle überlagert wird, die dann von einem Empfänger, je nach Interferenzmuster, entschlüsselt werden kann. Dies ist das Prinzip der Radioübertragung.

4.7 Stehende Welle

Mithilfe der Interferenz lassen sich auch sogenannte stehende Wellen erzeugen. Diese haben an bestimmten Stellen Knoten. An diesen Knotenpunkten ist keine Schwingung, um sie herum bewegt sich die Welle auf und ab. Dieses Phänomen tritt bei einer Gitarrensaite auf. Immer wenn eine Saite eingespannt ist bilden sich stehende Wellen, da an den eingespannten Punkten automatisch Knotenpunkte auftreten.

4.8 Polarisation

Breitet sich eine Welle im Raum in eine Richtung aus, muss die Schwingung auf der Ausbreitungsrichtung senkrecht stehen. Dies kann aber auf unendlich viele Weisen erfüllt sein. Ob die Welle waagrecht oder senkrecht im Raum schwingt oder eine Mischung aus beidem ist egal, solange sie senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingt. Bei natürlichen Wellen, also Licht ist die Richtung der Schwingung statistisch verteilt.

Dies führt uns nun zur Polarisation. Mittels einem Polarisationsfilter lassen sich alle Anteile des Lichts, die nicht in Richtung des Polarisationsfilters schwingen herausfiltern. Übrig bleibt ein gefiltertes Licht, welches nun nur in eine Richtung schwingt. Die Richtung des Polarisationsfilters.

5 Wärmelehre

Wärmelehre befasst sich mit der Umwandlung verschiedener Energieformen, den Phasenübergängen in Medien und mit Wärmekraftmaschinen. Eine wichtige physikalische Eigenschaft der Thermodynamik ist die Temperatur.

5.1 Temperatur

Als Temperatur kann man sich die mittlere kinetische Energie der einzelnen Teilchen eines Stoffes vorstellen. Bewegen sich die einzelnen Gasmoleküle im Mittel schnell ist das Gas wärmer wie wenn sich die Teilchen langsamer bewegen. Beim absoluten Nullpunkt, $0K$ herrscht totaler Stillstand in der Bewegung der Teilchen im Medium. Dieser ist nur theoretisch erreichbar.

Temperaturskalen

Die uns im Alltag wohl geläufigste Temperatur-Skala ist die Celsius-Skala. Ihr Nullpunkt liegt am Gefrierpunkt des Wassers und die $100C$ Marke liegt am Siedepunkt von Wasser auf Meeresniveau.

Außer der Celsius-Skala wird zur Temperaturangabe in manchen Ländern die Fahrenheit-Skala verwendet. Sie wirkt von der Definition ein wenig willkürlich. Sie ist benannt nach Daniel Fahrenheit. Er stellte, so gut er konnte, eine kalte Mischung aus Eis, Salz und Ammoniak her, dessen Temperatur er mit $0F$ definierte. Zusätzlich braucht man noch einen Zweiten Fixpunkt, für die er die Körpertemperatur eines gesunden Menschen verwendete und diesen Fixpunkt bei $96F$ setzte. Somit entspricht $0F = -17,8C$ und $96F = 35,6C$.

An dem Beispiel, „Heute hat es $0C$ und morgen soll es doppelt so warm werden wie heute“, erkennt man, dass beide Skalen nicht zum Rechnen geeignet sind.

Daher wurde, die in der Physik sinnvolle Kelvin-Skala eingeführt. Sie hat ihren Nullpunkt am absoluten Nullpunkt und erhöht sich in Schritten wie die Celsius-Skala. Sie ist also im Prinzip nichts anderes als die Celsius-Skala, verschoben um $-273,15^\circ\text{C}$. Also Wasser hat seinen Gefrierpunkt bei $273,15\text{K}$ und seinen Siedepunkt auf Meeresniveau bei $373,15\text{K}$.

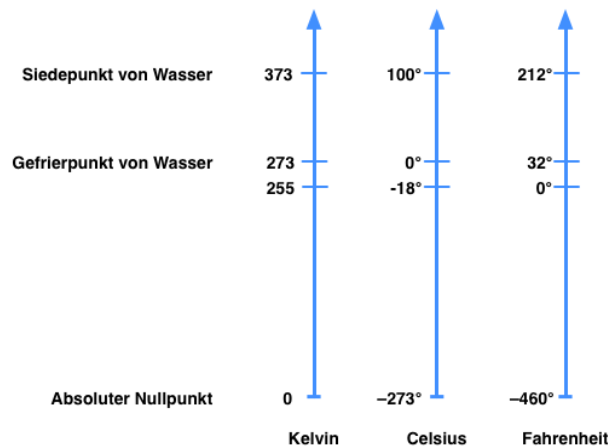


Abbildung 5.1: Geläufige Temperaturskalen

5.2 Innere Energie

Die Innere Energie bezieht sich immer auf ein abgeschlossenes System. Ein abgeschlossenes System interagiert nicht mit seiner Umgebung, man kann es komplett für sich alleinstehend betrachten. Es existiert kein Energieaustausch mit seiner Umgebung.

Die Innere Energie bezieht sich auf die im System vorhandene Energie, also die chemische Energie, die thermische Energie und die Kernenergie. Potentielle- und kinetische Energie stecken nicht darin, da für diese Energieformen ein äußeres System nötig ist.

In diesem abgeschlossenen System befinden sich meist sehr viele Teilchen, von denen man nicht die exakte Energie bestimmen kann. Daher berechnet man nur die Änderung der Inneren Energie. Innere Energie wird bei einem Prozess in Arbeit oder Wärme umgewandelt. Es reicht vollkommen aus, die Änderung der Inneren Energie zu kennen um die Umwandlung in Arbeit und Wärme zu bestimmen.

$$\Delta U = Q + W$$

ΔU ist die Änderung der Inneren Energie, Q die Wärmeenergie und W die Arbeit. Die Einheit ist $[J] = [\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}^2}]$ Joule.

5.3 Aggregatzustände der Materie

Der gleiche Stoff kann unterschiedliche Aggregatzustände annehmen. Die hierbei wichtigsten sind fest, flüssig und gasförmig. Bei Wasser ist das Eis, Wasser und Wasserdampf. Die Aggregatzustände ändern sich je nach Druck und Temperatur.

In der festen Form sind die Teilchen fest miteinander verbunden. Der Stoff behält meist seine Form bei und die Teilchen sind eng beieinander. Der Festkörper hat ein konstantes Volumen.

In der flüssigen Form ist das Volumen ebenfalls konstant, die Form aber passt sich der Umgebung an. Die einzelnen Teilchen sind nicht ortsfest, können sich also räumlich bewegen.

Ist das Medium gasförmig, füllt es den gegebenen Raum vollständig aus. Hier ist also auch das Volumen variabel. Die Teilchen sind schnell in Bewegung. Meistens wird für Berechnungen das Ideale Gas verwendet. Die einzelnen Teilchen haben idealerweise keine Ausdehnung und stoßen nicht miteinander, das Ideale Gas hat keine Wechselwirkung mit sich selbst.

5.4 Osmotischer Druck

Osmose ist die Diffusion an einer halbdurchlässigen Membran. Diffusion ist die Verteilung eines Stoffes in einem Volumen. Nimmt man ein Glas Alkohol und kippt es in ein Gefäß mit Wasser werden sich beide Substanzen miteinander vermischen. Dies findet ohne Beitrag von Außen statt und wird als Diffusion bezeichnet. Diffusion tritt in flüssigen und gasförmigen Medien auf.

Bei der Osmose sind zwei Bereiche durch die halbdurchlässige Membran geteilt. Wasser kann diese durchdringen, andere Stoffe aber nicht. Wenn im einen Teil eine erhöhter Salzgehalt ist, versucht das System diesen Konzentrationsunterschied wegen der Diffusion auszugleichen. Daher wird mehr Wasser vom Bereich der niedrigen Konzentration in den Bereich der hohen Konzentration diffundiert.

Der Fluss des Wassers wird durch den osmotischen Druck angetrieben.

$$p_{osm} = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T$$

p_{osm} ist der osmotische Druck, n die Stoffmenge, V das Volumen, R die Gaskonstante und T die Temperatur.

5.5 Arbeit und Wärme

Arbeit und Wärme im Sinne der Thermodynamik ist gleich dem was das System aus der Inneren Energie abgibt oder aufnimmt. Wärme wird bei Wärmekraftmaschinen als das gesehen, was nicht genutzt werden kann, die Arbeit ist das was aus dem System genutzt wird. Führt man dem System Wärme oder Arbeit zu, erhöht sich seine Innere Energie. Umgekehrt verringert sich die Innere Energie, wenn man dem System Arbeit oder Wärme entzieht.

Bringt man in einem Topf Wasser zum Kochen, führt man dem System Wärme zu. Die Innere Energie erhöht sich. Mit dem Wasserdampf lässt sich dann zum Beispiel ein Rad antreiben. Dies ist dann die Arbeit die das System in Mechanische Energie überführt.

5.6 Hauptsätze der Wärmelehre

Nullter Hauptsatz der Thermodynamik

Man hat drei Systeme. System A ist mit System B verbunden und System B mit System C.

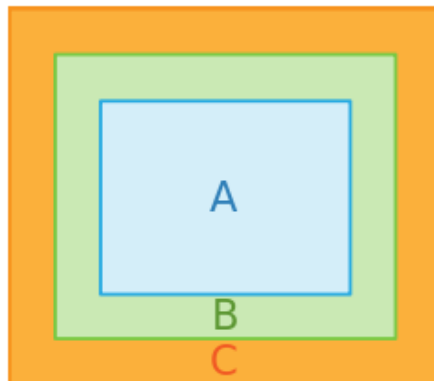


Abbildung 5.2: Die 3 Thermodynamischen Systeme

Die Teilchen in System A können mit den Teilchen in System B interagieren, sowie die Teilchen aus System B mit denen aus System C.

Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik besagt, wenn System A im Gleichgewicht mit System B ist und zugleich System B mit System C im Gleichgewicht, dann ist auch System A mit System C im Gleichgewicht.

$$A = B \text{ und } B = C \text{ dann folgt } A = C$$

Es herrscht also in jedem System die gleiche Temperatur. Die Temperatur ist also eine Eigenschaft, die nicht an einen Stoff gebunden ist.

Erster Hauptsatz der Thermodynamik

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist eine Form der Energieerhaltung.

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Die Formel der Inneren Energie besagt mehrere Dinge:

1. Mechanische Arbeit und Wärme sind ineinander überführbar.
2. Die Innere Energie in einem abgeschlossenen System ist konstant und kann weder erzeugt noch vernichtet werden.
3. Die Innere Energie ändert sich nur dann, wenn am System Arbeit verrichtet wird bzw. sich die Temperatur des Systems ändert.

Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

Wärme kann nicht von einem kälteren zu einem wärmeren Körper fließen. Zwei unterschiedlich warme Systeme versuchen sich immer auszugleichen. Die Gesamtentropie des Systems bleibt entweder gleich oder sie nimmt zu, sie wird nicht kleiner.

Die Entropie eines Systems kann mit der Unordnung im System verstanden werden. Angenommen man könne ein Gasgemisch aus zwei verschiedenen Gasen, Gas A und Gas B, ordnen. Man nimmt alle Gasteilchen aus Gas A und legt sie auf die linke Seite eines Behälters und alle Teilchen aus Gas B und legt sie auf die rechte Seite des Behälters, so hat man eine ordentliche Anordnung der Gase erreicht. Lässt man das System für sich und wartet ab, vermischen sich beide Gase und das Maß der Ordnung nimmt ab. Also die Entropie nimmt zu.

Will man ein unordentliches System wieder ordnen muss man dafür Arbeit verrichten. Zerspringt ein Teller beim Fall in seine Einzelteile, muss man Arbeit aufwenden um ihn wieder in seine ursprüngliche Form zu bringen.

Dritter Hauptsatz der Thermodynamik

Der dritte Hauptsatz besagt:

Es ist unmöglich ein System bis zum absoluten Nullpunkt abzukühlen.

Versucht man ein System abzukühlen, muss dieser Energie entzogen werden. Das System steht aber in irgendeinem Kontakt zu einem anderen System, das eine höhere Energie aufweist. Man kann jetzt versuchen das System soweit zu isolieren, dass es über keinen Kontakt zu einem anderen System mehr verfügt. Dann hat man aber ein komplett abgeschlossenes System in dem die Innere Energie konstant ist, also die Wärme lässt sich nicht aus dem System „entfernen“.

