

titlesec[2016/03/21]

Physik, Goldbach

Aaron Tsamaltoupis

December 18, 2024

Contents

1	Elektrische Felder	3
1.1	Influenz	3
2	Doppler effekt	3
2.1	Bewegte Quelle	3
2.2	Bewegter Beobachter	4
3	Der Lichtelektrische Effekt (Fotoeffekt)	4
3.1	Fotoeffekt Zusammenfassung	6
3.2	Lichtquantenhypothese nach Albert Einstein	6
4	Exkurs: Äquivalenz von Masse und Energie	8
5	Elektronenwellen	9
5.1	Elektronenwellen - die Hypothesen um de Broglie	9
5.1.1	Abschätzung der Wellenlänge der Elektronenwelle	9
5.2	Einschub: Bragg-Reflexionen	10
5.3	Quantenobjekte	12
5.4	Wesenszüge von Quantenobjekten	12
6	Atomphysik	14
6.1	Energistufen in Atomen	14
6.2	Exkurs: Entwicklung des Atommodells	16

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 Doppler effekt

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

Beispiele:

-Nachern/Entfernen eines Krankenwagens

2.1 Bewegte Quelle

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

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

-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 $v = 0 \Rightarrow f_{beobachter} = f_{quelle}$

2.2 Bewegter Beobachter

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

3 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. Zunaechst schlaegt 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 herausgeloeet werden.

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

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

Erklaerung:

Zum Herausloesen von Elektronen aus einem Metallr muss *Austrittsarbeit* verrichtet werden.

Die kinetische Energie einzelner sich im Metallgitter frei bewegender Elektronen wird beim Auftreffen von Licht einer Mindestfrequenz soweit erhoeht, dass sie den Gitterverband gerade verlassen koennen. Ist die Frequenz groesser als die Grenzfrequenz f_0 , liegt die ueberschuessige 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 ueberschuessigen 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 Proportionalitaetsfaktor 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 eingestrahnten Lichts:

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

3.1 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.

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

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

3.2 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:

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

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

eEine 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.

4 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 Helium 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 verschwundene Masse ist als Energie freigesetzt.

Masse und Impuls eines Photons

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

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

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

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

5 Elektronenwellen

5.1 Elektronenwellen - die Hypothesen um de Broglie

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

5.1.1 Abschätzung der Wellenlänge der Elektronenwelle

sei $U = 3kV$

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

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

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

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

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

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

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

5.2 Einschub: Bragg-Reflexionen

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

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 Einfallswinkeln 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.

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

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 Winkeln, 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:

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

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

fuer kleine Winkel gilt:

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

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

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

Beispiel:

1. Wellenlaenge berechnet mit innerem Ring:

$$L = 1,235$$

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

Radius R des inneren Rings bei $U = 3\text{kV}$: $R_i = 0.0145\text{m}$

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

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

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

2. Wellenlaenge berechnet mit aeusserem Ring:

$$L = 1,235$$

Radius R des aeusseren Rings bei $U = 3\text{kV}$: $R_a = 0.025\text{m}$

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

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

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

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

5.3 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 Auftreffverteilungen, die keine Ähnlichkeit mit dem Interferenzmuster der Optik haben. Je mehr Quantenobjekte aber z.B. den Doppelspalt durchlaufen, desto zuverlässiger tritt das Interferenzmuster auf.

5.4 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 (Möglichkeit1) oder durch Spalt 2 (Möglichkeit 2) zum Schirm-punkt 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 (vgl. 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. Ortseigenschaft 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.

6 Atomphysik

6.1 Energistufen in Atomen

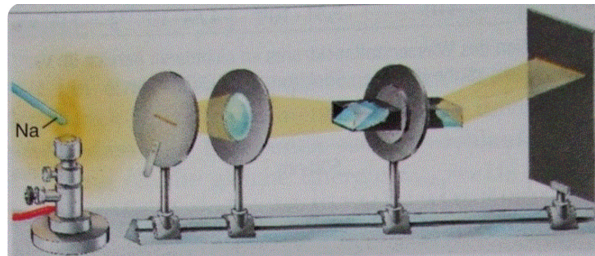
Durchführung: Beobachtung von verschiedenen Lampen durch Gitter

Beobachtungen:

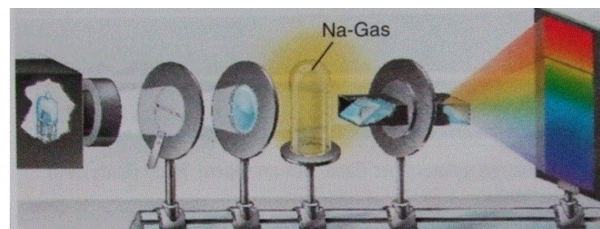
1. eine Glühlampe oder eine Kerzenflamme senden ein kontinuierliches Spektrum aus.
2. Hg-Dampf-Lampe, eine Hz-Spektralröhre oder eine Na-Dampf-Lampe senden jeweils ein für sie charakteristisches Linienspektrum aus, d.h. sie emittiert Licht mit für sie charakteristischen Frequenzen.
Jeder Leuchtdampf 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 $W_{\text{licht}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$



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 *frauhofersche 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.

6.2 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: $f_{m,2} = R \cdot (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2})$
- *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)