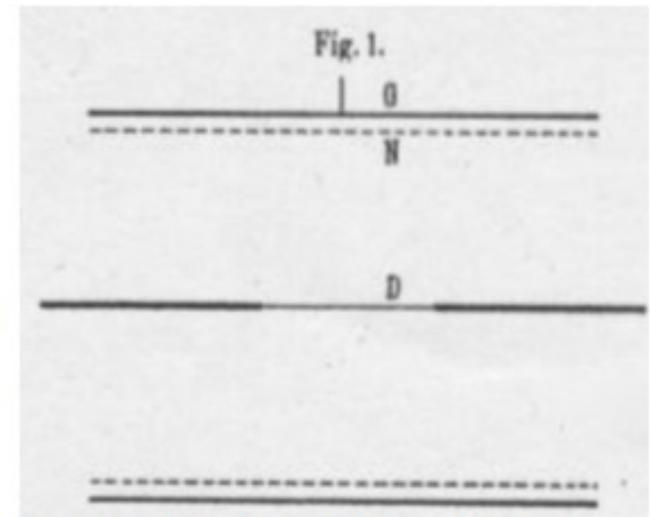


1. Franck-Hertz-Versuch

Im Jahr 1913 führten J. Franck und G. Hertz Elektronenstoßversuche durch. Ihrer Veröffentlichung fügten sie die nebenstehende Skizze bei; dazu heißt es im Text:

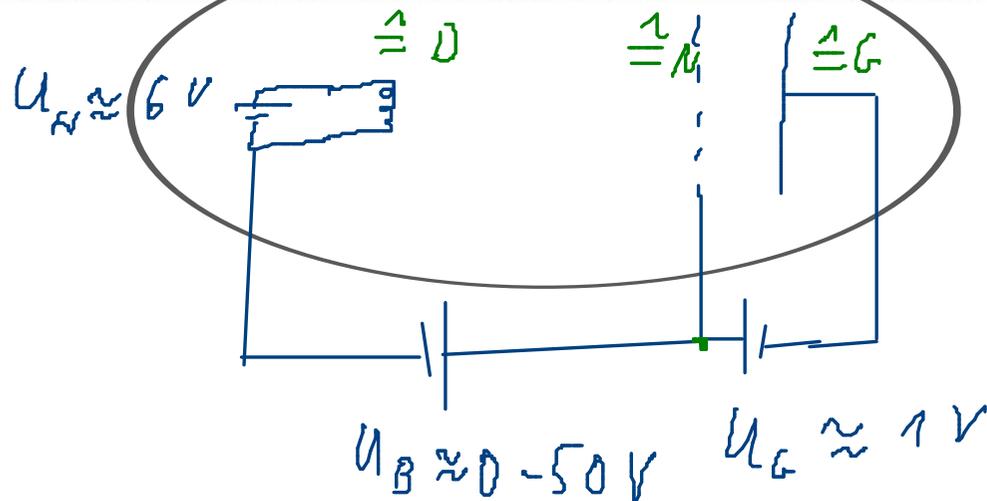
„[...] D ist ein Platindraht, dessen mittleres Stück dünner ist und durch elektrischen Strom zum Glühen gebracht werden kann. N ist ein feines Platindrahtnetz, welches den Draht D im Abstand von vier Zentimetern zylindrisch umgibt, und G eine zylindrische Platinfoolie, welche von N einen Abstand von 1 bis 2 mm hatte. [...] Die meisten Ansätze laufen darauf hinaus, daß die Frequenz einer bestimmten Eigenschwingung eines Elektrons multipliziert mit der Konstanten h gleich der zur Ionisation benötigten Energie gesetzt wird. [...]“



1.1. Skizzieren Sie die Schaltung des Franck-Hertz-Versuchs, wie er heute im Unterricht z. B. mit Quecksilberdampf durchgeführt wird.