5.7 Gasgesetze

Es ist vollkommen ausreichend das ideale Gasgesetz zu betrachten.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Hier ist p der Druck, V das Volumen, n die Stoffmenge, T die Temperatur und R die Gaskonstante ($8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$).

Betrachtet man ein ideales Gas bei Standardtemperatur $273,15K$ und Standarddruck $101,325Pa$, lässt sich das eingenommene Volumen des Gases bestimmen. Wir betrachten $1mol$ eines idealen Gases:

$$p = 101,325Pa, T = 273,15K, n = 1mol \text{ und } R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Jetzt stellt man das Gasgesetz um nach dem Volumen:

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p}$$

und setzt alle bekannten Größen ein:

$$V = \frac{1mol \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 273,15K}{101,325Pa}$$

Überprüfen wir zunächst die Einheit mittels Einheitenrechnung:

$$V[m^3] = \frac{mol \cdot \frac{J}{mol \cdot K} \cdot K}{Pa} = \frac{J}{Pa} = \frac{\frac{kg \cdot m^2}{s^2}}{\frac{kg}{m \cdot s^2}} = m^3$$

Rein von den Einheiten erhalten wir die korrekte Größe für das Volumen. Durch Einheitenrechnung lässt sich immer Überprüfen, ob man richtig in die Formel eingesetzt hat, und sich auf dem richtigen Weg befindet.

Für das Volumen erhält man schließlich:

$$V = 22,4m^3$$

Also bei Normaltemperatur und Normaldruck füllt ein Gas einen Raum von $22,4m^3$ aus. Füllt man also einen Luftballon, der einen Normaldruck auf das Gas ausübt mit idealem Gas bei Normaltemperatur, so wäre dieser Luftballon $22,4m^3$ groß.

Bei realen Gasen, muss man einerseits die Größe und Masse der Gasteilchen berücksichtigen und gleichzeitig an die Wechselwirkung im Gas denken. Will man dies berechnen ist man sofort bei einer komplexen mehrdimensionalen Berechnung, die meist auch nur näherungsweise ausgeführt werden kann.

Daher reicht es leicht aus sich nur mit dem Idealen Gas zu befassen.

5.8 Zustandsgleichungen

Aus dem allgemeinen Gasgesetz lassen sich weitere Formeln für Zustandsänderungen ableiten. Es wird davon ausgegangen, dass die Stoffmenge und die Gaskonstante konstant bleiben. Anhand der übrigbleibenden Variablen im Gasgesetz lassen sich 3 Zustandsgleichungen aufstellen. Man hält jeweils eine der 3 Variablen konstant:

Isobare Zustandsänderung

Isobar ist die Zustandsänderung bei gleichem Druck. Bei dem Gasgesetz bringt man alle Konstanten auf eine Seite und alle Variablen auf die andere Seite des Gleichheitszeichen:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\frac{V}{T} = \frac{n \cdot R}{p} = \text{const.}$$

Da wir annehmen, dass n , R und p konstant sind, ist auch die rechte Seite der Gleichung konstant und somit muss auch $\frac{V}{T}$ konstant sein.

Betrachtet man jetzt verschiedene Volumina oder Temperaturen, müssen diese sich in einem gewissen Verhältnis ändern, da ihr Ergebnis ja immer konstant bleiben muss. Aus dieser Überlegung ergibt sich die Isobare Zustandsgleichung:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Wir zum Beispiel die Temperatur des Systems erhöht, bei gleichem Druck, muss das Volumen des Systems steigen um die Gleichung zu erfüllen.

Isotherme Zustandsänderung

Die Isotherme Zustandsänderung ist bei konstanter Temperatur. Variabel sind hier der Druck und das Volumen. Man geht wieder wie bei der Isobaren Zustandsänderung vor und separiert die Konstanten.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = \text{const.}$$

Glücklicherweise befindet sich das Gasgesetz schon in der gesuchten Form. Daher kann man gleich die Isotherme Zustandsänderung notieren:

$$V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2$$

Erhöht sich das Volumen, muss gleichzeitig der Druck abnehmen um eine Konstanz der Temperatur zu gewährleisten.

Isochore Zustandsänderung

Bei der Isochoren Zustandsänderung bleibt das Volumen gleich. Druck und Temperatur ändern sich. Wie vorher auch separiert man die konstanten und die Variablen:

$$\frac{p}{T} = \frac{n \cdot R}{V} = \text{const.}$$

Erhöht sich die Temperatur des Systems, muss sich auch der Druck erhöhen.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Diese 3 Zustandsgleichungen werden auch Gesetz von Gay-Lusac für die Isobare Zustandsänderung, das Gesetz von Boyle-Mariotte für die Isotherme Zustandsänderung und Gesetz von Amontons für die Isochore Zustandsänderung genannt.

5.9 Wärmekraftmaschinen

Mithilfe einer Wärmekraftmaschine lässt sich die Wärme eines Systems in Arbeit umwandeln. Dehnt sich zum Beispiel ein Gas durch Wärme aus, siehe Isobare Zustandsänderung, ändert sich das Volumen des Gases. Dadurch kann ein Kolben bewegt werden. Nach diesem Prinzip funktioniert ein Verbrennungsmotor. Jede Wärmekraftmaschine hat einen Wirkungsgrad.

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

Hier ist der Wirkungsgrad η , die Arbeit W und die aufgebrachte Wärmeenergie Q .

Um eine Vorstellung vom Wirkungsgrad zu erhalten betrachtet man einige Beispiele dafür: Bei einer Dampfmaschine liegt er bei 10 – 20% und bei Dieselmotoren bei 30 – 40%. Diese Wirkungsgrade sind relativ niedrig, da durch die Verbrennung eine hohe Abwärme entsteht, die nicht genutzt werden kann. Im Gegensatz dazu haben Wasserturbinen und Elektromotoren wesentlich höhere Wirkungsgrade. Dies liegt daran, dass diese nur gegen die Reibung und nicht gegen die Abwärme ankämpfen müssen.

5.10 Anomalie des Wassers

Wasser hat eine besondere Eigenschaft, die es von fast allen anderen Flüssigkeiten unterscheidet. Es hat bei 4°C sein kleinstes Volumen und damit seine größte Dichte. Geht man von 4°C aus, so vergrößert sich sowohl bei Temperaturerhöhung als auch bei Temperaturniedrigung das Volumen. Die Dichte wird damit kleiner. Dieses nicht normale thermische Verhalten von Wasser wird als Anomalie des Wassers bezeichnet.

Während Wasser bei 0°C eine Dichte von $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ hat, hat Eis bei 0°C eine Dichte von $0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Daher schwimmt Eis auf dem Wasser.

Dieses Phänomen hilft dem Überleben der Tiere im Wasser. Ein See friert wegen der Anomalie von oben her zu und friert je nach Tiefe nicht bis ganz zum Grund durch. Daher gibt es unter der Eisschicht flüssiges Wasser in dem Fische im Winter überleben können.

Ohne die Anomalie des Wassers, würde ein See vom Grund weg zufrieren, und so langsam den Lebensraum verkleinern.

6 Elektrizitätslehre

Ob es sich um Informationsübertragung im Nervensystem handelt oder um Blitze bei einem Gewitter, Elektrizität hat viele Gesichter und tritt in der Natur in vielen Bereichen auf. Durch die Technik die uns elektrische Energie liefert sowie auch braucht ist die Elektrizität nicht mehr aus unserem Alltag wegzudenken.

Dieses Kapitel soll die verschiedenen Bereiche der Elektrizitätslehre aufzeigen und die Grundlagen der jeweiligen Gebiete erklären.

6.1 Elektrostatik

Die Elektrostatik beschäftigt sich mit ruhenden Ladungen, mit Ladungsverteilungen und mit elektrischen Feldern. Hauptsächlich werden die Kräfte, die Ladungen aufeinander auswirken untersucht.

6.1.1 Elektrische Ladungen

Durch unterschiedliche Versuche fand man heraus, dass zwei unterschiedliche Ladungen existieren, die sich gegenseitig anziehen. Viele Elementarteilchen tragen eine Ladung. Für den Elektromagnetismus ist das Elektron sehr wichtig. Es trägt die Elementarladung von

$$-1e = -1,602176 \cdot 10^{-19}C$$

wobei das Proton die gleiche Ladung mit positiven Vorzeichen trägt. Die Ladung kann nur in einem Vielfachen der Elementarladung auftreten. Ein Elektronenüberschuss erzeugt eine negative Ladung, eine positive Ladung stammt von einem Elektronenmangel.

Das Coulomb'sche Gesetz

Als festgestellt wurde, dass sich geladene Körper anziehen bzw. abstoßen, wollte man natürlich auch wissen wie stark und nach welchen Regeln dies geschah.

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Das Coulomb'sche Gesetz beschreibt die Kraft F die auf die Ladungen Q_1 und Q_2 wirkt, welche sich im Abstand r voneinander befinden. Die Konstanten sind 4π , die Kreiszahl, und $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$, die Elektrische Feldkonstante. Je größer die Ladung, desto größer die Kraft. Je größer der Abstand, desto kleiner die Kraft. Ob die Kraft zwischen den Ladungsträgern anziehend oder abstoßend ist, wird nur durch die Vorzeichen der Ladungen bestimmt.

6.1.2 Elektrostatisches Feld

Jede vorhandene Ladung besitzt auch ein elektrisches Feld. Ein Feld kann man sich in der Physik als eine Eigenschaft des Raumes vorstellen. Es gibt Teilchen die Kräfte in einem Feld spüren. So spüren alle Teilchen die eine Masse besitzen auch die Gravitation. Ist ein Teilchen geladen, so spürt es ein Elektrisches Feld. So wie uns die Gravitation zum Mittelpunkt der Erde zieht, so zieht es unterschiedlich geladene Teilchen zum Mittelpunkt des jeweilig anderen.

Stellt man sich eine Ladungsverteilung vor, die ein elektrisches Feld erzeugt und legt in dieses Feld eine Probeladung, kann man mittels dieser Probeladung das Feld der Ladungsverteilung untersuchen. Da an jedem Punkt im Raum eine andere Kraft auf das Teilchen wirkt und die Kraft abhängig von der Feldstärke ist, kann man dadurch die Verteilung des Feldes im Raum bestimmen.

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_2}{r^2}$$

E ist die Elektrische Feldstärke, F ist die Kraft die auf die Probeladung wirkt und Q ist die Probeladung.

6.1.3 Elektrische Spannung

Man kann durch die Untersuchung des Feldes jetzt jedem Punkt im Raum eine gewisse Feldstärke zuordnen. Ist man näher am Ladungsschwerpunkt der Ladungsverteilung, dann ist das Feld stärker, ist man weiter entfernt, ist das Feld schwächer. Diese Stärke des Feldes an unterschiedlichen Punkten nennt man Potential des Feldes.

Die elektrische Spannung ist nichts anderes als der Potentialunterschied in einem Feld zwischen zwei Punkten. Man kann sich vorstellen, es ist der Druck den ein Teilchen im Feld erfährt. Ist der Potentialunterschied größer, wird sich das Teilchen stärker beschleunigen. Wie die Steigung eines Berges. Ist der Berg steiler, wird sich eine Kugel schneller beschleunigen wie bei einem flacheren Berg weil der Unterschied im Potential, hier in der Höhe zwei gleich weit entfernter Punkte am Berg, größer ist.

6.2 Gleichstrom

Gleichstrom ist der Fluss von Ladungsträgern, während der Fluss seine Stärke und Richtung nicht ändert. Dabei stellt sich nun die Frage was die Stärke des Stromflusses ist.

6.2.1 Stromstärke

Die Stärke des elektrischen Stromes ist die Ladungsmenge, die pro Zeitunterschied durch eine Fläche A fließt.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

I ist die elektrische Stromstärke mit der Einheit Ampere. Ein Ampere entspricht einem Coulomb, $\approx 6,242 \cdot 10^{18}$ Elementarladungen, die in einer Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters fließen.

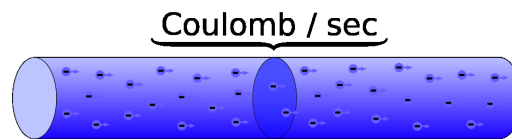


Abbildung 6.1: Stromfluss in einem Leiter

6.2.2 Elektrische Leiter

Ein Medium das genügend frei bewegliche Ladungsträger aufweist und diese zum Transport von Ladungen verwenden kann wird Leiter genannt. Es gibt 2 verschiedene Klassen von Leitern:

Leiter 1.Klasse

In Festkörpern bilden sich je nach Material gewisse Kristallstrukturen. Durch diese Gitterstrukturen sind einige Elektronen nur sehr schwach gebunden, so dass man diese als Elektronengas

im Festkörper betrachten kann. Elektronengas deswegen, da man diese schwach gebundenen Elektronen wie ein Gas beschreiben kann und es ähnliche Eigenschaften aufweist.

