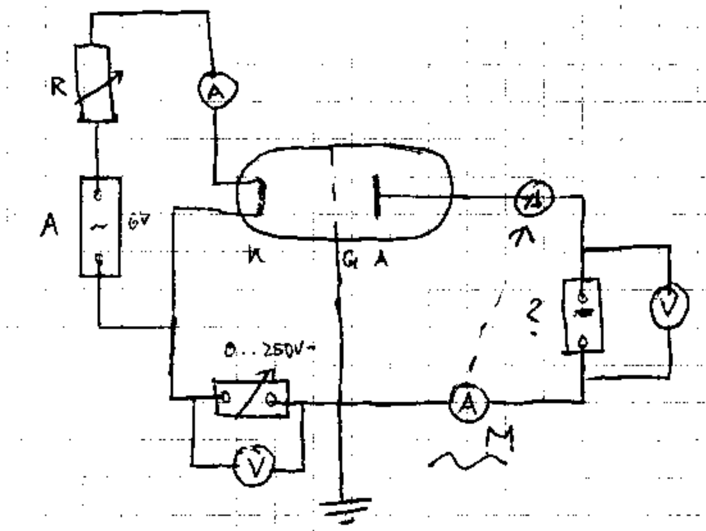
13.01.2003

Physikklausur 13/I Z

Aufgabe 1

A.

Aufbau:



Lineal!

Polung?

(✓)

Durchführung:

Zuallererst wird die Spannungsquelle A des Heizkreises aktiviert. Das Ergebnis wird kurz beobachtet. Anschließend wird die zwischen Gitter und Kathode K anliegende Spannung langsam und gleichmäßig von 0V bis auf etwa 90V hochgeregelt. Die Messergebnisse des ~~Stro~~ Amperemeters M werden dabei kontinuierlich beobachtet und in einer Messwertabelle protokolliert.
Nachfolgend wird die Spannung wieder langsam von 90V auf 0V herunter-geregelt und dabei weiter beobachtet.

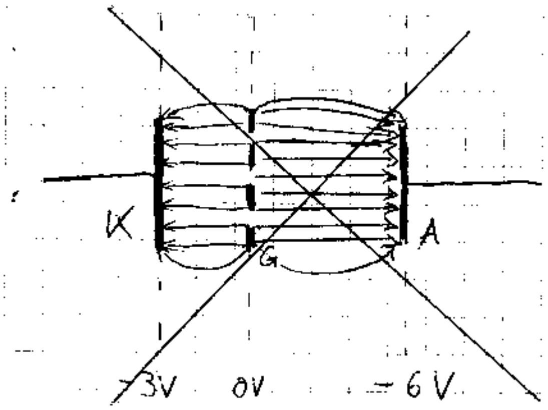
✓

B

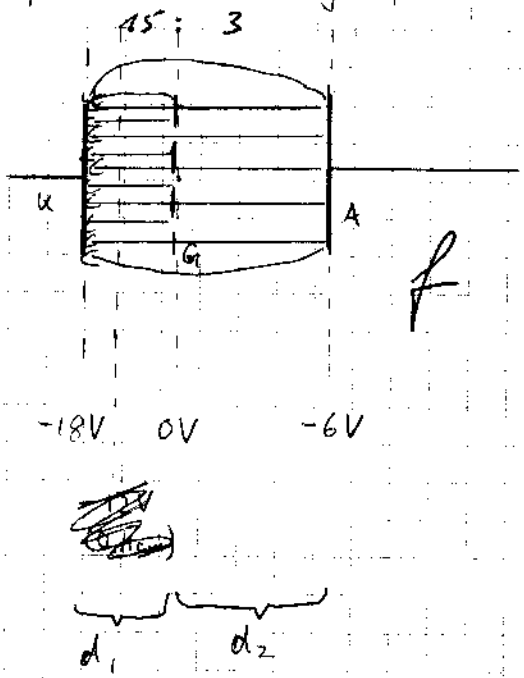
a) Fall 1: $U_{KG} = 3V$ $U_{GA} = 6V$

Fall 2: $U_{KG} = 18V$ $U_{GA} = 6V$

Graphische Darstellung Fall 1:



