

titlesec[2016/03/21]

Physik, Goldbach

Aaron Tsamaltoupis

January 20, 2025

Contents

1 Elektrische Felder	5
1.1 Influenz	5
2 Magnetisches Feld	6
2.1 Magnetfeld eines langen, stromdurchflossenen Leiters	6
2.2 Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule	7
2.3 Die Lorentzkraft F_L	8
2.4 Die Magnetische Flussdichte	9
2.5 Bewegte Ladungsträger im Magnetfeld	10
3 Induktion	11
3.1 Induktionsbedingungen	11
3.2 Die Lenzsche Regel	11
3.3 Selbstinduktion	11
4 Schwingungen	12
4.1 Mechanische und Elektromagnetische Schwingungen	12
4.2 Erzwungene Schwingungen, Resonanz	12
4.3 Elektromagnetischer Schwingkreis	12
5 Wellen	13
5.1 gekoppelte Schwingungen	13
5.2 Wellenarten	13
5.3 Eingenschaften von Wellen	13
5.4 stehende Wellen	13
6 Doppler effekt	14
6.1 Bewegte Quelle	14
6.2 Bewegter Beobachter	14
7 Der Lichtelektrische Effekt (Fotoeffekt)	14
7.1 Fotoeffekt Zusammenfassung	16
7.2 Lichtquantenhypothese nach Albert Einstein	17
8 Exkurs: Äquivalenz von Masse und Energie	18

9 Elektronenwellen	19
9.1 Elektronenwellen - die Hypothesen um de Broglie	19
9.1.1 Abschätzung der Wellenlänge der Elektronenwelle	19
9.2 Einschub: Bragg-Reflexionen	20
9.3 Quantenobjekte	22
9.4 Wesenszüge von Quantenobjekten	22
10 Atomphysik	24
10.1 Energistufen in Atomen	24
10.2 Exkurs: Entwicklung des Atommodells	26
10.3 Bohr'sche Postulate	27
10.3.1 2. Bohr'sche Postulat: Frequenzbedingung	27
10.3.2 1. Bohr'sche Postulat: Quantenbedingung	27
10.4 Das Atommodell der Quantenphysik	29
11 Begriffsklärung	30

1 Elektrische Felder

Es gibt zwei Ladungsarten:

- negative Elektrische Ladungen
- positive Elektrische Ladungen

Ein negativ geladener Körper weist einen Elektronenüberschuss, ein positiv geladener Körper einen Elektronenmangel auf.

1.1 Influenz

Influenz: ausgelöst durch elektrisches oder magnetisches feld, kann zu Polarisation führen

2 Magnetisches Feld

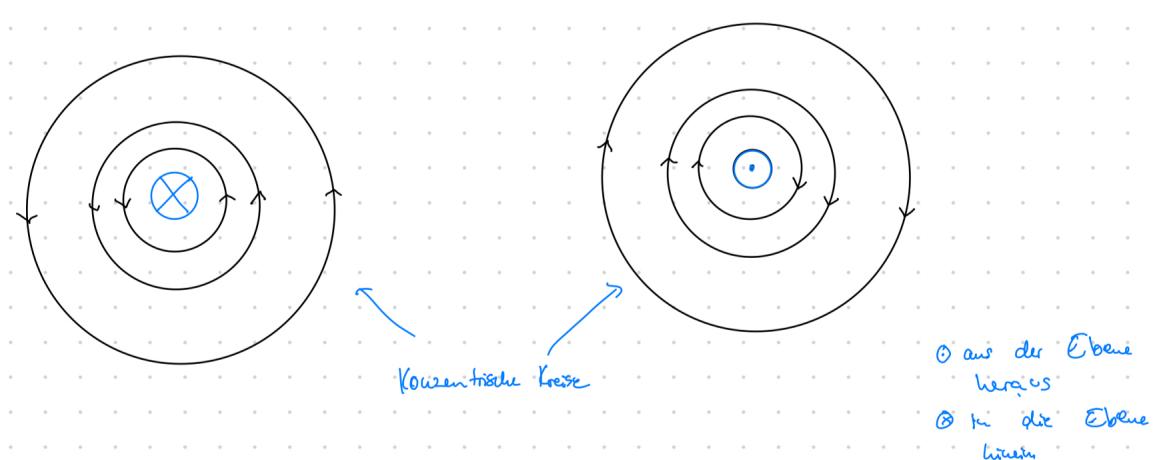
Das magnetische Feld ist ein Raum, in dem eine Kraft auf einen Probemagneten oder einen magnetisierbaren Probekörper wirkt.

