

Moderne Physik

Jahr 4 - Semester 2 - Test 3

Markus Reichl

7. April 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Wasser	3
1.1	Anomalien des Wassers	3
1.2	Oberflächenenergie (Oberflächenspannung)	3
1.2.1	Kappilarität	3
1.2.2	Bsp.: Wasserhahn	5
2	Elektrische Leistung in Festkörpern	6
2.1	Bändermodell	6
2.1.1	Ferminiveau	6
3	Aufbau der Materie	7
3.1	Bohr'sches Atommodell	7
3.1.1	Bohr'sche Postulate	7
3.1.2	Festkörper	7
4	Relativistische Mechanik	8
4.1	Galileo Transformation	8
5	Relativitätstheorie	9
5.1	Speziell	9
5.2	Allgemein	9
5.3	Lorentz Transformation	9
5.4	Zeitdilatation	10
5.4.1	Bsp.: Zwillingsparadoxon	10
5.4.2	Bsp.: Raumstation	10
5.5	Längenkontraktion	11
5.5.1	Bsp.: Würfel	11

5.5.2	Bsp.: Einsteinzug	12
6	Quantenphysik	13
6.1	Plancksches Wirkungsquantum	13
6.1.1	Bsp.: Masse eines Photons	13
6.2	Bsp.: Fotozelle	14
6.2.1	Bsp.: Glühbirne	14
6.3	Unschärferelation	15
6.3.1	Bsp.: Auto	15
7	Weiteres	16
7.1	Beleuchtung	16

1 Wasser

1.1 Anomalien des Wassers

1. Infolge der sperrigen Kristallstruktur dehnt sich Wasser beim Erstarren aus und die Dichte sinkt.
2. Beim Abkühlen von Wasser setzt die Bildung der 6-Ecke aus, weshalb Wasser bei 4° Grad die höchste Dichte hat.

1.2 Oberflächenenergie (Oberflächenspannung)

Die Oberflächenenergie ist definiert als die am Rande angreifende Kraft dividiert durch die Länge des Randes

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

E ... Oberflächenenergie

F ... Kraft $kg * \frac{m}{s^2}$

l ... Länge m

E ... Oberflächenenergie $\frac{N}{m}$

F ... Kraft $\frac{m}{s^2}$

l ... Länge m

1.2.1 Kapillarität

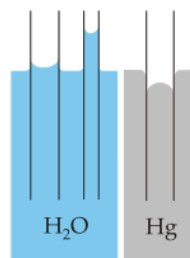


Abbildung 1: Kapillarität
H₂O ... Wasser Hg ... Quecksilber

Kapillarität ist das Verhalten, welches Flüssigkeiten bei engen Röhren, Spalten oder Hohlräumen in Feststoffen zeigen. Dieses wird durch die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten und der Grenzflächenspannung zum Festkörper hervorgerufen.

Kapillaraszension Tritt bei Flüssigkeiten auf, die das Material des Kapillargefäßes benetzen, wie beispielsweise Wasser auf Glas oder auf Papierfasern. Das Wasser steigt aufgrund der Adhäsionskraft¹ in einem Glasröhrchen auf und bildet eine konkave Oberfläche.

Kapillardepression Tritt auf, wenn die Flüssigkeit das Material der Gefäßoberfläche nicht benetzt. Quecksilber zum Beispiel hat in einem Röhrchen einen niedrigeren Pegel als in der Umgebung und eine konvexe Oberfläche.

Formel Die Steighöhe h einer Flüssigkeitssäule ist gegeben durch

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho * g * r}$$

Ohne Neigung $\Theta = 0$ entspricht dies

$$h = \frac{2\gamma}{\rho * g * r}$$

γ	... Oberflächenspannung	$\frac{J}{m^2}$
Θ	... Kontaktwinkel	rad
ρ	... Länge	$\frac{kg}{m^3}$
g	... Erdbeschleunigung	$9.81 \frac{m}{s^2}$
r	... Radius	m

¹ Kraft, die zwischen zwei Stoffen wirkt

1.2.2 Bsp.: Wasserhahn

Auf einem Wasserhahn mit einem Durchmesser von $3mm$, hat sich ein Wassertropfen gebildet. Berechne den Durchmesser des Tropfens.

Dichte Wasser	ρ_{H_2O}	$1000 \frac{kg}{m^3}$
Oberflächenspannung Wasser	γ_{H_2O}	$0.07 \frac{N}{m}$
Umfang Zylinder	$U_{Zylinder}$	$2 * r * \pi$
Volumen Kugel	V_{Kugel}	$\frac{4 * \pi * r^3}{3}$

Die Kraft welche nach Unten wirkt bildet sich aus der Masse des Tropfens und der Erdbeschleunigung $G = m * g$ mit $g = 9.81$.