Graphische Darstellung Fall 2:



Es gilt, mehrere Felder und mehrere Feldstärken zu untersuchen. Für alle Untersuchungen betrachte ich die Röhre als Plattenkondensator, für die Feldstärke gilt dann:

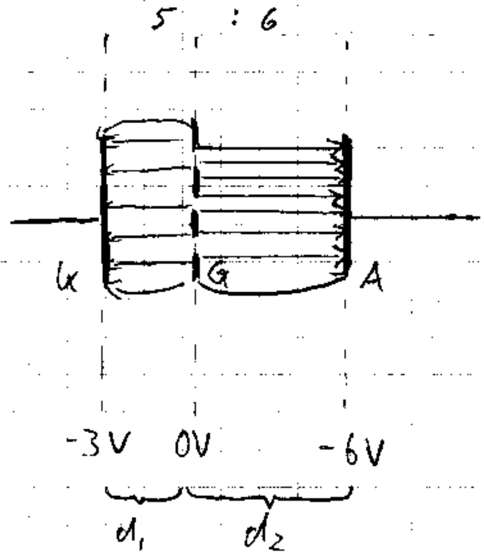
$$E = \frac{U}{d}$$

Fall 1:

Hier gibt es drei Felder, die zusammenwirken.

G → K	$E = 250\ Vm^{-1}$	✓
G → A	$E = 300\ Vm^{-1}$	✓
(K → A	$E = 93{,}75\ Vm^{-1}$)	

Das Feld K → A entsteht dabei durch die Potentialdifferenz zwischen Kathode (-3V) und Anode (-6V), ist aber zu schwach um den Elektronenfluß zu beeinflussen. Die Feldlinien gehen also weg vom Gitter zur Kathode und Anode. f



~~Fall 2~~:

Wir erkennen aber, dass das Feld G → A mit einer Potentialdifferenz von -6V die Elektronen am stärksten beschleunigt bzw. abbremst. Von A ausgehende Elektronen erreichen durch ihre Beschleunigung also K, von K ausgehende Elektronen verfangen sich jedoch am Gitter.

wie werden die da freigesetzt?

Bezug zur Vorgabe!

Fall 2:

Wieder haben wir 3 Felder:

$G \rightarrow K \qquad E = 1500\ Vm^{-1}$ ✓
$G \rightarrow A \qquad E = 300\ Vm^{-1}$ ✓
s.o. $(A \rightarrow K \qquad E = 375\ Vm^{-1})$

also kein Abbrennen nur weniger Beschleunigung?? s.u.

Wir sehen hier, dass das Feld $A \rightarrow K$ stärker als das Gegenfeld $G \rightarrow A$ ist, die Feldlinien verlaufen also nur von A nach K.

(Graphik siehe vorherige Seite links)

s.o. Bezug!

Für positive Teilchen bedeutet dies, dass sie in jedem Fall an K landen, negative Teilchen (Elektronen) werden dementsprechend immer nach A gezogen.

Formelmäßige Zusammenhänge

s: Abstand e von K

Fall 1:

ohne Kommentare zu den Ausdrücken missverständlich

$s \leq d_1$

$W = F \cdot s$

$F = -e \cdot E$

$\Rightarrow W = \frac{-e \cdot U_1 \cdot s}{d_1}$

$\Rightarrow W_{kin} = -e \cdot U_1 \cdot \frac{s}{d_1}$

$d_1 \leq s \leq d_2 + d_1$:

