Tagebuch: Physik Leistungskurs

2005 – 2007

Niedersachsen

Inhalt:

1. Grundlegendes zur Wissenschaft Physik	**Seite 4**
1.1 Einführung	Seite 4
1.2 Materie besteht aus Atomen	Seite 4
1.3 Atomare Prozesse	Seite 6
2. Das elektrische Feld	**Seite 8**
2.1 Die Feldvorstellung	Seite 8
2.2 Elektrische Influenz	Seite 8
2.3 Feldlinien als Vorstellungshilfe	Seite 8
2.4 Die elektrische Feldstärke	Seite 9
2.5 Messung von Ladungsmengen	Seite 9
2.6 Die elektrische Spannung	Seite 10
2.7 Feldstärke im Plattenkondensator	Seite 10
2.8 Die Ladung des Elektrons; der Millikan-Versuch (1911)	Seite 10
2.9 Die Energie des Kondensators	Seite 11
2.10 Die Kapazität eines Kondensators	Seite 12
2.11 Abmessungen und Kapazität eines Plattenkondensators	Seite 12
2.12 Elektrische Feldenergie	Seite 13
2.13 Nichtleiter im elektrischen Feld	Seite 13
2.14 Das radiale elektrische Feld	Seite 14
2.15 Spannung im radialen Feld	Seite 15
2.16 Eine neue Vorstellung vom Stromkreis	Seite 16
3. Das magnetische Feld	**Seite 17**
3.1 Der Oersted-Versuch (1820)	Seite 17
3.2 Faradays Induktionsring-Versuch	Seite 17
3.3 Die Lorentzkraft	Seite 17
3.4 Die magnetische Feldstärke	Seite 18
3.5 Die Fernsehbildröhre	Seite 19
3.6 Die Einheit der Naturkräfte	Seite 19
3.7 Exkurs-Kreisbewegung	Seite 19
3.8 Bewegte Ladungsträger im Magnetfeldlinien	Seite 20
3.9 Das Magnetfeld eines Stromes durch einen gestreckten Leiterschaukel	Seite 21
3.10 Das Magnetfeld in einer langen Spule	Seite 21
3.11 Der Hall-Effekt	Seite 22

4. Die elektrische Induktion **Seite 23**
4.1 Erzeugung einer Induktionsspannung Seite 23
4.2 Magnetischer Fluss Seite 23
4.3 Das Induktionsgesetz Seite 24
4.4 Weitere Induktionsvorgänge Seite 24
4.5 Die lenzsche Regel Seite 25
4.6 Selbstinduktion und magnetische Feldenergie Seite 26
4.7 Exkurs Kreisbewegung Seite 26
4.8 Erzeugung von Wechselspannung Seite 27
4.9 Drehstrom Seite 28
4.10 Das dynamoelektrische Prinzip Seite 29
4.11 Der Transformator Seite 30
4.12 Energieübertragung mit Hilfe von Hochspannung Seite 30

5. Elektromagnetische Schwingungen und Wellen **Seite 31**
5.1 Erzeugung von elektromagnetischen Wellen Seite 31
5.2 Entstehung von elektromagnetischen Schwingungen Seite 31
5.3 Der Resonanzkreis Seite 33
5.4 Ungedämpfte Schwingungen Seite 34
5.5 Information Wechselstromwiderstände Seite 34
5.6 Elektromagnetische Wellen Seite 35

6. Mechanische Wellen **Seite 38**
6.1 Entstehung und Ausbreitung von Wellen Seite 38
6.2 Modelle von Wellenträgern Seite 39
6.3 Überlagerung von Wellenlänge – Interferenz Seite 40
6.4 Wasserwellen und das huygensche Prinzip Seite 40
6.5 Die Brechung von Wellen – Das Brechungsgesetz Seite 41
6.6 Die Beugung von Wellen Seite 42
6.7 Der Doppler-Effekt Seite 42

7. Modelle von Licht **Seite 44**
7.1 Interferenz von Licht Seite 44
7.2 Interferenzgleichung am Doppelspalt Seite 44
7.3 Wellenlängenbestimmung am Doppelspalt und am optischen Gitter Seite 45
7.4 Übungsaufgaben Seite 46
7.5 Interferenzen hinter optischen Gittern Seite 46
7.6 Interferenz an dünnen Schichten Seite 47
7.7 Interferenz von elektromagnetischer Strahlung an Kristallen – Bragg-Reflexion Seite 47
7.8 Beugung am Einzelspalt Seite 48

8. Drei grundlegende Aspekte der Physik **Seite 50**
8.1 Die Newtonschen Axiome Seite 50
8.2 Die Energieerhaltung Seite 50
8.3 Grenzen der Newtonschen Mechanik Seite 50

9. Lichtquanten und Elektronenwellen **Seite 52**
9.1 Wirkungen von Licht Seite 52
9.2 Der lichtelektrische Effekt oder Fotoeffekt Seite 52
9.3 Weitere Beispiele für Photonenvorstellung Seite 53
9.4 Licht – Welle oder Teilchen Seite 55
9.5 Elektronenwellen Seite 55
9.6 Wahrscheinlichkeitswellen Seite 55
9.7 Die heisenbergsche Unschärferelation Seite 56

10. Atomphysik **Seite 57**
10.1 Verschieden Atomvorstellungen Seite 57
10.2 Die Brownsche Bewegung Seite 57
10.3 Linienspektren von Gasen Seite 57
10.4 Das Wasserstoffatom Seite 58
10.5 Absorption und Emission Seite 59
10.6 Franck-Hertz-Versuch Seite 60
10.7 Ein klassisches Atommodell – Bohr und seine Grenzen Seite 61
10.8 Das Atommodell der Quantenmechanik – Der lineare Potentialtopf Seite 62
10.9 Fluoreszenz und Phosphoreszenz Seite 64

11. Kernphysik **Seite 66**
11.1 Ionisierende Strahlung Seite 66
11.2 Das Geiger-Müller-Zählrohr Seite 66
11.3 Drei Strahlungsarten Seite 67
11.4 Wechselwirkung ionisierter Strahlung mit Materie Seite 68
11.5 Die Messung von Radioaktivität Seite 69
11.6 Zerfallsgesetz und Halbwertszeit Seite 69
11.7 Herkunft der Radioaktivität – Zerfall von Atomkernen Seite 70
11.8 Natürliche Radioaktivität Seite 70
11.9 Die (natürliche) Strahlenbelastung des Menschen Seite 71
11.12 Die Altersbestimmung mit Hilfe von Radionukliden Seite 72
11.13 Der Halbleiter-Zähler (oder HL-Zähler):
α-Spektroskopie an radioaktiven Proben Seite 72
11.14 Künstliche Kernstrahlung Seite 75
11.15 Kernspaltung + Kernkräfte Seite 75
11.16 Analogien zum Verständnis des Atomkerns Seite 76

Schlusswort **Seite 77**

1. Grundlegendes zur Wissenschaft Physik

1.1 Einführung

Physik kann nicht rein deduktiv (von wenigen Grundregeln abgeleitet) ermittelt werden, weil:
a) wir nicht alle Naturgesetze kennen.
b) Formulierungen häufig ungewohnt und abstrakt wird, so dass höhere Mathematik erforderlich ist.

Das bisherige Wissen ist nur eine Annäherung!

Grundprinzip von Wissenschaft

Der Prüfstein allen Wissens ist das Experiment! Die Vorstellungskraft eines Menschen bringt „Gesetze“ hervor, die in anschließenden Experimenten überprüft werden.
Naturgesetze sind Näherungen. Wir finden erst die „falschen“, dann die „richtigen“.

Beispiel: Masse

(1) Masse ist unabhängig von der Geschwindigkeit
(2) Je höher die Geschwindigkeit, desto größer die Masse.

Hat ein Körper die Geschwindigkeit v < 160 m/s so bleibt die Masse bis auf 1/1.000.000 konstant.

Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist Gesetz (1) eine gute Näherung. Vom Philosophischen her ist dieses Gesetz jedoch nicht korrekt.
Das hat Auswirkungen auf die Schlussfolgerung.

1.2 Materie besteht aus Atomen

Der grundlegenste Lehrsatz (oder zumindest einer davon) ist die Atomhypothese:
„Alles besteht aus Atomen, die sich fortwährend bewegen, einander anziehen und abstoßen, wenn sie zu dicht zusammen gedrängt sind.

Beispiel: Betrachtung eines Wassertropfens:

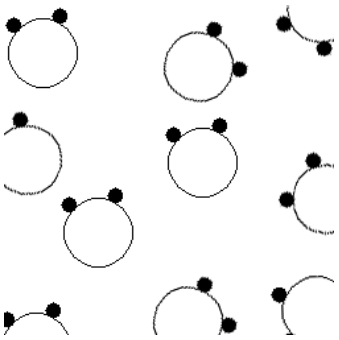
Wassertropfen (6mm Seitenlänge): Klares Wasser ist erkennbar

2.000fache Vergrößerung (12m Seitenl.): Pantoffeltierchen werden sichtbar

$4*10^6$fache Vergr. (24km Seitenl.): Ein „Gewimmel“ ähnlich beim Betrachten eines Stadions aus der Luft wird erkennbar.

10^9fache Vergr.

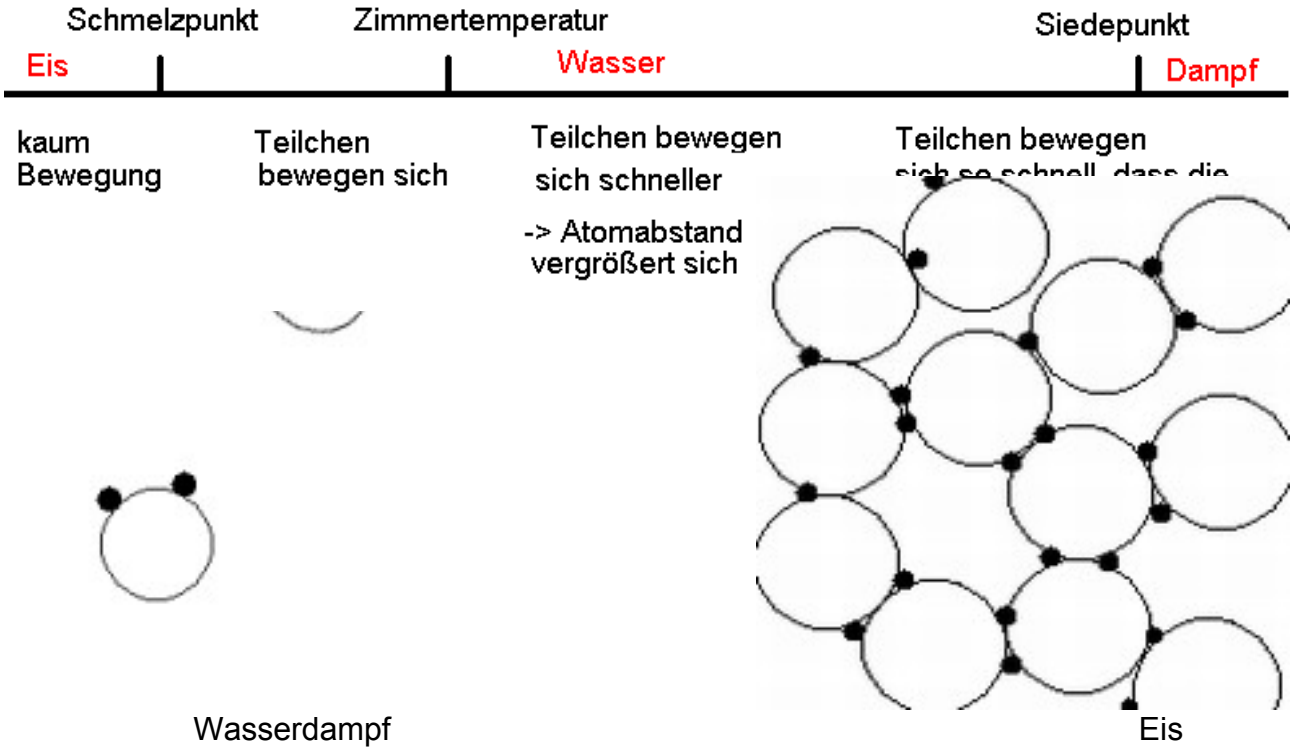
1. Teilchen stark vereinfacht
2. Zweidimensional
3. Momentanaufnahme
4. Teilchen ziehen und zerren aneinander.



Die Atome haben einen Durchmesser von 1-2 Ångström
1 Ångström = 10^{-10}m

Wenn ein Apfel auf die Größe der Erde vergrößert werden würde, währen die Apfelatome so groß wie der ursprüngliche Apfel!

Die ruckartigen Bewegungen der Atome bezeichnet man als Wärme



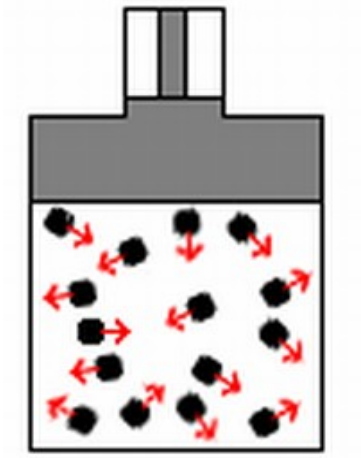
Wasserdampf

Eis

Eis hat eine offene Struktur, d.h. Löcher, die für eine geringere Dichte sorgen als beim Wasser.
Eigentlich brauchen die Atome beim Schmelzen eines Stoffes mehr Raum für ihre Bewegungen -> Ausdehnung, Verringerung der Dichte.

Eine offene Struktur wie Wasser/Eis bricht jedoch in sich zusammen.
-> Vergrößerung der Dichte beim Schmelzen.

Am absoluten Nullpunkt (-273°C = 0°K) stehen die Atome fast still. Diese geringe Bewegung reicht jedoch nicht aus um eine Substanz zum Schmelzen zu bringen.
Ausnahme: Helium gefriert nicht am absoluten Nullpunkt, außer man übt zudem einen sehr großen Druck aus.



Um ein Gas einzuschließen muß man Druck ausüben. Die Atome üben dabei mittels ihrer Zusammenstöße mit dem Kolben eine Kraft auf die Kolbenfläche aus.

Dabei sind Kraft und Kolbenfläche proportional.
Druck = Kraft / Fläche

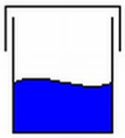
Bei der Verdopplung der Anzahl der Atome verdoppeln sich die Zusammenstöße – also die Kraft und somit verdoppelt sich der Druck.
-> Dichte ~ Druck

Bei Temperaturerhöhung prallen die Atome schneller, also mit erhöhter Kraft auf den Kolben: Der Druck steigt.

Beim Runterdrücken des Kolbens werden die Teilchen zusätzlich beschleunigt. Nach dem Aufprall sind die Teilchen also wärmer als vorher.
Wenn ein Gas langsam komprimiert wird, steigt die Temperatur; bei langsamer Ausdehnung nimmt sie ab.

1.3 Atomare Prozesse

Wasser verdunstet.
-> Es wird im Glas weniger
-> Es wird kälter, da gerade die Moleküle mit etwas größerer Energie das Wasser an der Oberfläche verlassen.



Damit Wasser verdunstet und abkühlt, sollte man pusten. So werden die Teilchen mit größerer Energie davon getragen.
Damit Wasser gerade nicht verdunstet und seine Temperatur möglichst lange behält: Deckel auf's Glas.

Von außen betrachtet: Die Temperatur bleibt nahezu erhalten. Das Wasser verdunstet nicht. Es ist ein statischer Vorgang zu beobachten („Es passiert nichts“)

Von Innen betrachtet: Es findet fortwährend ein Austausch von Wasser- und Luftmolekülen statt. Es ist ein dynamisches Phänomen („Es passiert ständig etwas“)
Warum „explodiert“ eine original verschlossene Mineralwasserflasche manchmal beim Öffnen?

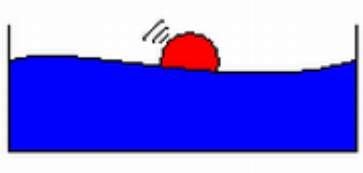
Die Flasche wurde geschüttelt oder erwärmt:
- Die Gasmoleküle erhalten mehr Energie und sammeln sich vermehrt im Gasraum.
-> Der Druck steigt.

- Beim Öffnen verlassen die Gasmoleküle vermehrt den Gasraum. Gas und Wasserdampf werden praktisch entfernt.
-> Das Gleichgewicht ist gestört.

- Gasmoleküle verlassen das Mineralwasser schneller als andere aufgenommen werden.
-> Blasenbildung / „Überschäumen“

Woher weiß man, dass es Atome gibt?

Allgemein: Man stellt eine Hypothese auf („Es gibt Atome!“) und kommt nachfolgend zu Ergebnissen (durch Experimente) die mit den gemachten Voraussagen übereinstimmen.



Eine Kugel, die ins Wasser geworfen wird, bewegt sich ständig auf Grund atomarer Zusammenstöße.

2. Das elektrische Feld

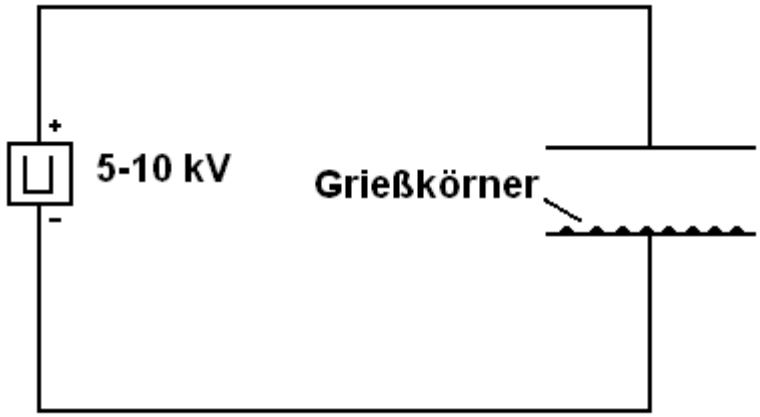
2.1 Die Feldvorstellung

Im Raum um geladene Körper besteht ein elektr. Feld, in dem Ladungsträger Kräfte erfahren. (Michael Faraday ersetzte damit die Fernwirkungstheorie durch die Feldtheorie.)

2.2 Elektrische Influenz

Die Ladungsverschiebung in einem leitenden Körper durch die Kraftwirkung eines elektr. Feldes nennt man elektr. Influenz.

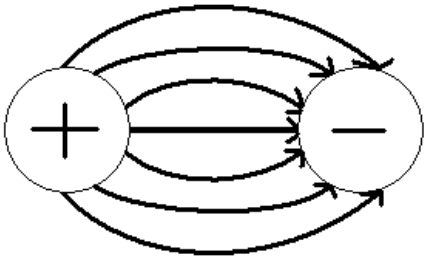
Experiment: Grieß zwischen geladenen Kondensatorplatten:

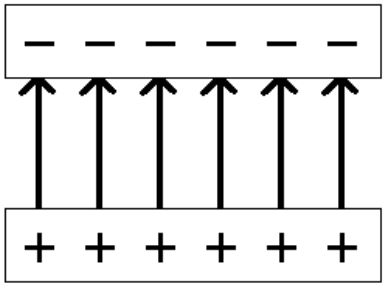


Beobachtung: Die Grießkörner bewegen sich zwischen den beiden Platten hin und her.
Auswertung: Die Grießkörner werden zunächst an der unteren Platte negativ geladen.
Im elektr. Feld zwischen den Platten erfahren die geladen Körner Kräfte.

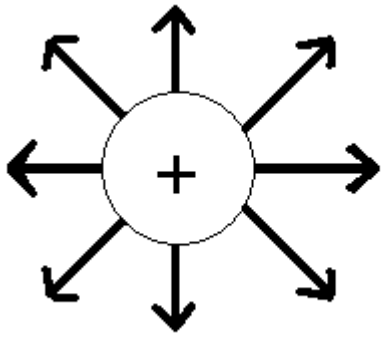
2.3 Feldlinien als Vorstellungshilfe

Das elektr. Feld kann durch Feldlinien veranschaulicht werden. Die Richtung der Feldlinie in einem Punkt ist durch die Richtung der Kraft auf einen positiven Probekörper festgelegt.





Feldlinien versuchen möglichst kurz zu wirken. Wenn in ihre Nähe ein ungeladener Leiter gebracht wird, werden sie dieses (nähere) Ende bevorzugen.



Radialfeld

2.4 Die elektrische Feldstärke

Die Stärke des elektr. Feldes hängt von der Ladung q und der Kraft F auf den Probekörper sowie der Spannung U ab.

Die Steigung der Ausggleichungsgraden bietet sich als Maß für die Stärke des eletrk. Feldes an.
D.h. Steigung : F/q ~ konstant.

Je größer F/q desto stärker ist das Feld.

Die elektrische Feldstärke E ist der Quotient aus dem Betrag der Kraft auf einen geladenen Probekörper und der Ladung des Probekörpers.

$$E = \frac{F}{q}$$

$$[E] = \frac{1\mathrm{N}}{C} = \frac{1\mathrm{N}}{As} = 1\frac{V}{m}$$

2.5 Messung von Ladungsmengen

Bei einer konstanten Stromstärke gilt: $Q = I \cdot t$
Wenn delta-T klein genug ist kann I konstant gelten.
Aus dieser Formel ergibt sich die Einheit C.

1C = 1As

Die Ladung gibt also an, wie viel Ampere pro Sekunde übertragen werden.
Die gesamte Ladungsmenge erhält man, wenn alle Zeitintervalle addiert werden.

Stromstärkenmessung:
In kurzen Zeitintervallen (I ~ konstant) über $Q = I \cdot t$ die geflossene Teilladung errechnen. Addieren der Teilladung zur Gesamtladung d. Kondensators.

2.6 Die elektrische Spannung

Kraft auf den Probekörper:

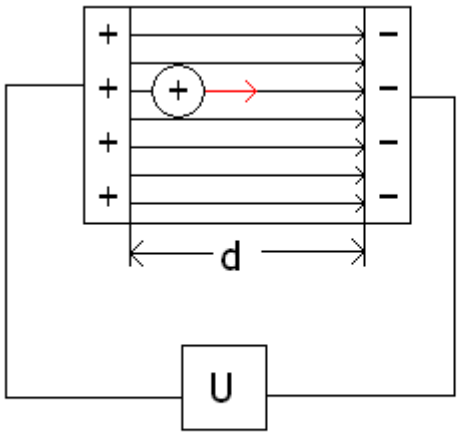
$$F = E \cdot q$$

Das elektr. Feld verrichtet Arbeit am Probekörper:

$$W = F \cdot s$$

$$W = F \cdot s = E \cdot q \cdot d$$

$\frac{W}{q} = E \cdot d$ Soviel Energie wird pro Ladung mittels der Feldkraft zugeführt.



$\frac{W}{q}$: elektrische Spannung.

Die elektr. Spannung gibt an, wie viel Energie pro Ladung bei der Bewegung zwischen zwei Punkten zugeführt wird.

$$U = \frac{W}{q}$$

$$[U] = 1\frac{J}{C} = 1\text{V}$$

2.7 Feldstärke im Plattenkondensator

$$U = \frac{W}{q} = E \cdot d \quad |: d$$

$$E = \frac{U}{d}$$

2.8 Die Ladung des Elektrons; der Millikan-Versuch (1911)

(Robert Millikan, 1868-1953) Nobelpreis 1923

Sprüht man Öltröpfchen zwischen die Platten eines Kondensators, der an eine Quelle mit der Spannung U angeschlossen ist, so beobachtet man mit Hilfe des Mikroskops, dass einige der Tröpfchen steigen und andere fallen.

