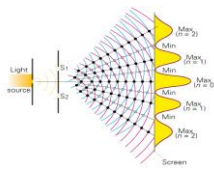


## Experiment 2:

### Welle – Teilchen – Dualismus

<b>1. Vorbetrachtungen</b>	
<p>1. Nach dem Strahlenmodell entwickelte sich mit den Interferenzexperimenten das Wellenmodell zum bestimmenden Modell für das Licht. Fällt monochromatisches Licht senkrecht auf ein optisches Gitter, so werden auf einem parallel zum Gitter aufgestellten Schirm farbige Streifen sichtbar.</p> <p>a) Erklären Sie unter Verwendung einer Skizze diesen Sachverhalt.</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">  </div> <p style="margin-top: 20px; color: blue;">Beleuchtet man zwei eng benachbarte Spalte mit kohärentem, monochromatischem und parallelem Licht, dann können die beiden Spalte als Zentren von Huygensschen Elementarwellen betrachtet werden. Die beiden Wellensysteme überlagern sich und ergeben auf einem Bildschirm ein stabiles Interferenzmuster mit Stellen maximaler Verstärkung (hell) und maximaler Auslöschung (dunkel), so wie das in der Skizze dargestellt ist.</p>	
<p>b) Was ändert sich, wenn weißes Licht verwendet wird? Warum? <b>Die Streifen sind mehrfarbig, volles Spektrum</b></p>	
<p>c) Bei einem Versuch mit einem Gitter (Gitterkonstante : 0,01 mm) sind auf dem Schirm in 2,60m Entfernung farbige Streifen zu sehen. Die beiden Streifen 1.Ordnung sind 34 cm von einander entfernt. Welche Farbe haben die Streifen? Wie groß ist der Beugungswinkel?</p> $\frac{k\lambda}{b} = \frac{sk}{e} \quad 1\lambda = \frac{bs_1}{e} \quad \lambda = \frac{0,01mm \cdot 0,17m}{2,60m} \quad \lambda = 654 \text{ nm, rot} \quad \sin(a)=0,0654 \quad a = 3,74^\circ$	
<p>d) Wie viele Maxima könnten überhaupt entstehen?</p> $\frac{k\lambda}{b} < 1 \quad k < \frac{b}{\lambda} \quad k < 15,29$ <p style="color: blue;">Es können <math>2 \cdot 15 + 1 = 31</math> Maxima entstehen.</p>	<b>4</b>
<p>2. Die Entdeckung des Wirkungsquantums durch Max PLANCK um die Wende zum 20. Jahrhundert steht am Beginn der Quantenphysik, die zusammen mit der Relativitätstheorie als Grundpfeiler der modernen Physik verstanden wird. Die Quantenphysik wurde entwickelt als Physik der Atomhülle, der Atomkerne und der Elementarteilchen. Sie ist im Wesentlichen also Mikrophysik. Die in diesem Bereich auftretenden Phänomene können nicht mehr im Rahmen der klassischen Physik gedeutet werden.</p> <p>a) Erläutern des Effekts <b>Wellentheorie allein kann Effekt nicht erklären, damit Grundlage für W-T-Dualismus</b></p>	
<p>b) <math>W_A = 2,52eV \quad f = \frac{2,52eV}{h} = 6,0933 \cdot 10^{14} Hz</math></p>	<b>3</b>
<p>3. Das Verhalten von Mikroobjekten, zu denen auch Elektronen gehören, lässt sich allein mit den klassischen Modellen Welle und Teilchen nicht beschreiben.</p> <p>a) Welche Hypothese stellte DE BROGLIE über die Eigenschaften von Mikroobjekten auf? <b>W-T-Dualismus gilt auch hier</b></p>	
<p>b) Elektronen, die mit der Spannung <math>U = 12 \text{ kV}</math> beschleunigt werden, treffen auf einen Spalt der Breite <math>\Delta x = 0,12 \text{ mm}</math>. Berechnen Sie die De Broglie-Wellenlänge der Elektronen. Begründen Sie kurz, warum in diesem Fall keine Beugungserscheinungen zu beobachten sind.</p> $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2eUm}} = \frac{h}{\sqrt{2e \cdot 12000V m_e}} = 1,12 \cdot 10^{-11} m$ <p style="color: blue;">Der Spalt ist viel zu groß. (etwa 10 Mill. mal größer als die Wellenlänge)</p>	<b>3</b>