$W_{kin} = -e \cdot U_1 + e \cdot U_2 \cdot \frac{s - d_1}{d_2}$

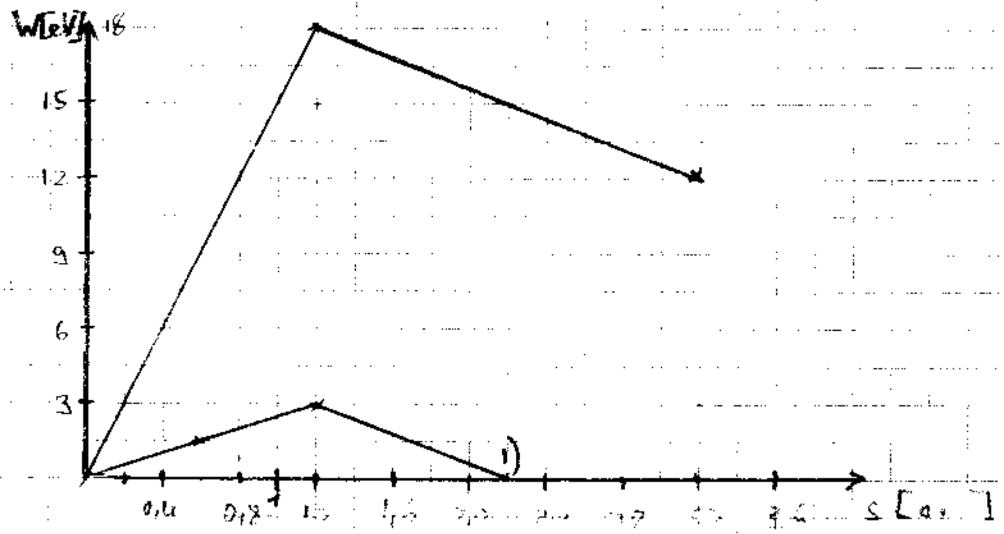
Fall 2: analog. Zusammenfassend und in Zahlen ergibt sich:

	Fall 1	Fall 2
$s \leq d_1$	$W_{Kin} = \frac{s}{d_1} \cdot 3\,eV$;	$W_{Kin} = \frac{s}{d_1} \cdot 18\,eV$
$d_1 \leq s \leq d_1 + d_2$	$W_{Kin} = 3eV - 6eV \cdot \frac{s-d_1}{d_2}$;	$W_{Kin} = 18eV - 6eV \cdot \frac{s-d_1}{d_2}$

2,2 cm!