Durch geeignete Wahl der Spannung gelingt es sogar, den einen oder anderen Tropfen in der Schwebe zu halten (die Tröpfchen sind durch das Sprühen elektrische geladen worden). Für schwebende Tropfen (Masse: m, Ladung: q) gilt:

$$Fg = Fe$$

$$m \cdot g = q \cdot E$$

$$q = \frac{m \cdot g}{E}$$

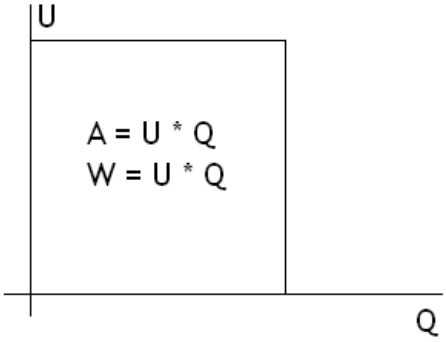
Schaltet man die Spannung ab, sinkt das Tröpfchen. Aus der Sinkgeschwindigkeit kann man auf sein Volumen schließen und über bekannte Dichte von Öl auf seine Masse.
Bei allen Versuchen zeigt sich, dass die Ladung q stets ein ganzzahliges Vielfaches von $1{,}6 \cdot 10^{-19} C$ beträgt.

Positive und negative Ladungen treten stets als ganzzahlige Vielfache der Elementarladung
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C auf. Die Ladung eines Elektrons ist -e.

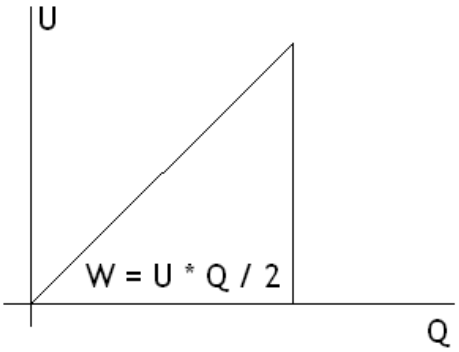
2.9 Die Energie des Kondensators

$$U = \frac{W}{q}$$

$$W = q \cdot U$$



$$W = \frac{Q \cdot U}{2}$$



Energieaufnahme eines Kondensators (Aufladen)

Ein Kondensator speichert die Energie $W = \frac{Q \cdot U}{2}$

Q = Ladung des Kondensators
U = Spannung des Kondensators

2.10 Die Kapazität eines Kondensators

Je höher die Spannung zwischen den Platten ist, desto mehr Ladung ist auf ihnen gespeichert! $Q \approx U$

$\frac{Q}{U}$ ist konstant und gibt an wie viel Ladung pro Spannung gespeichert wird.

Je größer der Quotient aus Q und U ist, desto größer ist die bei gleicher Spannung gespeicherte Ladung und desto größer ist die Kapazität C!

$$C = \frac{Q}{U}$$

Die Einheit ist 1 Farad (nach Michael Faraday)

$$1\text{F} = \frac{1\text{C}}{V}$$

Die Kapazität beschreibt das „Fassungsvermögen“ eines Kondensators.

2.11 Abmessungen und Kapazität eines Plattenkondensators

Experimente ergeben dazu: $C \approx A$ (A = Flächeninhalt der Platten)

$C \approx \frac{1}{d}$ (d = Abstand der Platten)

$$C \approx \frac{A}{d} \Rightarrow C = \frac{\varepsilon_0 \cdot A}{d}$$

e_0 (elektrische Feldkonstante) = $8{,}854 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm}$

2.12 Elektrische Feldenergie

Es entsteht der Eindruck, dass die elektrische Energie durch die getrennten Ladungen entsteht. Es ist jedoch möglich die Energie zu erhöhen ohne die Ladungsmenge zu verändern.

$$W = \frac{Q \cdot U}{2} \quad | Q = C \cdot U$$

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad | C = \frac{\varepsilon_0 \cdot A}{d} \quad | U = E \cdot d$$

$$W = \frac{\varepsilon_0 \cdot A \cdot E^2 \cdot d^2}{(2 \cdot d)} \quad | V = A \cdot d$$

$$W = \frac{\varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot V}{2}$$

Die Energie wird über die elektrische Feldstärke und das Volumen des Kondensators beschrieben. Man kann behaupten: „Die Energie steckt im Feld“.
Das ist die elektrische Feldenergie.

Die Energiedichte (Energie pro Volumen): $\frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \cdot E^2}{2}$

2.13 Nichtleiter im elektrischen Feld

Schiebt man bei abgetrennter Spannungsquelle einen Nichtleiter zwischen die Kondensatorplatten sinkt die Spannung. Da die Ladung gleich geblieben ist, muss sich die Kapazität erhöht haben
($Q = C \cdot U$)
Ein Abnehmen der Spannung bedeutet auch eine Abnahme der Feldstärke.
Der Nichtleiter unterbricht das elektrische Geld, setzt es aber durch die elektrische Influenz wieder fort. Trotzdem ist die Dichte der Feldlinien geringer und die Feldstärke kleiner.
Nach Faraday nennt man Nichtleiter Dielektrika und den Faktor e_r um den die Kapazität erhöht wird Dielektrizitätszahl.

$$\varepsilon_r = \frac{(C \, mit \, Dielektrikum)}{(C \, ohne \, Dielektrikum)}$$

Wenn ein Dielektrikum den gesamten Raum zwischen den Kondensatorplatten ausfüllt gilt:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d}$$

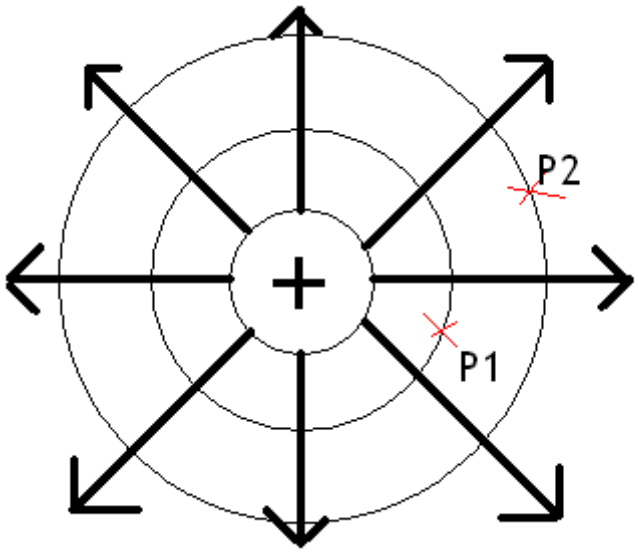
2.14 Das radiale elektrische Feld

Neben dem homogene Feldern sind radiale elektrische Gelder von großer Bedeutung für Physik und Technik (Elektronen und Atomkerne haben solche Felder)

Historische Überlegung / Herleitung zur Feldstärke

$$O_k = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

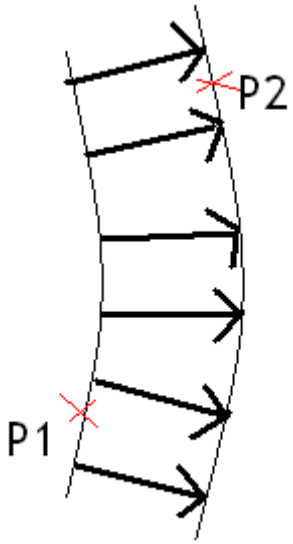
Die Feldlinien verteilen sich auf eine immer größere Fläche.



Die Feldstärke sinkt mit dem Quadrat des Abstandes, die die gedachte „Kugeloberfläche“ mit r² erwächst.

$$E \approx \frac{1}{r^2}$$

In einem sehr kleinen Bereich, kann das Feld als homogen angesehen werden



Ausschnitt der "Kugeloberfläche"

Für das homogene Feld eines Kondensators gilt:

$$Q = C \cdot U \quad | E = \frac{U}{d} \Rightarrow U = E \cdot d$$

$$Q = C \cdot E \cdot d \quad | C = \frac{\varepsilon_0 \cdot A}{d}$$

$$Q = \varepsilon_0 \cdot A \cdot E \quad | : (\varepsilon_0 \cdot A)$$

$$E = \frac{Q}{(\varepsilon_0 \cdot A)} \quad | A = O_k = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$E = \frac{Q}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2)} = \frac{1}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0)} \cdot \left(\frac{Q}{r^2}\right)$$

Kraft auf einen Probekörper:

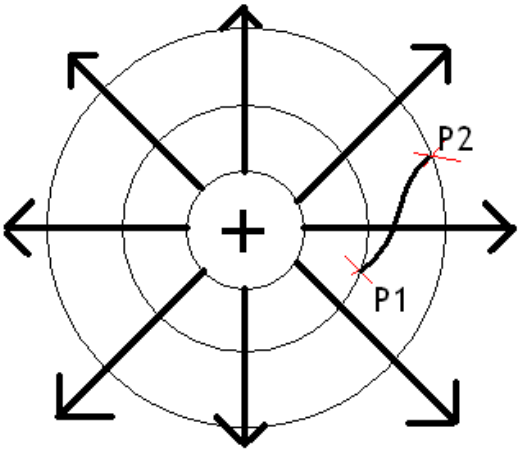
$$E = \frac{F}{q} \Rightarrow F = E \cdot q$$

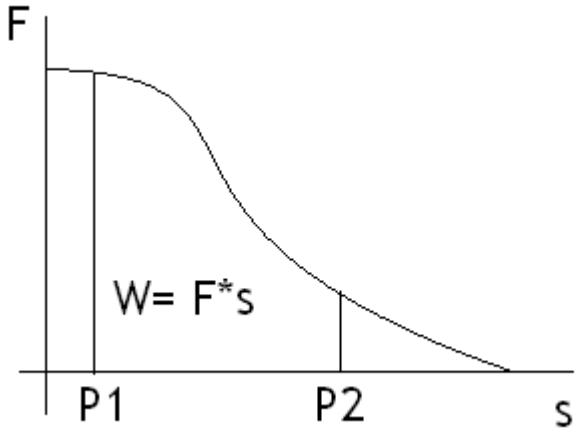
coulombsche Gesetz

$$F = \frac{Q \cdot q}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2)} = \frac{1}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0)} \cdot \left(\frac{Q \cdot q}{r^2}\right)$$

2.15 Spannung im radialen Feld

Definition $U = \frac{W}{q}$





$$W = \int_{r1}^{r2} F \cdot dr = \int_{r1}^{r2} \left(\frac{1}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0)} \cdot \left(\frac{Q \cdot q}{r^2} \right) \cdot dr \right)$$

$$W = \frac{1}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0)} \cdot Q \cdot q \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$U = \frac{W}{q} = \frac{Q}{(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0)} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

2.16 Eine neue Vorstellung vom Stromkreis

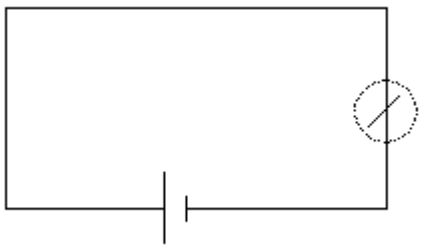
Die bisherige Vorstellung birgt zwei Probleme:

- In Leitern steuert jedes Atom ein Elektron bei. Selbst „dicht gepackt“ und wenn Elektronen die Größe von Atomkernen hätten, wäre der mittlere Abstand zum nächsten Elektron ungefähr 10.000mal so groß wie das Elektron.
- Das Feld jedes Elektrons wird durch die positiven Atomkerne abgelenkt, sodass es nicht zur gegenseitigen Abstoßung von Atomen kommt.

Die Elektronenbewegung lässt sich mit, in Drahtrichtung verlaufenden, elektrischen Feldern erklären. Jedoch ist ein Leiter, wie ein Faradaykäfig frei von elektrischen Feldern.

3. Das magnetische Feld

3.1 Der Oersted-Versuch (1820)



Kompass unter dem Kabel

Jeder elektr. Strom ist von einem Magnetfeld umgeben, das (im Versuch) eine Kompassnadel ablenken kann.
Kann ein Magnetfeld auch einen elektrischen Strom hervorrufen?

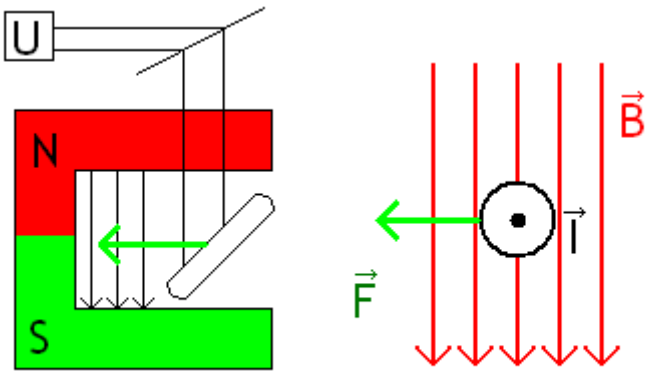
3.2 Faradays Induktionsring-Versuch

Ein sich änderndes Magnetfeld induziert in einem Leiter eine Spannung (einen elektrischen Strom).

3.3 Die Lorentzkraft

Leiterschaukelversuch:

a)



ohne Perspektive

Auswertung:
Stromrichtung, Magnetfeldrichtung und Richtung der Kraft stehen senkrecht aufeinander.
Vorhersage der Kraftrichtung durch „Linke-Hand-Regel).

Der Daumen der linken Hand zeigt in die Bewegungsrichtung der Elektronen, der Zeigefinger in die der Magnetfeldlinien. Der Mittelfinger zeigt nun in die Richtung in die die Lorentzkraft wirkt.

Merkhilfe: **I**ch (Ursache) **b**in (Vermittlung) **F**ysiker (Wirkung).

b) Aufbau wie a) aber mit Voltmeter statt Netzgerät!

Beobachtung:
Bei Bewegung der Leiterschaukel zeigt das Voltmeter eine richtungsunabhängige Spannung an.

Auswertung:
Nach der Linke-Hand-Regel wirkt auf die Elektronen eine antreibende Kraft.

U: Bewegung des Leiterschaukel
V: Magnetfeld
W: (Spannung) Kraft auf die Elektronen -> Strom im Leiter.

3.4 Die magnetische Feldstärke

$$B = \frac{F}{(I \cdot s)}$$

F ist die Kraft auf einen Leiter der Länge s, in dem die Stromstärke I senkrecht zu den magnetischen Feldlinien steht.

$$[B] = 1\frac{N}{Am} = 1\mathrm{T}\,(1\,Tesla)$$

$\vec{B}$ hat die Richtung der Feldlinien.

Magnetische Felder wirken auf bewegte Ladungsträger.

Kraft auf ein Elektron:

Es gilt: $B = \frac{F}{(I \cdot s)} \Rightarrow F = B \cdot I \cdot s$

Mit $I = \frac{Q}{t}$ folgt $F = \frac{B \cdot Q \cdot s}{t}$

Die Ladung eines Elektrons beträgt: $Q = e$

$$F = \frac{B \cdot e \cdot s}{t}$$

Mit $v = \frac{s}{t}$ folgt: $F = B \cdot e \cdot v$

Bei der Bewegung eines Elektrons senkrecht zu den Feldlinien eines magnetischen Feldes wirkt auf ein Elektron die Lorentzkraft $F_l = B \cdot e \cdot v$

Wenn sich eine Elektron in Feldlinienrichtung bewegt, wirkt keine Kraft.

3.5 Die Fernsehbildröhre

Aus einem Glühdraht treten Elektronen aus, die im elektrischen Feld zwischen Glühdraht und Ringanode beschleunigt werden.
Aufgrund der Trägheit fliegen einige Elektronen durch die Anode durch und treffen auf die Mattscheibe, wo sie einen Leuchtpunkt erzeugen.
Der Elektronenstrahl wird zeilenweise über die Mattscheibe geführt; das Fernsehbild setzt sich aus 625 Zeilen zusammen.
Die Ablenkung erfolgt durch 2 magnetische Spulenpaare (ein Feld pro Achse).
Bei einem Farbfernseher gibt es 3 Elektronenstrahlen, die gleichzeitig auf die Mattscheibe geführt werde (rot, grün und blau).
Die Helligkeit wird übrigens über die Anzahl der auftreffenden Elektronen gesteuert.
Da Temperaturvariationen zu langsam sind, verwendet man eine zusätzliche Elektrode (Wehneltzylinder).
Zwischen ihr und der Kathode liegt eine veränderbare Spannung an, die die Anzahl der Elektronen kontrolliert.

3.6 Die Einheit der Naturkräfte

Ende des 18. Jahrhunderts gab es zwei verschiedene Auffassungen von Physik.
Aus der Idee sich die Untersuchung der Materie zur Aufgabe zu machen entwickelte sich die wissenschaftliche Chemie.
Die „Dynamiker“ versuchten die physikalischen Gebieten durch den Begriff Kraft zu verbinden, da sie überzeugt waren, dass Phänomene wie Magnetismus, Licht und Wärme fest zusammenhingen.
Oersted glaubte zum Beispiel, dass Elektrizität nicht nur Wärme sondern auch magnetische Kraft erzeugt.

3.7 Exkurs-Kreisbewegung

Bei einer kreisförmigen Bewegung ändert sich ständig die Richtung der Bewegung (also $\vec{v}$).
Also liegt eine beschleunigte Bewegung vor.

Die Zentripetalbeschleunigung wirkt zum Mittelpunkt.

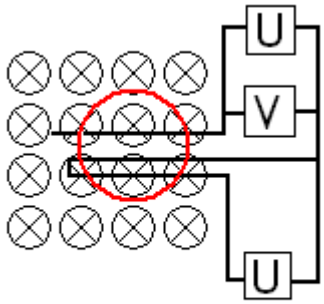
$$a_z = \frac{v^2}{r}$$

Um die Zentripetalbeschleunigung zu bewirken, ist eine Zentripetalkraft erforderlich.

$$F_z = m \cdot a_z = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

3.8 Bewegte Ladungsträger im Magnetfeldlinien

a) Das Fadenstrahlrohr



In das Fadenstrahlrohr werden Elektronen senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes eingeschossen. In dem Glaskolben befindet sich ein Gas unter geringerem Druck. Die Elektronen treffen auf Gasatome, regen sie an und hinterlassen eine Leuchtspur.

b) Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons $\frac{e}{m}$

$$F_z = F_l$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = B \cdot e \cdot v \quad | : v$$

Es gilt:

$$\frac{m \cdot v}{r} = B \cdot e \quad | \cdot (\frac{r}{m})$$

$$v = \frac{B \cdot e \cdot r}{m}$$

Bei der Beschleunigung gilt:

$$W = Q \cdot U$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = e \cdot U \quad | \frac{\cdot 2}{m}$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U}{m} \quad | \sqrt{}$$

$$v = \sqrt{(\frac{2 \cdot e \cdot U}{m})}$$

$$\sqrt{\left(\frac{2\cdot e\cdot U}{m}\right)}=\frac{B\cdot e\cdot r}{m} \quad |^2$$

$$\frac{2\cdot e\cdot U}{m}=\frac{B^2\cdot e^2\cdot r^2}{m^2} \quad |\frac{\cdot m}{(B^2\cdot e\cdot r^2)}$$

$$\frac{e}{m}=\frac{2\cdot U}{(B^2\cdot r^2)}$$

3.9 Das Magnetfeld eines Stromes durch einen gestreckten Leiterschaukel

Bei gestreckten Leitern ist die magnetische Feldstärke auf konzentrischen Kreisen um den Leiter konstant.
Dabei ist das Verhältnis von Stromstärke und Radius proportional zur magnetischen Feldstärke.

$$B\approx\frac{I}{r}$$

Der Proportionalitätsfaktor beträgt $\frac{\mu_0}{(2\pi)}$

Die magnetische Feldstärke um einen gestreckten Leiter im Abstand r bei Stromstärke I beträgt:

$$B=\frac{\mu_0\cdot I}{(2\pi\cdot r)}$$

$$\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}\frac{Tm}{A}$$

3.10 Das Magnetfeld in einer langen Spule

Untersuchungen zeigen, dass in langen Spulen die magnetische Feldstärke B proportional zur Stromstärke und Windungsdichte ist.

$B\approx\frac{I\cdot n}{l}$ (n = Anzahl der Windungen; l = Länger der Spule)

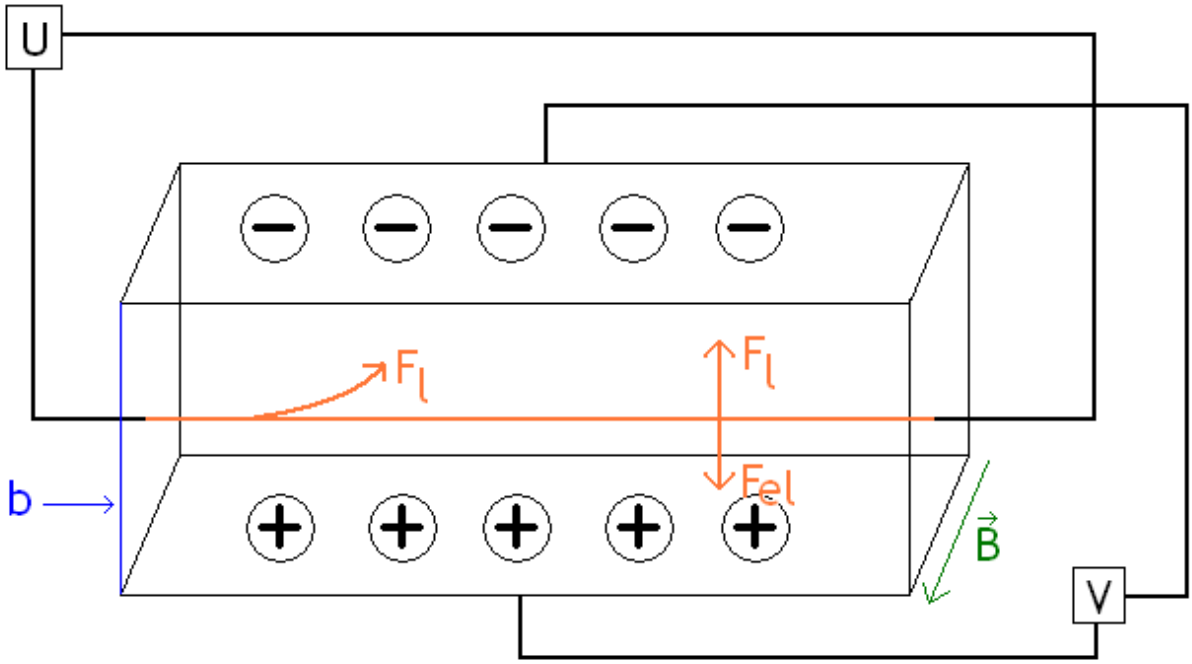
Beim Messen der Feldstärke in eine sehr langen Spule ergibt sich auch der Proportionalitätsfaktor μ_0 .

$$B=\frac{\mu_0\cdot n\cdot I}{l}$$

Die Permeabilitätszahl μ_r gibt an, um wie vielfach sich die magnetische Feldstärke beim Einschieben eines Stoffes in die Spule erhöht (Vakuum: $\mu_r=1$).

$$B=\frac{\mu_0\cdot\mu_r\cdot n\cdot I}{l}$$

3.11 Der Hall-Effekt



B-Feld senkrecht zur Elektronenbewegung.
Das entstehende E-Feld ist senkrecht zum B-Feld.

Auf die Elektronen wirkt die Lorentkraft. An der Oberseite des Plättchens stellt sich ein Überschuss an Elektronen ein, an der Unterseite ein Elektronenmangel.
Zwischen Ober- und Unterseite entsteht eine elektrisches Feld und damit eine elektrische Spannung U_h. Das Feld übt auf weitere bewegte Elektronen schließlich eine so große Kraft F_{el} aus, dass sie der Lorentzkraft das Gleichgewicht hält. Die von der Quelle angetriebenen Elektronen bewegen sich dann gradlinig.

$$F_l = F_{el}$$
$$B \cdot e \cdot v = E \cdot e$$
$$B \cdot v = E \quad | E = \frac{U}{b} (b = Dicke)$$
$$B \cdot v = \frac{U_h}{b}$$
$$U_h = B \cdot v \cdot b$$

Die Hall-Spannung ist proportional zur magnetischen Feldstärke und eignet sich deshalb gut zu ihrer Messung. Das Messgerät heißt Hall-Sonde.
Der Hall-Effekt tritt neben Halbleitern auch in Metallplättchen auf.