Die Nach oben wirkende Kraft ist die Oberflächenspannung im Hahn $\gamma_{H_2O} = F * U_{Zylinder}$.

Durch umformen kommt man damit auf folgende Gleichungen.

$$F_{\uparrow} = U_{Zylinder} * \gamma_{H_2O}$$

$$G_{\downarrow} = V_{Kugel} * \rho_{H_2O} * g$$

Damit der Wassertropfen am Hahn erhalten bleibt müssen sich die Kräfte die nach oben wirken und jene die nach unten wirken aufheben $F_{\uparrow} = G_{\downarrow}$.

$$U_{Zylinder} * \gamma_{H_2O} = V_{Kugel} * \rho_{H_2O} * g$$

$$2 * r_{Zylinder} * \pi * \gamma_{H_2O} = \frac{4 * \pi * r_{Kugel}^3}{3} * \rho_{H_2O} * g$$

$$2 * 1.5 * \pi * 0.07 = \frac{4}{3} * \pi * r_{Kugel}^3 * 1000 * 9.81$$

Nun kann man einfach auf r_{Kugel} umformen und das Ergebnis in die Formel für den Umfang einsetzen.

$$r \approx 2.757mm$$

$$U_{Kugel} = 2 * \pi * r \approx 18.847mm$$

2 Elektrische Leistung in Festkörpern

2.1 Bändermodell

Im Bändermodell liegen mehrere Energiebereiche mit verschiedenen Zuständen energetisch dicht beieinander. Diese Bereiche werden Energiebänder genannt.

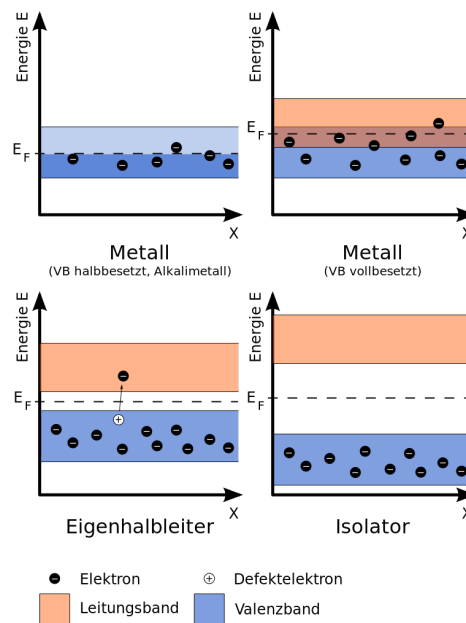


Abbildung 2: Bändermodell

Halbbesetzte Metalle werden auch **einwertig** und vollbesetzte Metalle **zweiwertig** genannt.

2.1.1 Fermi-Niveau E_F

Das Fermi-Niveau beschreibt den Bereich, bis zu welchem sich Elektronen frei bewegen können. Der Abstand zwischen dem Niveau und den Bändern wird als Bandlücke bezeichnet und in eV^1 angegeben.

Isolator Die Bandlücke ist größer als $2.5eV$, weshalb kaum Elektronen angeregt werden.

Halbleiter Die Bandlücke ist kleiner als $2.5eV$ und wird durch Energiezufuhr überbrückt.

Einwertige Metalle Das Leitungsband liegt auf dem Fermi-Niveau, wodurch Elektronen bereits bei geringer Energiezufuhr angeregt werden.

Zweiwertige Metalle Valenz- und Leitungsband überlappen am Fermi-Niveau und Elektronen werden immer werden.

¹ eV ... Elektronenvolt beschreibt die kinetische Energieänderung bei einem Volt.

3 Aufbau der Materie

3.1 Bohr'sches Atommodell

Atome bestehen bei diesem Modell aus einem positiv geladenen Atomkern und negativ geladenen Elektronen, die den Atomkern auf geschlossenen Bahnen umkreisen.[2]

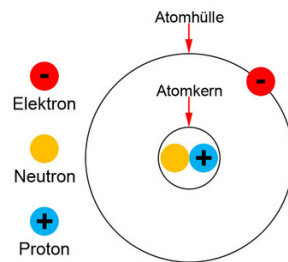


Abbildung 3: Bohr'sches Atommodell

3.1.1 Bohr'sche Postulate^I

1. Elektronen umkreisen strahlungsfrei den Atomkern
2. Beim Übergang von Elektronen zwischen zwei Elektronenbahnen wird Energie abgestrahlt oder aufgenommen

3.1.2 Festkörper

Bei Festkörpern sind Atome in einem Kristallgitter angeordnet. Stahl, als Beispiel, hat im Eisengitter ein C-Atom angeordnet.