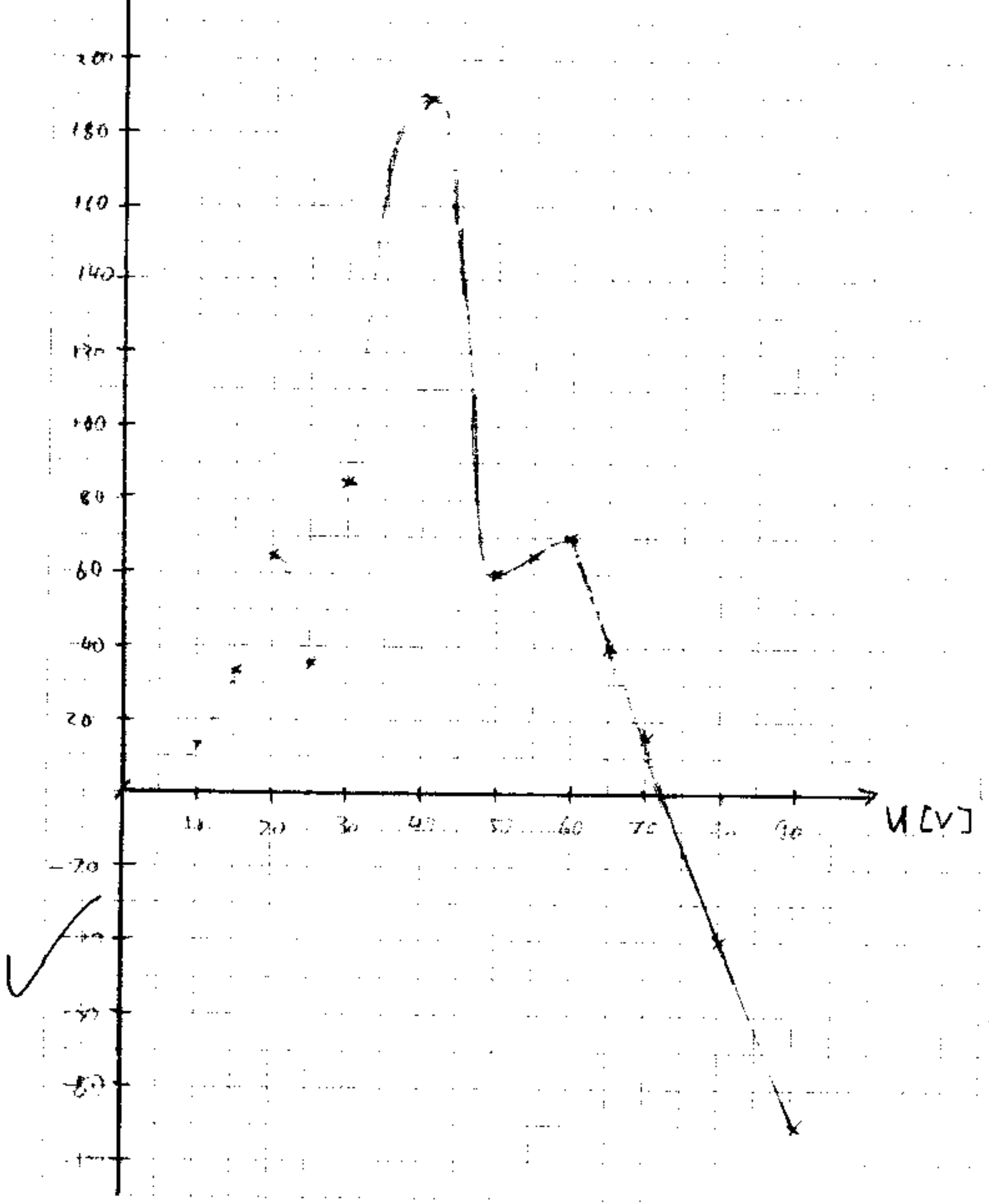
Wir erkennen hier auch, dass W_{Kin} in Fall 1 für $s > d_1 + \frac{1}{2} d_2$ negativ wird – das Elektron kehrt um und erreicht sein Ziel A ($s = d_1 + d_2$) somit nicht.

negative kinet. Energie! 2
(Definitionsbereich einschränken)



Widerspruch zu obiger Aussage! Elektronen werden abgebremst

C a)



Im Bereich $0V \leq U_{KG} \leq 60V$ findet sich ein Graph, der vom Aufbau dem im Franck-Hertz-Versuch ähnelt. Eigentlich sollte man erwarten, dass mit Erhöhen der Spannung zwischen K und G die ~~A~~ aus dem Glühdraht herausgedampften Elektronen stärker beschleunigt werden und eine höhere kinetische Energie erhalten. So müsste es immer mehr Elektronen immer schneller gelingen, die abbremsende Gegenspannung zwischen G und A zu überwinden und auf die Anode aufzutreffen. Diese dort auftreffenden Elektronen sollen einen Stromfluß durch die Verbindung zwischen G und A hervorrufen (da sie von der dortigen Stromquelle „abgesaugt" werden), der mit zunehmender Zahl an Elektronen stetig ~~steigen~~ ansteigen sollte, bis alle herausgedampften Elektronen dieses Schicksal ereilt und damit eine Sättigung eintritt.

Doch statt dessen lassen sich periodische „Hügel" beobachten, nach denen der Stromfluß erst nicht weiter ansteigt sondern abfällt. Dies lässt sich durch die Inkaktion zwischen Elektronen und Heliumatomen erklären: Bei Überschreiten dieser Hügel reichte die angelegte Spannung gerade aus, die Elektronen mit soviel kinetischer Energie zu versorgen, dass sie kurz vor dem Gitter genug Energie haben, ein Heliumatom anzuregen und damit ihre Energie an das Helium zu verlieren. Da sie ihre Energie so abgegeben haben, reicht die Restenergie nicht mehr aus, das Gegenfeld zwischen G und A zu überbrücken, der Stromfluß nimmt ab. Dies tritt periodisch bei weiterem Erhöhen der Spannung auf, da die Elektronen bald genug Energie haben, zwei Heliumatome anzuregen, etc...