## 2. Experimentelle Untersuchungen

### 2.1. Interferenz am Gitter, Bestimmung der Wellenlänge

#### Aufgabe:

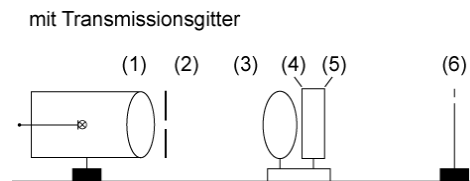
Bestimmen Sie die Wellenlänge von blauem und rotem Licht (Filter einsetzen)

#### Aufbau:

##### Geräte

Stromversorgungsgerät  
Leuchte mit Kondensator  
Spalt  
Sammellinse, Blendrahmen  
1 optisches Gitter  
Blaufilter, Rotfilter  
Schirm  
optische Schiene mit Reitern  
Messstab

##### Experimentieranordnung



#### Hinweis:

Messen Sie in mindestens je 3 Einzelversuchen die notwendigen Größen.  
Entwerfen Sie eine entsprechende Messtabelle und tragen Sie Ihre Messwerte ein. Bestimmen Sie die Mittelwerte der Wellenlängen!

#### Auswertung

Vergleichen Sie Ihre ermittelten Werte mit den TW-Werten.  
Gehen Sie kurz auf die Hauptfehlerquellen ein.

#### Für Experten

Fehlerrechnung:

Für die Wellenlänge gilt die Gleichung:

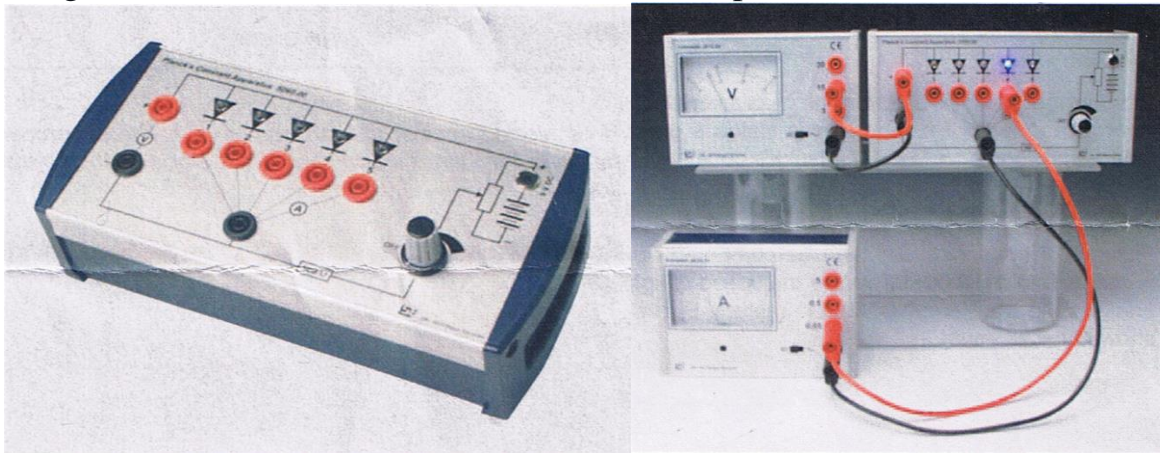
$$\lambda = \frac{b \cdot s_k}{k \cdot e_k}$$

Daraus lässt sich die Gleichung für die Fehlerrechnung ableiten:  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta s_k}{s_k} + \frac{\Delta e_k}{e_k}$

Allgemein gilt  $\Delta x = \Delta x_{\text{systematisch}} + \Delta x_{\text{zufällig}}$

## 2.2. Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum mit Leuchtdioden

Aufgabe: Bestimmen Sie  $h$  mittels des LED-Experiments



Beispiel (Wir verwenden andere Messgeräte)

### Versuchsdurchführung:

In einem Kasten sind 5 Dioden montiert. Zwei rote ( $\lambda=740$  nm), eine orange ( $\lambda=650$  nm), eine blaue ( $\lambda=490$  nm) und eine ultraviolette ( $\lambda=440$  nm).

Nun wird nacheinander an den Dioden die Spannung soweit erhöht, bis die Diode gerade anfängt zu leuchten. Dies ist dann die Schwellenspannung, durch die die Diode Photonen erzeugt.