Jeder stromdurchflossenen Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben. (Oerstedt 1820)

Linke-Faust-Regel :

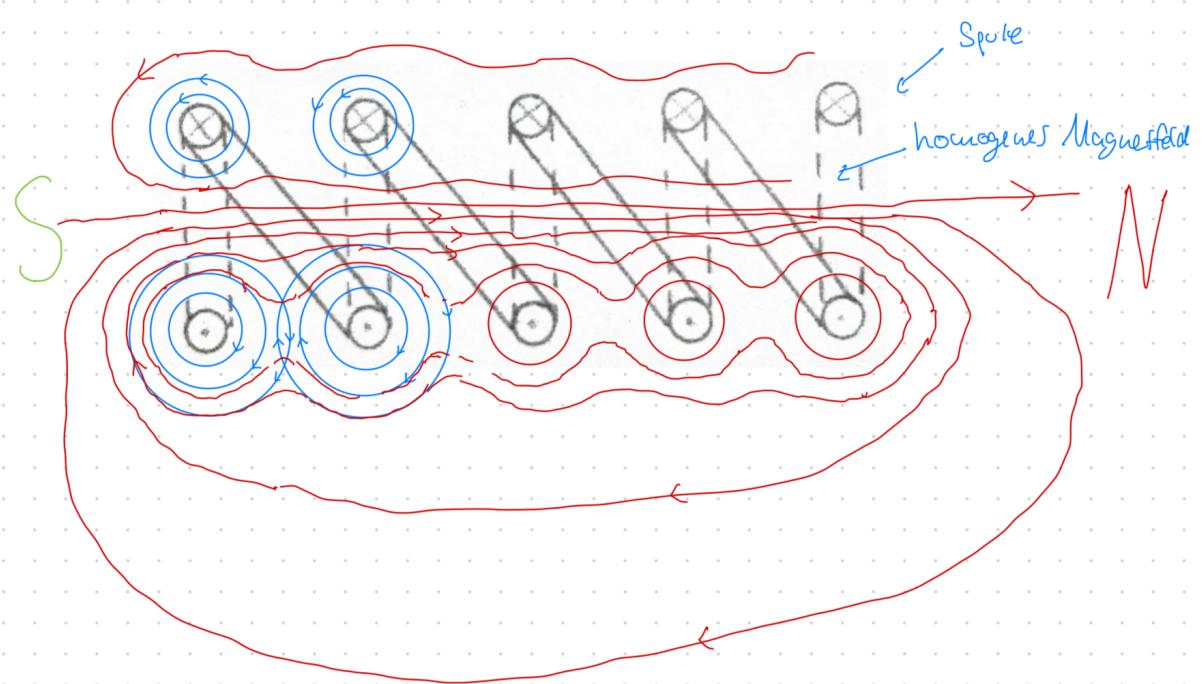
Zeigt der Daumen in die Bewegungsrichtung der Elektronen, so geben die Finger der linken Faust die Richtung der Magnetfeldlinien an.

2.1 Magnetfeld eines langen, stromdurchflossenen Leiters



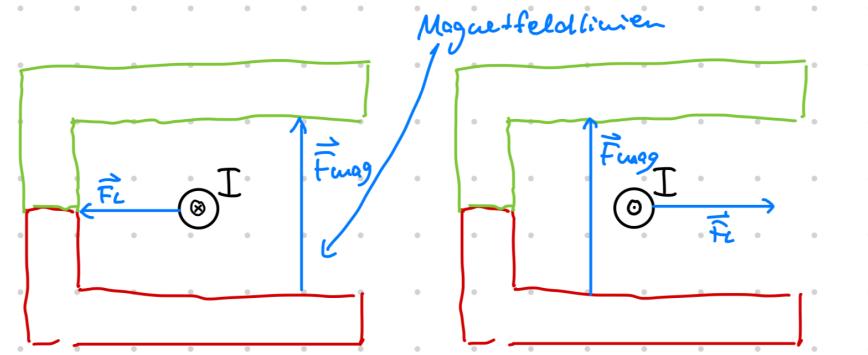
Die Feldlinien verlaufen in konzentrischen Kreisen senkrecht zum stromdurchflossenen Leiter.

2.2 Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule



⇒ Außerhalb der Spule ähnelt das Magnetfeld dem eines Stabmagnete.
Die Seite, an der die Magnetfeldlinien austreten, wirkt wie ein Nordpol.
Im inneren hat die lange Spule ein **homogenes Magnetfeld**.

2.3 Die Lorentzkraft F_L



Erfolgt die Elektronenbewegung senkrecht zu den Magnetfeldlinien, wirkt die sogenannte Lorentzkraft F_L , Einheit: [N](Newton)

Dreifingerregel der linken Hand:

Daumen: Bewegungsrichtung der Elektronen

Zeigefinger: Richtung der Magnetfeldlinien

Mittelfinger: Richtung der Lorentzkraft

Die Lorentzkraft wirkt auf die sich im Leiter bewegenden *Elektronen*. Dadurch, dass die Elektronen sich im Leiter befinden, wird die Lorentzkraft auch auf den Leiter selbst übertragen.