Im Bereich $U_{KA} > 60V$ kommt ein ganz anderes Phänomen zu tragen: ~~Das Feld zwischen K und A wird durch die große Potentialdifferenz zwischen K und G mit gleichbleibender Differenz zwischen G und A so stark, dass es gegen das Gegenfeld zwischen G und A Elektronen von A weg ab~~

?

FORTSETZUNG SIEHE ENDE

Aufgabe 2

a) Unter dem Fotoeffekt versteht man die Beobachtung, dass aus von Licht bestrahlten Metallen u.ä. Elektronen herausgelöst werden können. (Äußerer Fotoeffekt)
Untersuchungen zeigen dabei, dass eine bestimmte minimale Frequenz für die eintreffenden elektromagnetischen Wellen (≙ Licht) erreicht werden muss, bevor sich der Fotoeffekt beobachten lässt. Die Anzahl der herausgelösten Elektronen ist dabei proportional zur Bestrahlungsstärke des Lichts, die Energie und damit Geschwindigkeit der herausgelösten Elektronen ist von dieser jedoch unabhängig. Die Energie hängt ausschließlich und linear von der Frequenz des Lichtes ab und nimmt zu, wenn sich die Frequenz des Lichts erhöht.
Letzteres ~~ist~~ steht - genau wie der zu erreichende Frequenz-Schnellwert - im Widerspruch zur Wellentheorie des Lichts. Wie unsere mathematischen Betrachtungen im Unterricht zeigten, müsste die Energie der ausgelösten Elektronen sogar im Quadrat zur Lichtfrequenz abnehmen. Praktisch lässt sich dies mutmaßen, da eine höhere Frequenz bedeuten würde, dass das Elektron von der Welle nur kürzer erfasst und „geschüttelt" wird.
Das gilt auch für die Energiebetrachtungen: Nach dem Wellenmodell hängt die Energie, die das Licht abgeben kann, von der auftreffenden Bestrahlungsstärke, also der Lichtintensität, ab. Die Beobachtungen zeigen aber gerade, dass ausschließlich die Frequenz der Welle für die Energie der Elektronen bestimmend ist und zwar nach dem Zusammenhang

$$W_E = \cancel{f}\, h \cdot f - W_a$$

W_a wird dabei als Ablösearbeit bezeichnet, die für das Herausstoßen der Elektronen benötigt wird. h ist eine ~~neue~~ neue Naturkonstante („Plancksches Wirkungsquantum"), die, experimentell bestimmt, den Zusammenhang zwischen Frequenz und Energieteilung herstellt. Mit dieser wichtigen Konstante lässt sich nach

$$W = h \cdot f$$

also die Energie berechnen, die ein Licht als „Lichtquanten" trägt. ~~Sie kann~~ Die erstaunlichen Beobachtungen werden durch sog. Photonen („Licht-Energiepakete") erklärt, die die von der Lichtwelle mitgeführte Energie nur in vollständigen, h·f großen Energieportionen an die Elektronen abgeben.

b) Die schnellsten Elektronen haben den Messergebnissen zufolge gerade die Energien

$$W_1 = 0{,}21\,eV \qquad W_2 = 3\,eV$$

Für den linearen Zusammenhang $W = h \cdot f - W_a$ gibt h die Steigung an, es gilt also:

$$h = \frac{\Delta W}{\Delta f}$$

$$= \frac{W_2 - W_1}{f_2 - f_1}, \quad f_2 = \frac{c}{\lambda_2}, \quad f_1 = \frac{c}{\lambda_1}$$

$$\approx 4{,}16 \cdot 10^{-15}\ eVs$$

$\Rightarrow \quad h \approx 6{,}659 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}$