Beschriften Sie alle wesentlichen Teile und zeichnen Sie auch die benötigten Messgeräte und die erwarteten Größenordnungen der physikalischen Messgrößen ein.

Welchen Teilen Ihrer Schaltskizze entsprechen die Teile D, N und G der Originalveröffentlichung?



1.2. Im Versuch strahlen angeregte Quecksilberatome Licht einer Wellenlänge von $2,53 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ aus.

a) Berechne die Beschleunigungsspannung, die die Elektronen dafür mindestens durchlaufen müssen. (Eine bloße Angabe von U_B reicht nicht aus!)

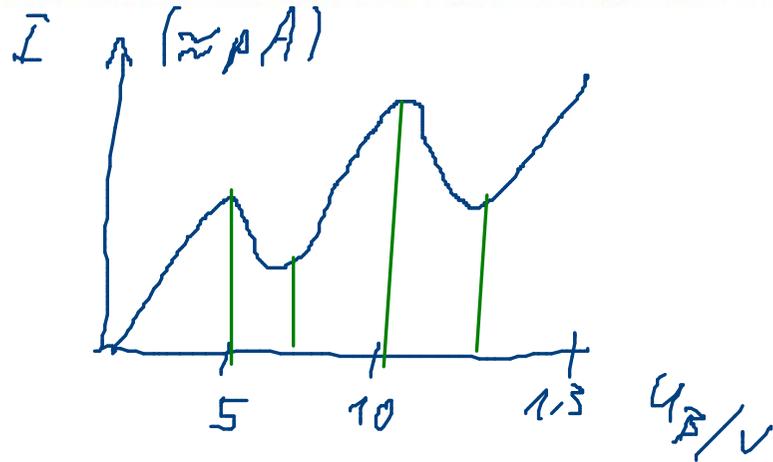
b) Wie lässt sich Licht aus diesem Wellenlängenbereich qualitativ nachweisen?

1.3. Zeichnen Sie in einem Spannung-Strom-Diagramm eine für den Versuch charakteristische Messkurve. Die Beschleunigungsspannung beträgt dabei maximal 13 V. Erläutern Sie das Zustandekommen der einzelnen Bereiche der Messkurve, indem Sie präzise die physikalischen Vorgänge im Hg-Dampf schildern, und erklären Sie, warum die Stromstärke bei steigender Spannung nicht mehr auf Null zurückgeht.

a)
$$e U_B = h \cdot f = h \frac{c}{\lambda} \Rightarrow U_B = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} = 4,9 \text{ V}$$
$$\left(\approx \frac{6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5/2 \cdot 10^{-7} \cdot 3/2 \cdot 10^{-19}} \text{ V} \right)$$

b) Smartphonekamera (CCD-Chips) $\left(\approx \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-26}}{15 \cdot 10^{-26}} \text{ V} \approx 3 \text{ V} \right)$

