

Leistungskurs Physik  
Thema: Ladungen und Felder

**Aufgabe 1) zum Thema „Ladungen und Felder“**

**Hinweise für die Kurslehrkraft**

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 1) darf mit jeder der drei anderen Aufgaben des Aufgabensatzes kombiniert werden.

Das nachfolgend beschriebene Experiment ist Grundlage der Aufgabe und soll vorgeführt werden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.



**Abb. 1 möglicher Versuchsaufbau**

Aufgebaut ist eine Elektronenstrahl-Ablenkröhre mit Helmholtzspulenpaar. Gemessen werden die Beschleunigungsspannung, die Ablenkspannung am eingebauten Ablenkplattenpaar sowie die Stromstärke in der Helmholtzspule.

Die Stromstärke in der Helmholtzspule wird auf 0,2 A eingestellt und während des Experiments nicht verändert. Schrittweise wird die Beschleunigungsspannung  $U_a$  erhöht und jeweils die Ablenkspannung  $U_p$  so eingestellt, dass der Elektronenstrahl geradlinig verläuft. Die Messwerte werden an die Tafel geschrieben.

Mögliche Messwerte, die auch im Falle eines Gerätedefekts verwendet werden können, sind:

$U_a$ in kV	1	2	2,5	3	3,5	4
$U_p$ in kV	1,4	2,0	2,2	2,3	2,55	2,7

Leistungskurs Physik  
**Thema: Ladungen und Felder**

---

**Aufgabe 1) Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons**

Mit Hilfe einer Elektronenstrahl-Ablenkröhre kann die spezifische Ladung des Elektrons bestimmt werden.

- a) Fertigen Sie eine Skizze der Elektronenstrahl-Ablenkröhre einschließlich der angelegten Spannungen an, in der auch die vorhandenen Felder dargestellt sind. Beschreiben Sie die Erzeugung eines Elektronenstrahls.

In dieser Ablenkröhre bewegen sich die Elektronen im Falle, dass nur das elektrische Feld oder nur das Magnetfeld vorhanden ist, auf charakteristischen Bahnkurven. Geben Sie die Bahnkurven an und begründen Sie, wie diese zustande kommen.

(15 Rohpunkte)

- b) Beschreiben Sie die Durchführung des vorgeführten Experiments. Begründen Sie, wie es zu der beobachteten Bahnkurve der Elektronen kommt. Zeigen Sie, dass für diese Elektronen gilt

$$U_p^2 = 2 \frac{e}{m} B^2 d^2 U_a,$$

wobei  $d$  der Abstand der Ablenkplatten ist.

(12 Rohpunkte)

- c) Die in b) hergeleitete Formel legt einen linearen Zusammenhang nahe. Sie ermöglicht unter geeigneter Zugrundelegung der Messwerte die Erstellung eines Diagramms mit einer Ursprungsgeraden.

Fertigen Sie ein derartiges Diagramm an.

Ermitteln Sie die Steigung der Ausgleichsgeraden.

Der Hersteller der Röhre macht die folgenden Angaben:

Der Abstand der Ablenkplatten beträgt  $d = 5,4$  cm.

Eine Stromstärke von  $I_H = 1$  A im Helmholtz-Spulenpaar erzeugt eine magnetische Flussdichte von  $B_0 = 6,4 \cdot 10^{-3}$  T.

Ermitteln Sie aus diesen Herstellerangaben zusammen mit der Steigung der Ausgleichsgeraden einen Wert für die spezifische Ladung des Elektrons.

(9 Rohpunkte)

- d) Beim Aufprall der Elektronen auf die Glaswand kann elektromagnetische Strahlung entstehen. Ordnen Sie die Strahlung ins elektromagnetische Spektrum ein.