2.4 Die Magnetische Flussdichte

Ein stromdurchflossener Leiterrahmen befindet sich im [homogenen Magnetfeld](#) einer Spule. Die auf den Leiter wirkende Lorentzkraft wird gemessen in Abhängigkeit der Stromstärke I, sowie der Leiterlänge l.

Ergebnis:

$$F_L \sim l$$

$$F_L \sim I$$

$$\Rightarrow F_L \sim I \cdot l$$

$\Rightarrow \frac{F_L}{I \cdot l}$ ist für das Magnetfeld konstant, unabhängig von der Stromstärke und der Leiterlänge.

Der Quotient $\frac{F_L}{I \cdot l}$ ist ein Maß für die im Versuch gewählte Stärke des Magnetfeldes.

Definition: Die magnetische Flussdichte B ist der Quotient aus der Lorentzkraft und dem Produkt aus Leiterstrom I und Leiterlänge L:

$$B = \frac{F_l}{I \cdot l}$$

$$\text{Einheit}[B] = 1 \frac{N}{A \cdot m} = 1 T(\text{Tesla})$$

$$B \sim I$$

$B \sim n$ (n ist die Anzahl der Windungen der Spule)

$$B \sim \frac{1}{l}$$

$$\Rightarrow B \sim I \cdot \frac{n}{l}$$

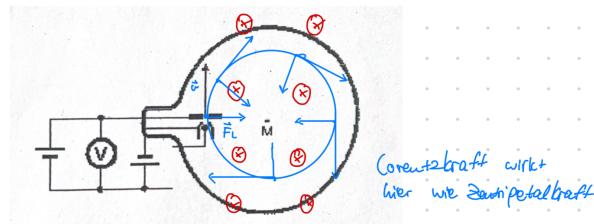
Der Quotient $\mu_0 = \frac{B}{I \cdot \frac{n}{l}}$ ist die *magnetische Feldkonstante*.
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \approx 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Tm}{A}$

Das Verhältnis der *magnetischen Flussdichte B im Stoff* zur *Flussdichte B₀ im Vakuum* heißt Permeabilitätszahl.

$$B = \mu_r \cdot B_0 = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot I \cdot \frac{n}{l}$$

Die Flussdichte eines Stoffes ist also abhängig von dessen charakteristischen Permeabilitätszahl μ_r

2.5 Bewegte Ladungsträger im Magnetfeld



Ein Elektron wird mit einer Geschwindigkeit v in ein homogenes Magnetfeld geschossen.

Die Lorentzkraft F_L zwingt das Elektron im homogenen Magnetfeld auf eine Kreisbahn und fungiert damit als Zentripetalkraft F_z .

$$\text{Kraftansatz: } F_L = F_z \\ e \cdot v \cdot B = m_e \cdot \frac{v^2}{r}$$

Die zwischen Glühkatode und Lochanode verrichtete elektrische Arbeit liegt als kinetische Energie des Elektrons vor:

$$\text{Energieansatz: } W_{el} = W_{kin} \\ e \cdot U = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$$

3 Induktion

3.1 Induktionsbedingungen

3.2 Die Lenzsche Regel

3.3 Selbstinduktion

4 Schwingungen

- 4.1 Mechanische und Elektromagnetische Schwingungen**
- 4.2 Erzwungene Schwingungen, Resonanz**
- 4.3 Elektromagnetischer Schwingkreis**

5 Wellen

- 5.1 gekoppelte Schwingungen**
- 5.2 Wellenarten**
- 5.3 Eingenschaften von Wellen**
- 5.4 stehende Wellen**

6 Doppler effekt

Die Frequenzaenderung, die man beim Vorbeifahren einer Schallquelle wahrnimmt heisst dopplereffekt.