### Physikalische Erklärung (Umkehrung des Photoeffekts)

Durch den Strom durch die Diode, werden die Atome des Halbleitermaterials angeregt und senden Photonen aus. In einer Leuchtdiode erzeugen also Elektronen, deren maximale Energie durch die angelegte Spannung bestimmt wird ( $E_{\text{Elektron}} = e \cdot U$ ), Strahlung der Frequenz  $f$ . Für die dabei emittierten Photonen gilt:  $E_{\text{photon}} = h \cdot f$

Die kinetische Energie der Elektronen wird also in Strahlungsenergie der Photonen umgewandelt.

**Es gilt  $e \cdot U = h \cdot f$ .**

Somit lässt sich also das Plancksche Wirkungsquantum aus der Schwellenspannung und der Frequenz der Photonen bestimmen.

### **Durchführung:**

1. Bauen Sie das Experiment auf.
2. Beginnen Sie mit einer Spannung von 0V!!
3. Bestimmen Sie die Schwellenspannung (Spannung, bei der die LED zu leuchten beginnt.) für jede LED. Machen Sie jeweils mindestens 5 Messungen.
4. Tragen Sie Ihre Messwerte in die folgende Tabelle ein.
5. Führen Sie für ein Beispiel die Rechnungen ausführlich durch.

Auswertung:

Nr	$\lambda$	f	$U_s$	h=
1	$\lambda=740 \text{ nm}$		1,67	
2	$\lambda=740 \text{ nm}$		1,67	
3	$\lambda=650 \text{ nm}$		1,723	
4	$\lambda=410 \text{ nm}$		2,408	
5	$\lambda=440 \text{ nm}$		2,791	
			<b>Mittelwert:</b>	

Schätzen Sie den prozentualen Fehler Ihres Ergebnisses ab, indem Sie Ihren Wert mit der Angabe im Tafelwerk vergleichen.

### 3. Weiterführende Aufgaben

#### Aufgabe 1

##### Das Frank-Hertz-Experiment

Im Jahre 1914 rührten die beiden Physiker J. FRANCK und G. HERTZ einen Versuch durch, dessen Ergebnis eine Bestätigung des quantenmechanischen Atommodells lieferte. In diesem Versuch wurden Elektronen in einer mit Quecksilberdampf gefüllten Triode (Abb.1, 1.) mittels eines elektrischen Feldes beschleunigt.

Der Anodenstrom  $I_A$  steigt zunächst mit zunehmender Beschleunigungsspannung  $U_B$ , wird minimal, steigt wieder an usw. (s. Abb. 1. 2) Dabei treten die Maxima beim Füllgas Quecksilberdampf jeweils nach einer Spannungserhöhung um 4,86 V auf.

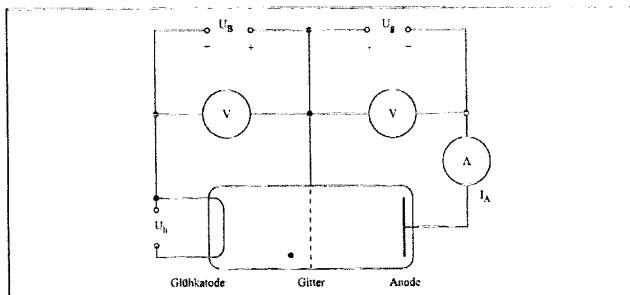


Abb. 1. 1.

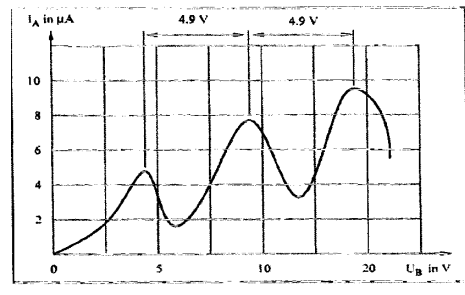


Abb. 1. 2.

- 1.1. Erläutern Sie anhand dieses Experiments, dass ein Atom Energie nur quantenhaft absorbieren kann! Interpretieren Sie dazu das Diagramm (Abb. 1. 2.)! Welche Geschwindigkeit muss ein Elektron besitzen, damit seine kinetische Energie von einem Quecksilberatom absorbiert werden kann?

**Erläuterung**

Berechnung:  $\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2\Delta E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,9 \text{ eV}}{m_e}} = 1,31 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$

- 1.2. Das angeregte Quecksilberatom emittiert den aufgenommenen Energiebetrag in Form eines Lichtquants.

Berechnen Sie die Frequenz des Lichtes! Begründen Sie, dass zur Beobachtung dieser Emission besondere Hilfsmittel erforderlich sind!