(4 Rohpunkte)

**Hilfsmittel:**

Formelsammlung,  
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,  
deutsches Wörterbuch

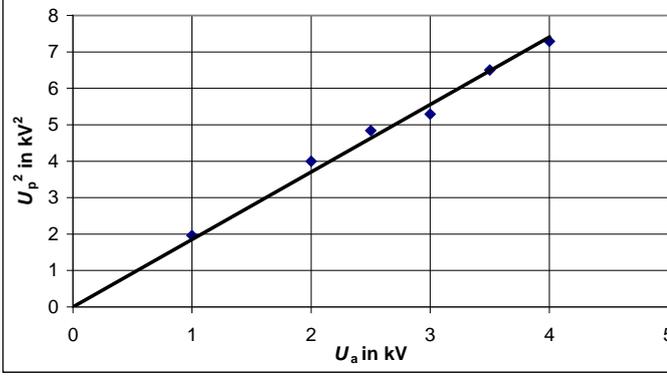
Leistungskurs Physik  
Thema: Ladungen und Felder

**Aufgabe 1) zum Thema „Ladungen und Felder“**

Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte		Bemerkungen
		maximal	erreicht	
a)	<p>Erzeugung des Elektronenstrahls: Heizung der Kathode, glühelektrischer Effekt erzeugt Elektronenwolke, Bündelung durch negativen Wehneltzylinder, Beschleunigung durch positive Anode.</p> <p><i>E</i>-Feld: Die elektrische Kraft <math>\vec{F}_{el} = e \cdot \vec{E}</math> ergibt in dieser Anordnung eine Parabelbahn als Überlagerung einer waagerechten geradlinig gleichförmigen Bewegung und einer vertikalen gleichmäßig beschleunigten Bewegung wegen der konstanten elektrischen Kraft nach oben.</p> <p><i>B</i>-Feld: Die Lorentzkraft <math>\vec{F}_L = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}</math> ergibt eine Kreisbahn, denn wegen <math>\vec{v} \perp \vec{B}</math> und <math>\vec{F}_L \perp \vec{B}</math> bleibt die Bewegung in einer Ebene. Wegen <math>\vec{F}_L \perp \vec{v}</math> ist die Kraft auf einen Punkt gerichtet. Da außerdem die Lorentzkraft keine Arbeit am Elektron verrichtet, ist <math> \vec{v} </math> konstant.</p>	5		
b)	<p>Es wird ein konstantes Magnetfeld angelegt. Dann wird schrittweise die Beschleunigungsspannung <math>U_a</math> erhöht und jeweils die Ablenkspannung <math>U_p</math> so eingeregelt, dass der Elektronenstrahl waagrecht längs einer Geraden durch die Röhre läuft.</p>	3		

Leistungskurs Physik  
**Thema: Ladungen und Felder**

	<p>Für die Bewegung der Elektronen ist charakteristisch, dass die elektrische und die magnetische Kraft entgegengesetzt gerichtet und gleichgroß sind, sich also aufheben. Das Elektron ist somit kräftefrei und bewegt sich nach dem Trägheitsgesetz längs einer Geraden.</p> <p>Aus der Gleichheit der Kräfte folgt in dieser Geometrie</p> $e \cdot v \cdot B = e \cdot E \quad \text{oder} \quad v = \frac{E}{B}$ <p>Die Elektronen werden in der Elektronenkanone durch <math>U_a</math> beschleunigt.</p> <p>Energieansatz <math>e \cdot U_a = \frac{1}{2} m v^2</math> umgeformt zu</p> $v^2 = \frac{2 e U_a}{m}$ <p>Zusammen <math>\frac{E^2}{B^2} = \frac{2 e U_a}{m}</math>.</p> <p>In einem Plattenkondensator ist <math>E = \frac{U_p}{d}</math>,</p> <p>eingesetzt <math>\frac{U_p^2}{d^2 B^2} = \frac{2 e U_a}{m}</math>.</p> <p>Das ergibt die angegebene Formel</p> $U_p^2 = 2 \frac{e}{m} B^2 d^2 U_a.$	<p>2</p> <p>7</p>																						
<p>c)</p>	<table border="1" data-bbox="236 1339 909 1467"> <tr> <td><math>U_a</math> in kV</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> <td>3,5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td><math>U_p</math> in kV</td> <td>1,4</td> <td>2,0</td> <td>2,2</td> <td>2,3</td> <td>2,55</td> <td>2,7</td> </tr> <tr> <td><math>U_p^2</math> in kV<sup>2</sup></td> <td>1,96</td> <td>4</td> <td>4,84</td> <td>5,29</td> <td>6,5025</td> <td>7,29</td> </tr> </table>  <p>Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt <math>s = 1853 \text{ V}</math>.</p>	$U_a$ in kV	1	2	2,5	3	3,5	4	$U_p$ in kV	1,4	2,0	2,2	2,3	2,55	2,7	$U_p^2$ in kV <sup>2</sup>	1,96	4	4,84	5,29	6,5025	7,29	<p>3</p> <p>2</p>	
$U_a$ in kV	1	2	2,5	3	3,5	4																		
$U_p$ in kV	1,4	2,0	2,2	2,3	2,55	2,7																		
$U_p^2$ in kV <sup>2</sup>	1,96	4	4,84	5,29	6,5025	7,29																		