4. Die elektrische Induktion

4.1 Erzeugung einer Induktionsspannung

Die Spannung, die man in einem geraden Leiter bei der Bewegung durch ein Magnetfeld nachweisen kann, ist am größten, wenn der Leiter senkrecht zu den Feldlinien bewegt wird.

Die Spannung kann mit der Lorentzkraft erklärt werden:
Auf die im Leiter enthaltenden Elektronen wirkt sie senkrecht zur Bewegungsrichtung und senkrecht zum Feld.

Dadurch entsteht an den Enden des Leiters ein Überschuss bzw. ein Mangel an Elektronen und es bildet sich ein elektrisches Feld, das entgegen der Lorentzkraft wirkt.

Wenn die Lorentzkraft und die elektrische Kraft gleich stark sind, hört der Ladungstransport auf.

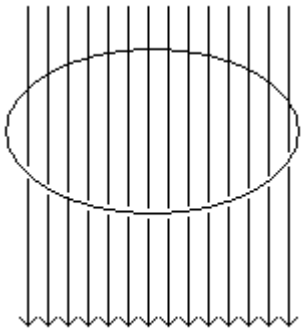
$$F_l = F_{el}$$

Es gilt: $B \cdot e \cdot v = E \cdot e \quad | E = \frac{U}{d}$

$$B \cdot e \cdot v = \frac{e \cdot U_{Ind}}{d}$$

4.2 Magnetischer Fluss

Die Vorstellung von Feldlinien durch eine Leiterschleife soll rechnerisch erfasst werden.



Je größer die durchsetzte Fläche und je größer die Feldstärke B (Feldlinien liegen enger), desto größer ist der „magnetische Durchfluss“

Man definiert den magnetischen Fluss:

$$\Phi = B \cdot A$$

$$[\Phi] = 1\,\mathrm{Tm}^2$$

4.3 Das Induktionsgesetz

Ansatz

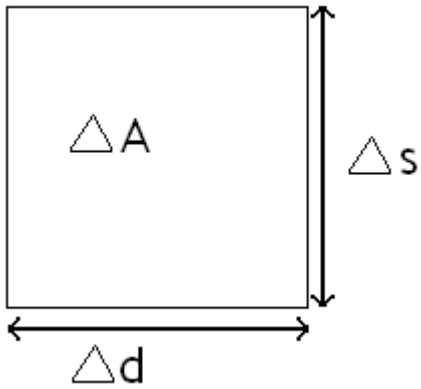
$$U_{Ind} = d \cdot v \cdot B$$

$$U_{Ind} = \frac{d \cdot \Delta_s \cdot B}{\Delta_t}$$

$$U_{Ind} = \frac{\Delta_A \cdot B}{\Delta_t}$$

$$U_{ind} = \frac{\Delta_\Phi}{\Delta_t}$$

$$U_{Ind} = \frac{(d\,\Phi)}{dt} = \dot{\Phi}$$

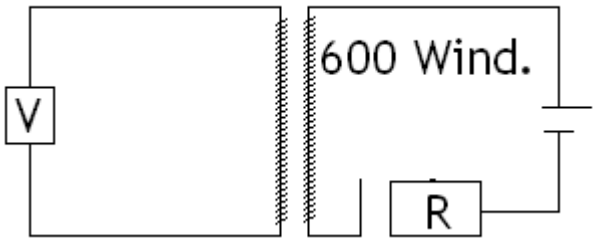


"momentane Flußänderung"

Induktionsgesetz:

$U_{Ind} = -\dot{\Phi}$ Flußänderungsgeschwindigkeit

4.4 Weitere Induktionsvorgänge



$$U = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

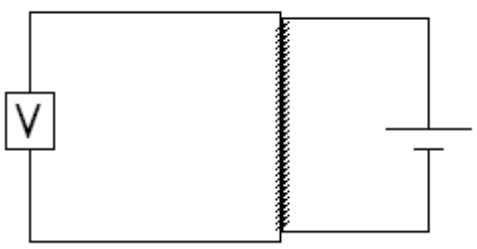
Durchführung:
Der Strom I wird über den Schiebewiderstand erhöht und wieder verringert.

Beobachtung:
Bei Veränderung der Stromstärke schlägt das Meßgerät aus.

Auswertung:
In der 2. Spule wird eine Spannung induziert.

Stromänderung bewirkt B-Feld-Änderung in der 1. Spule.

Magnetischer Fluss $\dot{\Phi} = B \cdot A$ ändert sich in der 2. Spule.



Durch $U_{Ind} = -\dot{\Phi}$ entsteht die angezeigte Spannung.

Durchführung:
Die Stromquelle wird ein- und wieder ausgeschaltet. Es werden nacheinander Induktions-Spulen mit $n=\{50;100;150\};konst.\ A$ und mit $A=\{1;2/3;1/3\};n=150$ verwendet.
Beobachtung:
Die Induktionsspannung steigt mit der Windungszahl nahezu linear an und sinkt mit kleiner werdender Querschnittsfläche A.

Auswertung:
Jede Änderung des magnetischen Flusses durch eine Leiterschleife bewirkt eine Induktionsspannung.
Sowohl Fläche A als magnetische Feldstärke B können sich ändern. Bei mehreren Leiterschleifen hintereinander (Spulen) addieren sich ihre Einzelspannungen.

$$U_{Ind}=-n\cdot\dot{\Phi}$$

$$U_{Ind}=\frac{-n\cdot A\cdot\Delta_B}{\Delta_t}\quad|\Delta_B=\frac{\mu_0\cdot n\cdot I}{l}$$

$$U_{Ind}=\frac{-n_2\cdot A\cdot\mu_0\cdot n_1\cdot I}{(\Delta_t\cdot l)}$$

4.5 Die lenzsche Regel

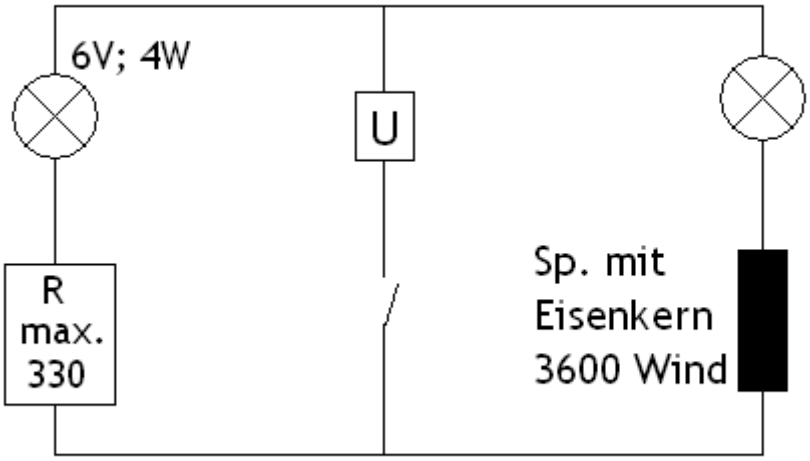
Versuchsaufbau:
Ein Stabmagnet ist als ein Pendel auf gehangen und kann in eine pendeln, die mit Hilfe eins Schalters kurzgeschlossen werden kann.

Durchführung:
Der Magnet pendelt in die Spule bei
a) offenem Schalter
b) geschlossenem Schalter (kurzgeschlossen)

Beobachtung:
a) Das Pendel schwingt (nahezu) unbeeinflusst in die Spule und wieder hinaus
b) Das Pendel wird durch die kurzgeschlossene Spule gedämpft. Die Schwingung wird gedämpft.

Auswertung:
In der Spule entsteht ein Magnetfeld, das dem des Stabmagneten entgegen gerichtet ist.
Aufgrund U_{Ind} fließt ein kurzzeitiger Strom.
Lenzsche Regel:
Wenn ein Induktionsstrom fließt, dann ist er stets so gerichtet, dass sein Magnetfeld der Induktionsursache entgegenwirkt.
(U_{Ind} ist Voraussetzung für einen Induktionsstrom. Daher das – bei $U_{Ind}=-n\cdot\dot{\Phi}$

4.6 Selbstinduktion und magnetische Feldenergie



Die Lampe im Spulenstromkreis leuchtet (bei kurzer Verzögerung beim Einschalten) schwächer als die Lampe im anderen Stromkreis (nur mit dem ohmschen Widerstand).

Ändert sich der Strom in der Spule, so wird an ihren Enden die Spannung $U_{Ind}=\frac{-L\cdot dI}{dt}$ hervorgerufen.

Die Konstante L heißt **Induktivität** der Spule.

Es gilt: $L=\frac{\mu_0\cdot\mu_r\cdot n^2\cdot A}{l}$

A: Querschnittsfläche der Spule
l: Länge der Spule

$$[L]=1\mathrm{H}=\frac{1\mathrm{Vs}}{A}$$

Die Energie, die im Magnetfeld einer stormdurchflossenen Spule gespeichert ist beträgt

$$W_{mag}=\frac{L\cdot I^2}{2}$$

4.7 Exkurs Kreisbewegung

Wenn bei einer Kreisbewegung eines Körpers der Geschwindigkeitsbetrag v konstant ist, spricht man von einer gleichförmigen Bewegung.
Bei einer solchen Bewegung ist die Zeit T für eine ganze Umdrehung konstant. Die Kehrwert heißt Umdrehungsfrequenz.

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

$$[f]=\frac{1}{s}$$

Die Strecke, die ein Punkt auf einer Kreislinie zurück legt ist der Umfang des Kreises.

$$s = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Die (Bahn-)Geschwindigkeit gibt die Geschwindigkeit bei einer gleichförmigen Kreisbewegung an.

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

Die Winkelgeschwindigkeit ω gibt an, wie schnell ein Winkel pro Zeit zurück gelegt wird.

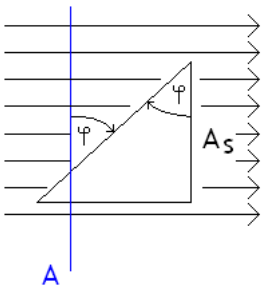
$$\omega = \frac{\Delta_\varphi}{\Delta_t}$$ φ ist das Bogenmaß b: Länge des Kreisbogens

Ist der Drehwinkel φ größer ist auch die Winkelgeschwindigkeit größer, sie misst also wie schnell sich ein Körper um das Drehzentrum dreht.

Bei der gleichförmigen Kreisbewegung dreht sich der Körper in der Zeit T um den Winkel 2 π .

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

4.8 Erzeugung von Wechselspannung



$$\omega = \frac{\varphi}{t} \Rightarrow \varphi = \omega \cdot t$$

$$\cos(\varphi) = \frac{A_s}{A} \Rightarrow A_s = \cos(\varphi) \cdot A$$

$$A_s = \cos(\omega \cdot t)$$

$$U_{Ind} = -\dot{\Phi}$$

$$U_{Ind} = \frac{-B \cdot dA_s}{dt}$$

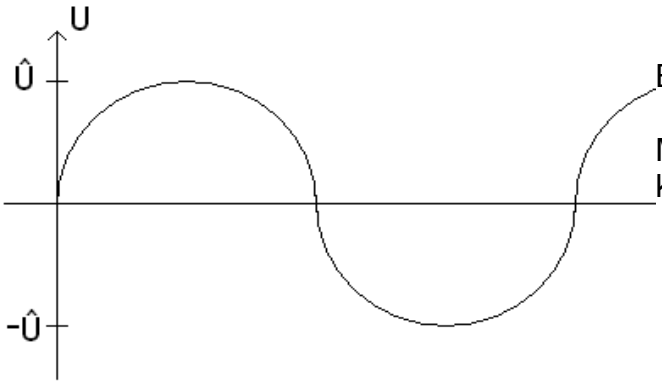
$$U_{Ind} = \frac{(-B \cdot d(A \cdot \cos(\omega \cdot t)))}{dt}$$

$$U_{Ind} = \frac{(-B \cdot A \cdot d(\cos(\omega \cdot t)))}{t}$$

$$U_{Ind} = -B \cdot A \cdot \omega \cdot (-\sin(\omega \cdot t))$$

$$U_{ind} = B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$U = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t)$; $\hat{U} = B \cdot A \cdot \omega$ (Scheitelspannung)



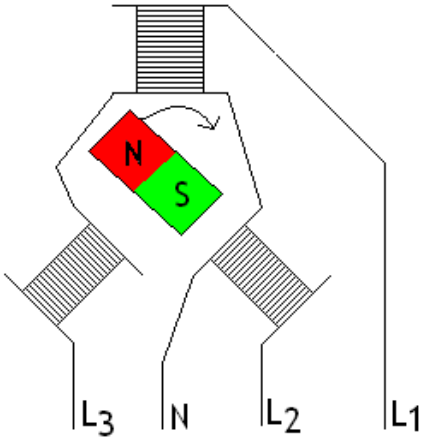
Bemerkung:

Messgeräte zeigen nur Effektivwerte und keine Scheitelwerte an.

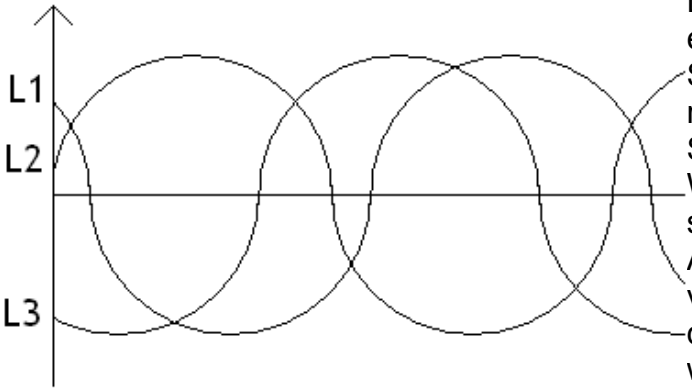
$$U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$$

4.9 Drehstrom



Generatoren in Elektrizitätswerken sind im Prinzip so aufgebaut. Weil die drei Spulen um den rotierenden Magneten angeordnet sind, laufen die Induktionsvorgänge zeitversetzt ab.
In einem bestimmten Augenblick kann man z.B. Folgendes beobachten:
Die Spannung an Spule 1 hat gerade ihren Scheitelwert überschritten, die an Spule 2 beträgt 0 und die an Spule 3 nähert sich ihrem Scheitelwert (in Gegenrichtung). In jedem Augenblick befinden sich also die Induktionsvorgänge in verschiedenen Phasen. Die Phasen sind hier um ein Drittel eines Umlaufs gegeneinander verschoben (Phasenverschiebung).



Dies sind die Spannungen an den Spulen eines Kraftwerkgenerators. Die Spannungen an den drei Generatorspulen rufen in den angeschlossenen Stromkreisen (verschiedene) Wechselströme hervor, die unterschiedlich stark sein können. Man kann sie in den Außenleitern L_1, L_2, L_3 unabhängig voneinander messen. Das Netz aus den drei Außenleitern und dem Neutralleiter wird als Drehstromnetz bezeichnet.

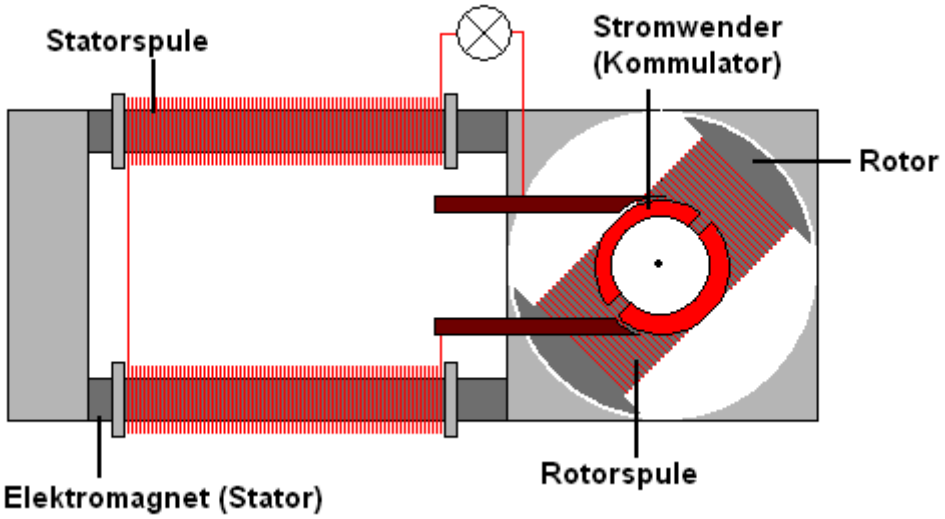
Auch unser elektrisches Versorgungsnetz ist ein Drehstromnetz. In ihm treten zwei unterschiedliche Spannungen auf: Zwischen den Leitern L_1 und L_2, zwischen den L_2 und L_3 sowie zwischen L_1 und L_3 herrscht jeweils eine (effektive) Wechselspannung von 400V. Dagegen messen wir zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter N eine Spannung von 230V.

Der Neutralleiter unseres Drehstromnetzes ist im E-Werk und an vielen anderen Stellen des Netzes geerdet. Das heißt, er ist über eine Erdleitung z.B. mit einer großen Metallplatte verbunden, die mindestens 1m tief unter der Erdoberfläche vergraben ist.

Ein Drehstromnetz hat Vorteile:
- Dem Benutzer stehen zwei unterschiedliche Spannungen zur Verfügung (400V und 230V).
- Sowohl Drehstromgeneratoren als auch entsprechende Drehstrommotoren sind verhältnismäßig einfach gebaut; deshalb sind die auch preiswert und robust.
- Mit nur vier Leitungen kann man einen Energiestrom übertragen, für den bei getrennten Wechselströmen sechs Leitungen nötig wären. (Unter Energiestrom versteht man den Quotienten aus übertragener Energie und Zeit.)

4.10 Das dynamoelektrische Prinzip

Werner von Siemens entdeckte 1866, dass es möglich war elektrischen Strom zu erzeugen ohne einen starken Dauermagneten verwenden zu müssen.
In seinem Versuch war der Eisenkern des Stators nur schwach magnetisch.
Beim Drehen des Rotors wurde deshalb ein Strom erzeugt, der auch durch die Statorspule floss und so die magnetische Kraft verstärkte, wodurch ein größerer Strom induziert wurde.



4.11 Der Transformator

Induktions-Spule:

$$U_{Ind} = \frac{(-n_2 \cdot d\Phi)}{dt}$$

$$U_2 = \frac{(-n_2 \cdot d\Phi)}{dt}$$

Feld-Spule:

$$U_1 \approx U_{Ind} = \frac{(-n_1 \cdot d\Phi)}{dt}$$

$$\frac{(d\Phi)}{dt} = \frac{U_1}{N_1} (nur\ Beträge\ werden\ betrachtet)$$

Einsetzen ergibt:

$$U_2 = \frac{n_2 \cdot U_1}{n_1} \quad | \cdot (\frac{n_1}{(n_2 \cdot U_2)})$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Bei einem verlustfrei arbeitenden Trafo gilt:

$$P_1 = P_2$$

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \quad | \cdot (\frac{1}{(I_1 \cdot U_2)})$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Eingesetzt ergibt:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

In der Praxis gilt die Formel nur näherungsweise, da die Zuleitungen und vor allem die Spulen auch ohmsche Widerstände haben. (Energieentwertung durch Wärmeabgabe).

4.12 Energieübertragung mit Hilfe von Hochspannung

Bei Energieübertragung entsteht ein Energieverlust von $P_V = R \cdot I^2$.

Da sich der Widerstand der Leiter nicht beliebig verringern lässt, arbeitet man mit kleinen Stromstärken.

Um trotzdem möglichst viel elektrische Energie zu übertragen wird gemäß der Formel $P = U \cdot I$ mit Hilfe von Transformatoren die Spannung vor der Übertragung erhöht und später wieder verringert.

5. Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

5.1 Erzeugung von elektromagnetischen Wellen

Betrachtet man ein Tamburin, stellt man fest, dass beim Vorschnellen der Membran eine Luftverdichtung statt findet.
Beim Zurückbewegen löst sich dieses „Luftpaket“ von der Membran und bei hoher Frequenz entsteht eine Schallwelle.
Mit der Welle wird Energie vom schwingendem Körper wegtransportiert.
Auch bei elektromagnetischen Schwingungen werden elektromagnetische Wellen ausgestrahlt, deren Energie bei höherer Frequenz zunimmt.

Während Wasser- und Schallwellen ein Medium (Wasser od. Luft) brauchen, sind elektrom. Wellen auch in der Lage sich in leeren Räumen auszubreiten. Früher ging man von einem Medium namens Äther aus.

Maxwell (1832-1879) leitete mit der nach ihm benannten Gleichung die Beziehung zwischen sich verändernden elektrischen und magnetischen Feldern her.
Er entdeckte die Möglichkeit, Energie durch elektrom. Wellen abzustrahlen.

Hertz (1857-1897) gelang es dann, diese Wellen zu erzeugen und zu messen.
Er baute einen Sender sowie Empfänger und wies nach, dass elektromagnetische Wellen ein ähnliches Verhalten wie Lichtwellen haben.

Marconi (1873-1938) setzte Hertz Versuche fort und konnte dank des Einbaus eines Tasters in den Empfänger drahtlos Morsezeichen übertragen.
1905 wurden Hochfrequenzgeneratoren erfunden, die durch die Parallelschaltung eines Kondensators und einer Spule auf verschiedene Frequenzen arbeitenden konnten.

5.2 Entstehung von elektromagnetischen Schwingungen

Beim Entladen eines Kondensators über eine Spule entsteht eine gedämpfte Schwingung.

Im Schwingungskreis (Parallelschaltung von Kondensator und Spule) wird dauernd elektr. Feldenergie in magnetische um- und rückverwandelt.
Aufgrund des ohmschen Widerstands werden Teile der Energie in Wärme umgewandelt und die Schwingung nimmt ab (wird gedämpft).