Viele Metalle und Graphit sind gute Beispiele für Leiter der 1.Klasse. Die Leitfähigkeit dieser Leiter ist oft Temperaturabhängig, so dass sie schwächer leiten wenn sie wärmer werden.

Leiter 2.Klasse

Leiter 2.Klasse sind Ionenleiter. Löst man zum Beispiel Salze im Wasser, löst sich Salz in positive und negative Ionen auf. Legt man eine Spannung an, wandern die negativen Ionen zum positiven Teil und die positiven Ionen zum negativen Teil der angelegten Spannung. Dies führt zu einem Fluss der Ladungsträger, also einem elektrischen Strom. Bei diesen Leitern tritt also im Gegensatz zu den Leitern 1.Klasse eine Stoffliche Veränderung auf.

6.2.3 Ohm'scher Widerstand

Ein elektrischer Widerstand wird dann Ohm'scher Widerstand genannt, wenn der Wert konstant unter Veränderung der Spannung, der Frequenz und der Stromstärke ist.

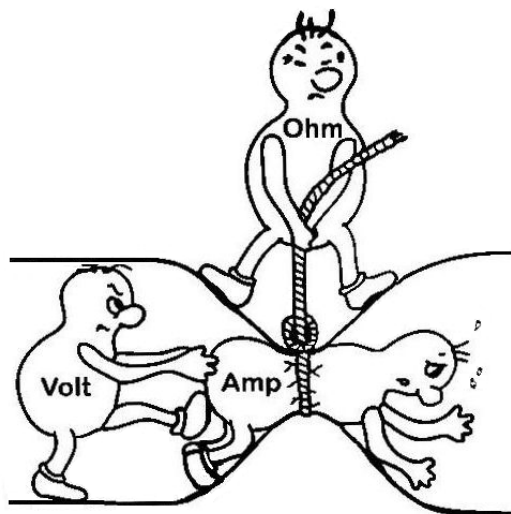


Abbildung 6.2: Illustration zum Widerstand

Der Widerstand arbeitet gegen die Spannung und behindert den Stromfluss.

6.2.4 Ohm'sches Gesetz

Das Ohm'sche Gesetz beschreibt wie sich Spannung, Stromstärke und Widerstand zueinander verhalten.

$$U = R \cdot I \text{ bzw. } \frac{U}{I} = R = \text{const. bzw. } \frac{U}{R} = I$$

Wird an ein Objekt eine veränderliche elektrische Spannung angelegt, so verändert sich die Stromstärke proportional zur Spannung. Das Verhältnis $\frac{U}{I}$ ist konstant und beschreibt den Widerstand.

Sind Widerstände in Serie geschaltet, addieren sie sich auf:

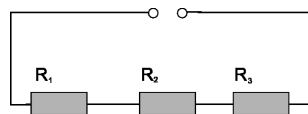


Abbildung 6.3: Reihenschaltung von Widerständen

Dann gilt:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Sind die Widerstände parallel geschaltet, addieren sich die Kehrwerte der Widerstände:

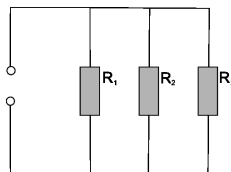


Abbildung 6.4: Parallelschaltung von Widerständen

Dann gilt:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \Rightarrow R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Die Formel für die Parallelschaltung wirkt komplexer wie die der Serienschaltung. Woran das liegt, wird durch die Kirchhoff'schen Gesetze klarer.

6.2.5 Kirchoff'sche Gesetze

Knotenregel

Kreuzen sich Stromleitungen an einem Punkt, dann muss die Summe des zufließenden Stroms gleich der des abfließenden Stroms sein. Was in den Knotenpunkt rein fließt muss auch wieder raus fließen. Es können keine Ladungsträger erzeugt oder vernichtet werden.

Das heißt, teilt sich ein Leiter wie bei der Parallelschaltung auf, muss sich auch der Strom aufteilen. Bei der Serienschaltung fließt durch jeden Widerstand die gleiche Menge an Strom.

Maschenregel

Bei einer Masche teilt sich der Strom an einem Knotenpunkt auf und fließt am nächsten Knotenpunkt wieder zusammen.

Bei dem Bild zur Parallelschaltung sind 2 Maschen verbaut. Am ersten Knotenpunkt teilt sich der Strom zwischen R_1 und den beiden anderen Widerständen auf und bei dem zweiten Knotenpunkt teilt sich der übrige Strom zwischen R_2 und R_3 auf. Umgekehrt fließt der Strom im Anschluss an den nächsten Knotenpunkten wieder zusammen.

Bei einer Masche ist die Spannung auf alle Teile gleich verteilt. Stellt man sich unter Spannung den Druck vor, herrscht in einer Masche überall der selbe Druck. Da der Druck überall in der Masche konstant ist, hängt der Stromfluss vom Widerstand ab. Daraus folgt für unsere Parallelschaltung:

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2 = R_3 \cdot I_3$$

Ist der Widerstand höher, fließt ein geringer Strom, ist er kleiner, fließt ein größerer Strom. Will man den gesamten Widerstand einer Masche berechnen, verwendet man die Formel für die Parallelschaltung:

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{ges}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_1+R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{1}{R_3} = \\ &= \frac{R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \\ R_{ges} &= \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}\end{aligned}$$

Man sieht gleich, je mehr Maschen desto aufwendiger den Widerstand zu berechnen.

6.2.6 Elektrische Leistung

Die Elektrische Leistung ist wieder die Arbeit pro Zeit. Jedoch lässt sich die Leistung auch schreiben als Spannung mal Stromstärke.

$$P = \frac{W}{t}$$

6.2.7 Elektrische Arbeit

Wie allgemein wird immer dann Arbeit verrichtet, wenn man ein Objekt gegen eine Kraft bewegt. Bewegt man Ladungsträger gegen eine Spannung, verrichtet man Arbeit:

$$W = Q \cdot U$$

Da die Ladungsmenge Q nichts anderes ist wie die Stromstärke mal der Zeit, lässt sich die Arbeit auch wie folgt darstellen:

$$W = I \cdot t \cdot U$$

Daher fällt auch die Zeit bei der Leistung weg, da ja Leistung Arbeit pro Zeit ist.

6.2.8 Magnetfeld

Den Magnetismus lediglich mit dem Magnetfeld zu erklären wird diesem umfangreichen Gebiet kaum gerecht. Da jede bewegte Ladung ein Magnetfeld erzeugt und ein sich änderndes Magnetfeld Ladungen beschleunigen kann ist der Magnetismus direkt mit der Elektrodynamik verbunden. Untersucht man eines der beiden Gebiete, muss man auch das andere berücksichtigen. Verknüpft werden beide Gebiete durch die Maxwell Gleichungen, die einen Zusammenhang zwischen Elektrodynamik und Magnetismus herstellen. Zusammen mit der Lorentzkraft werden alle Phänomene der klassischen Elektrodynamik erklärt. In dem Abschnitt zum Magnetismus wird nur auf die Lorentzkraft eingegangen, die Maxwellgleichungen werden hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt, da um sie zu verstehen höhere Mathematik von Nöten ist.

Prinzipiell ist der Magnetismus der Elektrodynamik sehr ähnlich. Als Beispiel dafür kann man die Kraft zwischen zwei Magneten betrachten.

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \mu_0} \cdot \frac{p_1 \cdot p_2}{r^2}$$

Vergleicht man diese magnetische Kraft mit der elektrischen Kraft zwischen zwei Ladungen, dem Coulomb Gesetz,

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2},$$

stellt man fest, dass das ϵ_0 mit einem μ_0 , der magnetischen Feldkonstanten, ersetzt wurde. Zusätzlich ist anstatt der Ladung e jetzt die magnetische Polstärke bzw. der magnetische Fluss p vorhanden. Betrachtet man weiter Formeln aus dem Elektromagnetismus, kann man in mehreren Fällen diese Parallelen ziehen.

Im weiteren soll der Magnetismus aber mehr phänomenologisch behandelt werden, da ein tieferer Einblick in das Gebiet nicht benötigt wird.

Magnetfeld

Das Magnetfeld ist ein Feld wie das elektrische Feld. Teilchen die das Feld „spüren“ reagieren auch auf das Feld. Da die magnetischen Feldlinien immer geschlossen sind, also weder Anfangs- noch Endpunkt haben, verhalten sich Teilchen im Magnetfeld anders als Teilchen im elektrischen Feld. Ein Magnetfeld kann von einem Stabmagneten erzeugt werden oder von einem Leiter in dem elektrischer Strom fließt.

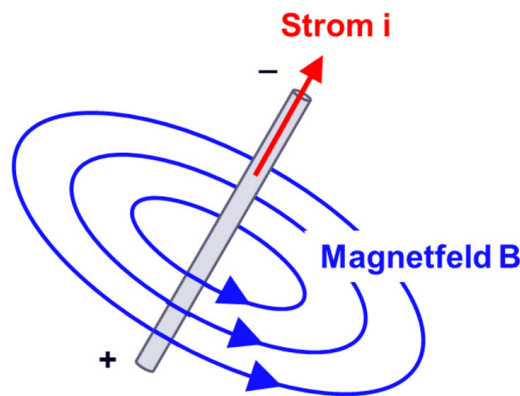


Abbildung 6.5: Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

Ein einfaches Bild zum Stabmagneten ist sich ihn vorzustellen wie eine Ansammlung an vielen, winzig kleinen Magneten die den Stabmagneten ausfüllen. Diese Magnete sind unmagnetisierten Zustand ungerichtet und gleich verteilt in alle Raumrichtungen. Somit hebt sich das Magnetfeld aller kleinen Magnete auf und nach außen hin existiert kein Magnetfeld. Legt man diesen unmagnetisierten Stabmagneten in ein starkes äußeres Magnetfeld, dann richten sich alle kleinen Magneten innerhalb des Stabmagneten aus. Sie zeigen dann alle in die gleiche Richtung und summieren ihre einzelnen kleinen Magnetfelder zu einem kompletten großen Magnetfeld auf.

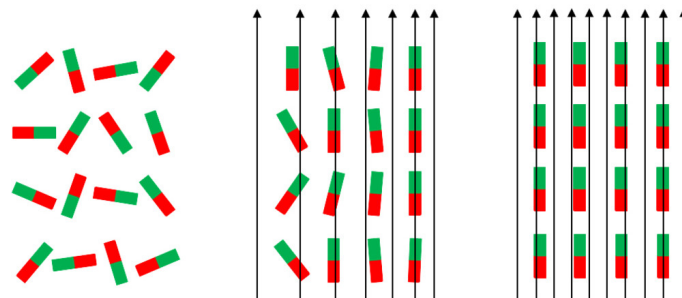


Abbildung 6.6: Magnetisierung des Stabmagneten

Die Richtung der Feldlinien in einem Stabmagneten geht vom Nord- zum Südpol. Je dichter die Feldlinien, desto stärker das Magnetfeld. Beim stromdurchflossenen Leiter gilt die rechte Hand Regel. Der Strom fließt in Richtung Daumen, dann zeigen die restlichen Finger in die Richtung des Magnetfeldes.

Magnetfeld einer Spule

Nimmt man sich den Stabmagneten mit der Theorie der vielen kleinen Magnete zum Vorbild, so kann man das auch mittels elektrischen Strom umsetzen. Je mehr Leiter nebeneinander, desto größer das resultierende Magnetfeld. Wickelt man einen Leiter auf, dann bildet sich im Inneren ein gleichmäßiges, relativ starkes Magnetfeld.

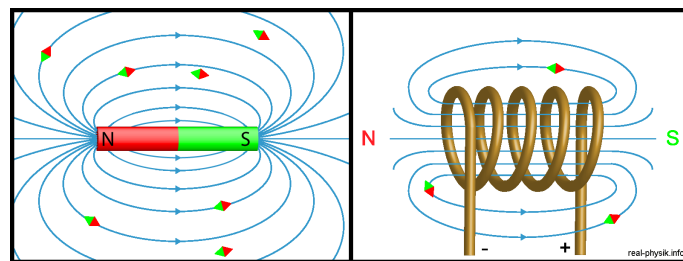


Abbildung 6.7: Magnetfelder eines Stabmagneten und einer Spule

Die Magnetfelder des Stabmagneten und der Spule sehen sehr ähnlich aus. Die magnetische Feldstärke ist proportional zur Windungszahl und zur Stromstärke und umgekehrt proportional zur Spulenlänge.