Leistungskurs Physik  
**Thema: Ladungen und Felder**

	<p>Aus den Herstellerangaben folgt  <math>B = 0,0064 \text{ T/A} \cdot 0,2 \text{ A} = 0,00128 \text{ T}</math> .                  Für die Steigung <math>s</math> der Ausgleichsgeraden                  gilt <math>s = 2 \frac{e}{m} B^2 d^2</math> , also <math>\frac{e}{m} = \frac{s}{2 B^2 d^2} =</math>  <math display="block">= \frac{1853 \text{ V}}{2 \cdot (0,00128 \text{ T})^2 \cdot (0,054 \text{ m})^2}</math>  <math display="block">= 1,94 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}</math> .</p>	<p>1 3</p>		
d)	<p>Bei der Abbremsung in der Wand entsteht                  Bremsstrahlung wie in der Röntgenröhre.                  Für die Grenzwellenlänge ergibt sich z.B. für  <math>U_a = 4000 \text{ V}</math>  <math display="block">\lambda_{\text{gr}} = \frac{c}{f_{\text{gr}}} = \frac{hc}{hf_{\text{gr}}} = \frac{hc}{eU_a}</math>  <math display="block">= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 4000 \text{ V}}</math>  <math>= 0,31 \text{ nm}</math> . Es handelt sich also um                  Röntgenstrahlung.</p>	4		
		40		

Leistungskurs Physik  
**Thema: Schwingungen, Wellen, Wellenpakete**

---

**Aufgabe 2) zum Thema „Wellenlängenbestimmungen“**

**Hinweise für die Kurslehrkraft**

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 2) darf mit jeder der drei anderen Aufgaben des Aufgabensatzes kombiniert werden.

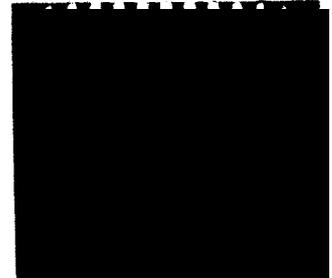
Die nachfolgende Aufgabe ist nicht mit der Durchführung eines Experimentes verbunden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.

Leistungskurs Physik  
**Thema: Schwingungen, Wellen, Wellenpakete**

---

**Aufgabe 2) Wellenlängenbestimmungen**

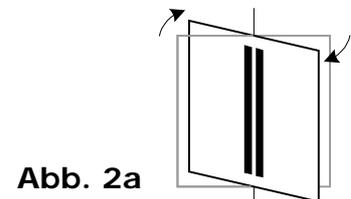
- a) Beim Doppelspalt-Versuch mit rotem Licht erhält man auf dem Schirm nebenstehendes Bild (Abb. 1). Beschreiben Sie das Bild und erklären Sie seine Entstehung. Leiten Sie eine Formel zur Wellenlängenbestimmung beim Doppelspalt-Versuch her (mit Skizze und ausführlicher Erläuterung).  
(12 Rohpunkte)



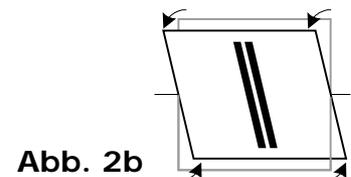
**Abb. 1**

- b) Beschreiben und erklären Sie die jeweils zu erwartenden Beobachtungen,

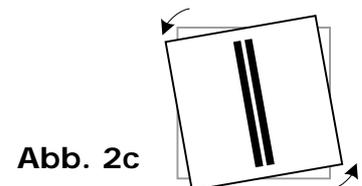
- wenn man den Versuch statt in Luft unter Wasser ablaufen lässt,
- wenn man den Versuch statt mit rotem mit blauem Licht ablaufen lässt,
- wenn man den Doppelspalt ein wenig um seine vertikale Achse dreht (Abb. 2a),



- wenn man den Doppelspalt ein wenig kippt (Abb. 2b),



- wenn man den Doppelspalt ein wenig um die optische Achse dreht (Abb. 2c).