$E = h \cdot f \quad f = \frac{E}{h} = 1,185 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \rightarrow \lambda = 253 \text{ nm}$  , Es handelt sich um UV-Licht.

- 1.3. Beim FRANCK-HERTZ-Experiment führt die Elektron-Elektron-Wechselwirkung zu einer Emission von Photonen.

Erläutern Sie anhand eines Beispiels, dass auch Photonen selbst eine Anregung von Atomen mit nachfolgender Emission von Photonen bewirken können!

**LASER-Prinzip, induzierte Emission**

## Aufgabe 2

### Atomphysik

2.1. Nennen Sie die Bohrschen Postulate,

- Atome können in stabilen Zuständen existieren. Elektr. kreisen strahlungsfrei auf diskreten Bahnen.

1P

-  $\Delta E = h \cdot f$

2.2. Für das Wasserstoffatom können nach der Bohrschen Theorie die Radien der n-ten

Bahnen gemäß  $r_n = \frac{\epsilon_0 \cdot h^2}{e^2 \cdot m_e \cdot \pi} \cdot n^2$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$  berechnet werden.

Zeigen Sie, wie sich daraus  $r_n = 5,29 \cdot 10^{-11} m \cdot n^2$  ergibt.

Einsetzen, ausrechnen

2.3. Dem Elektron ist auf den Bohrschen Bahnen des Wasserstoffatoms die Energie  $E_n =$

$-13,6 eV \cdot \frac{1}{n^2}$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$  zugeordnet.

Erläutern Sie kurz einen experimentellen Beleg für die Existenz diskreter Energiezustände in der Atomhülle,

. z.B. Franck-Hertz-Versuch

2.4. Aus der diskreten Energie der Elektronen kann auf eine bestimmte

Bahngeschwindigkeit geschlossen werden. Darüber hinaus lassen sich aus Bahnradien Ortsangaben für das Elektron ableiten.

Begründen Sie, dass eine gleichzeitige, beliebig genaue Angabe von Ort und Geschwindigkeit für ein Elektron im Widerspruch zu heutigen Auffassungen über die Eigenschaften von Mikroobjekten steht.

Für Quanten sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich. Es gilt die Heisenbergsche Unschärferelation

2.5. Beschreiben Sie kurz eine moderne Vorstellung über die Struktur der Atomhülle.

Wellenmechanisches Atommodell, Orbitalmodell

2.6. Bereits 1935 wurde von YUKAWA ein Teilchen vorausgesagt, das in allen seinen

Eigenschaften dem Elektron gleicht, nur sollte seine Ruhemasse wesentlich größer sein. Diese Myonen konnten später in der Natur nachgewiesen und auch in

Beschleunigern künstlich erzeugt werden. Für deren Masse gilt  $m_\mu = 207 m_e$ .

Beim Eindringen in Materie werden sie schnell abgebremst und können, wenn sie hinreichend energiearm sind, z. B. von Protonen eingefangen werden. Ein Proton und ein Myon bilden dann ein Zweiteilchensystem, ein so genanntes Myon-Wasserstoff-Atom, auf das die Bohrsche Theorie angewendet werden kann.

2.6.1. Zeigen Sie, dass sich im Grundzustand die Volumina eines Myon-Wasserstoff-Atoms und eines Wasserstoff-Atoms etwa wie  $1 : 10^7$  verhalten.

$$r_W : r_M = \frac{\epsilon_0 \cdot h^2}{e^2 \cdot m_e \cdot \pi} \cdot n^2 : \frac{\epsilon_0 \cdot h^2}{e^2 \cdot 207 m_e \cdot \pi} \cdot n^2 = 207$$
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{4}{3} \pi r_m^3 : \frac{4}{3} \pi r_W^3 = 1 : 207^3 = 1 : 8869743 \approx 1 : 10^7$$

2.6.2. Für die Energieniveaus des Myon-Wasserstoff-Atoms gilt

$E_n = -2,81 keV \cdot \frac{1}{n^2}$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$

Geben Sie die Ionisationsenergie eines solchen Atoms an.

Unterschied zwischen den Energiestufen  $n=1$  und  $n=\infty$  beträgt  
 $2,81 keV =$  Ionisationsenergie.