Lorentzkraft

Die Lorentzkraft beschreibt die Kraft, die eine bewegte Ladung im Magnetfeld erfährt. Da eine bewegte Ladung auch selbst ein Magnetfeld erzeugt, tritt eine Wechselwirkung zwischen dem Magnetfeld der Ladung und dem äußeren Magnetfeld auf.

Um die Richtung der Kraft zu bestimmen, verwendet man eine andere rechte Hand Regel. Hier spreizt man Daumen, Zeige- und Mittelfinger so, dass alle rechtwinklig zueinander stehen. Es zeigt der Daumen in die Richtung in die sich das Teilchen bewegt, der Zeigefinger in Richtung des magnetischen Feldes und der Mittelfinger zeigt in Richtung der resultierenden Kraft.

$$F = q \cdot v \times B$$

Das Zeichen zwischen der Geschwindigkeit und dem Magnetfeld bezeichnet das Kreuzprodukt. Da die Lorentzkraft durch das Kreuzprodukt immer senkrecht zur Geschwindigkeit steht, führt eine bewegte Ladung im Magnetfeld eine Kreisbewegung aus. Ob der Kreis geschlossen ist oder nur eine leichte Kurve im Magnetfeld, liegt an der Stärke des Magnetfeldes, der Ladung und der Geschwindigkeit.

Legt man einen stromdurchflossenen Leiter in ein Magnetfeld, so erfährt er eine Kraft, die ihn aus dem Magnetfeld drückt bzw. weiter hinein zieht je nach Flussrichtung. Somit lässt sich elektrische Energie direkt in Bewegung umwandeln. Bei richtiger Anordnung kann man so einen Elektromotor herstellen.

Dieses Prinzip funktioniert umgekehrt genauso. Es handelt sich hier um die magnetische Induktion, aus der man aus Bewegungsenergie elektrische Energie erzeugen kann. Bewegt man einen Leiter durch ein Magnetfeld, so bewegt man gleichzeitig auch die Ladungsträger im inneren des Leiters durch das Magnetfeld. Diese wiederum erfahren die Lorentzkraft und werden auf eine Seite des Leiters bewegt. Bewegte Ladung entspricht elektrischem Strom wodurch die Umwandlung zwischen Bewegungsenergie und Elektrischer Energie stattfindet.

6.3 Wechselstrom

Der Wechselstrom ist der im Alltag am häufigsten auftretende Strom. Dies liegt zum einen an der Art der Erzeugung und zum Anderen an der Möglichkeit der Transformation. Ein Leiter wird wie bei der Induktion beschrieben durch Magnetfelder bewegt. Dadurch verändert sich um den Leiter herum ständig das Magnetfeld, was zur Bewegung der Ladungsträger führt. Diese bewegen sich sehr schnell hin und her. Wie oft sich die Ladungsträger pro Sekunde hin und her bewegen wird Frequenz des Wechselstromes genannt. Zur Erzeugung eines Gleichstroms ist mehr Aufwand nötig wie nur die Rotationsbewegung eines Leiters in einem Magnetfeld. Der Andere Punkt, warum Wechselstrom häufiger verwendet wird, ist die Transporteigenschaft durch Transformation. Im wesentlichen soll die Leistung übertragen werden. Die Formel der Leistung war:

$$P = U \cdot I$$

Nun kann man bei gleichbleibender Leistung die Spannung U erhöhen, während sich die Stromstärke I verringert. Das Gleiche funktioniert natürlich auch umgekehrt, so dass sich die Stromstärke erhöht während die Spannung abnimmt.

Es stellt sich natürlich die Frage was die Transformation der Spannung bringt. Vom Stromerzeuger, also dem Kraftwerk, zum Endverbraucher ist es meist ein weiter Weg. Durch den langen Weg der Leitung ist natürlich auch ein hoher Widerstand vorhanden, da bei hoher Stromstärke viele Elektronen sich im Leiter bewegen und dadurch auch der Widerstand zunimmt. Je mehr Elektronen sich im Leiter bewegen, desto schwerer kommen sie voran. Dieses Problem kann man lösen, wenn man die Spannung auf einen höheren Wert transformiert und gleichzeitig die Stromstärke auf einen geringeren Wert. Dadurch bewegen sich bei einer sehr hohen Spannung nur sehr wenige Elektronen im Leiter. Die Übertragene Leistung ist gleich, aber die Verluste der Übertragung sind durch die Transformation geringer. So wird im Kraftwerk der Strom auf Hochspannung transformiert, durch Hochspannungsleitungen zu den Abnehmern transportiert und dann wieder umgewandelt.

6.3.1 Effektivwert

Betrachtet man ein Diagramm zum Wechselstrom,

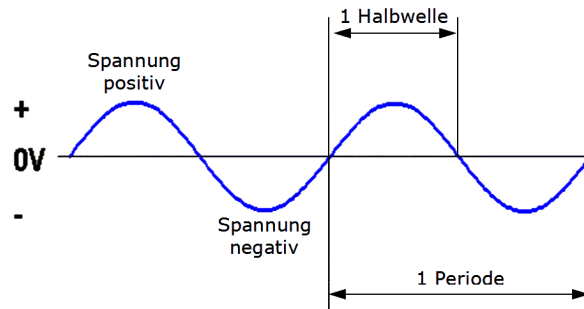


Abbildung 6.8: Spannungsverlauf beim Wechselstrom

erkennt man, dass der Spannungsverlauf sinusförmig ist. Innerhalb einer Periode schwankt die Spannung zwischen einem positiven und einem negativen Maximalwert. Dieser Maximalwert ist aber nicht die normale Netzspannung von $230V$. Die Netzspannung von $230V$ ist der Effektivwert der Spannung. Da der Maximalwert nur sehr kurz auftritt und die meiste Zeit ein geringerer Wert im System ist, muss man mit dem Effektivwert rechnen. Den Effektivwert erhält man, wenn man den Maximalwert durch $\sqrt{2}$ dividiert.

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Daher hat Unser Energienetz eine Maximalspannung von ungefähr $325V$.

6.3.2 Amplitude

Die Amplitude entspricht dem Maximalwert einer Schwingung. Die Amplituden sind sozusagen die Maximalwerte. Aus einer Schwingung kann man gleich die Amplitude ablesen.

$$f(t) = A \cdot \sin \omega \cdot t + \phi_0$$

A ist die Amplitude der Schwingung, $\omega = 2\pi \cdot f$ ist die Kreisfrequenz und ϕ_0 eine Phasenverschiebung.

6.3.3 Frequenz

Die Frequenz der Schwingung gibt an wie viele Durchläufe die Schwingung pro Sekunde macht. Aus der Frequenz kann man die Periodendauer bestimmen, also wie lange ein Durchlauf braucht.

$$f = \frac{1}{T}$$

Aus $\omega = 2\pi \cdot f$ folgt für die Funktion der Schwingung mit der Frequenz:

$$f(t) = A \cdot \sin 2\pi \cdot f \cdot t + \phi_0$$

6.4 Elektromagnetische Wellen

Nachdem wir das elektrische Feld und das magnetische Feld kennen gelernt haben, können wir anhand der Felder eine elektromagnetische Welle darstellen. Beispiele für elektromagnetische Wellen sind Radiowellen, Licht und Röntgenstrahlen. Elektromagnetische Wellen brauchen im Gegensatz zu Schallwellen kein Medium zur Ausbreitung. Je nach Frequenz haben die elektromagnetischen Wellen unterschiedliche Bezeichnungen. Die Frequenz ist abhängig von der Energie, je mehr Energie zur Erzeugung der elektromagnetischen Welle verwendet wurde, desto kleiner ihre Wellenlänge und desto größer ihre Frequenz.

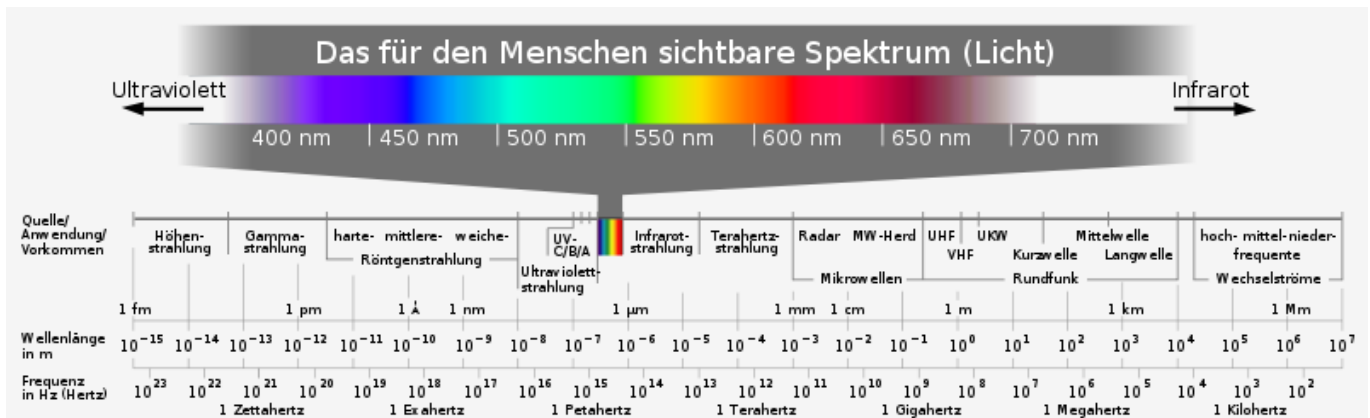


Abbildung 6.9: Spektrum elektromagnetischer Wellen

Unsere Augen können Wellenlängen im Bereich von $400 - 700\text{nm}$ wahrnehmen und diese Wellenlängen sehr genau einer gewissen Farbe zuordnen. Für den Rundfunk haben sich relativ lange Wellenlängen etabliert, je nach Abdeckungsgebiet hat ein Regionalsender eine kürzere Wellenlänge, wie ein Sender der weltweit sendet. Bei der Gammastrahlung und Röntgenstrahlung treten sehr kurze Wellenlängen und sehr hohe Frequenzen auf. Dadurch steckt bei weitem mehr Energie in der Strahlung wie bei der Radiostrahlung und die Strahlung ist potentiell gefährlicher für den Menschen.

6.4.1 Elektromagnetische Wellen

Wie schon erwähnt, braucht man elektromagnetische Felder um die Wellen zu beschreiben. Eine Welle hat eine Ausbreitungsrichtung. Senkrecht dazu oszilliert das Elektrische Feld. Es kann also radial auf der Ausbreitungsrichtung in jede Richtung zeigen. Zum elektrischen Feld senkrecht sowie zur Ausbreitungsrichtung senkrecht steht das Magnetfeld. Beide Felder breiten sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Wellenlänge der Strahlung ist der Abstand zwischen zwei Maxima.

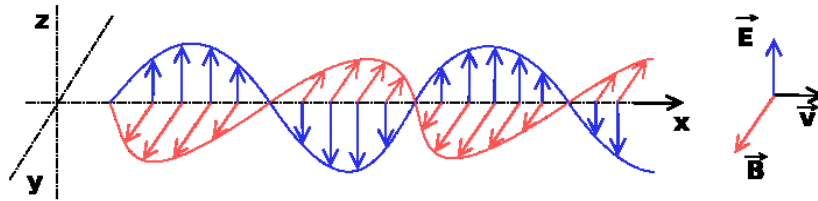


Abbildung 6.10: Spektrum elektromagnetischer Wellen

6.4.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Dass sich Licht mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, kann man schon am Namen erkennen. Aber gilt das immer und Überall? Betrachten wir zuerst die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle:

$$c = f \cdot \lambda$$

Hier ist c die Ausbreitungsgeschwindigkeit, f die Frequenz und λ ist die Wellenlänge. Aus den Maxwell Gleichungen lässt sich auch noch eine andere Darstellungsform ableiten:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}$$

Das schöne an dieser Darstellung ist, dass sie komplett aus Naturkonstanten besteht. Das heißt die Lichtgeschwindigkeit muss eine feste Größe sein, wo auch die Naturkonstanten ϵ_0 und μ_0 gelten.