Für die Frequenz der Schwingung gilt die thomsonsche Gleichung:

$$f_0 = \frac{1}{(2 \cdot \pi)} \frac{1}{(\sqrt{(L \cdot C)})}$$

Herleitung:

$$U_C = -U_L \quad (Kondensator + Spule) \quad |C = \frac{Q}{U_C}$$

$$\frac{Q}{C} = -U_L \quad |U_L = U_{Ind} = L \cdot \dot{I}$$

$$\frac{Q}{C} = -L\dot{I}$$

$$\frac{1}{C} \cdot Q(t) = -L \cdot \dot{I}(t) \quad (ableiten\ nach\ Zeit)\left(I = \frac{\Delta_Q}{\Delta_t}\right)$$

$$\frac{1}{C} \cdot \dot{Q}(t) = -L \cdot \ddot{I}(t) \quad |\dot{Q}(t) = I$$

$$\frac{1}{C} \cdot I(t) = -L \cdot \ddot{I}(t)$$

$$I(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$\dot{I}(t) = \hat{I} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$
$$\ddot{I}(t) = -\hat{I} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\frac{1}{C} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -L \cdot -(\hat{I} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t))$$

$$\frac{1}{C} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) = L \cdot \omega^2 \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad |-\left(\frac{1}{C} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)\right)$$

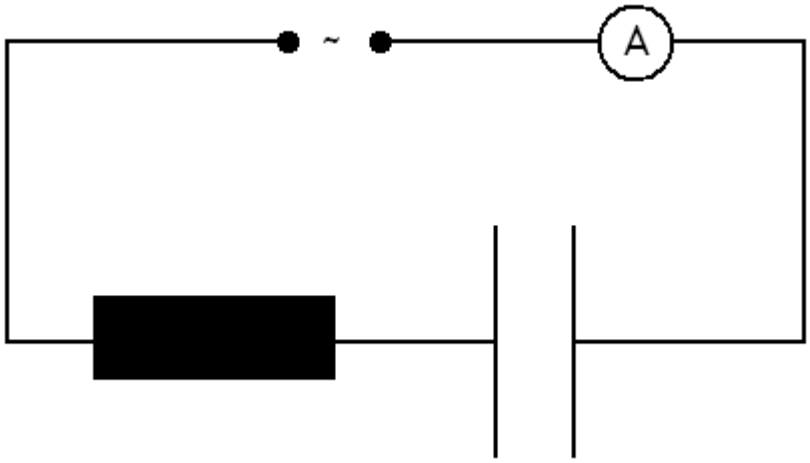
$$0 = L \cdot \omega^2 \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) - \frac{1}{C} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\left(L \cdot \omega^2 - \frac{1}{C}\right) \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) = 0$$

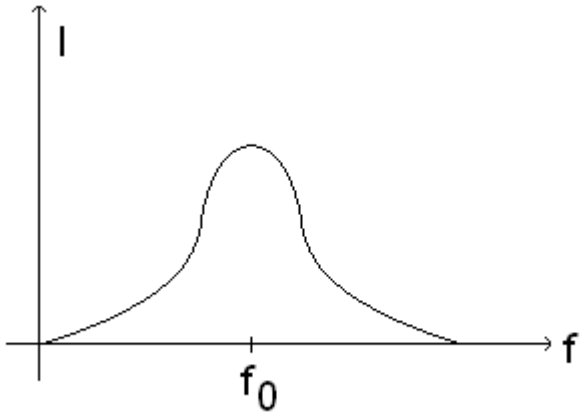
Diese Gleichung ist immer dann erfüllt wenn gilt:

$L \cdot \omega^2 - \frac{1}{C} = 0$ oder $f = \frac{1}{(2 \cdot \pi)} \frac{1}{\sqrt{(L \cdot C)}}$

5.3 Der Resonanzkreis

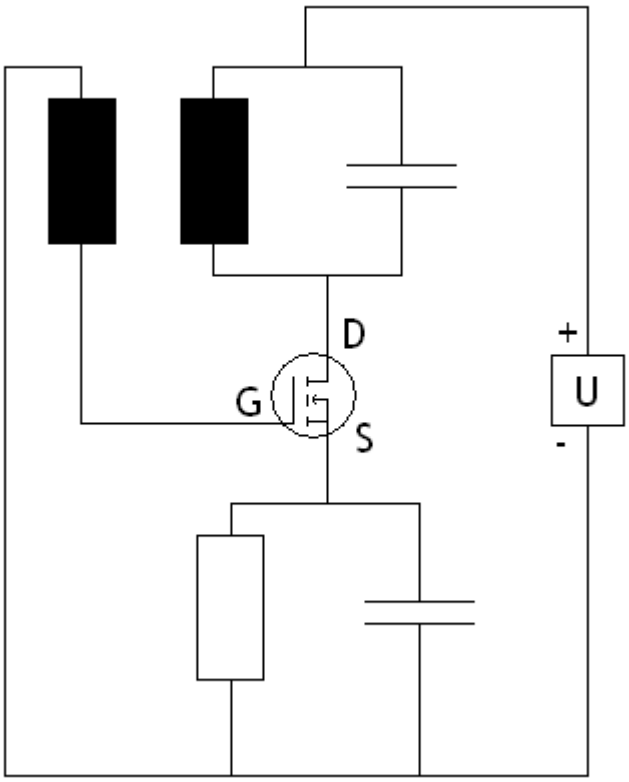


Verändert man die Frequenz, so ändert sich die Stromstärke trotz konstanter Generatorspannung.



Die Stromstärke durchläuft eine Resonanzspannung, wie man sie aus der Mechanik kennt.
Bei der Eigenfrequenz f_0 ist die Stromstärke maximal, der Schwingkreis ist in Resonanz.
Spule, Kondensator, Ohmscher Widerstand bilden in Reihe geschaltet einen Resonanzkreis.

5.4 Ungedämpfte Schwingungen



5.5 Information Wechselstromwiderstände

a) Ohmscher Widerstand
In einem Wechselstromkreis ist zu jedem Zeitpunkt die Stromstärke proportional zur Spannung und unabhängig von der Frequenz. Strom und Spannung sind in Phase, d.h. Sie nehmen den Wert Null oder den Extremwert gleichzeitig an.

$$Momentanwerte: U(t) = R \cdot I(t)$$
$$Scheitelwerte: \hat{U} = R \cdot \hat{I}$$
$$Effektiverte: U_{eff} = R \cdot I_{eff}$$

b) Kapazitiver Widerstand
Wird an einem Kondensator eine sinusförmige Wechselspannung angelegt, werden im Wechsel Auf- und Entladeströme hervorgerufen.
Es kommt zu einer (ebenfalls sinusförmigen) Wechselspannung in den Zuleitungen zum Kondensator. Die Stromstärke ist umso größer, je größer die Frequenz der Wechselspannung und je größer die Kapazität des Kondensators ist.

Kapazitiver Widerstand des Kondensators: $R_C = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1}{(\omega \cdot C)}$

Der kapazitive Widerstand ist frequenzabhängig.

c) Induktiver Widerstand

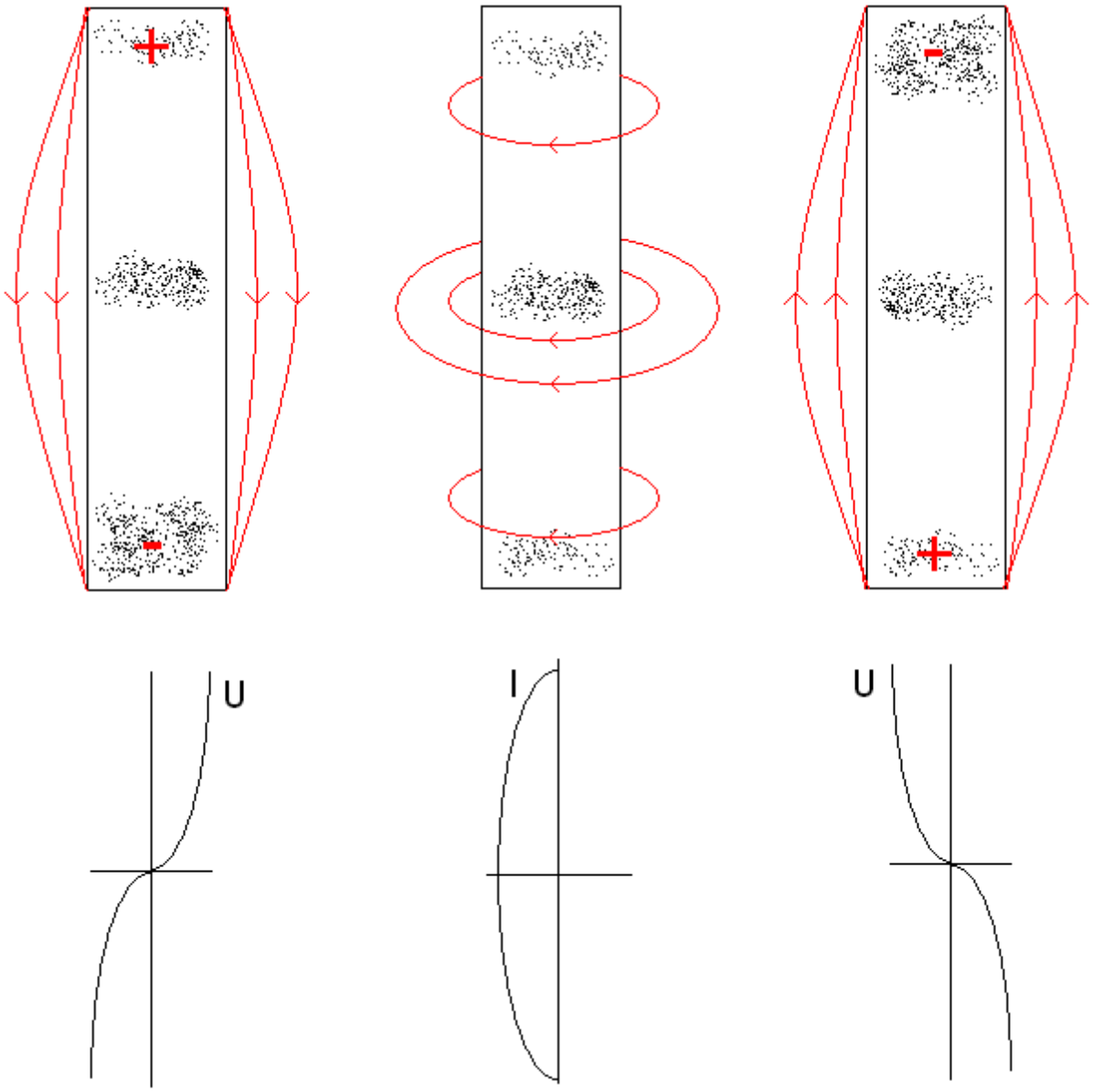
Wenn man an eine Spule eine sinusförmige Wechselspannung legt, wird ein (ebenfalls sinusförmiger) Wechselstrom hervorgerufen. Die Stromstärke ist umso größer, je kleiner die Frequenz der Wechselspannung und je kleiner die Induktivität der Spule ist.

Induktiver Widerstand der Spule: $R_L = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \omega \cdot L$

Der induktive Widerstand ist auch frequenzabhängig.

5.6 Elektromagnetische Wellen

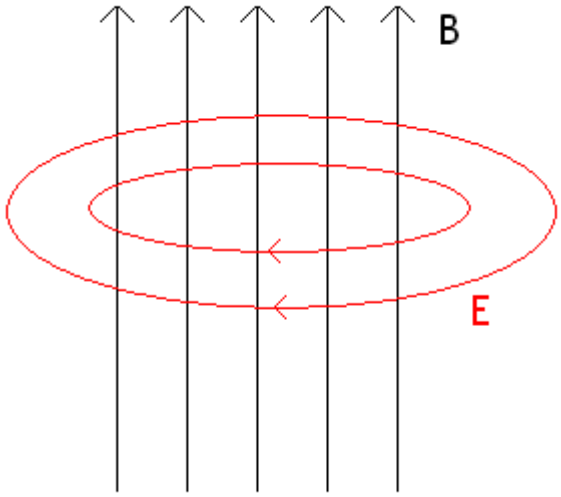
a) Hertzscher Dipol



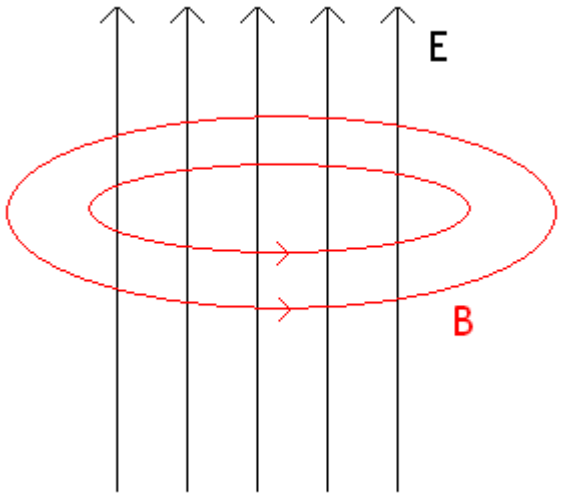
Das elektrische und das magnetische Wechselfeld eines strahlenden Dipols haben die Eigenschaft einer transversalen Welle. (Der elektrische Feldvektor steht senkrecht zur Ausbreitung der Welle.)

- Die Strahlung ist polarisiert. (Der elektrische Feldvektor behält im Raum die gleiche Lage bei.)
- Bei einem hertzschen Dipol ist die Wellenlänge gleich der doppelten Dipollänge.
- Die Felder sind rotationssymmetrisch um den Dipol angeordnet, in jedem Punkt des Feldes stehen elektrischer und magnetischer Feldvektor aufeinander senkrecht.

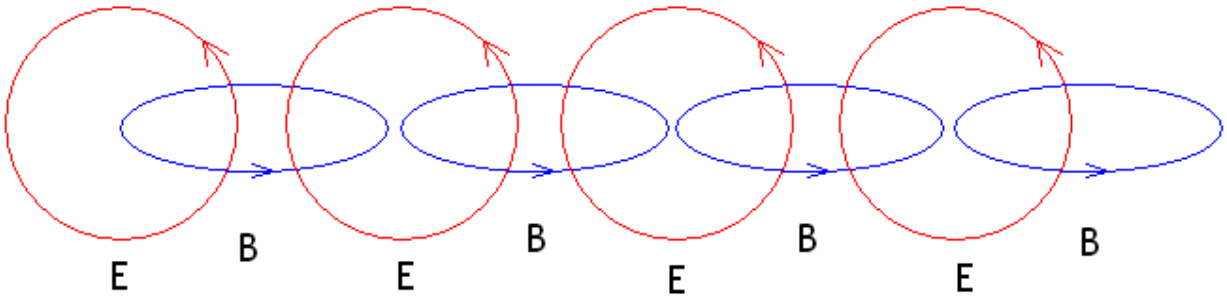
b) Ausbreitung elektrischer und magnetischer Felder



Ein sich änderndes magnetisches Feld wird von elektr. Feldlinien umfasst, die weder Anfang noch Ende haben; man nennt ein solches Feld ein elektrisches Wirbelfeld.



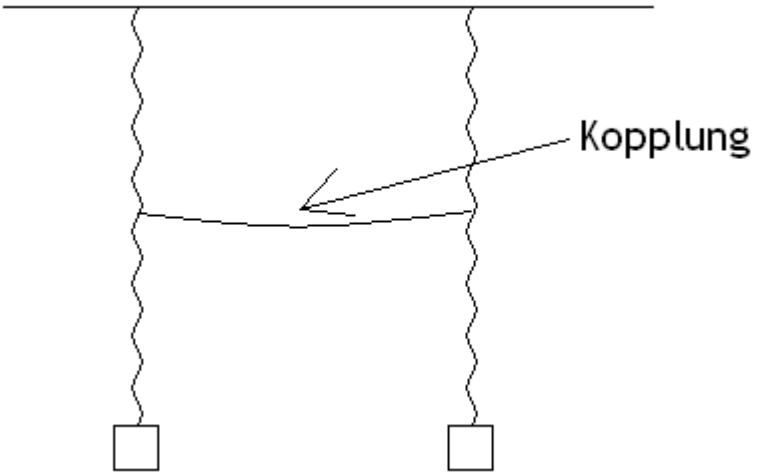
Ein sich änderndes elektrisches Feld wird von magnetischen Feldlinien umfasst, die weder Anfang noch Ende haben; man nennt ein solches Feld ein magnetisches Wirbelfeld.



Elektrische und magnetische Felder bedingen sich gegenseitig. Ein veränderliches elektrisches Feld ist von einem veränderlichen Magnetfeld begleitet, dieses wiederum von einem veränderlichen elektrischen Feld usw.

6. Mechanische Wellen

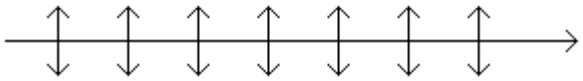
6.1 Entstehung und Ausbreitung von Wellen



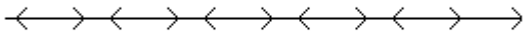
Eine Welle entsteht, wenn gekoppelte Oszillatoren in Schwingungen versetzt werden.

Dabei wird die Schwingung von einen auf den anderen Oszillator übertragen. Auf Grund der Trägheit hinkt der jeweils 2. Oszillator dem 1. Oszillator hinterher.

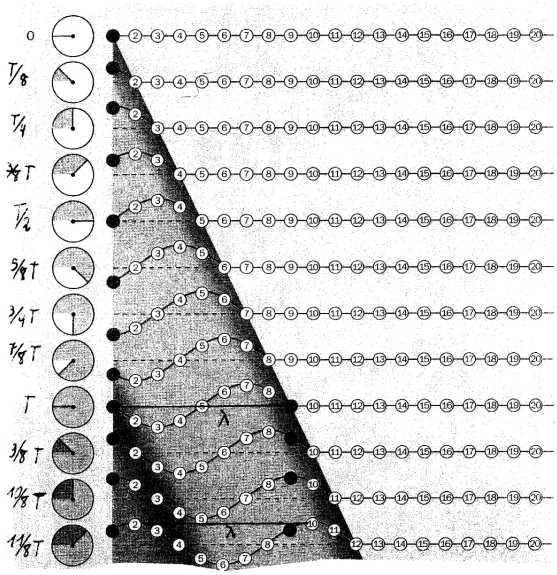
a) Quer- oder Transversalwellen
Die einzelnen Oszillatoren schwingen quer zur Ausbreitungsrichtung.



b) Längs- oder Longitudinalwelle
Die Oszillatoren schwingen längs zur Ausbreitungsrichtung.



c) Momentbild einer Welle



d) Kenngrößen einer Welle

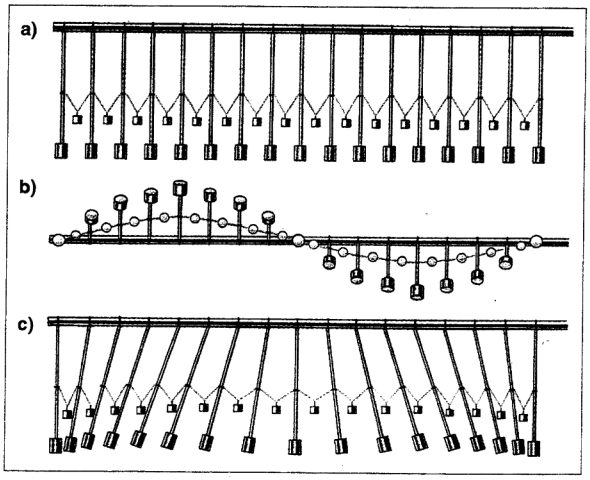
Periodendauer $T; [T] = 1\text{s}$

Frequenz $f; [f] = \frac{1}{s} = 1\,Hz; f = \frac{1}{T}$

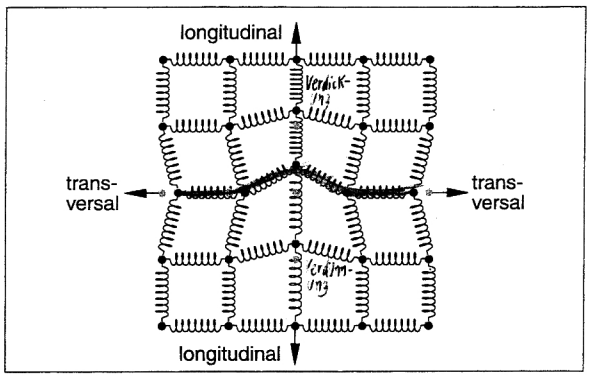
Wellenlänge $\lambda; [\lambda] = 1\text{m}$

Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f; [c] = 1\,\frac{m}{s}$

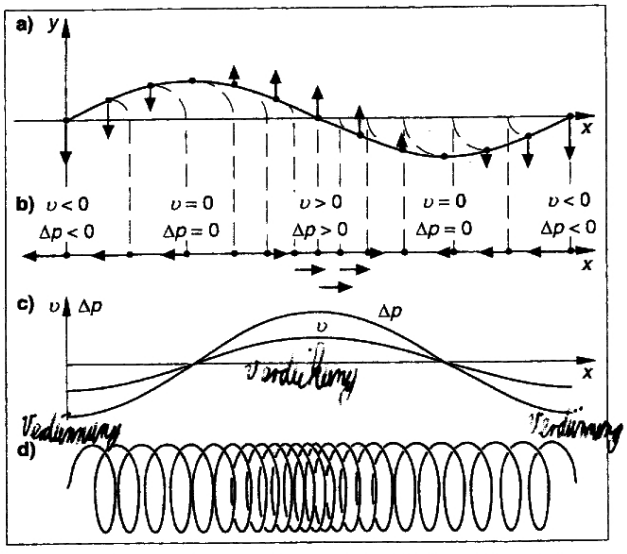
6.2 Modelle von Wellenträgern



122.1 Pendelkette. **a)** von der Seite in Ruhe, **b)** transversal angestoßen (von unten betrachtet), **c)** longitudinal angestoßen (von der Seite gesehen)



125.1 Gittermodell eines festen, elastischen Körpers. Der Oszillator in der Mitte ist Ausgangspunkt von transversalen und longitudinalen Wellen.



124.1 Verteilung von Druck und Geschwindigkeit einer fortschreitenden Longitudinalwelle

6.3 Überlagerung von Wellenlänge – Interferenz

Zwei Wellen durchringen einander ohne sich gegenseitig in ihrer Ausbreitung zu stören. Zum Bestimmen der Elongation addiert man die Elongationen der einzelnen Wellen unter Beachtung des Vorzeichens.

Wellenberg + Wellenberg -> hoher Wellenberg
Wellenberg + Wellental -> Auslöschung

Die Überlagerung von Wellen gleicher Frequenz bezeichnet man als Interferenz.

Bei der Interferenz zweier Wasserwellen wird jedes Wasserteilchen von beiden Wellen erreicht.
Wenn an einer Stelle ein Wellental zeitgleich mit einem Wellenberg eintrifft, heben die Elongationen sich gegenseitig auf und das Wasserteilchen bleibt in Ruhe.
Dies ist eine destruktive Interferenz.

Wenn eine Stelle zeitgleich von zwei Wellenbergen erreicht wird, addieren sich die Elongationen und das Wasserteilchen schwingt mit größer Amplitude: konstruktive Interferenz.

Die gleiche Frequenz der Wellenerreger ist die Voraussetzung für die Bildung eines Wellenmusters.
Ob es zu einer destruktiven oder konstruktiven Interferenz kommt, hängt vom Unterschied der Weglängen der Welle ab.
Diese Differenz wird als Gangunterschied Δ_s bezeichnet.

Δ_s = Vielfaches von λ : konstruktive Interferenz

Δ_s = Vielfaches von $\lambda/2$: destruktive Interferenz

6.4 Wasserwellen und das huygensche Prinzip

Christian Huygens (1629-1695)

Sowohl bei geraden als auch bei Kreiswellen steht die Ausbreitungsrichtung stets senkrecht zu den Wellenfronten.

Kreiswellen heißen Elementarwellen. Jeder Punkt, der von einer Welle getroffen wird, kann als Ausgangspunkt einer Elementarwelle angesehen werden. Durch das Zusammenwirken vieler Elementarwellen entsteht eine neue Wellenfront, die man geometrisch als Einhüllende der Elementarwellen konstruieren kann.

Tiefwasserwellen reichen nicht bis zum Meeresboden. (Das Wasser ist tiefer als $\lambda/2$.)
Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt nur von der Wellenlänge ab.

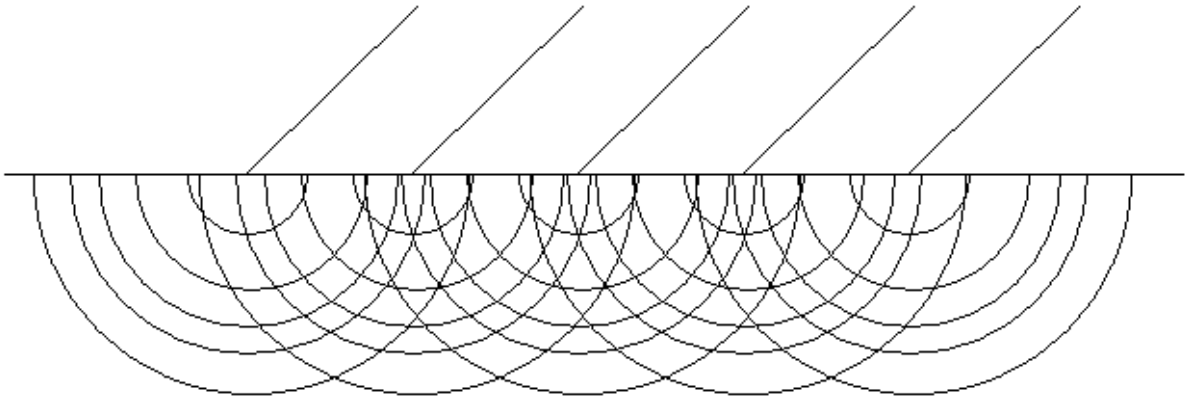
$$c = k \cdot \sqrt{(\lambda)}$$

$$k = 1{,}25 \frac{\sqrt{(m)}}{s}$$

Flachwasserwellen reichen bis zum Grund. Ihre Geschwindigkeit hängt von der Wassertiefe D ab.

$$c = k \cdot \sqrt{(D)}$$
$$k = 3{,}13 \frac{\sqrt{(m)}}{s}$$

6.5 Die Brechung von Wellen – Das Brechungsgesetz



Ausbreitungsgeschwindigkeit:

$$c_1 = \frac{\overline{AP_1}}{\Delta_t} \qquad c_1 = \frac{\overline{BP_6}}{\Delta_t}$$

Winkel:

$$\sin\alpha = \frac{\overline{AP_1}}{\overline{(P_1P_6)}} \qquad \sin\beta = \frac{\overline{BP_6}}{\overline{(P_1P_6)}}$$

$$\overline{AP_1} = \sin\alpha \cdot \overline{(P_1P_6)} \qquad \overline{BP_6} = \sin\beta \cdot \overline{(P_1P_6)}$$

Herleitung:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\overline{AP_1} \cdot \Delta_t}{(\Delta_t \cdot \overline{BP_6})} = \frac{\overline{AP_1}}{\overline{BP_6}} = \frac{(\sin\alpha \cdot \overline{(P_1P_6)})}{(\sin\beta \cdot \overline{(P_1P_6)})} = \frac{(\sin\alpha)}{(\sin\beta)}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{(\sin\alpha)}{(\sin\beta)}$$

Brechung:
Die Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Welle aufgrund einer Geschwindigkeitsänderung heißt Brechung. Ändert sich die Geschwindigkeit sehr plötzlich, knicken bzw. brechen die Wellenfronten an der Grenzlinie ab.