Damit gilt für W_A

$$W = h \cdot f - W_a$$

1) $W_a = h \cdot f_1 - W_1$

$\approx 1{,}905\ \mathrm{eV}$

2) $W_a = h \cdot f_2 - W_2$

$\approx 1{,}905\ \mathrm{eV}$

$\Rightarrow \quad \underline{W_A \approx 1{,}91\ \mathrm{eV}}$

c) Für das exakte W_a gilt damit:

$$W_a = \frac{h \cdot c}{\lambda_G}$$

$$\approx 1{,}94\ \mathrm{eV}$$

Die Energie der schnellsten Elektronen beträgt damit:

$$W = h \cdot f - W_a$$
$$= h \cdot \frac{c}{\lambda} - W_a$$
$$\approx 0{,}815\ \mathrm{eV}$$

Da gilt $W = e \cdot U$ folgt:

$$U \approx 0{,}815\ \mathrm{V}$$

$\Rightarrow$ Es ist eine Gegenspannung von mindestens 0,815 V nötig.

Die maximale Geschwindigkeit der Elektronen lässt sich berechnen, da alle Energie in kinetische Energie umgesetzt wird.

$$W_a = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$\Rightarrow \quad v = \sqrt{2 W_G \cdot \frac{1}{m_e}}$$

$$\approx 535 \text{ km s}^{-1}$$

d) $P = 10 \text{ mW}$

$$8\% \cdot P = 0{,}8 \text{ mW}$$

~~$P = U \cdot I$~~

~~Für W gilt dabei aufgrund der Energie der einzelnen Elektronen:~~

~~$$W = h \cdot f - W_a$$~~

~~$$\approx$$~~

Da es sich um die Grenzwellenlänge handelt wird die Leistung von 0,8 mW komplett dazu ~~verwendet~~ aufgewendet, die Ablösearbeit W_a zu erbringen. Mit dieser Leistung lassen sich damit n Elektronen ~~lösen~~ pro Sekunde lösen:

$$\frac{n \cdot W_a}{t} = 0{,}8 \text{ mW} = 0{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ J s}^{-1}$$

$$\Rightarrow \frac{n}{t} \approx 2{,}57 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

Die Stromstärke ist definiert als Ladung pro Zeit also gerade:

$$I = e \cdot \frac{n}{t}$$

$$\approx 0{,}41 \, mC\,s^{-1}$$

$$\approx 0{,}41 \, mA$$

Aufgabe 3

A

$\lambda = 589\,nm$ $a = 255\,cm$

$g = 0{,}3\,mm$

a) Für die Maxima gilt, näherungsweise da der Spaltabstand g im Vergleich zum Abstand des Schirms sehr klein ist:

$$d_k = \frac{k \cdot \lambda \cdot a}{g}$$

$d_0 = 0\,m$ (Schirmmitte)

$d_1 \approx 0{,}5\,cm$

$d_2 \approx 1{,}0\,cm$

$d_3 \approx 1{,}5\,cm$

$d_4 \approx 2{,}0\,cm$

$d_5 \approx 2{,}5\,cm$

Diese Abstände gelten je von der Mitte aus sowohl nach links als auch nach rechts.

b) $m = 0{,}075\,mm$

Für die je einzelnen Spalte ergeben sich die Minima anhand der Formel zur Beugung am Einzelspalt, nach der sich Minima für die

Betrachtungswinkel α finden für die gilt:

$$\sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{w} \qquad k = 1, 2, 3, \ldots$$

Für die Abstände d von der Schirmmitte gilt:

$$\tan \alpha = \frac{d}{a}$$

✓ $\Rightarrow \quad d_1 \approx 2\,cm$

✓ $\quad d_2 \approx 4\,cm$

Auch diese Abstände gelten sowohl nach links als auch nach rechts. Da diese Interferenzen des Einzelspalts auch beim Doppelspalt zu berücksichtigen sind, lässt sich feststellen, dass das Maximum d_4 des
✓ Doppelspalts überhaupt nicht zu sehen sein wird – dort liegt nämlich gerade das Minima 1. Ordnung der Einzelspalte. Um das Hauptmaximum in der
3 Schirmmitte finden sich auf beiden Seiten je zwei Maxima des Doppelspalts bis zum Minima 1. Ordg des
1 Einzelspalts. Insgesamt finden sich also fünf Maxima zwischen den Minima 1. Ordnung.
Dieses Ergebnis ist unabhängig von der Wellenlänge des verwendeten Lichts, denn es muss gelten:

$$\cancel{\text{[illegible]}} \quad \frac{k_1 \cdot \lambda \cdot a}{g} < a \cdot \tan \alpha$$