Beispiele:

-Naehern/Entfernen eines Krankenwagens

6.1 Bewegte Quelle

$$\begin{aligned}\lambda_{Beobachter} &= \lambda_{Quelle} - v \cdot T \\ \frac{c}{f_{beobachter}} &= \frac{c}{f_{quelle}} - v \cdot \frac{1}{f_{quelle}} \mid : c \\ \frac{1}{f_{beobachter}} &= \frac{1}{f_{quelle}} - \frac{v}{c} \cdot \frac{1}{f_{quelle}} \\ \frac{1}{f_{beobachter}} &= \frac{1}{f_{quelle}} \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)\end{aligned}$$

$$\Rightarrow f_{beobachter} = \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$

-Wenn die Quelle auf den Beobachter zukommt, dann ist v positiv

$$\Rightarrow 1 - \frac{v}{c} < 1$$

$$\Rightarrow f_{beobachter} > f_{quelle}$$

-Wenn die Quelle sich von dem Beobachter entfernt, dann ist v negativ:

$$\Rightarrow 1 - \frac{v}{c} > 1$$

$$\Rightarrow f_{beobachter} < f_{quelle}$$

Die wahrgenommene Tonfrequenz ist tiefer wenn $v = 0 \Rightarrow f_{beobachter} = f_{quelle}$

6.2 Bewegter Beobachter

$$f_{beobachter} = \frac{c+v}{\lambda} = f_{quelle} \cdot \frac{c+v}{c} = \left(1 + \frac{v}{c}\right) \cdot f_{quelle}$$

7 Der Lichtelektrische Effekt (Fotoeffekt)

Durchfuehrung:

Eine mit einem Elektroskop verbundene Zinkplatte

1. wird negativ geladen.

2. wird negativ geladen und eine Glasplatte wird davor gehalten
3. wird positiv geladen.

Anschließend wird die Zinkplatte mit einer Lampe mit hohem UV-Licht Anteil bestrahlt.

Beobachtung:

1. Zunächst schlägt das Elektroskop aus, nach der Bestrahlung entlaedt sich das Elektroskop
2. Das Elektroskop schlaegt aus, entlaedt sich aber nicht nach Bestrahlung
3. Das Elektroskop entlaedt sich nicht nach der Bestrahlung
4. im Falle einer ungeladenen Zink-Platte ist ebenfalls keine Veraenderung zu beobachten.
5. Mit zunehmender LIChtintensitaet steigt die Fotostromstaerke

Ergebnis:

Wird eine Metallschicht mit Licht bestrahlt, koennen aus dem Metall Elektronen herausgelöst werden.

Das Auslösen von Elektronen durch Lichtbestrahlung bezeichnet man als *Lichtelektrischen Effekt* oder *Fotoeffekt*.

Voraussetzung fuer den Fotoeffekt ist eine *Mindestfrequenz* des eingestrahlten Lichts.

Erklaerung:

Zum Herauslösen von Elektronen aus einem Metall muss *Austrittsarbeit* verrichtet werden.

Die kinetische Energie einzelner sich im Metallgitter frei bewegender Elektronen wird beim Auftreffen von Licht einer Mindestfrequenz soweit erhöht, dass sie den Gitterverband gerade verlassen koennen. Ist die Frequenz grösser als die Grenzfrequenz f_0 , liegt die ueberschüssige Energie als zusaetzliche Energie der *Fotoelektronen* vor, es ist also ein *Fotostrom* messbar.

$$W_{Licht} = W_a + W_{kin}$$

Messung der kinetischen Energie der Fotoelektronen mit der sog. *Gegenfeldmethode* :

Messprinzip:

Die Energie der gemessenen Fotospannung ist gleich der kinetischen Energie, die von der ueberschüssigen Energie der Lichtenergie uebrig geblieben ist.

$$W_{el} = W_{kin}$$

$$W_{el} = e \cdot U$$

$$e \cdot U = W_{kin} = W_{Licht} - W_a$$

Die Lichtenergie W_{Licht} ist proportional zur Frequenz f , wobei die Konstante h der Proportionalitätsfaktor ist:

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

h : Plancksches Wirkungsquantum $h = 4,196 \cdot 10^{-15}$

Die kinetische Energie der Fotoelektronen steigt linear mit der Frequenz des eingestrahlten Lichts:

$$W_{kin} = h \cdot f - W_a$$

7.1 Fotoeffekt Zusammenfassung

Zusammenfassung der experimentellen Befunde:

1. Licht mit zu niedriger Frequenz (zu grosser Wellenlänge) löst keine Elektronen aus einer Metallschicht aus.
2. Die kinetische Energie der Fotoelektronen stieg linear mit der Frequenz des Eingestrahlten Lichts:

$$W_{kin,max} = hf - W_a$$

$$W_a = hf_{grenz}$$

f_{grenz} ist die Frequenz, wo elektronen gerade so herausgelöst werden, ohne dass zusätzliche kinetische Energie freigesetzt wird

3. Die Stärke des Fotostroms ist der Lichtintensität *proportional*
4. Bei konstanter Frequenz ist die (maximale) kinetische Energie der Fotoelektronen unabhängig von der Lichtintensität.

$$\text{Lichtintensität} = \frac{\text{auftreffende Lichtenergie}}{\text{Zeit} * \text{Fläche}}$$

5. Die Fotoelektronen werden bei Bestrahlung spontan aus dem Metallgitter herausgelöst

7.2 Lichtquantenhypothese nach Albert Einstein

Bei der Ausbreitung von Licht ist die Energie nicht kontinuierlich über den Raum verteilt, sondern in einer endlichen Zahl von Energiequanten lokalisiert. Licht ist ein Strom von Lichtquanten oder Photonen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, unteilbar sind und nur als Ganzes erzeugt oder absorbiert werden können.