6.6 Die Beugung von Wellen

Autolärm ist selbst dann zu hören, wenn die Sicht auf die Straße durch ein Haus verdeckt ist. Offensichtlich breiten sich Schallwellen nicht wie das Licht gradlinig aus, sondern laufen um Hindernisse herum.
Einen ähnlichen Effekt zeigen Wasserwellen, die auf einen Stein treffen: Die Wellen dringen hinter dem Stein in den Schattenraum ein.

Wellen ändern an Kanten, Hindernissen und Spalten ihre Richtung. Diese Erscheinung wird Beugung genannt.

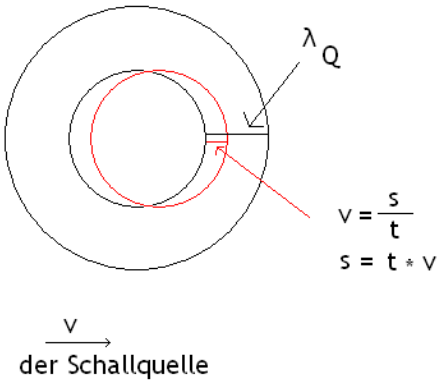
Es wird beobachtet, wie sich Wellen verhalten, die gegen verschieden breite Spalte verlaufen.
Ist der Spalt im Vergleich zur Wellenlänge schmal, entsteht hinter dem Hinderniss eine halbkreisförmige Welle. Der Spalt ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle, die nun auch in den Schattenraum eindringt.
Ist der Spalt breiter entsteht eine gerade Wellenfront, die jedoch außen ebenfalls kreisförmig in den Schattenraum hinein läuft.
Das huygenssche Prinzip erklärt, dass jeder Punkt des Spalts Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle ist. Die Einhüllender dieser Elementarwellen ergibt die Form der entstehenden Wellenfront.

Die Beugung an Spalten ist umso stärker, je größer die Wellenlänge im Vergleich zum beugenden Gegenstand ist.

6.7 Der Doppler-Effekt

(Christian Doppler, 1803-1853)

a) Bei bewegter Schallquelle und ruhendem Beobachter



1. Wenn die Schallquelle ruht, breitet sich die Schallwelle in der Zeit T um $\lambda = c \cdot T$ aus.
2. Bewegt sich die Schallquelle mit v, so eilt die Schallwelle um $s = v \cdot T$ nach. Die Wellenlänge wird somit verkürzt.

$$\lambda_{Beob.} = \lambda_{Quel.} - v \cdot T$$
$$\lambda_{Beob.} = c \cdot T - v \cdot T$$
$$\lambda_{Beob.} = T(c - v)$$

$$\lambda_Q = c \cdot T \Rightarrow T = \frac{\lambda_Q}{c}$$

$$\lambda_{Beob.} = \frac{(c - v) \cdot \lambda_Q}{c}$$
$$\lambda_{Beob.} = (1 - \frac{v}{c}) \cdot \lambda_Q$$

Kommt z.B. ein Auto auf uns zu verringert sich seine Schallwellenlänge um den Faktor $(1 - \frac{v}{c})$; fährt es von uns weg, vergrößert sich seine (Schall-)Wellenlänge um den Faktor $(1 + \frac{v}{c})$.

b) Bei ruhender Schallquelle und bewegtem Beobachter
Wenn sich der Beobachter bewegt, bleibt die Wellenlänge konstant, die Ausbreitungsgeschwindigkeit nimmt jedoch (scheinbar) ab.

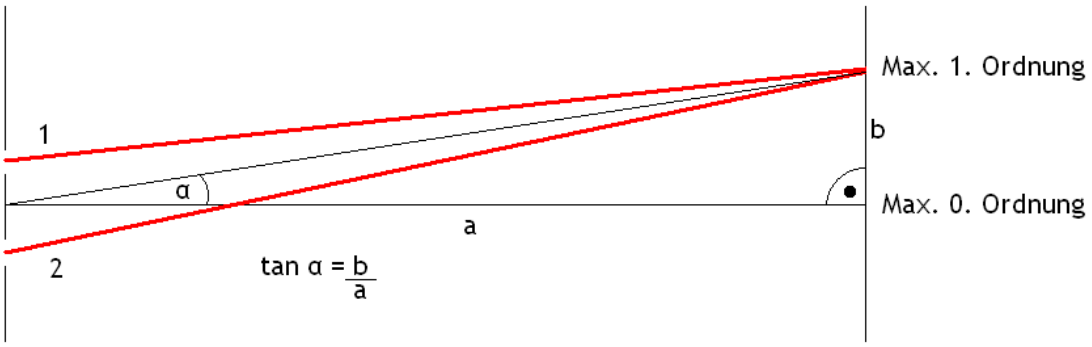
$$c_{Beob.} = c_Q - v \quad | c = \lambda \cdot f$$
$$\lambda \cdot f_B = c - v \quad | : \lambda$$
$$f_B = \frac{(c - v)}{\lambda} \quad | \lambda = \frac{c}{f}$$
$$f_B = \frac{f_Q \cdot (c - v)}{c}$$
$$f_B = (1 - \frac{v}{c}) \cdot f_Q$$

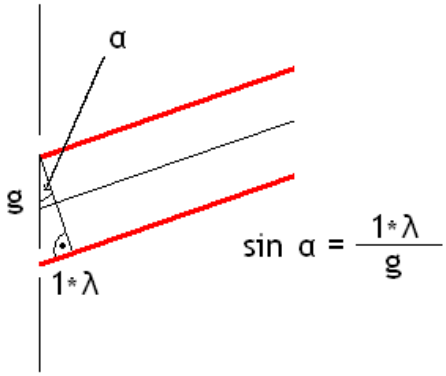
7. Modelle von Licht

7.1 Interferenz von Licht

Lichtquellen verhalten sich wie Wellen und zeigen das Phänomen der destruktiven und konstruktiven Interferenz.

7.2 Interferenzgleichung am Doppelspalt





In guter Näherung kann man annehmen, dass Lichtweg 1 und Lichtweg 2 parallel zueinander verlaufen.

Für kleine Winkel gilt: $\sin\alpha \approx \tan\alpha$

Folgerung:

$\frac{b_1}{a} \approx \frac{1 \cdot \lambda}{g}$ Interferenzgleichung für das Maximum 1. Ordnung

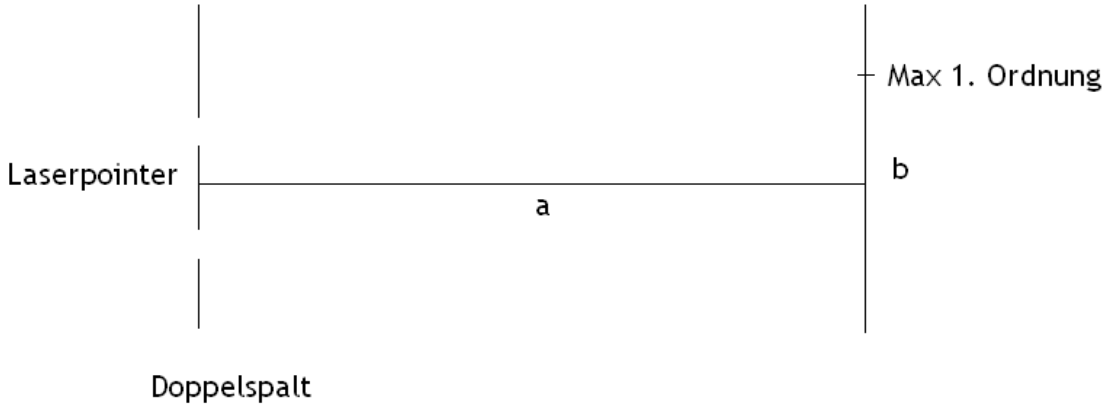
$\frac{b_n}{a} \approx \frac{n \cdot \lambda}{g}$ Für das Maximum n-ter Ordnung

$\frac{b_1}{a} \approx \frac{1/2 \cdot \lambda}{g}$ Für das Minimum 1. Ordnung

$\frac{b_n}{a} \approx \frac{(2n-1) \cdot \lambda}{(2 \cdot g)}$ Für das Minimum n-ter Ordnung

7.3 Wellenlängenbestimmung am Doppelspalt und am optischen Gitter

a) Doppelspalt



Ergebnis: Messwerttabelle

$$\frac{b_n}{a}=\frac{n\cdot\lambda}{g}\Rightarrow\lambda=\frac{b_n\cdot g}{(a\cdot n)}$$

n	***a***	b_n	λ
1	0,25mm = 0,00025m	0,013	$6{,}02968*10^7$
2	0,00025m	0,027	$6{,}2616*10^7$
3	0,00025m	0,042	$6{,}49351*10^7$

$\lambda_1=602{,}97\,nm$
$\lambda_2=626{,}16\,nm$
$\lambda_3=649{,}35\,nm$

b) Optisches Gitter

Aufbau wie Doppelspaltversuch nur mit optischen Gitter.

80 Linien pro Millimeter

$$g=\frac{1}{80}mm=0{,}0125\,mm=12500\,nm$$
$$b_3=79{,}5\,cm=795000000\,nm$$
$$a=5{,}07\,m=5070000000\,nm$$

$$\lambda=\frac{b_n\cdot g}{(a\cdot n)}=\frac{795000000\cdot 12500}{(3\cdot 5070000000)}=\frac{7950\cdot 125}{(3\cdot 507)}=653\,nm$$

7.4 Übungsaufgaben

1. Begründen Sie, warum beim Überlagern des Lichts von zwei verschiedenen Lichtquellen kein Interferenzbild entstehen kann.
2. Begründen Sie, warum beim Aufeinandertreffen zeitlich gegeneinander verschobene Wellenzüge keine Auslöschung auftreten kann.
3. Erklären Sie an einer Skizze warum die Maxima bei blauen Licht enger beieinander liegen als bei rotem Licht.
4. Eine Natriumlampe ($\lambda = 589\,nm$) scheint auf einen Doppelspalt ($g = 01\,mm$). Berechnen sie den Abstand b_1 (0. Max bis 1. Max) für den Fall, dass der Schirm etwas 1m vom Spalt entfernt ist.

Zu 1: Für die Entstehung von Interferenzmustern muss das Licht kohärent sein. Also zu jedem Zeitpunkt muss die Frequenz, Schwingungsrichtung und Phasenlage übereinstimmen. Bei verschiedenen Lichtquellen ist diese Gleichheit nicht gegeben.

Zu 2: Bei einer Auslöschung von zwei Wellen ist die Summe der beiden Auslenkungen immer 0. Bei zeitlich gegeneinander verschobene Wellen ist dies nicht gegeben.

Zu 3: Blaues Licht hat eine kürzere Wellenlänge als rotes Licht. Betrachtet man die Formel für den Abstand der Maxima $b_n = \frac{n \cdot \lambda \cdot a}{g}$ und verändert nur λ steht b_n proportional zu λ . Bei einer kleineren Wellenlänge liegen die Maxima also enger zusammen.

Zu 4: $\frac{b_a}{a} = \frac{1 \cdot \lambda}{g} \Rightarrow b_1 = \frac{1 \cdot \lambda \cdot a}{g}$

$\lambda = 589\,nm = 0{,}000000589\,m$

$g = 0{,}1\,mm = 0{,}0001\,m$

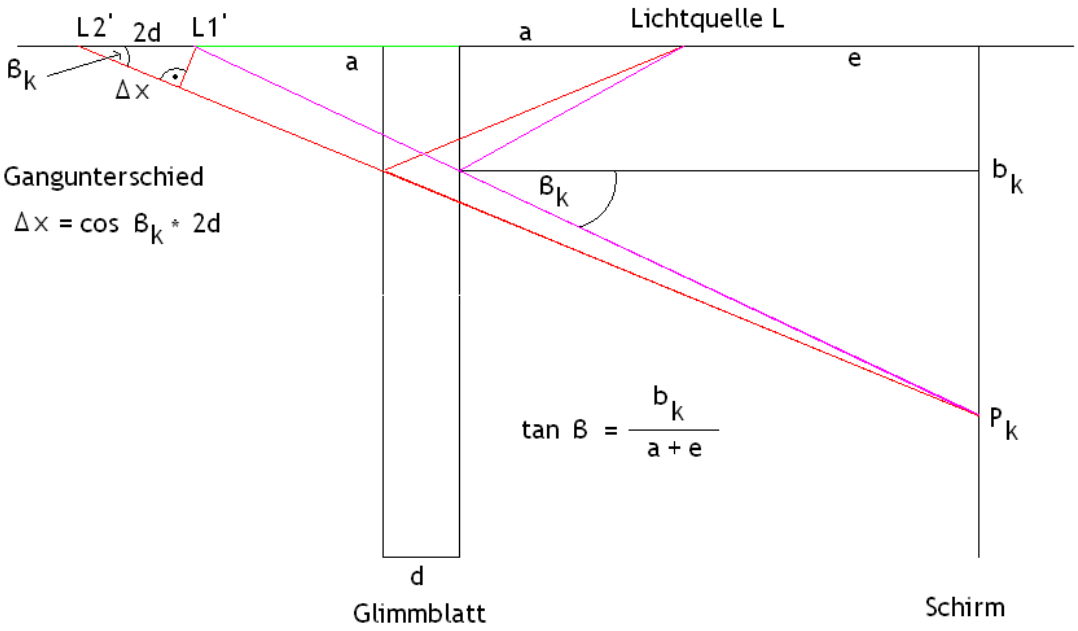
$a = 1\text{m}$

$b_1 = \frac{0{,}000000589 \cdot 1}{0{,}0001} = 0{,}00589\,m = 5{,}89\,mm$

7.5 Interferenzen hinter optischen Gittern

Die Anordnung von mehreren bis vielen Spalten mit konstanten Abstand nebeneinander nennt man optisches Gitter. Der Abstand zweier benachbarter Spalte ist die Gitterkonstante g.
Die Interferenzgleichungen für Gitter und Doppelspalte sind gleich.
Mit Gittern erhält man scharfe und helle Maxima.

7.6 Interferenz an dünnen Schichten



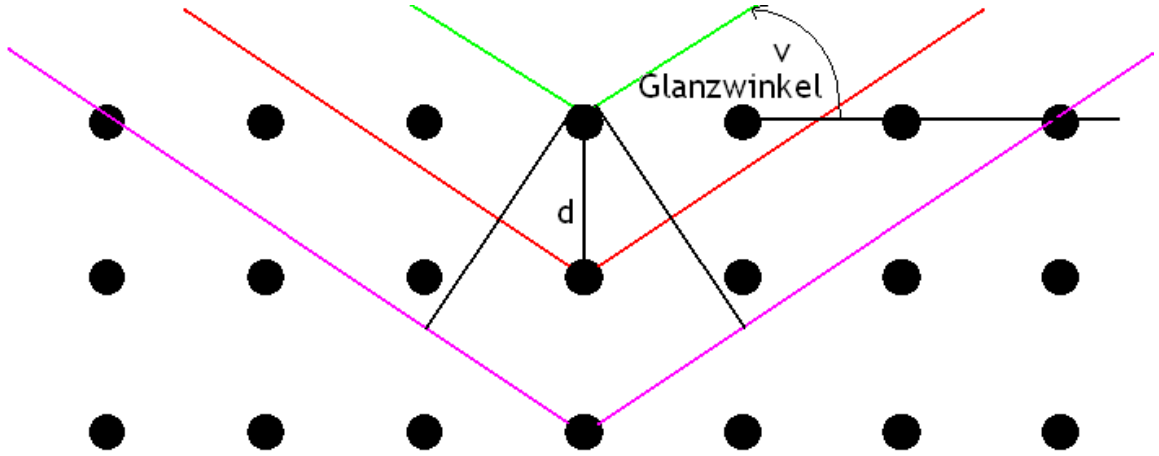
Im Glimmerblatt (Brechungsindex n) breitet sich Licht anders aus als in Luft. D.h. Der Gangunterschied Δ_x wird im Glimmer auf den rotem Weg länger zurück gelegt. In diesem Weg liegen n-mal mehr Wellen als in der Luft.

Die so genannte optische Wellenlänge ist also $\Delta_x = n \cdot 2\mathrm{d} \cdot \cos\beta_k$

Bedingung für ein Maximum:

$$m \cdot \lambda = n \cdot 2\mathrm{d} \cdot \cos\beta_k + \frac{\lambda}{2}$$

7.7 Interferenz von elektromagnetischer Strahlung an Kristallen – Bragg-Reflexion



Gangunterschied der Wellenzüge Δ_s :

$$\sin\upsilon = \frac{\frac{\Delta_s}{2}}{d} \quad | \cdot 2d$$

$$\Delta_s = \sin\upsilon \cdot 2d$$

Die reflektierten Wellenzüge verstärken sich durch konstruktive Interferenz, wenn

$\Delta_s = n \cdot \lambda = 1\,;2\,;3\,;...$

Es ergibt sich also folgende Bedingung

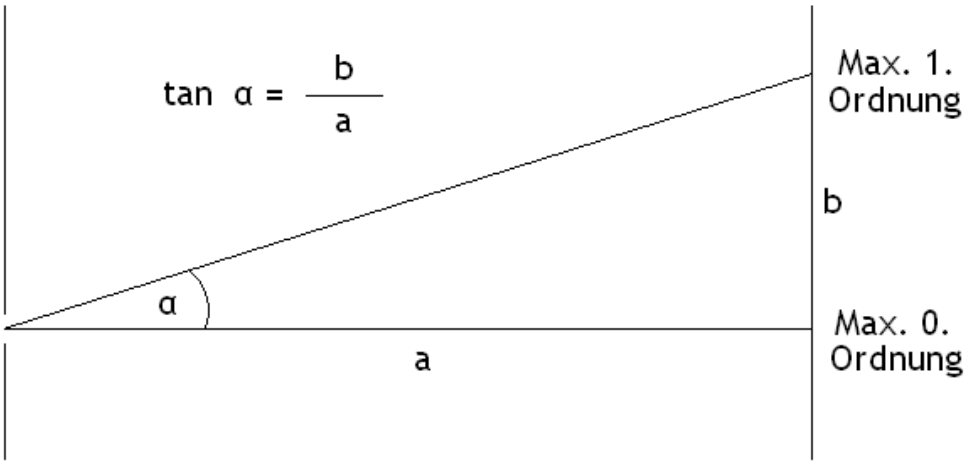
$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin\upsilon\,, n = 1\,;2\,;3\,;...$ Bragg-Gleichung

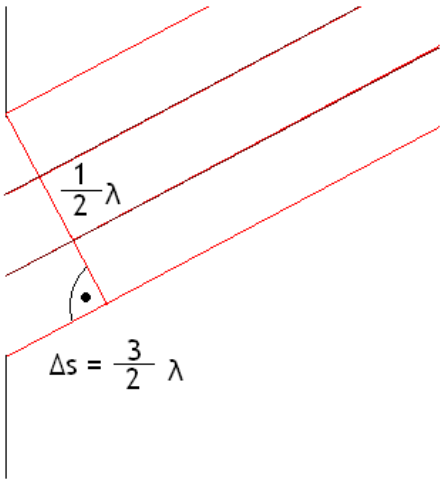
υ : Reflektionswinkel einer Welle an einem Raumgitter (z.B. Kristall)

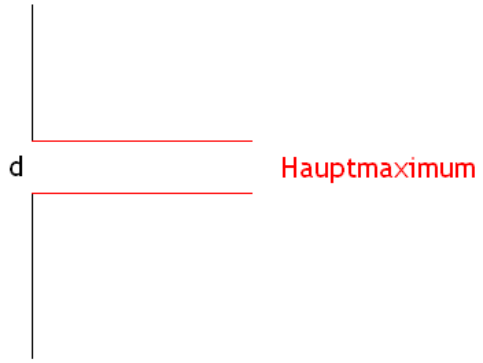
d: Netzebenenabstand

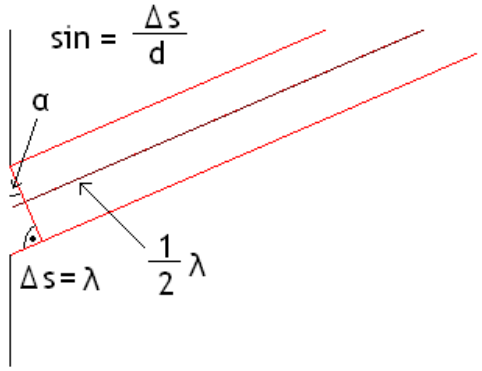
Anwendung: Man benutzt die Bragg-Reflexion zur Bestimmung des Netzebenenabstands d bei Kristallen.

7.8 Beugung am Einzelspalt









Nur das erste und zweite Teilbündel löschen sich aus. Es entsteht aus dem 3. Teilbündel das Maximum 1. Ordnung.

$\sin\alpha \approx \tan\alpha$ Für kleine Winkel.

$$\frac{b_1}{a} = \frac{3/2 \cdot \lambda}{d}$$

Allgemein gilt für ein n-Nebenmaximum

$$\frac{b_n}{a} = \frac{1/2 \cdot (2n+1) \cdot \lambda}{d}$$

Nebenminimum

$$\frac{b_n}{a} = \frac{2n \cdot \lambda}{d}$$

8. Drei grundlegende Aspekte der Physik

8.1 Die Newtonschen Axiome

1. Axiom: Trägheitssatz
2. Axiom: Grundgleichung der Mechanik: $F = m \cdot a$
3. Axiom: Wechselwirkungsgesetz (actio = reactio) $F_1 = -F_2$

8.2 Die Energieerhaltung

Energie besitzt zwei grundlegende Eigenschaften:
- Sie kann übertragen werden
- Sie kann ihre Form wandeln

Energie kann also weder aus dem „Nichts“ erzeugt werden, noch kann sie vernichtet werden.

Z.b. Muskelenergie wird durch Hubarbeit in Lageenergie umgewandelt.

In einem „energetisch geschlossenem“ System ist die Gesamtenergie E konstant.

8.3 Grenzen der Newtonschen Mechanik

Im mechanistischen Zeitalter wurde davon ausgegangen, dass die Welt nach strengen Gesetzmäßigkeiten zu berechnen ist. Die Vorstellung eines Uhrwerks kam auf und wurde auch auf Lebewesen übertragen.
Im Grunde wurde alles als eine komplizierte Maschine angesehen.

Das vorherrschende aristotelische Weltbild war streng mit den Herrschaftsstrukturen verknüpft, die die Gesellschaft in ein „natürliches“ „Oben“ und „Unten“ teilten.
Mit dem wachsenden Selbstbewusstsein des Bürgertums wuchs auch der Wunsch nach einem Wechsel des Weltbildes.

Beginn des 18. Jhd.: Siegeszug der Mechanik beginnt.