Das Problem ist aber, dass diese beiden Konstanten nur im Vakuum gelten. In Medien wie zum Beispiel Glas gelten materialspezifische Konstanten. Hieraus ergibt sich eine veränderte Lichtgeschwindigkeit in Medien:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}}$$

Das bedeutet, dass sich Licht außerhalb des Vakuums, je nach Medium, langsamer bewegt. Das führt auch zur Lichtbrechung in Medien, aber dazu mehr in der Optik.

7 Optik

Optik ist die Lehre vom Licht. Sie beschäftigt sich mit der Ausbreitung von Licht, der Wechselwirkung mit Materie und optischen Abbildungen. In der Optik gibt es 2 wichtige Bereiche, die geometrische Optik und die Wellenoptik.

7.1 Geometrische Optik

In der Geometrischen Optik wird Licht durch Strahlen angenähert. Durch Konstruktion des Strahlenverlaufs wird der Weg des Lichts konstruiert. Dabei werden oft Spiegel und Linsen untersucht.

Snellius'sches Brechungsgesetz

Tritt Licht von einem Medium in ein anderes, kann eine Änderung der Richtung der Lichtstrahlen vorkommen. Dies hängt vom Brechungsindex der Medien ab. Der Brechungsindex ist ein Maß für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Medium.

$$n_1 \cdot \sin \delta_1 = n_2 \cdot \sin \delta_2$$

Hier ist n der jeweilige Brechungsindex und δ der Einfallswinkel bzw. der Ausfallswinkel des Lichtstrahls. Zusätzlich ist der jeweilige Brechungsindex noch abhängig von der Wellenlänge des Lichts. Das kann man ausnutzen um Licht mithilfe eines Prismas in seine einzelnen Wellenlängen zu zerlegen, man nennt die die Spektralzerlegung des Lichts.

Reflexion

An einer Grenzfläche kann Licht auch reflektiert werden. Im Normalfall wird ein Teil des Lichts reflektiert und ein Teil gebrochen. Der gebrochene Teil verhält sich nach dem Snellius'schen Brechungsgesetz, der reflektierte Teil verhält sich immer nach dem Prinzip Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel.

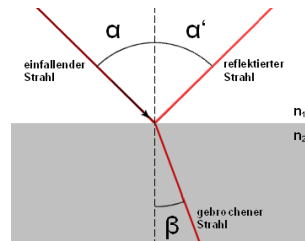


Abbildung 7.1: Reflexion und Brechung an Medien

Die Stärke der Reflexion hängt von der optischen Durchdringbarkeit des Materials ab. Ein Spiegel hat eine hohe Reflexion, Luft eine geringe.

Ein Sonderfall der Reflexion ist die Totalreflexion. Diese tritt auf, wenn der Lichtstrahl vom optisch Dichteren in ein optisch dünneres Medium übergeht. Vom optisch dünneren ins optisch dichtere Medium bricht der Strahl zum Lot hin, andersherum bricht er vom Lot weg. Ab einem gewissen Winkel wird der Strahl die 90 überschreiten. Ab diesem Winkel tritt die Totalreflexion auf. Diesen Effekt kann man sehr schön beim Schwimmen überprüfen. Taucht man ab und schaut nach oben an die Wasseroberfläche sieht man einen durchlässigen Kreis durch den man die Umgebung außerhalb des Wassers beobachten kann. Rundherum sieht die Wasseroberfläche aus wie ein Spiegel wegen der Totalreflexion.

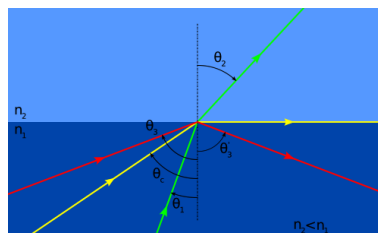


Abbildung 7.2: Reflexion beim Übergang von optisch dicht in dünn

Der grüne Strahl ist unterhalb des Winkels der Totalreflexion, der gelbe Strahl ist am Grenzwinkel der Totalreflexion und beim roten Strahl tritt Totalreflexion auf, als Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel.

Spiegel

Der einfachste Spiegel ist der ebene Spiegel.

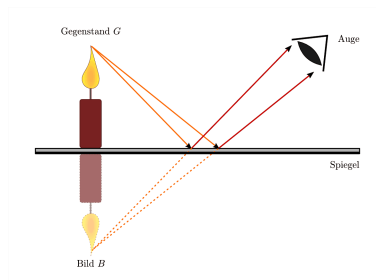


Abbildung 7.3: Reflexion am ebenen Spiegel

Die Lichtstrahlen des Gegenstandes werden vom Spiegel reflektiert und in Richtung Auge weitergeleitet. Da das Auge gewohnt ist Licht auf einer geraden Bahn wahrzunehmen, vermutet es den Gegenstand hinter der Spiegelebene am Bild B. Dies ist ein virtuelles Bild das durch den Spiegel erzeugt wird.

Als nächstes wird der Hohlspiegel betrachtet.

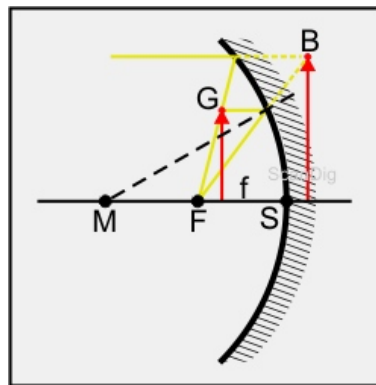


Abbildung 7.4: Reflexion am Hohlspiegel vergrößert

Der Hohlspiegel hat einen Brennpunkt, hier mit F bezeichnet. Ein Lichtstrahl der parallel zur optischen Achse, der Linie auf der Brennpunkt und Radius liegen, verläuft, wird im Spiegel reflektiert und anschließend geht der Strahl durch den Brennpunkt F. Es laufen also im Brennpunkt alle Lichtstrahlen zusammen. Weiter entfernt vom Spiegel befindet sich der Mittelpunkt M des Kreises der den Spiegel darstellt.

Befindet sich ein Objekt G zwischen Spiegeloberfläche und Brennpunkt, dann wird es dem Betrachter, der von weit weg in den Spiegel blickt als vergrößert dargestellt. Konstruiert man den Strahlverlauf, muss der Strahl durch den Brennpunkt gehen, der Oberste Punkt des Objekts, wird weiter oben am Spiegel reflektiert. So zeigt sich dem Betrachter ein vergrößertes Bild B der Objekts.

Doch was wenn sich das Objekt hinter dem Brennpunkt befindet?

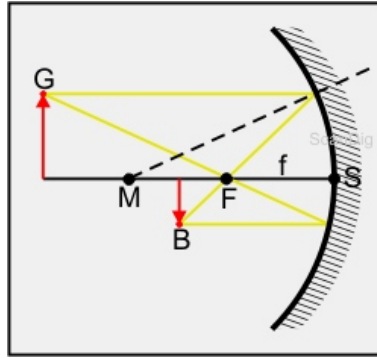


Abbildung 7.5: Reflexion am Hohlspiegel verkleinert

Man konstruiert wieder den Strahlverlauf des Lichts, hier die gelben Linien. Die Strahlen gehen wie immer durch den Brennpunkt, wenn das Licht parallel zur optischen Achse verläuft. Das Objekt zeigt sich nun verkleinert und es steht auf dem Kopf. Jedoch befindet sich das Bild vor dem Spiegel, nicht wie beim ebenen Spiegel virtuell hinter dem Spiegel.

Die Abstände des Objekts und des Bildes lassen sich in Abhängigkeit von der Brennweite des Spiegels berechnen. M ist der Mittelpunkt des Kreises der den Spiegel beschreibt, S ist der Scheitelpunkt, der Punkt auf dem der Spiegel auf der optischen Achse liegt. Am Punkt F befindet sich der Brennpunkt, der immer auf halber Strecke zwischen Mittelpunkt und Scheitelpunkt liegt. Die Brennweite f ist der Abstand von Scheitelpunkt zu Brennpunkt. Die Bildweite b und die Gegenstandsweite g sind die Abstände von Bild und Gegenstand vom Scheitelpunkt.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Diese Art von Spiegel werden zur Bündelung von Elektromagnetischer Strahlung verwendet. Zum Beispiel eine Parabolantenne (bekannter unter Satellitenschüssel) zum Empfang von Rundfunk

Zusätzlich gibt es noch den Konvexspiegel.

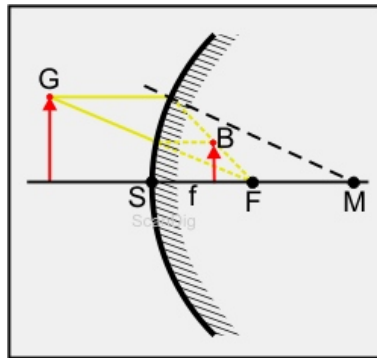


Abbildung 7.6: Reflexion am Konvexspiegel

Beim Konvexspiegel befindet sich Mittelpunkt und Brennpunkt hinter der Spiegelebene. Es gelten wieder die gleichen Regeln für die Konstruktion wie beim Hohlspiegel. Die Strahlen laufen parallel zur optischen Achse und gehen durch den Brennpunkt nachdem sie auf den Spiegel getroffen sind. Dadurch entsteht ein verkleinertes, virtuelles Bild des Gegenstandes.

7.2 Wellenoptik

Die Wellenoptik kann Phänomene wie Farbe, Interferenz und Polarisation des Lichts erklären, wozu die Geometrische Optik nicht in der Lage ist. Hier wird Licht als Welle gesehen. Die Polarisation von Wellen wurde in Kapitel 4.8 erklärt. Die Interferenz von Wellen wurde im Kapitel 4.6 erklärt, die Farbe des Lichts sieht man im Kapitel 6.4.

Licht ist eine Elektromagnetische Welle mit einer Wellenlänge zwischen $\approx 400 - 700nm$ und weist daher auch alle Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle auf.

7.3 Dualismus

Der Dualismus des Lichts meint, dass Licht gleichzeitig Wellencharakter und Teilchencharakter hat. Es verhält sich je nach Betrachtung wie ein Teilchen oder wie eine Welle. Dadurch ist die Geometrische Optik zur Wellenoptik gleichberechtigt, das eine Gebiet beschreibt die einen Eigenschaften des Lichts, das andere Gebiet die anderen Eigenschaften des Lichts.

7.4 Teilchen - Welle

Das Licht ist immer gleichzeitig Teilchen und Welle. Um sich das vorzustellen betrachtet man das Doppelspalt-Experiment.

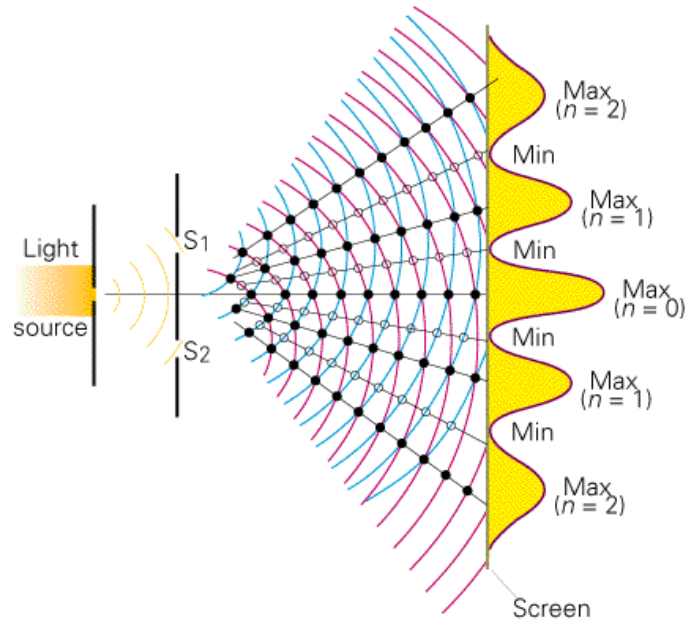


Abbildung 7.7: Interferenz am Doppelspalt

Bei diesem Experiment wird Licht auf eine Wand mit zwei Spalten gestrahlt. Nach dem Huygensschen Prinzip ist jeder Punkt einer Wellenfront der Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle. Daher ist jeder der beiden Spalte der Ursprung einer Kugelwelle. Diese beiden Kugelwellen interferieren miteinander. Entweder konstruktiv oder destruktiv, also die Wellenberge addieren sich auf oder löschen sich aus. Daher entsteht am Bildschirm ein Interferenzmuster.

Reduziert man die Intensität des Lichts so stark, dass man nur wenige Photonen pro Minute durch die Versuchsanordnung schickt, so ergibt sich nach langer Wartezeit das gleiche Bild.