(10 Rohpunkte)

- c) Abb. 3. (siehe Anlage) zeigt die Interferenz zweier gleichartiger Elementarwellensysteme im Modell.

Berechnen Sie die Wellenlänge sowohl mit Hilfe des 1. Minimums als auch mit Hilfe des 4. Minimums (Minima: schwarze Linien). Entnehmen Sie die zur Bestimmung der Wellenlänge notwendigen Größen aus der Abb. 3.

Äußern Sie sich ausführlich zur Genauigkeit der berechneten Wellenlängen.

(12 Rohpunkte)

- d) Das Bild (Abb. 1) wurde mit einem Laser-Pointer ( $\lambda = 660 \text{ nm}$ ) erzeugt und hat Originalgröße. Ermitteln Sie realistische Versuchsparameter, unter denen diese Abbildung entstanden sein könnte.

(6 Rohpunkte)

Leistungskurs Physik  
**Thema: Schwingungen, Wellen, Wellenpakete**

---

**Anlage**

**Abb. 3** Interferenz zweier gleichartiger Elementarwellensysteme im Modell.



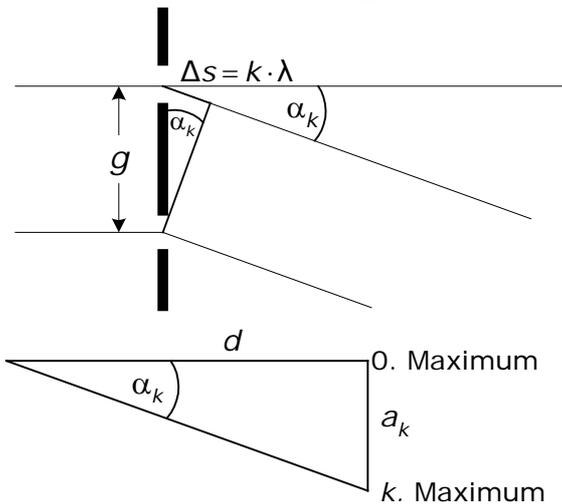
**Hilfsmittel:**

Formelsammlung,  
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,  
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik  
Thema: Schwingungen, Wellen, Wellenpakete

**Aufgabe 2) zum Thema „Wellenlängenbestimmungen“**

Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte		Bemerkungen
		maximal	erreicht	
a)	<p>Beschreibung: Helle und dunkle Streifen, annähernd gleiche Abstände Erklärung: Die hellen Streifen sind Interferenzmaxima, die dunklen sind Minima</p> <p>Skizze mit Größen, z.B. <math>g</math>, <math>a_k</math>, <math>d</math>, <math>k \cdot \lambda</math>, <math>\alpha_k</math></p>  <p>ausführliche Erläuterung der Größen und ihrer Zusammenhänge (Huygens'sches Prinzip, Beugung, Gangunterschied, Phasenunterschied, Interferenz, Verstärkung)</p> <p>Formel aufstellen, z.B. für die Maxima:  <math display="block">\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{g} \text{ und } \tan \alpha_k = \frac{a_k}{d};</math> z.B. Näherung <math>\sin \alpha_k \approx \tan \alpha_k</math>  Umformung: <math>\lambda \approx \frac{g \cdot a_k}{k \cdot d}</math></p>	2		
		3		
		4		
		3		
b)	<p>vermutete Auswirkung und Erklärung:  Experiment im Wassertrog – Maxima liegen dichter zusammen: <math>c</math> kleiner <math>\rightarrow \lambda</math> kleiner nach <math>c = \lambda \cdot f \rightarrow a_k</math> kleiner</p>	2		