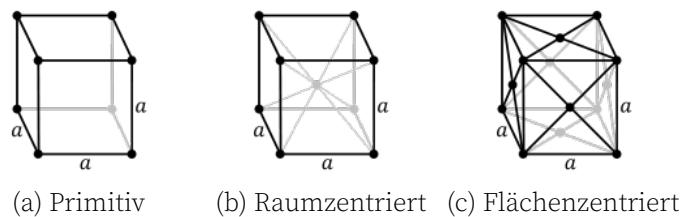


Abbildung 4: Kubische Gitter

- (a) **Kubisch primitives Gitter** Es ist kein weiteres C-Atom enthalten
- (b) **Kubisch raumzentriertes Gitter** Das C-Atom befindet sich im Zentrum
- (c) **Kubisch flächenzentriertes Gitter** Jede Fläche enthält ein C-Atom in der Mitte

^I Eine wissenschaftliche Annahme oder Behauptung

4 Relativistische Mechanik

Klassische Mechanik $v \ll c$

$c \dots$ Lichtgeschwindigkeit

Relativistische Mechanik $v < c$

4.1 Galileo Transformation

$[x, y, z]$ Ruhiges System S

$[x', y', z']$ Bewegtes System S'

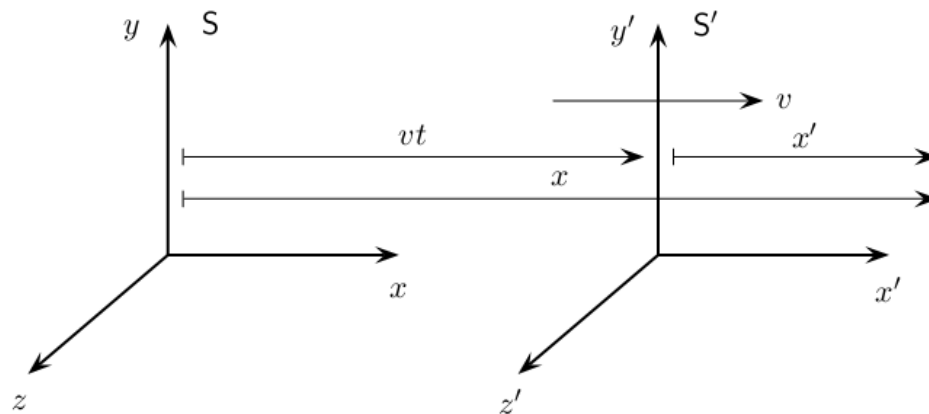


Abbildung 5: Galileo Transformation

\Rightarrow Zeit und Beschleunigung bleiben gleich, Geschwindigkeit ändert sich

$t = t' \rightarrow$ Zeit bleibt gleich

$t \dots$ Zeit

s

$x = x' + v * t \rightarrow$ Geschwindigkeit ändert sich

$v \dots$ Geschwindigkeit

$\frac{m}{s}$

Geschwindigkeit

$$u_x = \frac{dx}{dt}$$

$$u'_x = \frac{d(x - v * t)}{dt} = u_x - v$$

Beschleunigung

$$a = \frac{du}{dt} = \frac{du * x}{dt}$$

$a \dots$ Beschleunigung

$\frac{m}{s^2}$

$du \dots$ Geschwindigkeitsänderung

$\frac{m}{s}$

$dx \dots$ Positionsänderung

m

$dt \dots$ Zeitänderung

s

5 Relativitätstheorie

5.1 Spezielle Relativitätstheorie (Abhängig von Geschwindigkeit)

Für bewegte Objekte vergeht die Zeit langsamer

Bewegte Objekte verringern ihr Volumen und erhöhen Masse

5.2 Allgemeine Relativitätstheorie (Abhängig von Gravitation)

Unter Einwirkung von Gravitation vergeht die Zeit langsamer

Unter Einwirkung von Gravitation verringern Körper ihr Volumen und erhöhen ihre Masse

5.3 Lorentz Transformation

Verbindet in der speziellen Relativitätstheorie die Zeit- und Ortskoordinaten, mit denen verschiedene Beobachter angeben, wann und wo Ereignisse stattfinden.

Ortskoordinaten

$$x' = \frac{x - v * t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Zeitkoordinaten

$$t' = \frac{t - v * \frac{x}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Relativistische Geschwindigkeitsaddition

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v'_x * v}{c^2}}$$

t	...Zeit	s
v	...Geschwindigkeit	$\frac{m}{s}$
c	...Lichtgeschwindigkeit	$3 * 10^8 \frac{m}{s}$

5.4 Zeitdilatation^I

Alle inneren Prozesse eines physikalischen Systems scheinen langsamer abzulaufen, wenn sich dieses System relativ zum Beobachter bewegt.