In monochromatischem Licht der Frequenz f trägt jedes Lichtquant die Energie:

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

$$h = 6,626 \text{ Js} \quad (\text{Plancksches Wirkungsquantum})$$

Eine Erhöhung der Intensität des Lichts bedeutet eine Vergrößerung der Anzahl der pro Zeiteinheit auftretenden Lichtquanten, nicht aber das Auftreten von energiereicheren Quanten.

Je nach dem Material, indem sie sich befinden, benötigen Elektronen ein Minimum an Energie um aus dem Material gelöst zu werden. Diese Energie muss sich aber in dem einzelnen Photonen befinden und kann nicht als Summe der Energie der Lichtintensität über einen Zeitraum zu den Elektronen befördert werden.

Die Zeit bis das Minimum an Lichtenergie erreicht ist, ist also irrelevant, das Elektron kann nur direkt, *spontan*, von einem Photon mit genug Energie gelöst werden.

8 Exkurs: Äquivalenz von Masse und Energie

berechnete Masse von Helium Kern: $m_{He-Kern} = 2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n \approx 6,695 \cdot 10^{27}$
tatsächliche Masse von Herlium Kern: $m_{He-Kern} = 4,001228U$

Feststellung: Die tatsächliche Masse des Helium-Kerns ist geringer als die Summe der Massen aller Nukleonen (Protonen, Neutronen)

Informationen: nach Einstein sind Energie und Masse zueinander äquivalente Größen.

Die bei der "Entstehung" des He-Kerns verschwundenen Masse ist als Energie freigeworden.

Masse und Impuls eines Photons

$$E = mc^2 = W_{photon} = h \cdot f$$

$$m_{photon} = \frac{h \cdot f}{c^2}$$

Damit hat das Photon den Impuls $P_{Photon=m_{photon} \cdot c} = \frac{h \cdot f}{c^2} \cdot c$

$$P_{Photon} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

9 Elektronenwellen

9.1 Elektronenwellen - die Hypothesen um de Broglie

1. Die Ausbreitung eines jeden Teilchens erfolgt als Welle, deren Wellenlängedurch $\lambda = \frac{h}{p}$ gegeben ist
2. Zwischen der Frequenz der Wellen und der Gesamtenergie W des Teilchen besteht die Beziehung $W = h \cdot f$

9.1.1 Abschätzung der Wellenlänge der Elektronenwelle

sei $U = 3kV$

$$W_{kin} = W_{el} = e \cdot U$$

$$W_{kin} = \frac{1}{2}c \cdot m_e v^2 = e \cdot U$$

$$v^2 = \frac{e \cdot 2U}{m_e}$$

$$v = \sqrt{\frac{ec \cdot 2U}{m_e}}$$

$p = m_e \cdot v$: berechnet den Impuls

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e \cdot v}$$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot \sqrt{\frac{e \cdot 2U}{m_e}}} = \frac{h}{m \cdot \sqrt{\frac{2e \cdot 3000V}{m_e}}} = 2,24 \cdot 10^{-11} m = 22,4 pm \text{ (Größenbereich Gammastrahlen)}$$

9.2 Einschub: Bragg-Reflexionen

Versuch: Hinter der Öffnung einer Lochanode einer Elektronenstrahlröhre befindet sich eine Folie mit Graphit pulver.

Beobachtung: Auf dem Leuchtschirm sind um den hellsten Punkt in der Mitte Ringe von heller und weniger heller Leuchtintensität zu sehen.

Röntgenstrahlung trifft auf einen (Dreh)Kristall

Beobachtung:

Versuche zeigen, dass man nur unter ganz bestimmten Einfalls- und damit Reflexionswinkeln eine besonders hohe Intensität der reflektierten Wellen misst, bei anderen Einfallswinkeln ist die Intensität der reflektierten Wellen fast null.

Diese Erscheinung heißt Bragg-Reflexion.

$$\text{Gangunterschied} = \Delta s = 2d \cdot \sin(\alpha)$$

Ein Maximum entsteht dort, wo die Bedingung für konstruktive Interferenz erfüllt ist:

generell gilt:

wenn $\Delta s = k \cdot \lambda$ dann konstruktive Differenz

$$\text{sei } 2d \cdot \sin(\alpha_0) = k \cdot \lambda$$

Jeder Winkel für den dies gilt ist ein sog Glanzwinkel α_{glanz}

Glanzwinkel sind also die Winkel, bei denen es zu konstruktiver Interferenz kommt

Die Interferenzringe entstehen folgendermassen:
 Die Graphitschicht enthaelt viele kleine Mikrokristalle. Unter ihnen gibt es immer einige, die gerade so liegen, dass die Elektronenstrahlung sie unter dem Glanzwinkel trifft.