Leistungskurs Physik  
**Thema: Schwingungen, Wellen, Wellenpakete**

	Experiment mit blauem Licht – $\lambda$ kleiner $\rightarrow a_k$ kleiner (Maxima liegen dichter zusammen)	2		
	Drehung um vertikale Achse – Maxima liegen weiter auseinander: $g$ kleiner $\rightarrow a_k$ größer nach $k \cdot d \cdot \lambda = g \cdot a_k$ (Anmerkung: Es wird nicht erwartet, dass die bei kleinen Winkeln zunächst unterschiedliche Verschiebung der Maxima links und rechts genannt wird.)	3		
	Neigen um hor. Achse – Interferenzbild bleibt unverändert: $g$ bleibt gleich $\rightarrow a_k$ bleibt gleich (Anmerkung: Es wird nicht erwartet, dass die am oberen und unteren Rand des Doppelspalts unterschiedlichen Entfernungen zum Schirm betrachtet werden; diese hätten prinzipiell eine trapezförmige Verzerrung des Interferenzbildes zur Folge.)	2		
	Drehen um optische Achse – Interferenzstreifen drehen sich um gleichen Winkel, immer orthogonal zur Richtung der Spalte	1		
c)	Ermittlung der Messdaten (Hinweis: Geringfügig abweichende Werte können sich durch Maßstabsabweichungen und Verzerrungen beim Drucken und Kopieren der Vorlage sowie durch Messungenauigkeiten ergeben.) $g = 14 \text{ mm}$ , $d = 105 \text{ mm}$ , $a_1 = 7,5 \text{ mm}$ , $a_4 = 58 \text{ mm}$	4		
	Umformung (Minima): $\lambda = \frac{2 \cdot g \cdot a_k}{(2 \cdot k - 1) \cdot d}$	2		
	Berechnungen der Wellenlänge, z.B. 2,0 mm aus $a_1 = 7,5 \text{ mm}$ z.B. 2,2 mm aus $a_4 = 58 \text{ mm}$	2		
	Die relative Messungenauigkeit ist $\frac{\Delta a}{a}$ .	1		
	Sie wirkt sich stärker bei $k = 1$ aus.	1		
	Auch die Näherung $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ bewirkt eine Ungenauigkeit.	1		
	Sie wirkt sich stärker bei $k = 4$ aus.	1		

**Thema: Schwingungen, Wellen, Wellenpakete**

---

d)	Streifenabstände messen	1		
	vor dem Hintergrund der Formel aus a) die erforderlichen Größen identifizieren ( $d$ , $g$ ),	2		
	realistische Abschätzung einer Größe ( $g$ ),	2		
	Berechnung der anderen	1		
		40		

Leistungskurs Physik  
Thema: **Quantenphysik des Lichts**

---

**Aufgabe 3) zum Thema „lichtelektrischer Effekt“**

**Hinweise für die Kurslehrkraft**

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 3) darf mit Aufgabe 1) oder Aufgabe 2) kombiniert, aber nicht mit Aufgabe 4) zusammen verwendet werden.

Die nachfolgende Aufgabe ist nicht mit der Durchführung eines Experimentes verbunden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.

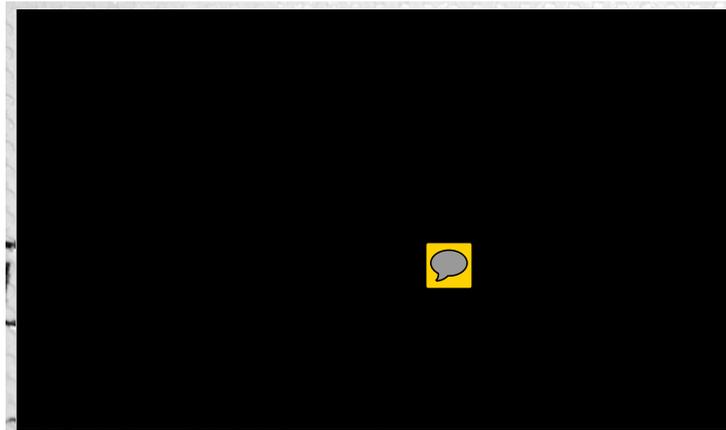
Da die Qualität des Ausdrucks vom Drucker abhängt, liegt die Graphik Abb. 1 als JPG-Datei bei. Bei Bedarf können so Helligkeit oder Kontrast modifiziert werden. Den Schülerinnen und Schülern darf dann zusätzlich zur Schülerversion ein gut erkennbarer, ggf. vergrößerter Ausdruck ausgehändigt werden.