Vor allem die Entdeckung der Gesetzmäßigkeiten der Bewegung der Himmelskörper (Keplische Gesetze) erhob die Naturwissenschaft teilweise über die religiösen-philosophischen Weltbilder.
Bis ins 19. Jhd. Hinein herrschte die Vorstellung eines mechanistischen Weltbildes.

Aufbauend auf diese Ideen stellte sich die Physik mit folgenden Teilbereichen dar: Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Optik als geschlossene, wissenschaftliche Gebäude der klassischen Physik.

Das Weltbild der klassischen Physik beruht auf 3 Prinzipien:

Kausalität (Ursache + Wirkung)
Determinismus (Vorhersagbarkeit)
Objektivierbarkeit
Anfang des 20. Jhd.:

Albert Einstein (1879 – 1955) revolutionierte das Weltbild der klassischen Physik durch die veränderte Vorstellung von Raum, Zeit und Gravitation.

- Keine Wirkung / Bewegung ist schneller als das Licht ($c \approx 300000\, km/s$).
- Also wirkt auch die Gravitation mit zeitlicher Verzögerung.
- Die Masse ist bei hohen Geschwindigkeiten nicht mehr konstant.
- Auch die Zeit ist „gedehnt".

In der Quantentheorie wird der Determinismus verworfen.
Über das zukünftige Verhalten von Körpern lasse sich nur Wahrscheinlichkeitsaussagen machen. (Insbesondere bei Mikroobjekten.)
Auch greift jede Messung, jede Beobachtung in das Naturgeschehen ein und beeinflusst es. -> Das Prinzip der Objektivierbarkeit ist nicht mehr gültig.

Die Aussagen der klassischen Physik ergeben sich als Spezialfall der modernen Physik. ($v \ll c$, in der Welt der Makroteilchen).

9. Lichtquanten und Elektronenwellen

9.1 Wirkungen von Licht

Während die UV-Strahlung der Sonne eine Hautbräunung bis hin zum Sonnenbrand bewirkt, passiert unter einer Glühlampe oder hinter einer Fensterscheibe nichts. Selbst bei gleicher Intensität (Die Haut nimmt pro Zeit und Fläche die gleiche Energie auf), bleibt die Haut weiß.
Für die Bräunung muss also etwas anders als die Gesamtenergie der Strahlung verantwortlich sein.
In einem Versuch wurde eine Zinkplatte mit UV-Licht bestrahlt. Tatsächlich lösten sich Elektronen aus der Platte. Mit sichtbaren Licht, dass eine kleinere Frequenz als UV-Licht hat, ist dieser Effekt nicht zu erzielen.
Beim so genannten Photoeffekt kommt es also nicht auf die Intensität der Strahlung an, sondern auf die Frequenz.
Je größer die Frequenz des Lichts ist, desto mehr Energie wird transportiert. Deswegen erzeugt die energiereiche UV-Strahlung eine Hautbräunung und das sichtbare Licht der Glühlampe nicht. Des weiteren ist damit die Gefahr der Röntgenstrahlung, deren Frequenz sehr groß ist, erklärt.
Warum selbst eine Erhöhung der Intensität für den Effekt irrelevant ist, wird im nächsten Punkt geklärt.

9.2 Der lichtelektrische Effekt oder Fotoeffekt

Mit UV-Licht lassen sich Elektronen aus einer Metallplatte auslösen, sichtbares Licht kann dies nicht bewirken.
Zum Auslösen der Elektronen ist Auslöseenergie (bzw. Austrittsarbeit W_A) nötig. Auch eine erhöhte Intensität des sichtbaren Lichts kann diese Austrittsarbeit nicht leisten. Dies erklärt, warum UV-Licht Sonnenbrand hervorruft, nicht aber sichtbares Licht.
Dieses Phänomen heißt Fotoeffekt.

Beim Fotoeffekt tritt Licht in Wechselwirkung mit Materie.
Nach der Wellentheorie lässt sich über die Amplitude die übertragende Energie vergrößern und der Fotoeffekt müsste bei jeder Frequenz auftreten. Dies tut er jedoch nicht.

Einstein ging davon aus, dass das Licht aus einem Strom von Teilchen (Photonen) besteht, deren Energie proportional zur Frequenz ist.
Jedes Photon kann seine Energie nur auf ein Elektron übertragen und jedes Elektron kann lediglich die Energie eines Photons aufnehmen.
Sollte die Energie des Photons also nicht ausreichen um das Elektron aus dem Metall zu lösen ist auch eine Erhöhung der Intensität („es treffen mehr Photon auf das Metall“), für das einzelne Teilchen irrelevant.

Die Energie des Lichts wird immer „portionsweise“ auf ein Elektron übertragen. Diese Energieportionen nannte Einstein Photon oder Lichtquant.

Die Energie jedes Photons ist proportional zur Frequenz, die man dem Licht nach der Wellentheorie zuordnet.

$$W_{Ph} = h \cdot f$$

Die Energie des Elektrons entspricht der Energie des Photons (die Energie wird ja übertragen), abzüglich der Austrittsarbeit des Materials.

$$W_{el} = W_{Ph} - W_A$$
$$W_{el} = h \cdot f - W_A$$

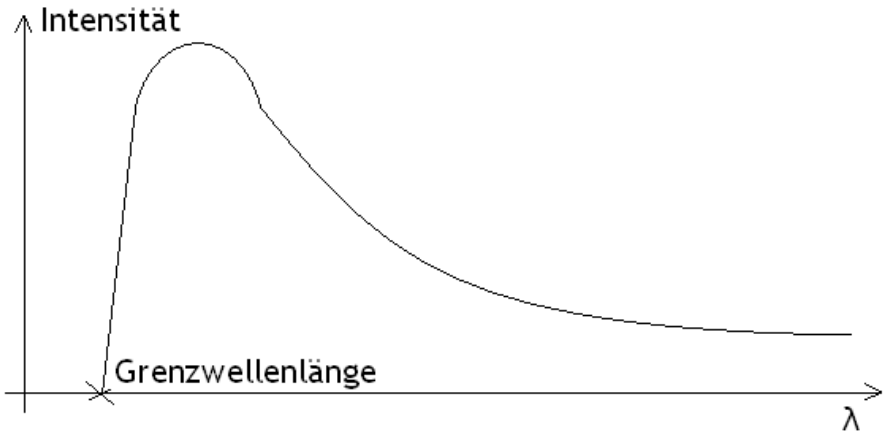
Es ergibt sich ein lineare Zusammenhang wobei die Steigung die Plancksche Naturkonstante h ist.

$$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\, Js = 4{,}136 \cdot 10^{-15}\, eV \cdot s$$

Die Grenzfrequenz f_G ist die Minimalfrequenz der Lichtquanten, bei der Elektronen losgelöst werden. W_{el} ist dann 0.
Dieser Wert ist für jedes Material unterschiedlich und hängt von der zu leistenden Austrittsarbeit ab.
(Stellt man W_{el} als Graph da ist f_G der Schnittpunkt mit der x-Achse.)

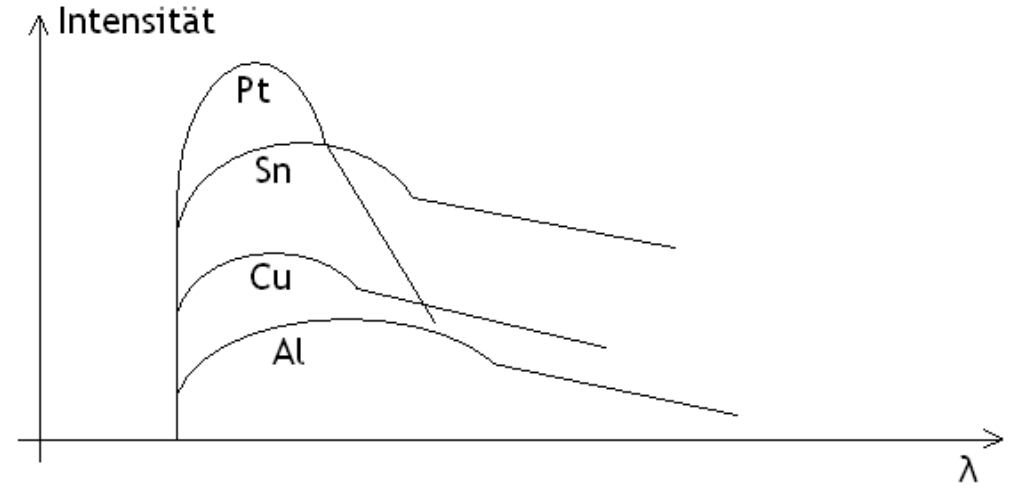
9.3 Weitere Beispiele für Photonenvorstellung

Spektrum der Strahlung einer Röntgenröhre



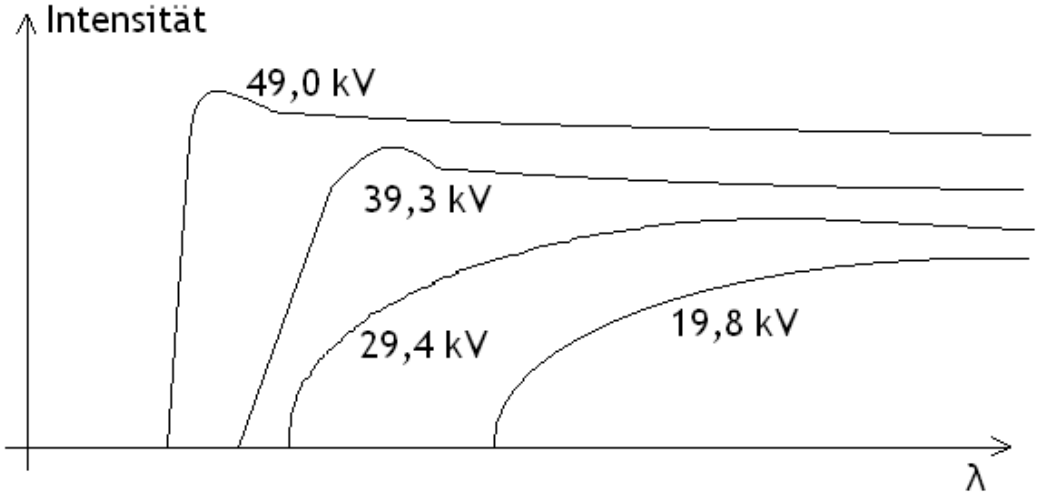
Die Grenzwellenlänge definiert die minimale Wellenlänge, die eine Röntgenröhre ausstrahlen kann.

Röntgenspektren für verschiedene Anodenmaterialien



Die Grenzwellenlänge ist unabhängig von dem Anodenmaterial

Röntgenspektren für verschiedene Anodenspannungen



Je größer die Anodenspannung wird, desto kleiner wird die Grenzwellenlänge

Wenn das Röntgenphoton durch die Spannung U beschleunigt wird, kann es maximal die Energie $W = 1/2 \cdot m \cdot v^2 = e \cdot U$ haben.

$$h \cdot f \leq e \cdot U \quad | f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} \leq e \cdot U \Rightarrow \frac{h \cdot c}{(e \cdot U)} \leq \lambda$$

Damit ist die Grenzwellenlänge nur von der Anodenspannung abhängig.

9.4 Licht – Welle oder Teilchen

In der Physik unterscheiden wir zwischen zwei Arten von Bewegung:
- der Bewegung von Teilchen; gekennzeichnet durch den Transport von Körpern längs bestimmter Bahnen
- Wellenbewegung, bei der Energie übertragen wird, ohne dass sich dabei Teilchen über größere Entfernung bewegen

Diese Unterscheidung reicht aus um die Welt, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen zu beschreiben.

Experimente zeigen jedoch, dass diese Gesetze im Mikrokomsos keine Gültigkeit besitzen.
Photonen sind weder Wellen noch Teilchen sondern Mikro- oder Quantenobjekte, die sich nach eigenen Regeln verhalten.

Trotzdem ist es vernünftig für einzelne Phänomene die bisherigen Regeln heran zu ziehen, solange man sich bewusst macht, dass sie nicht allgemein gültig sind.

9.5 Elektronenwellen

1923 schlug der französische Wissenschaftler Louis Victor Prince de Broglie vor Elektronen Welleneigenschaften zuzuordnen.

Er argumentierte damit, dass der Comptoneffekt gezeigt hatte, dass man dem Licht bei bekannter Wellenlänge den Impuls $p = h/\lambda$ zuordnen kann.
Dies kehrte er um.

Einem Elektron wird bei bekanntem Impuls die Wellenlänge $\lambda = h/p$ (De-Broglie-Wellenlänge) zugeordnet.

Diese These wurde dadurch unterstützt, dass sich mit ihr bislang ungelöste Probleme verstehen ließen.
Außerdem erzeugten Elektronenstrahlen, deren De-Broglie-Wellenlänge im Bereich des Röntgenlichts lag, ähnliche Beugungsfiguren wie Röntgenstrahlen.

9.6 Wahrscheinlichkeitswellen

Max Born schlug vor dem Interferenzmuster ein Wahrscheinlichkeitsdiagramm zuzuordnen.
Das Muster wird in feine Streifen unterteilt für die die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron sie trifft bestimmt wird. So lassen sich die Muster simulieren.

In der Quantentheorie ordnet man den Elektronen die Wellenfunktion Ψ (Psi-Funktion) zu, wodurch sich das Wahrscheinlichkeitsdiagramm erstellen lässt.
„Die Wellenfunktion gibt nicht an, wie die Welt ist, sondern was wir darüber wissen.“ (C.F. Von Weizsäcker).

Die 1926 entwickelte Schrödingergleichung, die zur Berechnung der Wellenfunktion eines Elektrons dient, hat für den Mikrokomsos eine ähnliche Bedeutung wie die newtonsche Grundgleichung für die Mechanik.

9.7 Die heisenbergsche Unschärferelation

Fliegen Elektronen mit gleicher Geschwindigkeit auf eine Lochblende zu, werden sie seitlich abgelenkt.
Die Ortsunschärfe wird verringert, die Impulsunschärfe jedoch vergrößert.

Je kleiner die Ortsunschärfe Δx, desto größer die Impulsunschärfe Δs.

Ort und Impuls eines Teilchens lassen sich grundsätzlich nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmen.
Legt man den Ort mit der Geschwindigkeit Δx fest, so ist damit eine durch die Unschärferelation bestimmte Impulsunschärfe Δp_x verbunden.

$$Heisenbergsche\,Unschärferelation: \Delta\, p_x \cdot \Delta\, x \geq \frac{h}{(4 \cdot \pi)}$$

10. Atomphysik

10.1 Verschieden Atomvorstellungen

~400 v. Chr., Demokrit: Materie besteht aus unteilbaren kleinsten Teilchen -> Atome
1808, Dalton: Einführung der Atomhypothese in die Chemie -> Atome / Moleküle
Thomson: „Rosinenkuchenmodell“, Atome mit Elektronen
1905 Einstein: Festigung der Atomhypothese („Brownsche Bewegung“)

10.2 Die Brownsche Bewegung

Beobachtet man Fetttröpfchen von verdünnter Milch oder Tuschepartikel in wässriger Lösung unter einem Mikroskop (300fache Vergrößerung) sieht man, dass die Teilchen ständig in Zick-Zack-Bewegung sind.
Diese brownsche Molekularbewegung entsteht durch ständige Stöße von Wassermolekülen und war einer der ersten experimentellen Beweise für die atomare Struktur der Materie.

10.3 Linienspektren von Gasen

Sowohl das Spektrum des Sonnenlichts als auch das einer Glühlampe enthält alle Regenbogenfarben. Glühende Festkörper und sehr stark erhitzte Gase (wie z.B. die Sonne) senden ein kontinuierliches Spektrum aus.
Bringt man dagegen Gase bei nicht ganz so hohen Temperaturen zum Leuchten (z.B. in einer Gasentladungsröhre), so zeigt sich ein Linienspektrum. Es besteht aus getrennten Spaltbildern in unterschiedlichen Farben.
Jedes Element hat sein eigenes charakteristisches Linienspektrum. Bei der Spektralanalyse wird das Linienspektrum zum Nachweis von Stoffen benutzt.
In einem Gas bewegen sich die einzelnen Atome in großem Abstand fast unabhängig voneinander. Daher liegt die Vermutung nahe, dass die Spektren nicht mit dem Gas als Ganzem zusammenhängen, sondern direkt auf die Atome zurückzuführen sind.
Das Wasserstoffspektrum enthält vier Linien im sichtbaren Bereich.
Der Baseler Gymnasiallehrer Balmer suchte nach einer Formel für den mathematischen Zusammenhang dieser Frequenzen.

Er fand 1885 für die beobachteten Wasserstoff-Frequenzen die Beziehung:

$$f_{n2} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad für\ n = 3,4,5,6,\ldots \quad (Balmer - Formel)$$

$$R = 3,28964 \cdot 10^{15}\ \frac{1}{s} \quad (Rydberg - Frequenz)$$

Wird statt 2 die Zahl 1,3 oder 4 eingesetzt, liefert die Formel Serien von Spektrallinien im ultravioletten und infraroten Bereich.

Nils Bohr wandte 1913 die einsteinsche Theorie der Lichtquanten auf das Wasserstoffatom an.

Licht der Frequenz f liegt in der Energieportion $E = h \cdot f$ vor.

Das Licht von Wasserstoff enthält nur ganz bestimmte Frequenzen, deren charakteristische Energieportionen sich mit Hilfe dieser Formel berechnen lassen.

Gemäß dem Fall, dass der Energieerhaltungssatz auch für den atomaren Bereich gilt, ist die Emission von bestimmten Energieportionen mit der Abnahme der (inneren) Energie des Atoms verbunden und zwar genau um den emittierten Energiebetrag.
Diese Annahme liefert einen Hinweis auf den Aufbau der Atome.

Das Wasserstoffatom ist ein System, dessen innere Energie nur bestimmte Werte (Energieniveaus oder Energiestufen) kann.
Beim Übergang von einer höheren Energiestufe E_n zu einer niedrigeren E_m wird die Energiedifferenz ΔE als Lichtquant mit der Frequenz f_{nm} emittiert.

$$\Delta E = E_n - E_m = h \cdot f_{nm}$$

10.4 Das Wasserstoffatom

Balmer-Serie (1885) zur Klärung des inneren Aufbaus des Wasserstoffatoms.
Versuch einer Klärung des Zustandekommens des Linienspektrums des Wasserstoffs.
Dies führte Balmer zu folgender Folge:
(empirisch; aus Messdaten entwickelt)

$$f_{(n,2)} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 3,4,5,6, \ldots$$

Rydberg-Konstante

$$R = 3{,}28964 \cdot 10^{15} \frac{1}{s}$$

Spektrallinien des Wasserstoffatoms im sichtbaren Bereich:

$$f_{3,2} = 4{,}568 \cdot 10^{14}\, Hz$$
$$f_{4,2} = 6{,}167 \cdot 10^{14}\, Hz$$
$$f_{5,2} = 6{,}908 \cdot 10^{14}\, Hz$$
$$f_{6,2} = 7{,}309 \cdot 10^{14}\, Hz$$

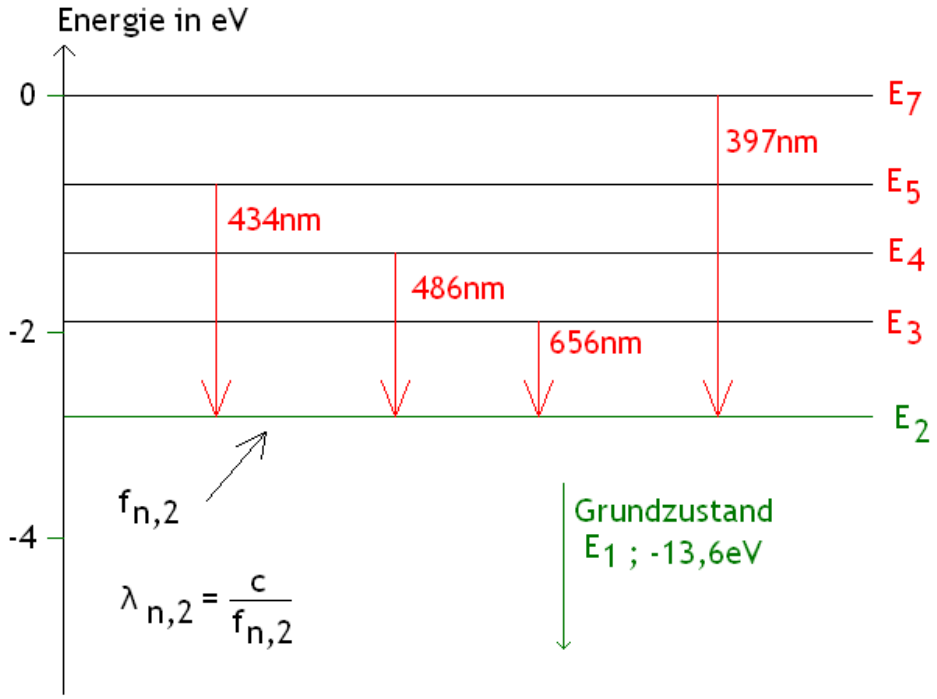
$$f_{(n,1)} = R \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 2,3,4, \ldots$$
$$f_{(n,3)} = R \cdot \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 4,5,6, \ldots$$

Die letzten beiden Formeln liefern Serien im UV- bzw. Infrarot-Bereich.