~~[illegible] dem von uns betrachteten Bere~~

Als Näherung ~~der Be~~ aufgrund des großen Abstands des Schirms bei kleinem Spalt gilt etwa:

$$\sin\alpha \approx \tan\alpha$$

$$\frac{k_i \lambda}{m} \approx \tan\alpha$$

$$\Rightarrow \quad \frac{k_1 \cdot \lambda \cdot a}{g} < \frac{a \cdot k_2 \cdot \lambda}{m} \qquad K_2 = 1$$

~~Hier~~

$$\Rightarrow \quad \frac{k_1}{g} < \frac{k_2}{m} \qquad K_1 < \frac{g}{m}$$

$$K_1 < 4$$

Die Wellenlänge fällt aus der Rechnung für beide Seiten also heraus.

c) Wir können analysieren, ~~inwieweit~~ wieviele Wellen~~längen~~züge in die Glimmerplatte bzw. in den gleich breiten Streifen Luft passen, um die Verschiebungen gegeneinander zu analysieren. Für die Wellenlänge im Glimmer gilt:

$$\lambda_G = \frac{\lambda}{n}$$

Die Anzahl der Wellenzüge ist damit gegeben durch:

$$\frac{8{,}25 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{mm}}{\lambda_G}$$

$$\approx 21\frac{6}{589}$$

Für die Luft gilt entsprechend:

$$\frac{8{,}25 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{mm}}{\lambda} = 14\frac{4}{589}$$

Da ganze Wellenlängen keine Verschiebung verursachen kann eine Verschiebung nur durch die Wellenbruchteile hervorgerufen werden, deren Differenz beträgt:

$$\frac{6}{589} - \frac{4}{589} = \frac{2}{589}$$

Die Welle in der Luft „hinkt" damit minimal „hinterher", allerdings kann bei einer Differenz von $\frac{2}{589}$ der Wellenlänge wohl davon ausgegangen werden, dass die Wellen praktisch in Phase verbleiben, es ändert sich also nichts am Interferenzmuster.

B

Durch Ermittlung der Wellenlänge beider Lichtstrahlen lässt sich die Brechungszahl ermitteln.

$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$ ✓

Es gilt für die Hauptmaxima 1. Ordnung am Gitter:

Anmerkung zur Größe des Winkels α

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{g} \; ; \checkmark$$

$$\tan\alpha = \frac{d}{a} \; ; \checkmark \; a = 0{,}8\,m$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda_1}{g} = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{d_1}{a}\right)\right) \; ; \; \underline{2d_1} = 0{,}533\,m$$! s. Text!