Bragg-Gleichung:

$$\Delta s = n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin(\alpha_{glanz})$$

$$\tan(2\alpha_{glanz}) = \frac{R}{L}$$

fuer kleine Winkel gilt:

$$\tan(2\alpha_{glanz}) \approx \sin(2\alpha_{glanz}) \approx 2 \cdot \sin(\alpha_{glanz})$$

$$\Rightarrow 2d \cdot \sin(\alpha_{glanz}) \approx d \cdot \tan(2\alpha_{glanz}) = d \cdot \frac{R}{L}$$

$$\Rightarrow n \cdot \lambda \approx d \cdot \frac{R}{L}$$

Beispiel:

1. Wellenlaenge berechnet mit innerem Ring:

$$L = 1,235$$

$$d_1 = 2,13 \cdot 10^{-10} m \text{ (Graphit)}$$

Radius R des inneren Rings bei $U = 3kV : R_i = 0.0145m$

$\Rightarrow n = 1$ (weil beobachteter Ring ist Maximum 1. Ordnung: innerster Ring gemessen, Reflexion des Elektronenstrahl von aeusserster Netzebene)

$$\lambda = d_1 \cdot \frac{R}{L} = 2,13 \cdot 10^{-10} m \cdot \frac{0,0145m}{0,135m} \approx 2,29 \cdot 10^{-11} = 22,9 pm$$

Die quantitativen Auswertungen des Interferenzmusters bestaetigt die de-Broglie-Wellenlaenge von 22,4pm (siehe oben: [Wellenlaenge De Broglie](#))

2. Wellenlaenge berechnet mit auesseren Ring:

$$L = 1,235$$

Radius R des auesseren Rings bei $U = 3kV : R_a = 0.025m$

$\Rightarrow n = 1$ (bei gleichbleibender Wellenlaenge λ muss auch der aeussere Ring ein Maximum 1. Ordnung sein, siehe unten)

$$d_2 = 1,23 \cdot 10^{-10} m$$

$$\lambda = 22.78 \cdot 10^{-11} m = 22,78 pm$$

Die beiden hellen Ringe stellen also beide Maxima 1. Ordnung dar, die durch Interferenz der, je nach Lage des Kristalls, an den beiden möglichen Ebenen des Waabenartig aufgebauten Graftgitters reflektierten Elektronenwellen entstehen.

9.3 Quantenobjekte

Photonen, aber auch Elektronen, Neutronen, Protonen, Atome und Moleküle, nennt man Quantenobjekte.

Das Verhalten einzelner Quantenobjekte kann (in der Regel) nicht vorausgesagt (=determiniert) werden.

Quantenobjekte sind weder Teilchen noch Wellen.

Bei einer geringen Anzahl an Quantenobjekten entstehen Auftereffverteilungen, die keine Ähnlichkeit mit dem Interferenzmuster der Optik haben. Je mehr Quantenobjekte aber z.B. den Doppelspalt durchlaufen, desto zuverlässiger tritt das Interferenzmuster auf.

9.4 Wesenszüge von Quantenobjekten

1. Wesenszug 1: Statistisches Verhalten

- Für Quantenobjekte können Einzelereignisse im Allgemeinen nicht vorhergesagt werden
- Bei vielen Wiederholungen ergibt sich jedoch eine Verteilung, die -bis auf stochastische Schwankungen- reproduzierbar ist.

2. Wesenszug 2: Fähigkeit zur Interferenz

- Auch einzelne Quantenobjekte können zu einem Interferenzmuster beitragen. Voraussetzung ist, dass es für das Eintreten des gleichen Versuchsergebnisses mehr als eine klassisch denkbare Möglichkeit gibt.
- ERLÄUTERUNG:
Beim Doppelspalt bedeutet dies, dass ein Photon durch Spalt 1 (Möglichkeit 1) oder durch Spalt 2 (Möglichkeit 2) zum Schirmpunkt P gelangt. Das Ergebnis des Versuchs, der Nachweis eines Photons am Schirmpunkt P, ist in beiden Fällen das Gleiche.