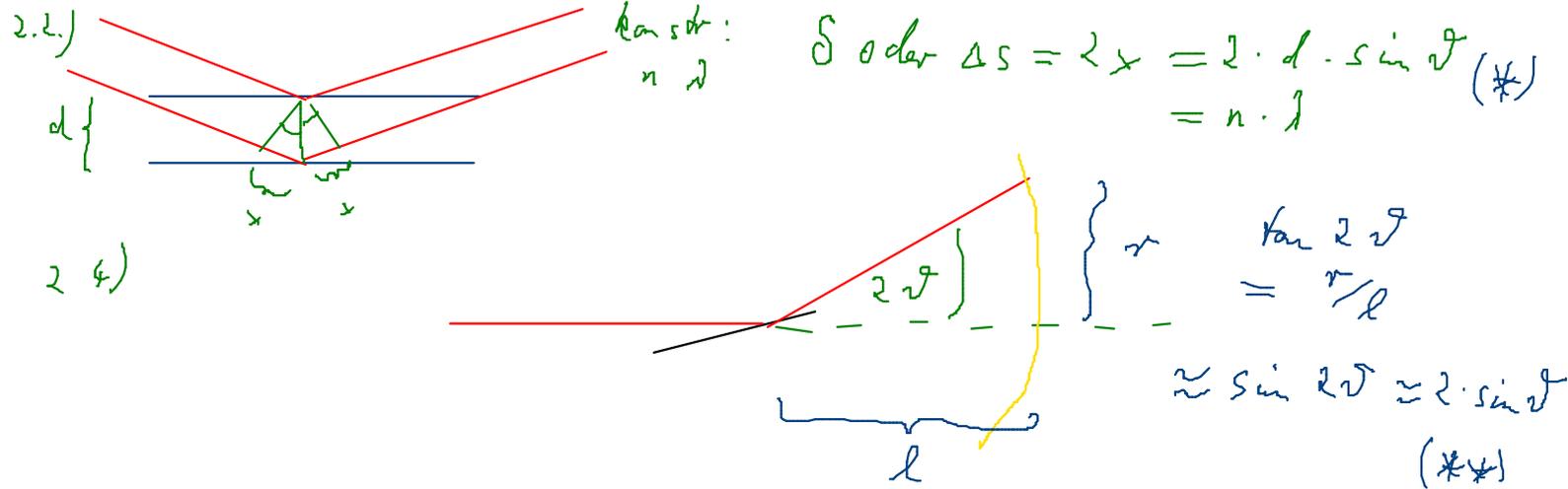
- 1.3. Zeichnen Sie in einem Spannung-Strom-Diagramm eine für den Versuch charakteristische Messkurve. Die Beschleunigungsspannung beträgt dabei maximal 13 V. Erläutern Sie das Zustandekommen der einzelnen Bereiche der Messkurve, indem Sie präzise die physikalischen Vorgänge im Hg-Dampf schildern, und erklären Sie, warum die Stromstärke bei steigender Spannung nicht mehr auf Null zurückgeht.



s. Leitf.

2. Elektronenbeugungsröhre

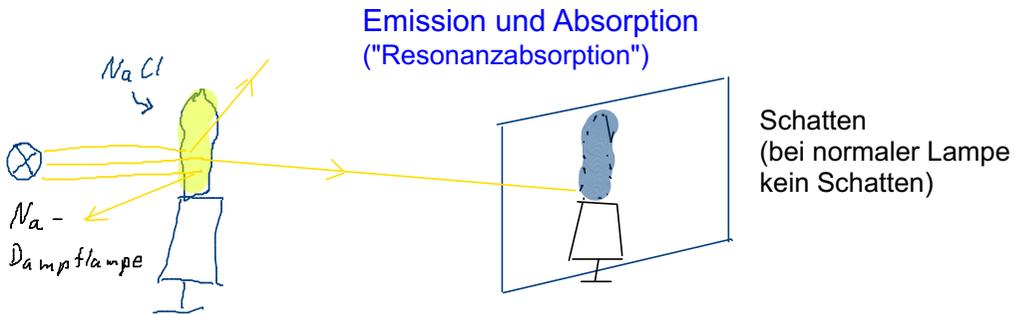
- 2.1. Beschreiben Sie mit Hilfe einer Skizze den Aufbau der im Unterricht verwendeten Elektronenbeugungsröhre.
- 2.2. Erläutern Sie mit Hilfe einer instruktiven Skizze, wie es zur Ausbildung von Ringen am Beobachtungsschirm kommt. Erklären Sie auch, wie diese Beobachtung mit der Wellenvorstellung gedeutet werden kann. (Tipp: Ihre Skizze sollte den Graphitkristall enthalten.)
- 2.3. Geben Sie an, wie sich demonstrieren lässt, dass die beobachtete Erscheinung nicht auf elektromagnetische Wellen zurückgeht. (Bitte mit physikalischer Begründung!)
- 2.4. Leiten Sie anhand einer physikalisch präzisen Skizze den Zusammenhang zwischen der de-Broglie-Wellenlänge, dem Netzebenenabstand d in einem Graphitkristall und der Größen r (Ringradius) und l (Abstand des Graphitkristalls von der Beobachtungsebene) her. Kleinwinkelnäherung ist erlaubt.
- 2.5. Berechnen Sie klassisch (also nicht-relativistisch), wie groß die Beschleunigungsspannung war, wenn bei einem Graphitkristall mit Netzebenenabstand $d = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ in erster Ordnung ein Ringradius von $r = 9,0 \text{ mm}$ auftrat. Der Abstand des Kristalls von der Beobachtungsebene war $l = 18 \text{ cm}$.