Nils Bohr (1913):
Quantelung der Atomhülle

Das Wasserstoffatom ist ein System, dessen innere Energie nur bestimmte Werte (Energieniveaus oder Energiestufen) annehmen kann. Beim Übergang von einer höheren Energiestufe E_n zu einer niedrigeren E_m wird die Energiedifferenz ΔE als Lichtquant mit der Frequenz $f_{n,m,}$ emittiert.

$$\Delta E = E_n - E_m = h \cdot f_{(n,m)}$$

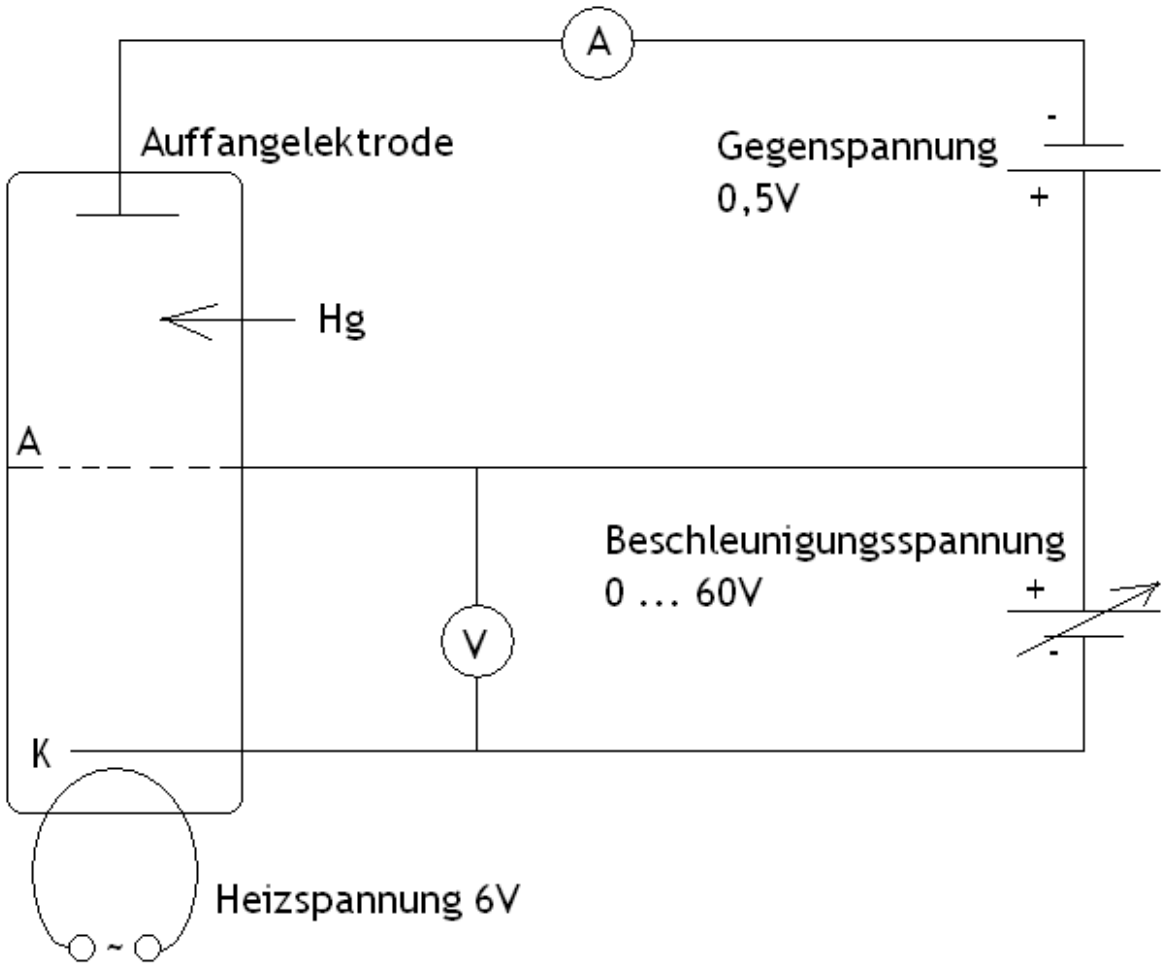


10.5 Absorption und Emission

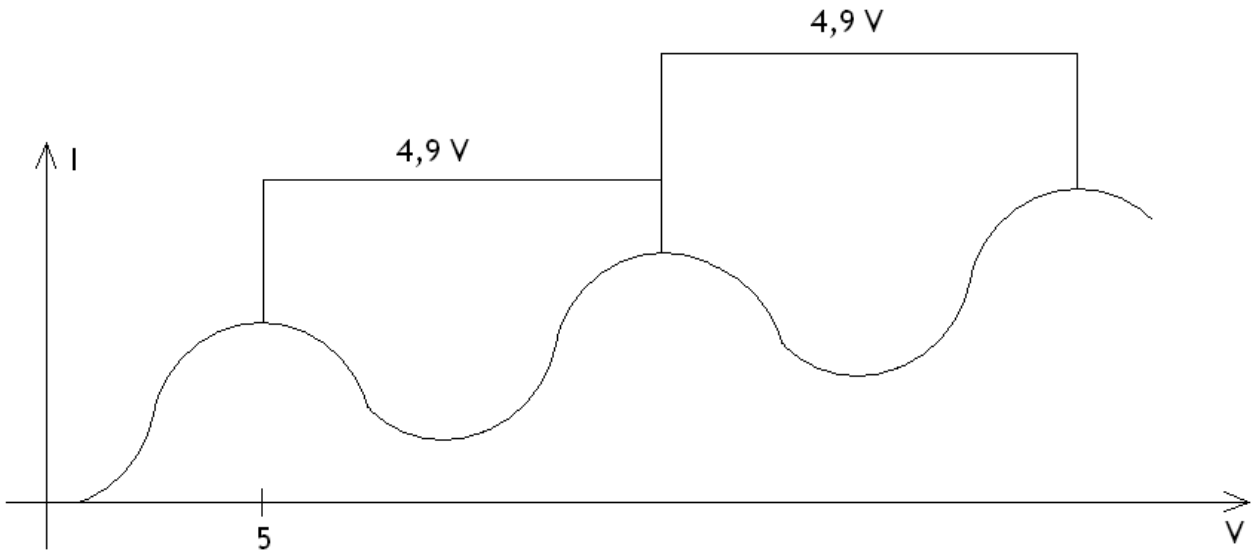
Frauenhofersche Linien, 1811
(Joseph F. 1787 – 1826)

Die so genannten Frauenhoferschen Linien bezeichnen dunkle Linien im sonst kontinuierlichen Sonnenspektrum.
Diese Linien finden sich im Emissionsspektrum einiger Elemente wieder (z.B. H, Na, Fe, O).
Diese Elemente in der Sonnenatmosphäre verursachen diese Linie durch Absorption.

10.6 Franck-Hertz-Versuch



Nachweis bzw Prüfung, ob Atome auch bei Stoßen mit Elektronen nur bestimmte Energieportionen aufnehmen.



Energie des Lichtquants (Franck-Hertz-Versuch):

$$E = h \cdot f \Rightarrow f = \frac{E}{h}$$

$$f \cdot \lambda = c \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{c}{(\frac{E}{h})} = \frac{c \cdot h}{E}$$

10.7 Ein klassisches Atommodell – Bohr und seine Grenzen

Rutherford: Elektronen kreisen um den Atomkern, wie die Planeten um die Sonne. Die Zentripetalkraft ist die elektrostatische Anziehungskraft (Coulomb-Kraft) zwischen Kern und Elektronen.
Dabei müssten die Elektronen jedoch ständig Energie abstrahlen (wie jede beschleunigte Ladung) und schließlich in den Kern stürzen.

Bohr erweiterte das Modell durch bestimmte strahlungsfreie Elektronenbahnen:

I. Postulat: Elektronen können den Atomkern nur auf bestimmten Bahnen strahlungsfrei umlaufen.

Quantenbedingung:

$$U_n \cdot m_e \cdot v_n = n \cdot h$$

$$m_e \cdot v_n \cdot r_n = \frac{n \cdot h}{(2\pi)}$$

II. Postulat: Jede zulässige Elektronenbahn entspricht einem Energieniveau.
Der Übergang eines Elektrons von einem kernferneren Niveau zu einem kernnahen Niveau erfolgt sprunghaft und unter Abgabe eines Strahlungsquant.

$$E = E_m - E_n = h \cdot f$$

Die Frequenzen sind charakteristisch für die Atomart.

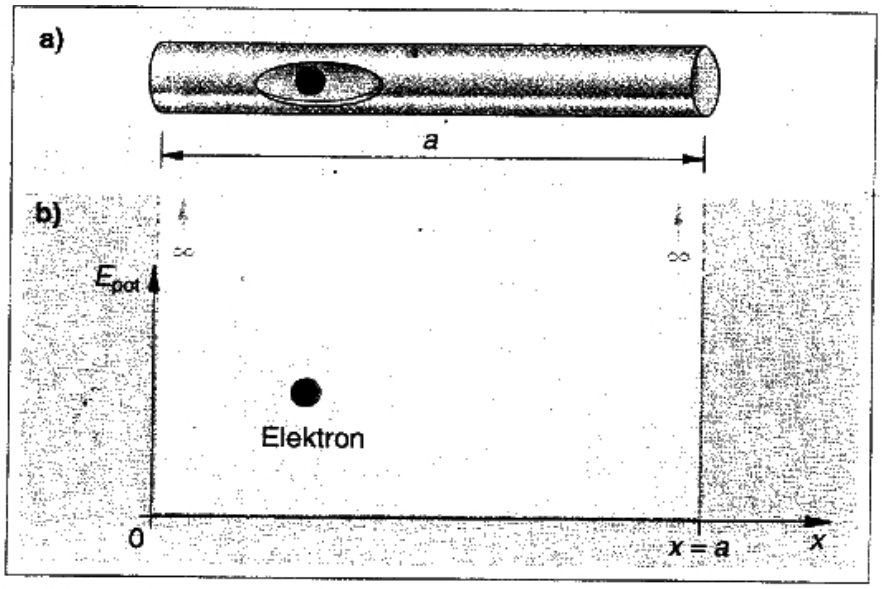
Schwächen und Grenzen des Bohrschen Atommodells:

- 1. Postulat bleibt unverständlich
- Die Spektrallinien lassen sich nur für H_2 fehlerfrei errechnen
- Das Elektron mit klar definierter Bahn und Geschwindigkeit widerspricht der Unschärferelation
- Das Bohrsche Modell legt nahe, dass das Atom eine Scheibe ist. Andere Überlegungen deuten auf eine Kugelgestalt.

10.8 Das Atommodell der Quantenmechanik – Der lineare Potentialtopf

Die Beschreibung des Aufenthalts eines Teilchens innerhalb einer bestimmten Bereichs (z.B. eines Atoms) in dem es sich kräftefrei bewegen kann jedoch nicht nach außen gelangen kann gelingt mit dem Modell des linearen Potentialtopfes.

Bei diesem Modell geht man davon aus, dass ein Teilchen (z.B. eine Elektron), in einem lang gestreckten Körper mit der Länge a (der Potentialtopf) eingeschlossen ist.
Innerhalb des Topfs wirken keine Kräfte auf das Teilchen.
Aus diesem Grund ist die potentielle Energie des Topfs eine Konstante, die auf Null festgelegt ist.
Die Wände des Topfs sind unüberwindbar, die potentielle Energie wird dort unendlich groß.



414.1 Der lineare Potentialtopf. **a)** Das Teilchen kann sich in einem lang gestreckten Bereich nahezu kräftefrei bewegen. **b)** Im linearen Potentialtopf werden die Verhältnisse idealisiert. Im Bereich der Länge *a* soll sich das Teilchen kräftefrei bewegen. Die Grenzen des Bereichs soll es nicht überschreiten können. Die potentielle Energie wird dort als unendlich groß angenommen.

Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit Ψ beschreibt innerhalb des Topfs eine stehende Welle. (An den Rändern des Topfs ist sie Null und steigt innerhalb des Topfs an).
Für die Ausbildung eine stehende Welle gilt für die Topflänge a:

$$2 \cdot a = n \cdot \lambda$$

Wenn die potentielle Energie des Topfs 0 ist, lässt sich die Energie über den Impuls bestimmen

$$p = m \cdot v$$

$$v = \frac{p}{m}$$

$$v^2 = \frac{p^2}{m^2}$$

$$E = E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_{kin} = \frac{m \cdot p^2}{(2 \cdot m^2)}$$

$$E_{kin} = \frac{p^2}{(2 \cdot m)}$$

Nach de Broglie und der Bedingung für eine stehende Welle:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2 \cdot a}{n}$$

$$p = \frac{h \cdot n}{(2 \cdot a)}$$

Eingesetzt:

$$E_{kin} = \frac{p^2}{(2 \cdot m)} = \frac{h^2 \cdot n^2}{(4 \cdot a^2 \cdot 2 \cdot m)}$$

$$E_{kin} = \frac{h^2}{(8 \cdot a^2 \cdot m)} \cdot n^2$$

Zusammengefasst ergibt sich die Aussage für den linearen Potentialtopf: Ein auf die Länge a eingeschlossenes Teilchen der Masse m hat die Energiestufen:

$$E_{kin} = \frac{h^2}{(8 \cdot a^2 \cdot m)} \cdot n^2 \quad , (n = 1,2,3 , ...)$$

Die Quantelung der Energie ergibt sich aus der Anwendung der Welleneigenschaften der Teilchen und der Annehme der Existenz stehender Wellen.

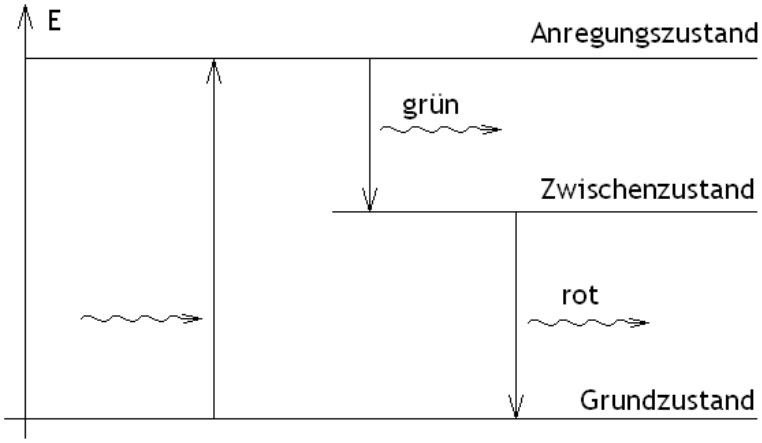
Die Aufnahme oder Abnahme von Energie im linearen Potentialtopf erfolgt durch die Änderung des Teilchenzustandes. Bei der Aufnahme von Energie wird ein Teilchen aus einem Zustand mit der Quantenzahl n in einen mit der Quantenzahl m angeregt.
Es nimmt dabei die Energie $\Delta E = E_m - E_n$ auf.
Bei der Abgabe von Energie nimmt der Vorgang den umgekehrten Verlaufen

Im linearen Potentialtopf werden die Energiebeträge

$$\Delta E = E_m - E_n = \frac{h^2}{(8 \cdot a^2 \cdot m)} \cdot (m^2 - n^2)$$

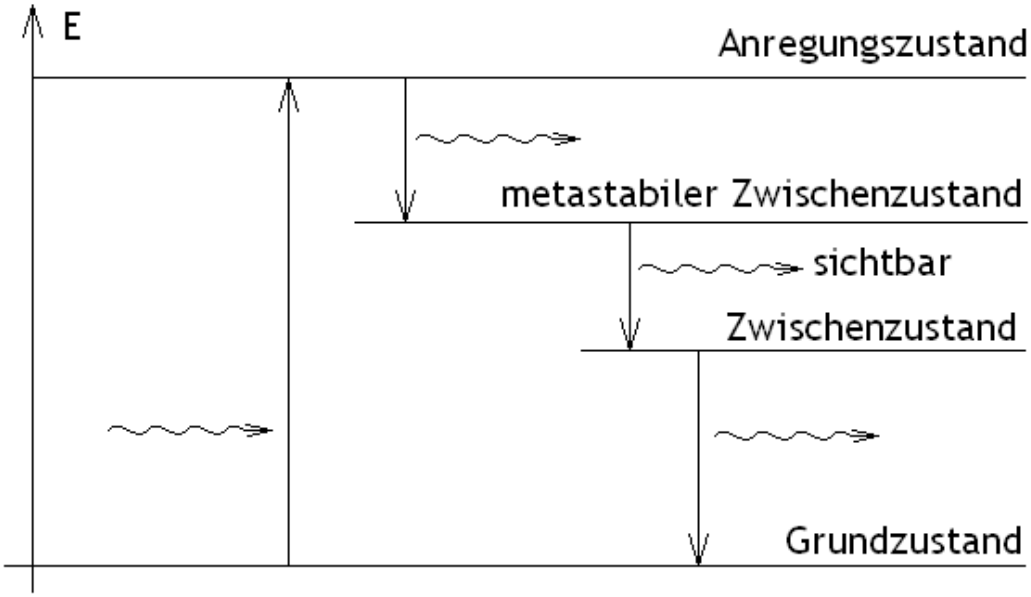
10.9 Fluoreszenz und Phosphoreszenz

a) Fluoreszenz



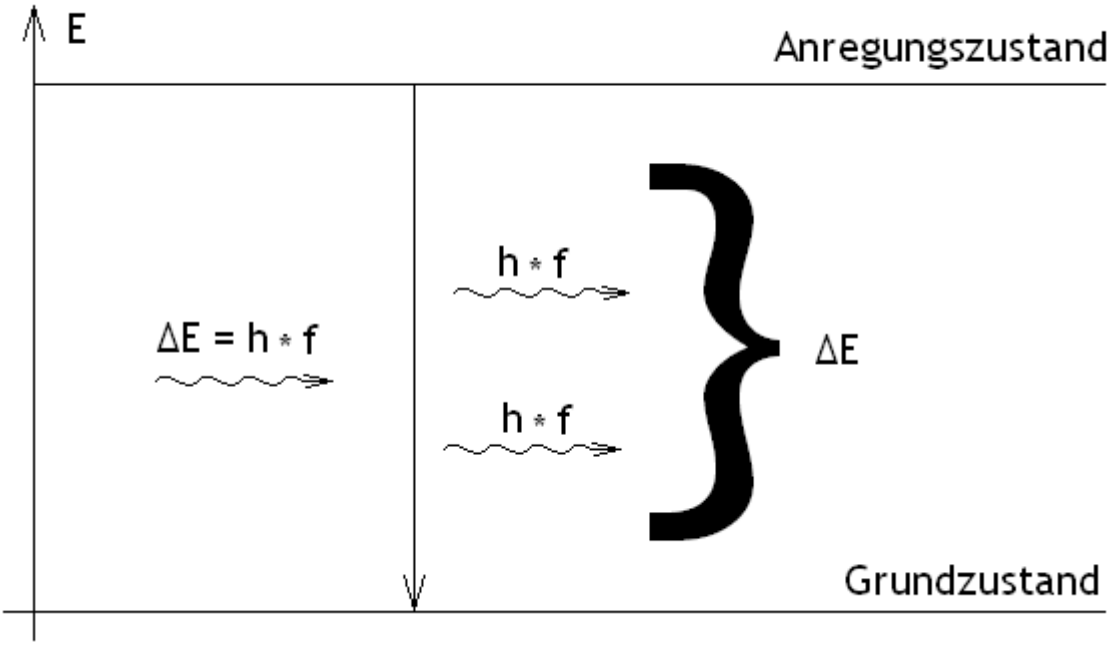
Das Atom geht aus einem angeregten Zustand nach **kurzer** Zeit über Zwischenzustände in den Grundzustand über.

b) Phosphoreszenz



Das Atom wird wieder durch ein Lichtquant angeregt. Von dort wechselt es sofort in einen metastabilen Zwischenzustand.
Nach längerer Dauer wechselt es unter Aussendung eines sichtbaren Lichtquants in den Grundzustand.

c) Stimulierte Emission

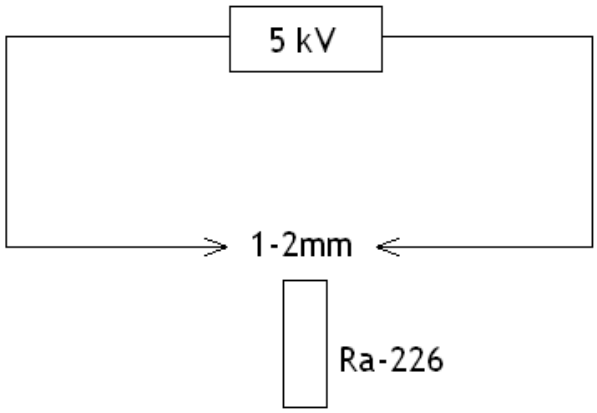


Ein Lichtquant trifft auf ein „passendes“, gerade angeregtes Atom und „stößt“ das Atom in den Grundzustand ohne selbst Energie abzugeben.
Dabei wird ein gleichartiges Lichtquant abgegeben. (Lichtverdoppelung).

11. Kernphysik

11.1 Ionisierende Strahlung

Versuch „Funkenstrecke“



Durchführung:
Der Zwischenraum wird so eingestellt, dass gerade kein Funkenüberschlag stattfindet. Dann wird der Funkenstrecke ein radioaktives Präparat genähert.

Beobachtung: Es finden wieder Funkenüberschläge statt.

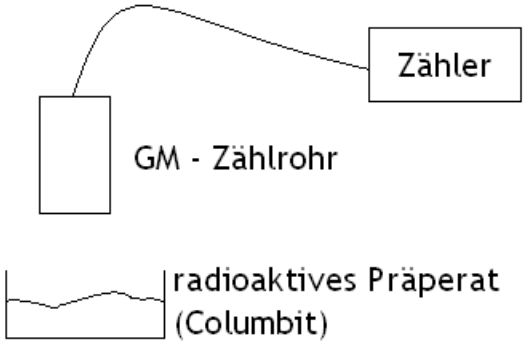
Auswertung: Die radioaktive Strahlung ionisiert die Luft, so dass diese leitfähiger wird.

11.2 Das Geiger-Müller-Zählrohr

Das Zählrohr ist ein Stahlrohr, das vorne mit einem dünnen Glimmerfenster verschlossen ist. Gefüllt ist es mit einem Gas und in der Mitte befindet sich ein Draht. Zwischen dem Draht und dem Innenmantel des Rohres liegt eine Spannung von ungefähr 500V an.
Dringt radioaktive Strahlung durch das Glimmerfenster in das Rohr ein, werden die Gasatome ionisiert und es werden Primärelektronen frei.
Diese Elektronen wandern auf den Draht in der Mitte zu und werden dabei immer stärker beschleunigt, weil das elektrische Feld zwischen Mantel und Draht in Richtung des Drahtes immer stärker wird (Die Feldlinien liegen dichter zusammen).
Dabei erhalten die Elektronen soviel Energie, dass sie weitere Gasatome ionisieren. Auf diesen Weg wird quasi eine ganze Lawine von Elektronen frei gesetzt und zwischen Mantel und Draht fließt ein elektrischer Strom.
Die Spannung fällt nun nicht mehr im Zählrohr sondern an einem in Reihe geschalteten Widerstand ab.
Ein Messverstärker misst diese Spannung und leitet die Werte an einen Zähler oder an einen Lautsprecher weiter, der die Impulse als Knacken wiedergibt.
Durch den Stromfluss bricht auch das elektrische Feld im Zählrohr zusammen und die Elektronenlawine verliert an Schwung und kommt zum Erliegen.
Nach wenigen Sekundenbruchteilen (Totzeit) fällt die Spannung wieder am Zählrohr ab und eine neue Messung kann durchgeführt werden.

11.3 Drei Strahlungsarten

Absorptionsexperiment:



Durchführung:

1) Bestimmung der natürlichen Aktivität (Nullrate, Nulleffekt)
2) Aktivität der Probe bestimmen
3a) Aktivität unter Abschirmung mit Papier
3b) Aktivität unter Abschirmung mit Aluminium
3c) Aktivität unter Abschirmung mit Blei

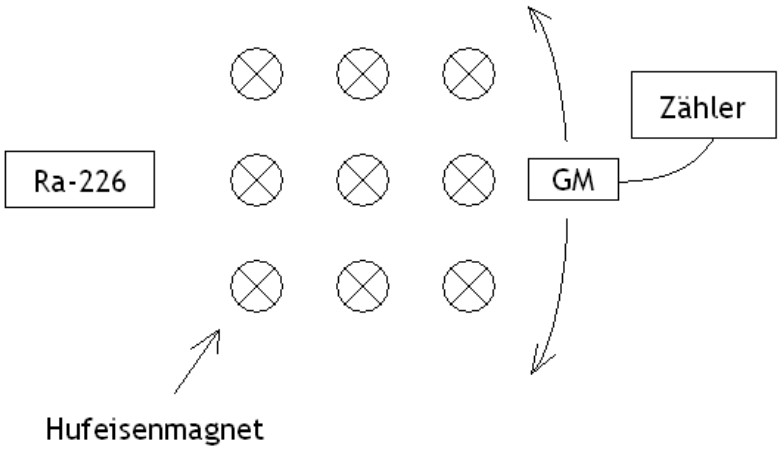
Messwerte:

Impulse/Min	Impulse/Min (ohne Nullrate)	Absorbiert
1) 23	0	
2) 301	278	17,6 % (49 Impulse)
3a) 252	229	
3b) 79	56	75,6 % (173 Impulse)
3c) 65	42	25% (36 Impulse s.u.)

Die Strahlung wird unterschiedlich stark absorbiert.
(Bekannt ist: Es gibt α - , β - und γ -Strahlung)

- α 49 Impulse -> 18%
- β 173 Impulse -> 62%
- γ 36 Impulse (Blei filtert nicht alles) -> 20%

Ablenkungsexperiment:



Beobachtung:
In 3 Positionen registriert das GM-Zählrohr eine deutlich erhöhte Impulsrate.

Auswertung:
Ein Teil der radioaktiven Strahlung muss demnach positiv/negativ geladen sein.
Position 1: positive Teilchenstrahlung
Position 2: „neutrale“ Teilchenstrahlung
Position 3: negative Teilchenstrahlung

Es werden 3 Strahlungsarten unterschieden:

α -Strahlung:
Helium Kerne
Absorption durch Papier oder wenige Zentimeter Luft

β -Strahlung:
schnelle Elektronen
Absorption durch Aluminium (4mm Dicke)

γ -Strahlung:
elektromagnetische Strahlung (Wellenlänge: 10^{-11} bis 10^{-15} m)
Absorption durch dicke Bleiplatten

11.4 Wechselwirkung ionisierter Strahlung mit Materie

α -Strahlung:
Verlieren Energie durch Ionisation oder Anregung von Molekülen.
Ein α -Teilchen erzeugt 10.000 bis 200.000 Ionenpaare.
Weil viele Ionen pro Zentimeter erzeugt werden, ist die Absorption von α -Teilchen größer als β - oder γ -Strahlung.