3. Wesenszug 3: Eindeutige Messergebnisse

- Messergebnisse sind stets eindeutig, auch wenn sich das Quantenobjekt vor der Messung in einem Zustand befindet, der unbestimmt bezüglich der gemessenen Größe ist.
- ERLÄUTERUNG:
Hinter dem Doppelspalt ist eine genaue Ortsmessung für ein Photon bzw. Elektron möglich (vlg. Wesenszug 4). Vor der Messung war der Ort des Elektrons nicht bekannt. Man sagt dazu auch: Die Elektronen besaßen die Eigenschaft "Ort" nicht.

4. Wesenszug 4: Komplementarität

- Interferenzmuster und Unterscheidbarkeit der klassisch denkbaren Möglichkeiten schließen sich aus.
- ERLÄUTERUNG:
Bezogen auf den Doppelspalt bedeutet "Unterscheidbarkeit der klassisch denkbaren Möglichkeiten": man weiß durch eine geeignete Vorrichtung, ob das Quantenobjekt durch Spalt1 oder Spalt2 gegangen ist. Allerdings verschwindet dann das Interferenzmuster. Orts-eigenschaft und Interferenzmuster sind nicht gleichzeitig realisierbar, sondern schließen sich gegenseitig aus. Dies ist ein Spezialfall eines allgemeinen Prinzips, das man nach Niels Bohr *Komplementarität* nennt.

10 Atomphysik

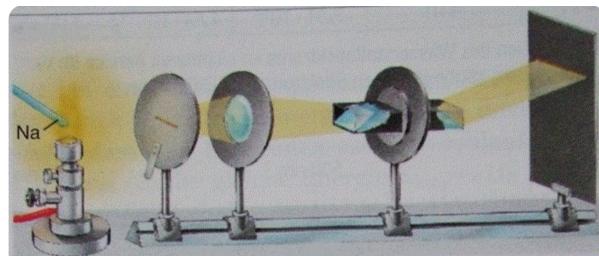
10.1 Energistufen in Atomen

Durchführung: Beobachtung von verschiedenen Lampen durch Gitter
Beobachtungen:

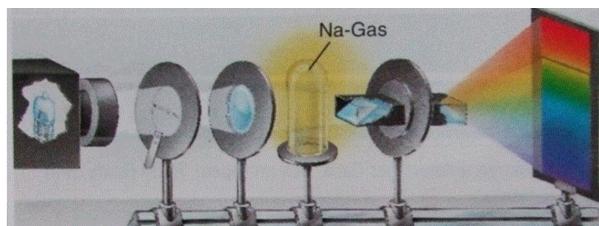
1. eine Glühlage oder eine Kerzenflamme senden ein kontinuierliches Spektrum aus.
2. Hg-Dampf-Lampe, eine Hz-Spektralröhre oder eine Na-Dampf-Lampe senden jeweils ein für sie charakterisches Linienspektrum aus, d.h. sie emittiert Licht mit für sie charakteristischen Frequenzen.
Jeder Leuchtdampf sendet quanten mit bestimmten frequenzen Bei der Spektralanalyse wird ein Linienspektrum zum Nachweis von Stoffen genutzt.
3. Eine mit Natriumchlorid(NaCl) gefärbte Flamme wirft einen Schatten im Licht einer Na-Dampf-Lampe, nicht aber im Licht einer Hg-Dampf-Lampe.

ERKLÄRUNG VERUSCH

1. Na-Atome, Hg-Atome bzw. Hg-Atome emittieren im sichtbaren Bereich Lichtquanten mit für sie charakteristischer Energie $W_{licht} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$



2. Nur Lichtquanten von genau gleichen, für sie charakteristischen Betrag werden von Atomen auch absorbiert (*Resonanzabsorption*)



Man spricht von der quantenhaften Absorption von Licht. Dabei erhält man ein Absorptionsspektrum. Das Absorptionsspektrum eines Stoffes enthält dunkle Linien, die der Stoff im weißen Glühlicht absorbiert.

Das Sonnenspektrum weist schwarze Linien auf, die nach ihrem Entdecker *frauhoferische Linien* heißen.

Sie liegen bei Frequenzen, die sich auch in den Emissionsspektren einiger Elemente wiederfinden lassen. Diese Elemente in der sonnenatmosphäre verursachen durch die Absorption von Lichtquanten bestimmter Frequenzen diese dunklen Linien, sodass sie im kontinuierlichen Spektrum des Sonnenlichts fehlen.