Setzt man jetzt Detektoren ein, so dass man den Weg jedes einzelnen Photons bestimmen kann, so zeigt das Verhalten des Lichts plötzlich Teilchencharakter, es interferiert nicht mehr.

Das Licht ist je nach Art der Betrachtung entweder ein Teilchen oder eine Welle. Untersucht man das Licht auf Wellencharakter stellt man Welleneigenschaften fest, untersucht man es auf Teilchencharakter, stellt man Teilcheneigenschaften fest.

7.5 Absorption

Absorption ist die Fähigkeit eines Materials das Licht aufzunehmen ohne es zu reflektieren. Ein Spiegel absorbiert kaum Licht, er wirft den Großteil wieder zurück. Schwarzes Material wirft nur sehr wenig Licht zurück, es absorbiert einen Großteil des einfallenden Lichts. Dies wird dann meist in Wärmeenergie umgewandelt. Ein schwarzes Auto wird in der Sonne heißer wie ein weißes Auto.

7.6 Optische Geräte

Zu den optischen Geräten sollen nur einige Beispiele genannt werden. Zur Vergrößerung gibt es Lupen und Mikroskope, will man etwas in der Ferne betrachten, verwendet man Fernrohre und Teleskope. Mit einer Fotokamera kann man oft beides erreichen. Will man die geschossenen Bilder zeigen verwendet man einen Diaprojektor. Ist dieser nicht scharf, kann es sein dass man eine Brille braucht.

7.7 Physiologische Optik

Die physiologische Optik beschäftigt sich mit der Optik und dem Aufbau des Auges. Da sich der ganze Prozess des Sehens mehr im Hirn wie im Auge abspielt, soll die Physiologische Optik nur kurz angeschnitten werden.

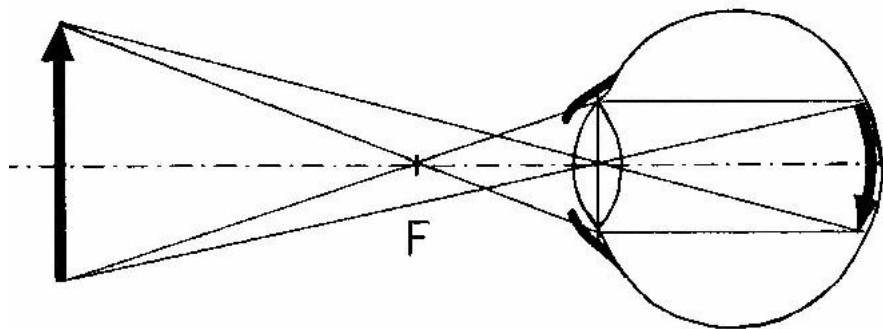


Abbildung 7.8: Strahlverlauf des Lichts im Auge

Im Auge befindet sich eine Linse, die das Licht bündelt. Vom Prinzip sind Linsen den Spiegeln sehr ähnlich, sie haben einen Brennpunkt und der Strahlenverlauf ist ähnlich.

Es treten verschiedene Sehstörungen auf. Verantwortlich dafür sind Linsenänderungen, eine Änderung der Augenform oder Veränderungen in der Netz- oder Hornhaut. Im folgenden sollen einige Beispiele genannt werden und die Korrektur dazu.

Bei der Kurzsichtigkeit ist die Brechkraft der Linse zu stark, der Brennpunkt der Linse befindet sich vor der Retina. Korrigiert wird dies mit einer Konkavlinse, die den Brennpunkt korrigiert.

Das Gegenteilige, wenn sich der Brennpunkt hinter der Retina befindet, ist die Weitsichtigkeit. Hier wird eine Konvexlinse verwendet um die Weitsichtigkeit zu korrigieren.

Ist die Hornhaut ungleichmäßig gekrümmt, nennt man das Astigmatismus. Mittels einer Zylinderlinse kann dies berichtigt werden.

Die sphärische Aberration lässt durch eine ungleichmäßige Krümmung der Linse den Brennpunkt verschmieren. Durch eine Asymmetrische Linse wird dies behoben.

8 Atomphysik

Atome sind die Bausteine aus denen Materie aufgebaut ist. Gase, Festkörper und Flüssigkeiten bestehen aus Atomen. Materialeigenschaften sowie ihre chemischen Eigenschaften sind durch die Art und Anordnung der Atome bestimmt. Jedes Atom lässt sich einem chemischen Element zuordnen.

Die Atomphysik beschäftigt sich nicht nur mit den Eigenschaften und dem Aufbau der Atome, sondern auch mit den Kräften innerhalb und zwischen den Atomen, der Wechselwirkung von Atomen, Radioaktivität und andere Elementarteilchen betreffende Phänomene und Eigenschaften.

8.1 Atomaufbau

Das Atom besteht aus der Atomhülle, in der sich die Elektronen aufhalten und aus dem Atomkern. Der Atomkern besteht aus Protonen und Neutronen.

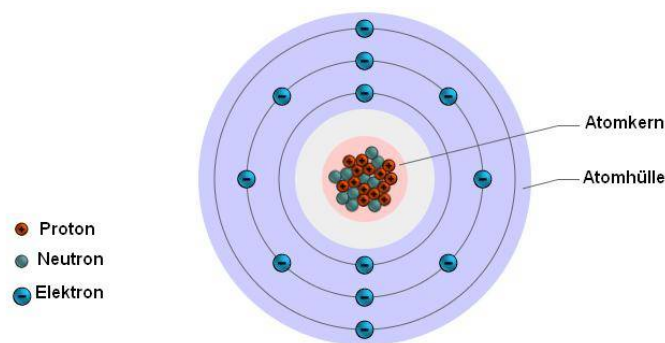


Abbildung 8.1: Vereinfachter Aufbau des Atoms

Das einfachste Modell zum Aufbau des Atoms ist wohl das Bohr'sche Atommodell von Niels Bohr. Das Atom besteht aus einem schweren Kern und aus leichten Elektronen die auf Bahnen um das Atom kreisen. Nach den Gesetzen der Elektrodynamik strahlt ein Ladungsträger der sich im Kreis bewegt elektromagnetische Strahlung ab, also er verliert Energie. Daraufhin

müsste nach einer gewissen Zeit das Elektron in den Kern stürzen. Da Atome existieren nahm Bohr an, dass Elektronen die sich auf genau diesen Kreisbahnen bewegen keine Energie abstrahlen. Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung wird nur dann abgegeben, wenn ein Elektron von einer Bahn auf die andere springt.

Bohr stellte drei Postulate auf, die in der klassischen Physik nicht möglich sind, aber das Atom mit der damaligen Messgenauigkeit sehr gut beschreiben.

- Dem Elektron stehen an Stelle aller klassisch möglichen Bahnen nur ausgewählte andere Bahnen zur Verfügung. Auf diesen Bahnen erzeugt es keine elektromagnetische Strahlung, sondern behält seine Energie. Dies sind die stationären Zustände des Atoms.
- Das Elektron kann von einem stationären Zustand in einen anderen springen. Dieser als Quantensprung bezeichnete Vorgang liegt außerhalb des Gültigkeitsbereichs der klassischen Mechanik und der Elektrodynamik. Beim Quantensprung zwischen stationären Zuständen mit verschiedener Energie, den Energieniveaus, wird elektromagnetische Strahlung emittiert oder absorbiert.
- Die Frequenz der erzeugten oder absorbierten Strahlung nähert sich der Umlauffrequenz des Elektrons an, wenn sich das Elektron im Anfangszustand nur langsam bewegt und in den energetisch nächstgelegenen Zustand springt.

Überprüft man die Bahnen die Bohr postuliert, kann man abgestrahltes Licht in genau der Frequenz messen, die beim Übergang zwischen zwei Bahnen vorausgesagt wird. Ebenfalls lässt sich die Größe des Atoms sehr genau berechnen was auch mit dem experimentellen Wert übereinstimmt. Auch die diskreten Energiezustände, also die Bahnen, konnten experimentell bestätigt werden.

Auch wenn das Bohr'sche Atommodell dabei hilft den Grundaufbau des Atoms zu verstehen, weist es doch einige Fehler auf. In der Physik will man aber ein möglichst naturgetreues exaktes Modell haben. Mithilfe der Quantenmechanik lässt sich jetzt zumindest das Wasserstoffatom exakt beschreiben, alle anderen Atome durch mathematische Näherungsverfahren. Das Orbitalmodell beschreibt den Aufbau des Atoms sehr genau. Darauf wird im entsprechenden Kapitel näher eingegangen.

8.2 Atomkern

Der Atomkern besteht, wie schon erwähnt, aus Protonen und Neutronen. Diese bilden zusammen den Kern. Welchem Element das Atom zugehörig ist, wird durch die Anzahl der Protonen bestimmt. Welchem Isotop das Atom angehört, wird durch die Anzahl der Kernbausteine, also die Summe aus Protonen und Neutronen bestimmt.

Chemische Elemente sind die Elemente, die man im Periodensystem findet. Ein Wasserstoffatom hat genau ein Proton, ein Heliumatom hat genau 2 Protonen usw. Isotopen sind Atome eines Elements mit unterschiedlicher Anzahl an Kernbausteinen. Das heißt wenn im Wasserstoff nur das Proton und kein Neutron ist spricht man vom Protium. Befindet sich ein Neutron zusätzlich im Kern, nennt man es Deuterium. In der Natur kommt zusätzlich noch Tritium vor, wo sich ein zweites Neutron im Kern befindet. Die in der Natur vorkommende Aufteilung der Wasserstoffisotopen ist 99,985% Protium, also normaler Wasserstoff, 0,015% Deuterium, Wasserstoff mit einem Neutron und ein vernachlässigbar kleiner Anteil an Tritium, der Wasserstoff mit zwei Neutronen im Kern.

So sind alle Kerne aufgebaut. Je nach Element eine fixe Anzahl an Protonen und eine unterschiedliche Anzahl an Neutronen. Die Anzahl der Neutronen variiert von Element zu Element. Es wird dann oft die durchschnittliche Anzahl an Neutronen angegeben. Beim Wasserstoff sind das 0, beim Helium 2 usw. Die Anzahl an Neutronen entscheidet auch oft darüber ob ein Element stabil ist, oder radioaktiv zerfällt.

8.3 Starke Wechselwirkung

Die Gravitation und die elektromagnetische Kraft haben wir schon behandelt. Es existieren noch zwei weitere Grundkräfte der Natur. Eine davon ist die Starke Wechselwirkung. Um sie genau beschreiben zu können, müsste man tiefer in die Teilchenphysik und deren Modelle eintauchen. Das Grundprinzip der starken Wechselwirkung, ist der Zusammenhalt zwischen den ungeladenen Neutronen und den positiv geladenen Protonen. Nimmt man zwei Protonen und führt sie weiter und weiter zusammen, stoßen sie sich stärker und stärker ab. Es sollte also mit der elektromagnetischen Kraft nicht möglich sein die Protonen zusammenzuführen und vor allem sollten sie nicht zusammen bleiben. Hier kommt die starke Wechselwirkung ins Spiel. Sie hat eine sehr kurze Reichweite, übertrifft aber alle anderen Grundkräfte in ihrer Stärke. Ihre Reichweite liegt bei nur einigen Femtometern. Der Durchmesser des Protons hat nur $1,5\text{ fm}$, der Durchmesser des Kerns hat im Schnitt ungefähr 10 fm und das Atom mit Hülle ungefähr 100000 fm . Mit diesen Vergleichen kann man sich eine Vorstellung der Reichweite der starken Wechselwirkung machen. Bringt man nun die Protonen so nah aneinander, wird die abstoßende elektromagnetische Kraft an einer Stelle kleiner wie die anziehende starke Wechselwirkung und die Protonen bleiben zusammen.

8.4 Schwache Wechselwirkung

Um die schwache Wechselwirkung zu erklären ist man vollkommen auf die Teilchenphysik angewiesen. Daher wird die Erklärung nur phänomenologisch stattfinden. Teilchen wie Neutronen und Protonen sind aus Quarks aufgebaut. Diese Quarks haben wieder gewisse Eigenschaften wie Ladung, Gewicht usw. Manche Teilchen sind aus drei Quarks aufgebaut, andere wiederum aus zwei. Protonen und Neutronen bestehen aus drei Quarks. Mithilfe der schwachen Wechselwirkung wird ein d-Quark in ein u-Quark umgewandelt wodurch dann aus dem Neutron ein Proton wird. Das Proton ist energetisch effizienter als das Neutron, daher kann man dem Neutron eine Halbwertszeit zuschreiben.