2.5. $eU_B = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2 \cdot m}$ (*) + (**). ($n=1$) $\frac{\lambda}{2d} = \frac{r}{2l}$

de Broglie: $p = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow U_B = \frac{h^2}{\lambda^2 \cdot 2m \cdot e}$
 $= 13 \text{ kV}$

$\Rightarrow \lambda = \frac{r \cdot d}{l}$
 $\approx \frac{1}{20} \cdot 2 \cdot 10^{-10} \text{ m} \approx 1 \cdot 10^{-11} \text{ m}$



Erklärung für die gelb gefärbte Flamme:

Es entsteht Natriumdampf. Durch inelastische Stöße (Wärmeenergie in der Flamme => kinetische Energie der Teilchen) werden Die Na-Atome angeregt, d.h. deren Elektronen werden auf höhere Energiestufen gehoben. Nahezu sofort geben die Elektronen diese Energie in Form von Photonen wieder ab: Emission (durch Abregung)

Erklärung für die Schattenbildung im Licht der Na-Dampflampe:

Die Photonen der Na-L. haben exakt die richtige Energie, um die Na-Atome im Dampf, die sich im Grundzustand befinden, anzuregen. Diese emittieren nach kurzer Zeit wieder Photonen der gleichen Energie, aber in alle Richtungen gleichverteilt, d.h. in der ursprünglichen Richtung Lampe->Wand kommt kaum noch etwas an.

Wie viele Photonen stehen für eine Anregung zur Verfügung?

Geschätzte Anzahl der Photonen der Na-Dampflampe:

$$\text{Bsp.: } 1 \text{ W Na-Lichtleistung} = P = \frac{E}{t} = \frac{N \cdot h \cdot f}{t} = \frac{N \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda}}{t}$$

$$\Rightarrow N = \frac{1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} \cdot 589 \text{ nm}}{h \cdot c} = \underline{\underline{3 \cdot 10^{18}}}$$

$$[E] = 1 \text{ J} \quad \text{alternativ } [E] = 1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} \\ = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Zusammenfassung "Wellen - Teilchen - Energieaustausch":

Photoeffekt: Licht kann Elektronen aus einem Material auslösen, abhängig von der Wellenlänge, unabhängig von der Lichtintensität/-leistung => Licht besteht aus Teilchen, Photonen, deren Energie $h \cdot f$ entscheidend ist.

Elektronenbeugungsröhre: Elektronen verhalten sich in manchen Situationen wie Wellen mit dem Impuls $p = \frac{h}{\lambda}$ und der kinetischen Energie $E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$

Franck-Hertz: Atome können nur bestimmte ("diskrete") Energien durch beschleunigte Elektronen aufnehmen, und geben diese in Form von Photonen wieder ab: Quantensprünge

Na-Flamme/Dampfampe: Atome absorbieren nur bestimmte Photonen, deren Energie exakt der emittierten Photonen entspricht.

Exkurs Relativitätstheorie

$$E = h \cdot f = mc^2 \quad \Rightarrow \quad m = \frac{hf}{c^2} = \frac{h}{\lambda c} = \frac{h}{\lambda \cdot c}$$

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{spez. RT}$$