$$\approx 0{,}55 \; .$$

$$\frac{\lambda_2}{g} = \sin\alpha_2$$

$$\approx 0{,}368 \; .$$

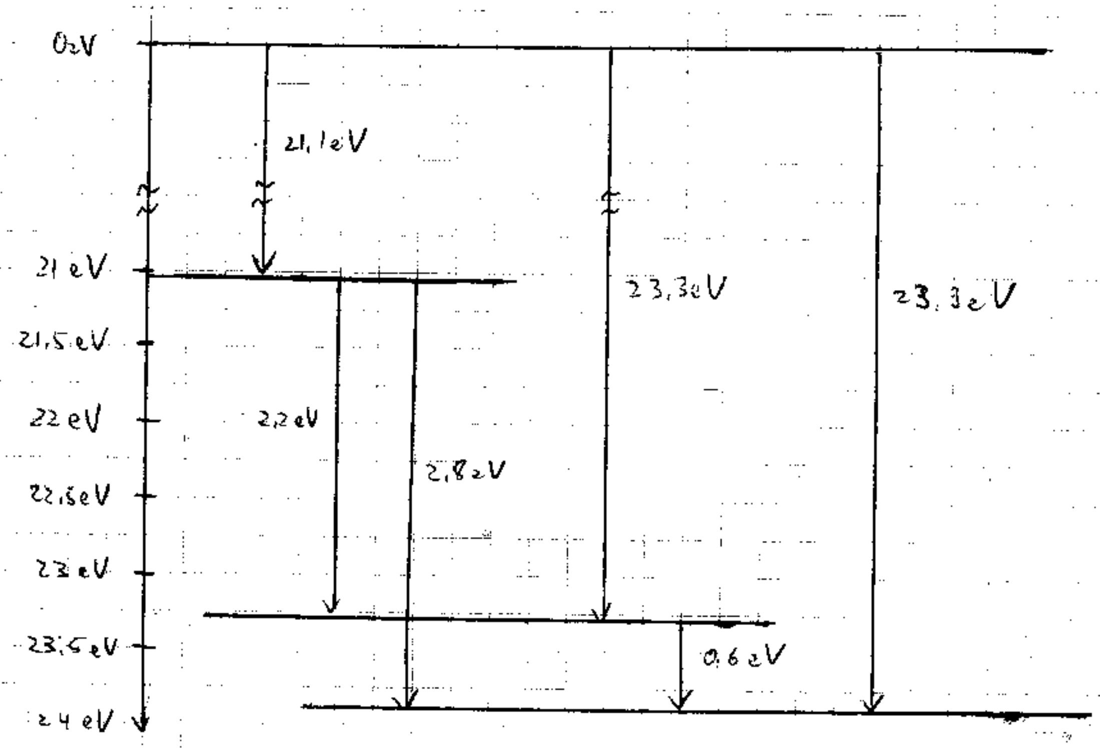
$$\Rightarrow n = \frac{\frac{\lambda_1}{g}}{\frac{\lambda_2}{g}}$$

$$\approx 1{,}51 \; .$$

FORTSETZUNG: Aufgabe 1

c

b)



~~Es gilt h~~

Für die austretenden Wellenlängen gilt:

$$W = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{W}$$

Damit ergibt sich:

2,2 eV $\lambda \approx 563,56$ nm .

2,8 eV $\lambda \approx 442,8$ nm .

0,6 eV $\lambda \approx 2,07$ µm .

21,1 eV $\lambda \approx 58,76$ nm .

23,3 eV $\lambda \approx 53{,}21$ nm.
23,9 eV $\lambda \approx 51{,}88$ nm.

Nur zwei der möglichen sechs Wellenlängen liegen im sichtbaren Bereich, für 2,2 eV und 2,8 eV. Das die Wellenlänge 564 nm ~~und an diese~~ beobachtet wurde, zeigt uns also, dass ~~Elektr~~ Anregungen nicht immer von „Stufe 0" auf ein bestimmtes Energieniveau erfolgen müssen, sondern dass auch bereits angeregte Elektronen durch weitere wohlportionierte „Energiespritzen" auf eine höhere Energiestufe gehoben werden können. ~~bzw~~ Genauer gesagt entsteht das Licht beim Zurückfallen auf ein niedrigeres Niveau, es zeigt also vielmehr, dass Atome auch nicht direkt auf den unangeregten Zustand zurückfallen müssen.
In unserem Fall wurde das Atom also in ein oder mehreren Schritten auf 23,3 eV angeregt und sank nur auf das tiefere Niveau von 21,1 eV ab.

x) Im Bereich $U_{KG} > 60$ V liegt das Gitter G wohl auf einem so hohen positivem Potential, dass die Elektronen durch das sich bildende Feld nun gegen das Gegenfeld $G \to A$ von der Anode zum Gitter gezogen werden, der Strom fließt nun also vermehrt in die entgegengesetzte Richtung.

f

71

15 Punkte 22.01.03