Formel

$$t'_2 = t'_1 + \Delta t' = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

5.4.1 Bsp.: Zwillingsparadoxon

Während ein Zwilling auf der Erde bleibt, bewegt sich der andere mit 60% der Lichtgeschwindigkeit $v = 0.6 * c$. Welche Zeit vergeht für den Zwilling im All nach 4 Jahren auf der Erde?

$$\Delta t = \Delta t' * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
$$\Delta t = 4 * \sqrt{1 - \frac{(0.6 * c)^2}{c^2}}$$
$$\Delta t = 3.2 \text{ Jahre}$$

Für den Zwilling auf der Erde sind also 4 Jahre vergangen, der Zwilling im All erlebte jedoch nur 3.2 Jahre.

5.4.2 Bsp.: Raumstation

Mit welcher Geschwindigkeit müsste sich ein Beobachter relativ zur Erdstation bewegen, damit für diesen 10 Jahre auf der Erde in einem Jahr vergehen?

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$10 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$v = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{10}\right)^2} * c$$

$$v = 0.9 * c \approx 99\% \text{ der Lichtgeschwindigkeit}$$

^I Dilatation (lat. verlängern, ausdehnen) der Zeit

5.5 Längenkontraktion^I

Ein bewegter Beobachter misst eine kürzere Distanz zwischen zwei Punkten im Raum als ein ruhender.

Formel

$$l' = (x_2 - x_1) * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta l = \frac{l'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$l = (x'_2 - x'_1) * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta l' = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

5.5.1 Bsp.: Würfel

Im System S' liegt ein Würfel mit der Kantenlänge a'

1. Welches Volumen misst ein Beobachter im System S , wenn sich S' mit der Geschwindigkeit v bewegt?

$$V' = a^3 * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

2. Welche Dichte misst der Beobachter?

$$\rho' = \frac{m'}{V'} = m * a^3 * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

^I Kontraktion (lat. verkleinern, zusammenziehen) des Raums

5.5.2 Bsp.: Einsteinzug

Der Einsteinzug ist 330 Meter lang und fährt mit einer Geschwindigkeit von $v = 0.8c$. Ein Fahrgast am Zugende gibt einen Schuss mit $v = 0.6c$ ab.

1. Welche Geschwindigkeit misst ein Beobachter?
2. Welche Zuglänge misst er?

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v'_x v}{c^2}}$$
$$v_x = \frac{0.6c + 0.8c}{1 + \frac{0.8c \cdot 0.6c}{c^2}}$$
$$v_x = \frac{1.4c}{1.48} \approx 0.95c$$

Der Beobachter misst eine Geschwindigkeit von 95 Prozent der Lichtgeschwindigkeit

$$\Delta l' = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$\Delta l' = \frac{330}{\sqrt{1 - \frac{0.95c^2}{c^2}}} \approx 1475.8m$$

Der Beobachter misst eine Länge von 1475.8 Meter

6 Quantenphysik

Nach Max Planck, ist jede Strahlung aus Quanten zusammengesetzt. Quanten sind Objekte, welche durch einen Zustandswechsel (meist Energie) erzeugt werden.

6.1 Plancksches Wirkungsquantum

Das Plancksche Wirkungsquantum h , beschreibt das Verhältnis von Energie E und Frequenz f eines Photons^I.

$$E = h * f$$

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

h ... Wirkungsquantum $6.63 * 10^{-34} Js$

f ... Frequenz s

λ ... Wellenlänge m

6.1.1 Bsp.: Masse eines Photons

Einsteins Äquivalenzenprinzip und das Plancksche Wirkungsquantum können gleichgesetzt werden, womit sich die Masse eines Photons, bei einer bestimmten Wellenlänge (hier $500nm$) errechnen lässt.

$$E = m * c^2$$

E ... Energie J

m ... Masse kg

c ... Lichtgeschwindigkeit $3 * 10^8 ms^{-2}$

$$h * f = m * c^2$$

$$m = \frac{6.63 * 10^{-34} * 500 * 10^{-9}}{c^2}$$

$$m \approx 44.2 * 10^{-34} g$$

^I In diesem Kontext auch als Lichtquant bekannt

6.2 Bsp.: Fotozelle

Eine Fotozelle spricht an, wenn sie mit Licht der Leistung $P = 10^{-18}$ Watt bestrahlt wird. Wie viele Lichtquanten N (Photonen) der Wellenlänge $\lambda = 6.44 * 10^{-7}$ Meter fallen pro Sekunde auf die Fotozelle?