β -Strahlung:
Ionisiert andere Moleküle/Atome, wird gestreut (Richtungsänderung) oder führt zu Röntgenstrahlung.
Pro Zentimeter werden 100 bis 1000 mal weniger Atome ionisiert als bei α -Strahlung, daher ist die Reichweite größer.

γ -Strahlung:
Verliert seine Energie durch Ionisation und Streuung. Die γ -Quanten haben eine große Reichweite.

11.5 Die Messung von Radioaktivität

a) Aktivität:

$$\frac{(Strahlungsimpulse(Zerfälle))}{Zeit} = Aktivität$$

$$[Aktivität] = \frac{1}{s} = 1\ Becquerel = 1\mathrm{Bq}$$

b) Energiedosis (Verhältnis absorbierte Energie zu absorbierende Masse)

$$D = \frac{Energie}{Masse} = \frac{1\mathrm{J}}{kg} = 1\ Gray = 1\ Gy$$

c) Äquivalenzdosis H
(Über einen Bewertungsfaktor wird die Wirksamkeit der Strahlung berücksichtigt)

$$H = Q \cdot D$$

$$[H] = \frac{1\mathrm{J}}{kg} = 1\ Siever = 1\ Sv$$

$$Q_{\alpha} = 20$$
$$Q_{(\beta\gamma)} = 1$$

11.6 Zerfallsgesetz und Halbwertszeit

Die Halbwertszeit t_H gibt an, in welcher Zeit die Hälfte eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist. In der zeit t_H halbiert sich die Aktivität.
Die Halbwertszeit ist immer dann ein sinnvolles Maß für die zeitliche Abnahme einer Größe, wenn die Größe exponentiell abnimmt. Da die Teilchenzahl N(t) des radioaktiven Nuklids in der Zeit t_H gerade auf die Hälfte ihres Anfangswerts N_0, in der Zeit 2 t_H auf ein Viertel usw. sinkt, gilt:

$$N(t) = N_0 \cdot 0{,}5^{(\frac{t}{t_H})} = N_0 \cdot \mathrm{e}^{\frac{-(\ln 2)}{t_H} \cdot t}$$ (Zerfallsgleichung)

Wenn man bei einer radioaktiven Probe weiß, welches Nuklid die Aktivität hervorruft (z.B. aus dem γ -Spektrum), dann kann man aus der Aktivität A auf die Teilchenzahl N bzw. die Masse des enthaltenen Nuklids schließen. Es gilt nämlich:

$$A = \frac{(\ln 2)}{t_H} \cdot N$$

11.7 Herkunft der Radioaktivität – Zerfall von Atomkernen

α -Zerfall:

Ein Heliumkern $^{4}_{2}He$ wird aus dem Kern (zerfall. Atomkern) geschleudert.

z.B. $^{224}_{88}Ra \Rightarrow \alpha \Rightarrow ^{220}_{86}Ra + ^{4}_{2}He$

β -Zerfall:

Ein Elektron wird vom zerfallenen Atomkern ausgesendet. Ein Neutron wandelt sich in ein Proton und ein Elektron um.

$^{1}_{0}n \Rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e$

z.B. $^{228}_{88}Ra \Rightarrow \beta \Rightarrow ^{228}_{89}Ra + ^{0}_{-1}e$

$+\beta$ -Zerfall:

Der Kern gibt ein positives Elementarteilchen (Proton) ab.

$^{1}_{1}p \Rightarrow ^{1}_{0}n + ^{0}_{1}(+e)$

z.B. $^{224}_{89}Ac \Rightarrow +\beta \Rightarrow ^{224}_{88}Ra + ^{0}_{1}(+e)$

K-Einfang:

Der Atomkern „fängt“ ein Elektron „ein“, dass (im bohrschen Atommodell gedacht) in der kernnächsten (K-) Schale kreist.
Die Lücke, die in dieser Schale hinterlassen wird, füllt ein Elektron aus einer Schale mit höherem Energieniveau. Dabei wird eine charakteristische Röntgenstrahlung ausgesendet.
Nach dem Einfang enthält der Kern ein Proton weniger und ein Neutron mehr.

$^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e \Rightarrow ^{1}_{0}n$

11.8 Natürliche Radioaktivität

a) Kosmische Strahlung

Die kosmische Strahlung besteht zu 85% aus Protonen und zu 14% aus γ -Quanten und Elektronen. (Primärstrahlung).

Die energiereiche Primärstrahlung trifft auf Sauerstoff in der Luft. Dabei entsteht eine ganze Lawine an Sekundärstrahlung.
In diesem Zusammenhang werden bedeutsame Radionuklide gebildet.

$^{16}_{8}O + ^{1}_{0}n \Rightarrow ^{14}_{7}N + ^{3}_{1}H\,(Tritium)$

$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \Rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}p$

b) Terrestrische Strahlung

z.B.

$$^{14}_{6}C \Rightarrow -\beta \Rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$$

$$^{3}_{1}H \Rightarrow -\beta \Rightarrow ^{3}_{2}He + ^{0}_{-1}e$$

Weitere Strahlung erfolgt von Stoffen die „schon immer da waren“. Drei wichtige Radionuklide zerfallen über so genannte Zerfallsreihen zu stabilen Nukliden.
z.B. die Thorium-Reihe

11.9 Die (natürliche) Strahlenbelastung des Menschen

Menschen sind ständig der Strahlung aus dem Weltraum (kosmischer Strahlung) und von der Erde (terrestrische Strahlung) ausgesetzt. Die sekundäre kosmische Strahlung wird innerhalb der Erdatmosphäre mit wachsender Höhe stärker.
Aus diesem Grund gehört das Flugpersonal zu den beruflich strahlenexponierten Personen.
Für Astronauten, die sich außerhalb des irdischen Magnetfeldes aufhalten, kann die kosmische Strahlung insbesondere während Sonneneruptionen zu einer ernsten Gefahr werden.
In diesem Fall übersteigt die Strahlenbelastung bis zu einem Tausendfachen die Normalwerte.

Terrestrische Strahlung kann auf Mineralien wie Granit oder Bimsstein zurückgeführt werden, die radioaktives Radium, Kalium oder Thorium enthalten. Vor allem jedoch auf eingeatmetes Radon, dessen Produkte sich in der Lunge festsetzen.
Zigarettenrauch enthält außerdem das radioaktive Poloniumisotop ^{210}Po.
Schließlich lässt sich ein weiterer Anteil auf die in den Körper eingebauten radioaktiven Atome zurückführen, wie zum Beispiel Kalium ^{40}K.

Tabelle Strahlenbelastung:

Kurzzeitige Belastung	***Strahlenschäden***
250-500 mSv	Veränderungen im Blutbild, Schäden an Embryonen
1000 mSv = 1 Sv	Beginnende Strahlenkrankheit (Übelkeit, Erbrechen, Haarausfall)
2 Sv	Strahlenkrankheit, Hautschäden, ca 10% Todesfälle
3 Sv	Innere Blutungen, ca. 20% Todesfälle
4 Sv	Schwere Entzündungen, ca. 50% Todesfälle innerhalb von 5 Wochen
Ab 6 Sv (Letale Dosis)	Mehr als 90% Todesfälle

Zusätzlich sind bei allen Belastungen Spätschäden möglich!

11.10 Die Altersbestimmung mit Hilfe von Radionukliden

Kohlenstoff ^{14}C entsteht in der Atmosphäre durch Einwirkungen der kosmischen Höhenstrahlung. Er zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren zu Stickstoff.

$$^{14}_{6}C \Rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$$

In Form von Kohlenstoffdioxid (CO_2), in der das Isotop gebunden ist, wird es von den Pflanzen aufgenommen und gelangt über die Nahrungskette in Tier- und Menschenkörper.

In einem lebenden Organismus ist der ^{14}C-Gehalt weitgehend konstant. Nach seinem Tod wird jedoch kein ^{14}C mehr aufgenommen und die „Restbestände" zerfallen – die Radioaktivität nimmt ab.

Über die Aktivität kann die Anzahl der noch vorhandenen ^{14}C-Atome bestimmt werden und nach dem Zerfallsgesetz

$$N = N_0 \cdot 0{,}5^{(\frac{t}{T_H})}$$

die vergangene Zeit bestimmt werden.

Durch unterschiedliche Sonnenaktivitäten schwankte auch der ^{14}C-Gehalt innerhalb der Atmosphäre.
Diese potentielle Fehlerquelle wird durch die Eichkurve korrigiert.

Bei der Aktivitätsmessung werden mehrere Gramm Kohlenstoff benötigt, was nicht jede Probe hergibt.
Durch einen Massespektographen kann der ^{14}C-Gehalt direkt bestimmt werden.
Dafür sind nur wenige Milligramm erforderlich.

11.11 Der Halbleiter-Zähler (oder HL-Zähler): α-Spektroskopie an radioaktiven Proben

Halbleiter-Zähler eignen sich zur Energiebestimmung von α- und β-Strahlung.
Auf Grund typischer Energiewerte verschiedener Radiomoleküle lassen sich diese identifizieren. (Stichwort: Fingerabdruck)

Um die Funktionsweise eines Halbleiterdetektors verstehen zu können, ist es wichtig die grundlegenden Eigenschaften von Halbleitern zu kennen.
Im Gegensatz zu Metallen nimmt bei Halbleitern der elektrische Widerstand bei Erwärmung nicht zu sondern ab. Des weiteren sinkt der Widerstand ebenfalls wenn Energie in Form von Licht auf ihn trifft.
Am Beispiel von Silicium wird deutlich warum dies so ist.
Im äußersten Bereich der Atomhülle von Silicium befinden sich vier Elektronen, die für die Bindung mit anderen Atomen verantwortlich sind. Im Kristall bildet jedes Elektron mit dem jeweils benachbarten Atom ein Elektronenpaar und bindet so die Atome aneinander.
Kein Bindungselektron kann sich frei im Kristall bewegen, weswegen Silicium in diesem Zustand (bei sehr tiefen Temperaturen in der Nähe von 0° K) ein Nichtleiter ist.
Wird nun Energie in Form von Wärme oder Licht zugeführt, fangen die Atome an sich zu bewegen und die Elektronenbindungen geraten ins Schwanken. Bei genug Energie brechen diese Bindungen aus, die Elektronen werden also quasi „frei geschüttelt".

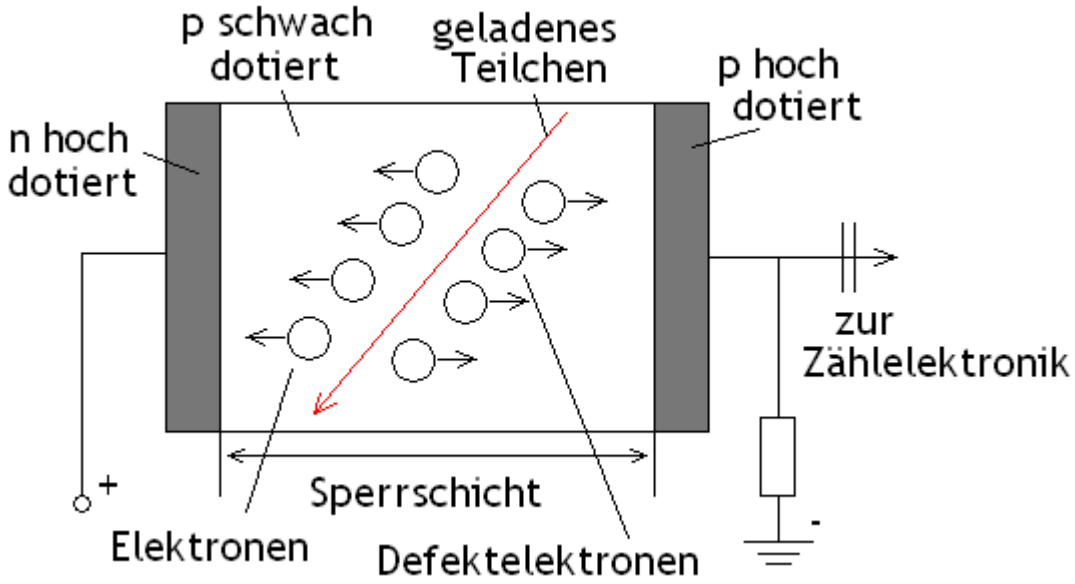
Wird nun eine Spannung an den Kristall angelegt, strömen diese freien Elektronen in Richtung Pluspol.
Je mehr Energie in Form von Licht oder Wärme zugeführt wird, umso mehr Elektronen werden freigesetzt und umso kleine wird der elektrische Widerstand.
Wenn freie Elektronen diese Ströme bilden spricht man von einer Elektronenleitung oder n-Leitung (n für negative Ladung).

Daneben gibt es aber noch eine andere Leitung.
Betrachten wir die Stelle an der das Elektron aus der Bindung gelöst wurde, stellen wir fest, dass sich dort eine Lücke, oder ein Loch befindet. Haben sich vorher die Bindungselektronen und die Atomkerne mit ihrer elektrischen Ladung ausgeglichen, ist nun an dieser Stelle eine positive Überschussladung vorhanden.
Da freie Elektronen und Löcher natürlich stets gleichzeitig entstehen, spricht man von einer Paarbildung.
Freie Elektronen, die sich durch den Kristall bewegen, können jedoch in das vorhandene Loch eingefügt werden und so die Ladung wieder ausgleichen, dieser Vorgang heißt Rekombination.
Bei steigender Temperatur nimmt trotzdem nicht nur die Anzahl der Elektronen sondern auch die Anzahl der gleichzeitig vorhandenen Löcher zu.
Wird nun eine Spannung an den Kristall angelegt scheint es so, als wandern die Löcher dem Minuspol entgegen.
Tatsächlich ist es so, dass Bindungselektronen (angetrieben durch die Spannung) gelöst werden können und in das benachbarte Loch „hinein schlüpfen“. Das alte Loch ist gefüllt, aber gleichzeitig ist ein neues entstanden, welches näher am Minuspol liegt.
Betrachtet man den Vorgang insgesamt, scheint das Loch (als positive Ladung) dem Minuspol entgegen zu wandern.
(Tatsächlich bewegen sich jedoch immer nur die Elektronen).
Diese Leitungsvorgänge werden Löcherleitung oder p-Leitung genannt und treten nur bei Halbleitern, nicht bei Metallen auf.

Um die Leitfähigkeit von Halbleitern zusätzlich zu erhöhen gibt es die Möglichkeit der „Verunreinigung“. Dabei werden in den Kristall gezielt Atome eingebaut, deren Elektronen schwächer gebunden sind als gewöhnlich. Diese Methode heißt Dotieren (lat. dotare: ausstatten).
Zum Dotieren von Silicium wird zum Beispiel Phosphor oder Arsen verwendet, also Atome mit fünf Elektronen in der Außenhülle. Da für die Bindung nur vier Elektronen verwendet werden ist ein Elektron übrig und nur schwach gebunden. Bereits durch geringe Energiezufuhr wird dieses Elektron freigesetzt und steht für eine n-Leitung zur Verfügung.
Jedes Atom, was dem Leiter ein freies Atom „schenken“ kann wird Donator genannt (lat. donare: schenken).
Daneben gibt es noch die Möglichkeit Atome mit drei Elektronen in der äußeren Hülle (z.B. Bor, Aluminium, Gallium) zu verwenden. Sie werden Akzeptoren genannt (lat. accipere: in Empfang nehmen).
Diese Atome bewirken im Siliciumkristall Elektronenlöcher, wodurch eine p-Leitung ermöglicht wird. Den Bindungselektronen fällt es nun leichter in die bereits vorhandenen Löcher zu „schlüpfen“.
Wie stark die Leitfähigkeit erhöht wird, hängt vom Grad der Verunreinigung ab.
In der Technik spricht man von normaler Dotierung, wenn auf 1 000 000 Siliciumatome ein Fremdatom kommt. Bei starker Dotierung ist das Verhältnis 10 000 : 1

Ein Halbleiterdetektor nutzt die Eigenschaft des Grenzbereichs zwischen zwei unterschiedlich dotierten Bereichen aus.

Aus dem n-dotierten Bereich wandern Elektronen in den p-Bereich und umgekehrt wandern Defektelektronen (Löcher) in den n-Bereich. Zwischen diesen Bereichen gleichen sich die Ladungen aus und es entsteht eine ladungsfreie Zone, die so genannte Sperrschicht.
Wird der n-Bereich mit dem Pluspol und der p-Bereich mit dem Minuspol einer Spannungsquelle verbunden, verbreitert sich diese Sperrschicht.
Bewegt sich nun ein Elektron oder ein anderes geladenes Teilchen durch die Sperrschicht, werden Elektronen-Löcher-Paare gebildet, die zu den Elektroden hin abfließen.
Es kommt zu einem kurzzeitigen Strom, der mit der nachgeschalteten Elektronik registriert wird.



Durch die hohe Dichte des Materials können im Halbleiter selbst Teilchen mit höherer Energie vollständig abgebremst werden. Im Gegensatz dazu beträgt die Dicke der Sperrschicht häufig nur wenige Millimeter.
Der entscheidende Vorteil der Halbleiterdetektoren ist jedoch die hohe Energieauflösung. Die Entstehung eines Elektronen-Löcher-Paares ist mit einem geringen Energieverlust für das geladene Teilchen verbunden, weswegen sehr viele Paare entstehen, die alle zur registrierten Spannung beitragen.
Der Nachteil ist die hohe Temperaturempfindlichkeit, da bei zunehmender Temperatur immer mehr Ladungsträgerpaare in der Sperrschicht erzeugt werden, die einen kontinuierlichen Strom bewirken, der die gemessen Spannungen überlagert und so die Auswertung erschwert.

11.12 Künstliche Kernstrahlung

Bis ins 18. Jahrhundert hinein versuchten Alchemisten Blei zu Gold zu machen und so ein Element in ein anderes umzuwandeln.
Im 19. Jhd. Fasste das Verständnis Fuß, dass dies unmöglich ist, bis 1919 Rutherford seine Forschungen veröffentlichte.

Rutherford beschoss Stickstoff ^{14}N mit α-Teilchen und stellte daraufhin Bahnspuren von Protonen fest.
Er interpretierte wie folgt: ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \Rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{17}_{8}O$
Stickstoff ist also in Sauerstoff umgewandelt worden.

1930 beschossen Bethe und Geiger Berg Beryllium mit α-Teilchen und registrierten eine sehr durchdringende Strahlung.

Chadwick lenkte diese Strahlung auf Helium und Stickstoff und erkannte, dass die Strahlung aus Neutronen bestand, deren Existenz von Heisenberg und Rutherford zwar vorhergesagt, aber nicht bewiesen worden war.
Es gilt: ${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \Rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{12}_{6}C$

Das Ehepaar Joliot-Curie entdeckte 1934, dass mit α-Strahlung behandelte Aluminiumfolie nach Wegnahme der Strahlung radioaktiv bleibt und ihre Emission wie bei natürlichen radioaktiven Stoffen exponentiell abnimmt.
Sie entdeckten damit die künstliche Radioaktivität

Definiert wurde: ${}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \Rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$ (Phosphor ^{30}P zerfällt nach λ=3 min)

Das sind 3 geschichtliche Beispiele wie Atomkerne künstlich umgewandelt werden.

11.13 Kernspaltung + Kernkräfte

Nach der Entdeckung Joliot-Curies wurde systematisch untersucht welche neuen Atomkerne durch Neutronenbeschuss entstehen. (Wegen ihrer neutr. Ladung waren Neutronen besonders gut geeignet).

Dabei entdeckten italienische Forscher, dass die Reaktionswahrscheinlichkeit bei langsamen Neutronen höher ist, da sie sich länger in Kernnähe aufhalten.

Es wurde gehofft, durch den Beschuss von Uran Transurane (Elemente mit einer höheren Kernladungszahl als Uran) erzeugen zu können.

Otto Hahn analysierte 1934 die entstandenen Produkte und wies Barium nach, dass etwa halb so schwer wie Uran ist.

Lisa Meitner, langjährige Mitarbeiterin Hahns, stellte fest, dass Neutronen Uran in annähernd zwei gleich große Stücke spalten und prägte den Begriff der Kernspaltung.

Sie berechnete außerdem die bei einer Spaltung frei gesetzte Energie.
Aus der Vermutung, dass zudem neue Neutronen entstehen, die so eine Kettenreaktion auslösen, wuchs der Gedanke einer neuen Form der Energiegewinnung.

Die genaue Zahl der entstehenden Neutronen wurde zeitgleich in Paris und New York entdeckt.
Die Labore standen jedoch unter militärischer Kontrolle, weswegen die Ergebnisse bis 1955 geheim gehalten wurden.

11.14 Analogien zum Verständnis des Atomkerns

Die Vorstellungen einer Feder, eines Topfs und eines Tunnels können dabei helfen Vorgänge im Inneren des Atomkerns zu verstehen.

Wie den Elektronen kann auch den Nukleonen eine Wellenfunktion zugeordnet werden.
Diese Funktion gibt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Teilchen innerhalb des Atomkerns an.

Da sie an den Rändern Null beträgt, entsteht eine stehende Welle, die nur bestimmte Energieformen annehmen kann; ähnlich einer an beiden Enden festgehaltene Feder.
Diese Formen sind mit den charakteristischen Energiestufen des Atomkerns verknüpft.
Geht nun ein Atomkern aus einem höheren Energieniveau in ein niedrigeres über, emittiert er die charakteristische überschüssige Energie in Form eines γ-Quants.

Der Atomkern wird weiterhin als ein Topf dargestellt, in dem sich die Nukleonen befinden.
Um den Topf, den Kern, zu verlassen, müssen die Teilchen den Topfrand überwinden und Energie aufbringen.
Da sich Protonen gegenseitig abstoßen, fällt es ihnen leichter den Topf zu verlassen und ihr Topfrand ist weniger hoch als beim Neutronentopf.
In stabilen Kernen sind beide Töpfe jedoch ungefähr gleich hoch besetzt, weshalb diese Kerne mehr Neutronen als Protonen enthalten,
Sollte die Töpfe ungleich besetzt sein, der Kern ist instabil, kann sich ein Neutron in ein Proton umwandeln indem es ein Elektron aussendet. Es wird β-Strahlung emittiert.

α-Teilchen. die sich im Kern aufhalten, besitzen eine bestimmte Wahrscheinlichkeit, mit der sie sich plötzlich außerhalb des Atomkerns aufhalten können.
Aufgrund ihrer Energie lässt sich feststellen, dass sie nicht über „ihren Topfrand geklettert“ sind, also den Potentialwall nicht überwunden haben.
Vielmehr scheint es, als hätten diese Teilchen einen Tunnel durch den Wall gefunden, so dass sie weniger Energie benötigen als als einzelne Nukleonen.

Der Tunneleffekt ist ein Quantenphänomen, für das es keinen Vergleich in der sinnlich wahrnehmbaren Welt gibt.

Schlusswort

Abschließend möchte ich noch bemerken, dass dieses Tagebuch weder einen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, noch inhaltliche Korrektheit garantiert.
Als Schüler eben jenes Leistungskurses können selbstverständlich auch mir Fehler unterlaufen.
Jedoch habe ich dieses Tagebuch nach bestem Wissen verfasst und bei Unklarheiten in Lehrbüchern nachgeschlagen.

Kurz gesagt: Verlasst euch nicht nur auf den Kram den ich geschrieben habe und macht mich nicht verantwortlichen, wenn ihr durchs Abi fallt, weil ihr nur hier mit gelernt habt. ^^

Ich empfehle, dass im Kurs verwendete Physikbuch (weil eben dieser Kurs auch damit gearbeitet hat) mit zu benutzen.

Oberstufe Physik
Gesamtband Best-Nr. 34402
Cornelsen

ISBN 3-464-03440-2

Also Viel Glück euch allen

6. April 2007
Yoshi