Die schwache Wechselwirkung ist kurzreichweitiger als die starke Kernkraft und findet praktisch nur innerhalb des Kerns statt. Mithilfe der schwachen Wechselwirkung kann man den radioaktiven β -Zerfall erklären.

8.5 Elektronen Orbitale

Der Aufbau der Schale konnte mithilfe der Quantenmechanik sehr gut beschrieben werden. Bei Elektronen handelt es sich um Fermionen. Ein Zustand kann genau von einem Fermion besetzt werden. In diesem Zustand können sich nicht mehrere Fermionen befinden. Es kann keines oder eines in einem Zustand sein. Das nennt man das Pauli-Prinzip nach Wolfgang Pauli.

So gibt es für jeden Zustand eine Kombination aus Quantenzahlen die sich aus vier Quantenzahlen zusammensetzt. Diese sind

- Die Hauptquantenzahl n gibt an auf welcher „Schale“ sich das Elektron befindet, also auf welchem Energieniveau es sich befindet.
- Die Nebenquantenzahl l beschreibt den Drehimpuls eines Elektrons und gibt die Form eines Orbitals vor.
- Die Magnetquantenzahl m gibt die räumliche Ausrichtung vor, die das Orbital bezüglich eines äußeren Magnetfeldes einnimmt. Diese Orbitale sind energetisch gleich, spalten sich erst auf wenn ein äußeres Magnetfeld anliegt.
- Die Spinquantenzahl s beschreibt den Eigendrehimpuls des Elektrons. Dieser kann entweder positiv oder negativ sein.

Die Quantenzahlen haben noch folgende Eigenschaften: n ist ganzzahlig oder halbzahlig, positiv und größer 0. l kann Werte von 0 bis kleiner n in ganzzahligen Schritten annehmen. m nimmt

Werte von $-l$ bis l in ganzzahligen Schritten an. Der Spin s nimmt entweder den Wert $+\frac{1}{2}$ oder $-\frac{1}{2}$ an.

Im Zustand $n = 1, l = 0, m = 0$ und $s = -\frac{1}{2}$ kann sich nur ein Elektron befinden. Der Zustand $n = 1, l = 1, m = 2$ und $s = -\frac{1}{2}$ ist nicht möglich, da l nicht kleiner wie n ist und m nicht im Bereich von $-l$ bis l ist.

Nach diesen Regeln sind die Orbitale aufgebaut. Sie sind Kugelflächenfunktionen und sehen wie im folgenden Bild aus.

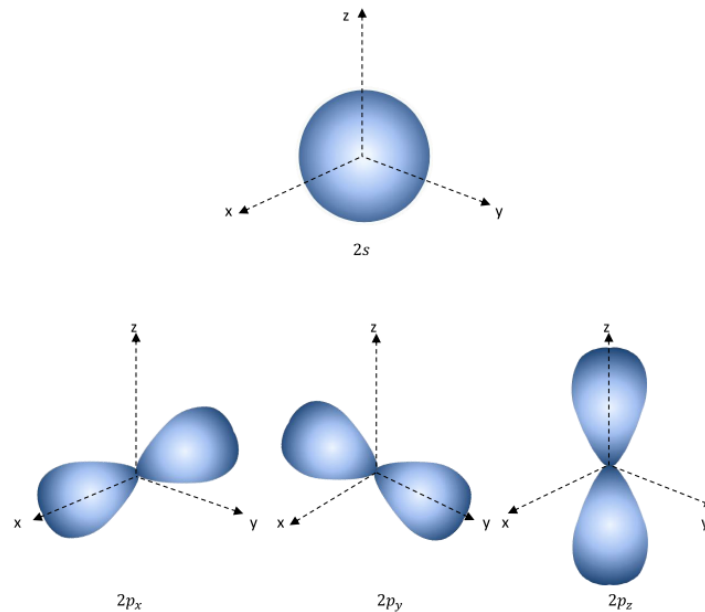


Abbildung 8.2: Die Orbitale zu den Hauptquantenzahlen $n = 0; 1$

Diese Orbitale geben die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen wieder. Sucht man ein Elektron ist es sehr wahrscheinlich es in diesem Raumgebiet zu finden. Also schwirren die Elektronen nicht um den Kern, sonder man sollte es sich eher mit einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen vorstellen. Bei jeder Beobachtung wird das Elektron wegen dieser Aufenthaltswahrscheinlichkeit wo anders sein. Ob es sich dafür bewegt hat kann man nicht sagen, da es sich nicht um ein klassisches Phänomen handelt sondern rein quantenmechanisch abläuft.

8.6 Kernkräfte

Die beiden Kräfte die mit Kernkräften gemeint sind, sind die schwache und starke Wechselwirkung. Sie werden Kernkräfte wegen ihrer Reichweite genannt und weil sie daher für die Vorgänge im Kern verantwortlich sind. Für die Stabilität des Kerns sind Starke Wechselwirkung und Elektromagnetismus verantwortlich. Wie vorher schon beschrieben, wird die abstoßende elektromagnetische Kraft von der Starke Wechselwirkung unterdrückt. Werden die Kerne aber nach und nach größer, nimmt auch die elektromagnetische Kraft durch die höhere Anzahl an Protonen zu. Kommen mehrere Neutronen dazu, erhöht sich zwar nicht die abstoßende Kraft, jedoch werden dadurch die Protonen und Neutronen im Schnitt weiter voneinander Entfernt. Dies ist für die kurzreichweitige Kernkraft relevant. Ab einem gewissen Punkt werden große Kerne instabil, sie können also zerfallen in einen energetisch vorteilhafteren Zustand.

8.7 Kernspaltung

Bei der Kernspaltung wird ein Atomkern zerlegt in unterschiedliche Teile.

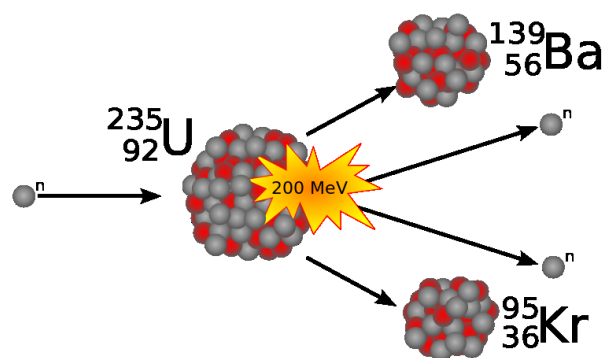


Abbildung 8.3: Kernspaltung am Beispiel U-235

Ein langsames Neutron (thermisches Neutron) kommt den Kern nahe und wird von diesem eingefangen. Dadurch wird im relativ instabilen U-235 ein Kernzerfall initiiert. Es zerfällt dabei in Ba-139, Kr-95 und 2 Neutronen. Diese Neutronen sind zu weiteren Kernspaltungen in der Lage. Dadurch kann eine Kettenreaktion entstehen, aus der man kontrolliert Energie gewinnen kann oder unkontrolliert in Form von Bomben sehr viel Schaden anrichten kann.

Möglich ist dies wegen dem Energieunterschied zwischen dem zu spaltenden Kern und den beiden Kernen nach der Spaltung. Betrachtet man die Bindungsenergie zwischen den Nukleonen, so stellt man fest, dass bei Eisen das Maximum ist. Fusioniert oder spaltet man Eisen muss man immer mehr Energie aufwenden wie man herausbekommt.

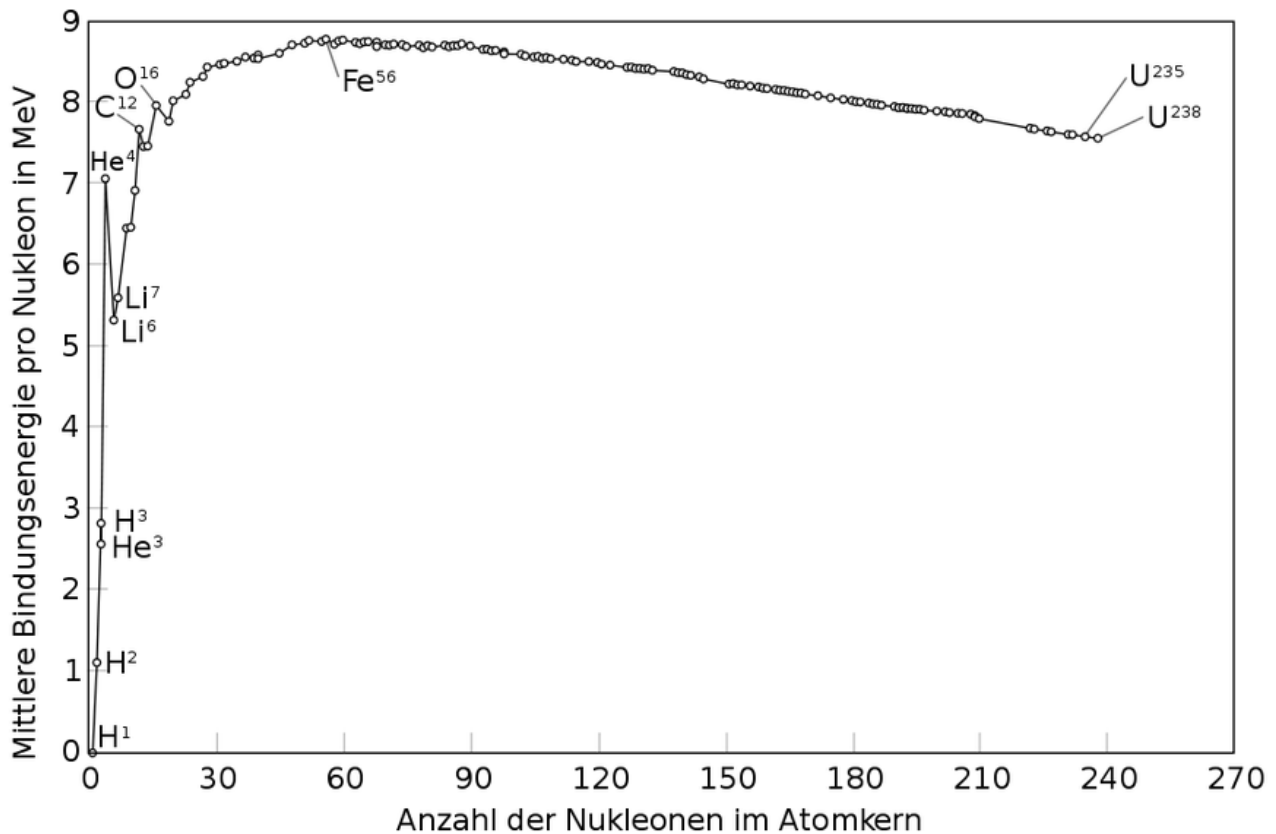


Abbildung 8.4: Bindungsenergie der Elemente

Anhand dieser Grafik kann man erkennen, wenn man Elemente höher des Eisens spaltet, wird Energie frei, und darunter fusioniert man die Elemente um Energie zu erhalten. Um dies effizient zu betreiben, sollte man die Elemente spalten, die den höchsten Energieunterschied aufweisen.

8.8 Kernfusion

Die Kernfusion weist einen wesentlich höheren Energieunterschied auf wie die Spaltung, wenn man Wasserstoff zu Helium fusioniert. Dass die Kernfusion möglich ist, sehen wir jeden Tag. Die Sonne ist ein riesiger Fusionsreaktor der Wasserstoff zu Helium fusioniert. Ein dafür typischer Prozess ist die Proton-Proton-Reaktion.

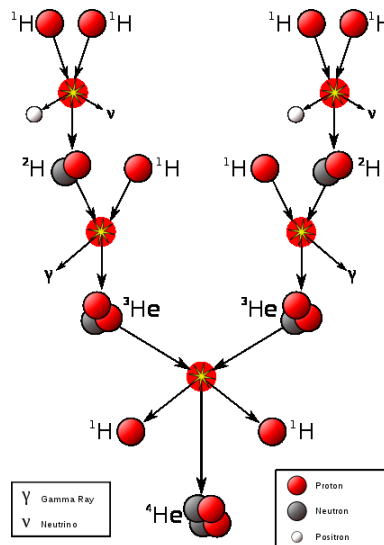


Abbildung 8.5: Proton-Proton-Reaktion zum He-4

Zwei Protonen treffen aufeinander, eines der beiden wandelt sich unter Aussendung eines Neutrino und eines Positrons in ein Neutron um. Jetzt haben wir Deuterium, das mit einem weiteren Proton zusammentrifft. Dabei verschmelzen sie zu einem Kern unter Aussendung von Gammastrahlung, elektromagnetischer Energie. Trifft dieses He-3 auf ein anderes He-3 fusionieren beide unter Aussendung von zwei Protonen zu He-4. Für diesen Vorgang sind sehr hoher Druck und hohe Temperaturen nötig.