10.2 Exkurs: Entwicklung des Atommodells

- *Demokrit 460-370 v. Chr.:*
-Atome sind unteilbare Teilchen, aus denen alles besteht
- *Dalton, 1766-1844:*
-Atome sind elastische Kugeln mit einer bestimmten Masse
-unterschiedliche Elemente haben Atome mit unterschiedlicher Masse
- *Balmer, 1885*
Balmer Formel: $f_{m,2} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$
- *Thomsom, 1903:* "Rosinenkuchenmodell":
-negative Elektronen sind in positiver Masse "eingebettet"
- *Rutherford, 1911:* Alpha-Streuversuch
-Atome können keine massiven Kugeln sein
-Atom besteht aus massivem Kern und einer Hülle (Größenverhältnis 1: 100.000)

10.3 Bohr'sche Postulate

10.3.1 2. Bohr'sche Postulat: Frequenzbedingung

Ein H-Atom ist ein System, dass nur bestimmte Energiestufen (Energieniveaus) annehmen kann. Beim Übergang von einer höheren Energiestufe E_m (wobei $m \in \mathbb{N}$) zu einer niedrigeren Energiestufe E_n wird die Energiedifferenz Δ_E als Lichtquant mit der Frequenz $f_{m,n}$ emmitiert:

$$\Delta_E = E_m - E_n = h \cdot f_{m,n}$$

niedrigste Energiestufe: **Grundzustand**(E_1)

höchste Energiestufe: angeregter Zustand

Problem: Wenn ein Elektron ein Proton umkreist wird dadurch ein magnetisches Feld mit magnetischer Energie erzeugt, die kinetische Energie des Elektrons müsste also abnehmen.

Eine Mögliche Lösung wäre, dass Elektronen sich *strahlungsfrei* bewegen.

Da ein Elektron nur ganz bestimmte Energieniveaus annehmen kann, kann sich das Elektron nicht auf beliebigen, sondern muss sich auf ganz bestimmten Bahnen bewegen.

Da bewegte Ladung ein Magnetfeld erzeugt, also Bewegungsenergie in elektromagnetische Feldenergie umgewandelt wird, müsste das den Kern umkreisende Elektron allmählich in den Kern stürzen.

Daher postulierte Bohr:

10.3.2 1. Bohr'sche Postulat: Quantenbedingung

Ein Elektron umkreist strahlungsfrei auf bestimmten Bahnen den Atomkern. Zulässig sind nur Elektronenbahnen mit Radien, die folgender Bedingung genügen (Bohr'sche Quantenbedingungen):

- Der **Bahndrehimpuls** $L = r \cdot m \cdot v$ nimmt nur Vielfache von $\frac{h}{2\pi}$ an:

$$r \cdot m \cdot v = n \cdot \frac{h}{2\pi}, n \in \mathbb{N} | \cdot 2\pi$$
$$2\pi r \cdot m \cdot v = n \cdot h$$

Auf das Elektron und den Abstand zum Kern bezogen:

$$2\pi r_n \cdot m_e \cdot v_n = n \cdot h$$
$$\implies U_n \cdot m_e \cdot v_n = n \cdot h$$

r_n : Abstand des Elektrons vom Kern auf der n ten Umlaufbahn

U_n : Umfang der Umlaufbahn des Elektrons auf der n_{ten} Umlaufbahn

- Die auf das Elektron im Radialfeld des Atomkerns wirkende Coulombkraft fungiert als Zentripetalkraft:

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m_e \cdot \frac{v^2}{r}$$

Nach der bohrschen Quantenbedingung gilt:

$$2\pi r_n \cdot m_e \cdot v_n = n \cdot h$$
$$\Rightarrow v_n = \frac{n \cdot h}{2\pi r \cdot m_e}$$

Sei die erste Umlaufbahn, also $n = 1$

$$v_1 = \frac{h}{2\pi r \cdot m_e}$$
$$\Rightarrow F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m_e \cdot \frac{\left(\frac{h}{2\pi r \cdot m_e}\right)^2}{r} = F_z$$
$$\Rightarrow \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m_e \cdot \frac{h^2}{4\pi^2 r^2 \cdot m_e^2 \cdot r}$$
$$\Rightarrow \frac{e^2}{\epsilon_0} = \frac{h^2}{\pi r \cdot m_e}$$
$$\Rightarrow r = \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{\pi \cdot m_e \cdot e^2} \approx 0,53 \cdot 10^{-10} m$$

Der Durchmesser des H-Atoms beträgt also ca $1,06 \cdot 10^{-10} m$, also ca ein Angström.

10.4 Das Atommodell der Quantenphysik

11 Begriffsklärung

homogenes Magnetfeld

Magnetfeld, dessen Feldstärke überall im Feld die gleich Richtung und Betrag hat. Die Feldstärke ist unabhängig vom Ort im Feld.

Bahndrehimpuls

Nullniveau eines Atoms

Grundzustand

Alle Elektronen befinden sich in der Atomhülle des Atoms, das Atom besitzt eine Energie von E_1 . Da das Atom noch nicht ionisiert wurde, befindet es sich unterhalb des Nullniveaus.