$$E = P * t$$

Die Energie gilt der Anzahl der Photonen N , diese wird einfach als Faktor des Wirkungsquantum hinzugefügt.

$$E = N * h * f$$

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

$$P * t = N * \frac{h * c}{\lambda}$$

$$N = \frac{P * t * \lambda}{h * c}$$

$$N = \frac{10^{-18} * 1 * 6.44 * 10^{-7}}{6.63 * 10^{-34} * 3 * 10^8}$$

$$N \approx 3.238 \text{ Lichtquanten}$$

6.2.1 Bsp.: Glühbirne

5 Prozent der elektrischen Leistung einer 60 Watt Glühbirne, wird in Licht der Wellenlänge $\lambda = 5.6 * 10^{-7}$ Meter umgewandelt. Wie viele Lichtquanten dieser Wellenlänge werden pro Sekunde ausgesandt?

$$N = \frac{P * t * \lambda}{h * c}$$

$$N = \frac{60 * 1 * 5.6 * 10^{-7}}{6.63 * 10^{-34} * 3 * 10^8}$$

$$N \approx 0.43 * 10^{18} \text{ Lichtquanten}$$

6.3 Unschärferelation

Jede Steigerung der Genauigkeit in der Ortsbestimmung reduziert die Genauigkeit in der Geschwindigkeitsbestimmung.

Diese Ungenauigkeit ist prinzipieller Natur und kann durch verbesserte Technologien nicht reduziert werden.

Die Unschärferelation gilt auch für makroskopische Körper.

Heisenberg

$$\Delta x * \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$p = m * v$$

h	... Plancksches Wirkungsquantum	$6.63 * 10^{-34} Js$
p	... Impuls	$kg * ms$
m	... Masse	kg
v	... Geschwindigkeit	ms
Δx	... Unschärfe des Ortes	m
Δp	... Unschärfe des Impulses	$kg * ms$

6.3.1 Bsp.: Auto

Ein Auto mit der Masse $m = 1200kg$ bewegt sich mit $v = 170 \frac{km}{h}$. Welche Ungenauigkeit tritt bei der Bestimmung des Ortes mindestens auf?

$$\Delta x * \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

Der Impuls kann in diesem Fall genau über $m * v$ bestimmt werden, da es sich um die minimale Ungenauigkeit handelt wird das \geq zu einem $=$.

$$\Delta x = \frac{h}{2\pi * m * v}$$

$$\Delta x = \frac{6.63 * 10^{-34}}{2\pi * 1200 * \frac{170}{3.6}}$$

$$\Delta x \approx 1.76 * 10^{-39} m$$

7 Weiteres

7.1 Beleuchtung

Glühlampe

Temperatur $1500^{\circ} - 3000^{\circ}$ Celsius

Ca. 5% der Energie wird in Licht, der Rest in Wärme umgewandelt

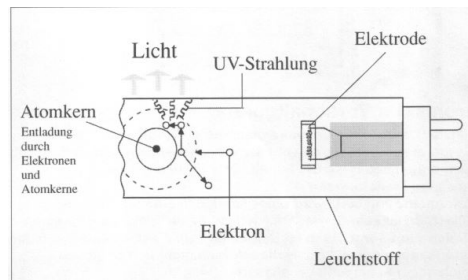


Abbildung 6: Aufbau einer Leuchtstoffröhre

Leuchtstoffröhre (Energiesparlampe)

Netzfrequenz 50 Hertz

Es tritt kein Flackern auf, da der Leuchtstoff selbst leuchtet

Schwarzlicht Lampen

Strahlen im UV Bereich → weißer Stoff beginnt zu leuchten

Leuchtdiode LED

Die LED (Light Emitting Diod) wandelt besonders viel Energie in Licht um

Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bändermodell>
- [2] https://de.wikipedia.org/wiki/Bohrsches_Atommodell
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Atomrumpf>
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kapillarität>
- [5] <http://www.leifiphysik.de/relativitaetstheorie/spezielle-relativitaetstheorie>

Abbildungsverzeichnis

1	https://de.wikipedia.org/wiki/Kapillarität	3
2	https://de.wikipedia.org/wiki/Bändermodell	6
3	https://www.sps-lehrgang.de/atommodelle/	7
4	https://de.wikipedia.org/wiki/Bravais-Gitter	7
5	http://html.smartpub.dk/egaagymnasium/infogeist-eg12-fy/	8
6	http://basics-de.de/Lexikon/GluehlampenBatterien	16