### Aufgabe 3

Im nebenstehenden Experiment (Abbildung 3.4.1) wird eine Fozozelle mit dem spektral zerlegten Licht einer Quecksilberdampflampe beleuchtet. Das Katodenmaterial ist Barium ( $W_A = 2,52 \text{ eV}$ ). Das Auslösen von Elektronen wird durch das Messen eines Fotostromes nachgewiesen. Die Fozozelle wird zunächst mit ultraviolettem Licht bestrahlt.

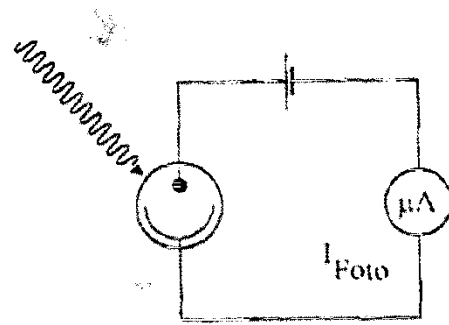


Abbildung 3.4.1

- 3.1. Beschreiben Sie die am Strommesser zu erwartende Beobachtung und erklären Sie diese mit der Photonenhypothese.
- 3.2. Erläutern Sie, welchen Einfluss der Abstand von Lichtquelle und Fozozelle auf die Anzahl der Fozoelektronen und auf deren kinetische Energie hat.
- 3.3. Die Fozozelle wird nacheinander mit dem einfarbigen Licht jeder Wellenlänge aus dem Spektrum der Quecksilberdampflampe bestrahlt. Die sichtbaren Linien im Spektrum der Quecksilberdampflampe sind mit den entsprechenden Farben in nachstehender Tabelle aufgeführt.

Wellenlänge $\lambda$ in nm	578,0	546,0	435,0	404,6
Farbe	gelb	grün	blau	violett

Bei welchen Lichtfarben wird ein Fotostrom registriert? Begründen Sie Ihre Entscheidung.

### Lösungen

3.1.1. Energie der UV:  $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda = 3,17 \text{ eV}$ , damit wird die  $W_A$  übertroffen. Die herausgelösten Elektronen verfügen über Energie, der Strommesser zeigt einen Stromfluss an.

3.1.2. Durch den Abstand verändert sich nur die Intensität, also die Anzahl der Fotonen, nicht ihre Energie. Also nimmt die Anzahl der Fozoelektronen zu, nicht aber deren kinetische Energie.

$$3.2. f_g = \frac{W_A}{h} = 6,093310^{14} \text{ Hz} \rightarrow \lambda_G = 492 \text{ nm}$$

Alle Lichtfarben  $\lambda < 492 \text{ nm}$

*lösen Fozoelektronen aus, da eine Restenergie verbleibt, wird auch eine Strom registriert.*

### Aufgabe 4

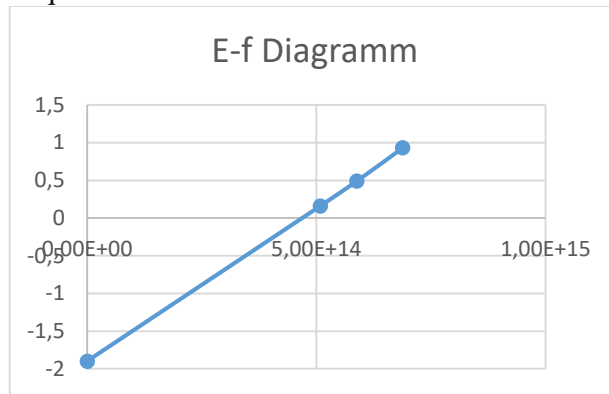
4. Die Deutung des äußeren lichtelektrischen Effekts durch Einstein führte zu neuen Vorstellungen vom Licht. Erläutern Sie diese Vorstellungen und vergleichen Sie diese mit anderen Vorstellungen vom Licht!

4.1. Die kinetische Energie von Fozoelektronen soll experimentell bestimmt werden. Skizzieren Sie eine Experimentieranordnung, und beschreiben Sie das experimentelle Vorgehen!

4.2. Bei einem Experiment wurden folgende Messwerte ermittelt:

$\lambda$ in nm	436	510	590
$U_0$ in V	0,93	0,49	0,16

Stellen Sie die kinetische Energie der Photoelektronen in Abhängigkeit von der Frequenz des Lichtes graphisch dar! Bestimmen Sie die Austrittsarbeit und die Grenzfrequenz für das verwendete Kathodenmaterial!



$W_A = 1,9 \text{ eV}$        $f_G = 4,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$