Möchte man auf der Erde diesen Prozess nachstellen, muss man enorm viel Energie in die Erzeugung dieser Temperaturen und Drücke stecken um das Material zum Fusionieren zu bringen. Daher bekommt man noch bei der Fusion weniger Energie heraus als man hineinsteckt. Dies soll aber in Zukunft durch größere Reaktoren und komplexere Systeme gelöst werden.

8.9 Antiteilchen

Zu den Meisten Elementarteilchen existieren auch die zugehörigen Antiteilchen. Masse, Lebensdauer, Spin und Wechselwirkung sind gleich, aber die Ladung, magnetisches Moment und alle anderen ladungsartigen Zahlen sind umgekehrt. Bilden Antiteilchen Materie nennt man diese Antimaterie. Trifft ein Antiteilchen auf sein entgegengesetztes Teilchen, werden beide vernichtet und in Energie umgewandelt. Doch genauso lässt sich aus genügend Energie ein Teilchen-Antiteilchen Paar bilden.

Mittlerweile wurde das Antiwasserstoff schon näher im Labor untersucht. Es besteht aus einem Antiproton im Kern und einem Positron in der Schale.

8.10 Radioaktive Stoffe

Atomsorten mit instabilen Kernen werden radioaktiv genannt. Sie sind Radionuklide.

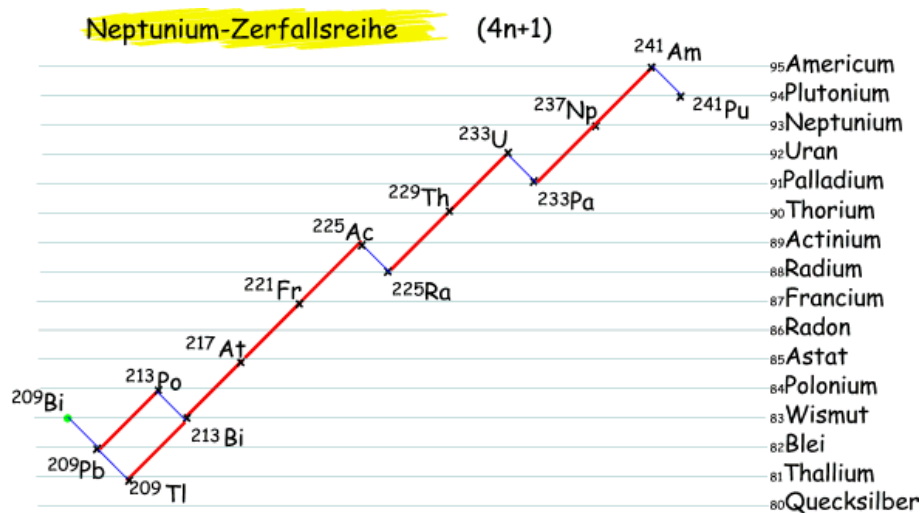


Abbildung 8.6: Zerfallsreihe von Neptunium

Im Bild sieht man die Zerfallsreihe von Neptunium. Radioaktive Stoffe zerfallen spontan in ein anderes Element. Dies geschieht nach gewissen Regeln. Ist das Produkt des Zerfalls wieder radioaktiv, zerfällt es weiter bis es ein Stabiles Element ist. In der Grafik beschreibt der blaue Pfeil den β -zerfall und der rote Pfeil den α -Zerfall.

8.11 Radioaktivität

Instabile Atomkerne können spontan ionisierende Strahlung aussenden. Diesen Vorgang nennt man Radioaktivität. Dabei wandelt sich der Kern unter Aussendung von Teilchen in einen anderen Kern um oder ändert unter Energieabgabe seinen Zustand.

Es gibt 3 verschiedene Arten des Radioaktiven Zerfalls.

Beim Alpha-Zerfall wird ein Alpha-Teilchen ausgesandt. Das ist ein Helium-Kern ohne Elektronen, nur der Kern keine Schale. Der dabei zerfallende Kern gibt also zwei Protonen und zwei Neutronen ab. $U - 233$ ist ein Alpha-Strahler. Zerfällt also ein $U - 233$ Kern, dann sendet dieser ein Alpha-Teilchen aus und wandelt sich dadurch in $Th - 229$ um. Es werden vier Nukleonen abgegeben, also erniedrigt sich die Nukleonenzahl von 233 auf 229. Dabei gibt der Kern zwei Protonen ab. Dadurch wandelt sich Uran mit 92 Protonen um in Thorium mit 90 Protonen. Ein abgestrahltes Alpha-Teilchen ist ionisierend, daher für den menschlichen Körper unter Umständen sehr schädlich. Durch seine hohe Masse jedoch sehr leicht abzuschirmen. In der Regel durchdringt es kein Blatt Papier. Befindet sich ein Alphastrahler im Organismus, wird dieser sehr schädlich.

Beim Beta-Zerfall wird ein Neutron im Kern umgewandelt in ein Proton. Dabei wird ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino ausgesandt. Das Elektron ist für die Ladungserhaltung nötig, das Elektron-Antineutrino für die Impulserhaltung. Durch die Umwandlung im Kern erhöht sich die Protonenzahl um eins aber die Neutronenzahl erniedrigt sich um eins. Die Nukleonenzahl bleibt gleich. $Pa - 233$ ist ein Beta-Strahler. Zerfällt $Pa - 233$, wandelt es sich um in $U - 233$. Im Kern erhöht sich die Anzahl der Protonen von 91 Protonen auf 92 Protonen. Durch seine geringere Masse ist das Abgestrahlte Beta-Teilchen durchdringender wie das Alpha-Teilchen. Für die Absorption von Beta-Strahlung ist eine einige Millimeter dicke Metallplatte nötig. Für den menschlichen Körper ist die Strahlung von außen nur für Hautschichten schädlich. Im Organismus können sich Beta-Strahler wie I_{131} in der Schilddrüse anreichern und Schilddrüsenkrebs auslösen.

Der Gamma-Zerfall ist an sich kein Zerfall eines Kerns. Eher ein Nebenprodukt der beiden anderen Zerfälle. Zerfällt ein Kern, ist der Tochterkern in einem energetisch hohem Niveau. Um sich auf ein niedrigeres Niveau zu begeben, sendet der Kern energiereiche elektromagnetische Strahlung aus. Diese Strahlung nennt man Gamma-Strahlung. Es ist nichts anderes wie der Energieunterschied der Bindungsenergie zwischen Mutterkern und Tochterkern. Gamma-Strahlung ist sehr energiereich und kann dicke Bleiwände durchdringen. Es ist sehr schwer sich vor Gamma-Strahlung effektiv zu schützen. Durch die hohe Energie ist es daher aber auch relativ unwahrscheinlich, dass uns die Gammastrahlung überhaupt trifft.

8.12 Aktivität

Die Aktivität ist die Zerfallsrate eines radioaktiven Stoffes. Also die Zerfälle pro Zeitintervall. Dadurch lässt sich auch eine Halbwertszeit bestimmen. Nach dieser Halbwertszeit ist die Hälfte des Materials zerfallen. So hat zum Beispiel $I\text{o} - 131$ eine Halbwertszeit von 8 Tagen, $U - 235$ eine Halbwertszeit von 703800000 Jahren. Die Halbwertszeit ist umgekehrt Proportional zur Aktivität. $I\text{o} - 131$ hat eine Aktivität von $4000000000000 \frac{\text{Bq}}{\text{mg}}$ und $U - 235$ eine Aktivität von $80 \frac{\text{Bq}}{\text{mg}}$.

8.13 Ionisierende Strahlung

Im Zusammenhang mit Atomphysik sind die drei Strahlungsarten mit Ionisierender Strahlung gemeint. Die Alpha-Strahlung, die Beta-Strahlung und die Gamma-Strahlung. Zusätzlich gibt es noch Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, die energieärmer sind wie die Gamma-Strahlung, jedoch auch ionisierend. Genannt sei hier die Röntgenstrahlung.

Anders als Röntgenstrahlung ist Mikrowellenstrahlung nicht ionisierend, aber durch die Wechselwirkung mit Dipolen, insbesondere Wasser, ist sie für den Menschlichen Organismus unter Umständen ungesund.

8.14 Kosmische Strahlung

Kosmische Strahlung ist hochenergetische Strahlung diverser Teilchen aus dem All. Sie besteht aus Protonen, Elektronen, vollständig ionisierte Atome oder andere Teilchen wie Neutrinos und Myonen. Erzeugt werden diese Teilchen durch kosmische Effekte die in Sternen oder anderen interstellaren Objekten auftreten.

Kosmische Strahlung ist in großen Höhen intensiver wie am Erdboden, daher sind Vielflieger der kosmischen Strahlung stärker ausgesetzt. Die kosmische Strahlung erzeugt auch Ozon in großen Höhen, ist daher direkt verantwortlich für die Ozonschicht, die uns vor Strahlung schützt und Leben auf der Erde ermöglicht.



Abbildung 8.7: Polarlicht aufgenommen von der ISS

Ist die kosmische Strahlung geladen, wie der Sonnenwind, werden die Partikel im Erdmagnetfeld gefangen. Dort wandern sie zu den schwächsten Stellen des Magnetfeldes, welche sich in den Polarregionen der Erde befinden. Treffen die Teilchen dann auf die Atmosphäre, beginnt diese durch die Wechselwirkung zu leuchten. So entsteht das Polarlicht.

9 Abbildungsverzeichnis

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Zentrifugalkraft.svg>

http://flettner-rotor.de/wp-content/uploads/2011/11/abb_19_Druck-und-Geschwindigkeitszu.jpg

<https://www.univie.ac.at/physikwiki/images/7/78/Pendel1.jpg>

http://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/unged02_mechanschwing_gru.gif

http://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/ged02_mechanschwing_gru.gif

http://denkwerkstatt-physik.de/denkwerkstatt-physik/files/waerme/buegeleisen/files/waerme/kelvin_celsius_fahrenheit.png

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4a/Three-systems-for-zeroth-law-svg/250px-Three-systems-for-zeroth-law-of-thermodynamics.svg.png>

https://de.wikipedia.org/wiki/Ampere#/media/File:Ampere_coulomb.svg

<http://www.sengpielaudio.com/ohms-law-illustrated.gif>

<http://www.phynet.de/upload/E-Lehre%20-%20reihenschaltung.png> <http://www.phynet.de/upload/E-Lehre%20-%20parallelschaltung.png> http://www.emf.ethz.ch/fileadmin/_processed_/csm_Magnetfeld_3.1v1_dc2bd7008e.jpg

http://www.emf.ethz.ch/fileadmin/_processed_/csm_Magnet_3.2v1_912f0a76e9.jpg

http://real-physik.info/fileadmin/user_upload/media/media_9/stabmagnet_spule.png

<http://www.stayathome.ch/images/Wechselstrom.gif>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Electromagnetic_spectrum_c.svg/800px-Electromagnetic_spectrum_c.svg.png

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/35/Onde_electromagnetique.svg/714px-Onde_electromagnetique.svg.png

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Reflexion_Brechung.png

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e5/Interne_Reflexion_%28Schema%29.svg/500px-Interne_Reflexion_%28Schema%29.svg.png

http://grund-wissen.de/physik/_images/ebener-spiegel.png

<http://www.scandig.info/BilderPat/Reflexion5.jpg>

<http://www.scandig.info/BilderPat/Reflexion3.jpg>

<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Quantentheorie/sciweek2000/Bilder2/doppelspalt1.gif>

<http://marvin.sn.schule.de/~physikms/material/pruefung/phprf97/auge.jpg>

<http://file2.npage.de/012028/87/bilder/atom.jpg>

https://www.abiweb.de/assets/courses/img/physik-atomphysik-kernphysik/Orbital_01.png

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2c/Kernspaltung.svg/770px-Kernspaltung.svg.png>

<http://scilogs.spektrum.de/wblogs/gallery/31/bindingEnergy2.png>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:FusionintheSun.svg>

http://www.roro-seiten.de/physik/zerfall/neptunium_zr.gif

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/Aurora_Seen_From_Space_by_NASA.jpg