Leistungskurs Physik  
**Thema: Quantenphysik des Lichts**

---

**Aufgabe 3) Der lichtelektrische Effekt**

- a) Erläutern Sie die Graphik zum lichtelektrischen Effekt (kurz Photoeffekt) auf der Gedenkbriefmarke von 1979 (Abb. 1) aus physikalischer Sicht, indem Sie die Bedeutung der Bildelemente angeben. Die welligen Streifen sind „regenbogenfarbig“; wo befindet sich die blaue Farbe? Begründen Sie Ihre Auffassung.  
(7 Rohpunkte)



**Abb. 1**

- b) Beim lichtelektrischen Effekt ist die maximale Energie der Elektronen abhängig von der Frequenz, aber unabhängig von der Intensität des Lichts. Erläutern Sie, inwiefern dieses Ergebnis der klassischen Lichtwellentheorie widerspricht. Deuten Sie den lichtelektrischen Effekt im Rahmen des Photonenmodells und erklären Sie mit diesem Modell speziell den genannten Befund.  
(10 Rohpunkte)
- c) Mit Hilfe einer Photozelle soll das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  bestimmt werden. Erläutern Sie ausgehend von einer beschrifteten Skizze des Versuchsaufbaus die Versuchsdurchführung. Für Cäsium als Kathodenmaterial wurden die folgenden Messwerte ermittelt:  
0,58 V bei einer Lichtwellenlänge von 493 nm,  
1,12 V bei einer Lichtwellenlänge von 405 nm.  
Bestimmen Sie  $h$  und die Austrittsenergie, kommentieren Sie das Vorgehen begründend.  
(17 Rohpunkte)
- d) Eine Natrium-Photozelle wird mit Licht der Wellenlänge  $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$  m bestrahlt. Die Lichtleistung (die Stärke des Energiestroms) beträgt auf der Photoschicht  $P = 10^{-2}$  W, die Austrittsenergie von Natrium  $3,06 \cdot 10^{-19}$  J. Berechnen Sie den theoretischen Maximalwert der durch den Photoeffekt bewirkten Stromstärke. Nennen Sie mögliche Gründe dafür, dass dieser Maximalwert nicht erreicht wird.  
(6 Rohpunkte)

Leistungskurs Physik  
**Thema: Quantenphysik des Lichts**

---

**Hilfsmittel:**

Formelsammlung,  
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,  
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik  
**Thema: Quantenphysik des Lichts**

**Aufgabe 3) Der lichtelektrische Effekt**  
Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte		Bemerkungen
		maximal	erreicht	
a)	Bildelemente deuten: dicke Linie unten – Photoschicht, punktierte Linie mit Punkten – Elektronen mit Bahn, Pfeile – Elektronenimpuls, wellige farbige Streifen – einfallendes Licht verschiedener Wellenlänge;	4		
	Lage des blauen Streifens rechts wegen längerer Pfeile (energiereichere Photonen), Grenzfrequenz (links keine Pfeile)	3		
b)	Intensitätsvergrößerung bedeutet Energie- vergrößerung bei Wellen; unterhalb der Grenzfrequenz werden auch bei Intensitäts- vergrößerung keine Elektronen ausgelöst; oberhalb aber auch bei geringer Intensität.	3		
	Einzelne Energieportionen (Quanten), die proportional zur Frequenz sind. Energieabgabe nur vollständig und nur an jeweils ein Elektron.	4		
	Austrittsenergie, kinetische Energie, erhöhte Intensität sorgt für mehr, nicht aber energiereichere Ausbeute, Grenzfrequenz begründen	3		
c)	Aufbau des Versuchs zur $h$ -Bestimmung nach der Gegenfeldmethode oder der Auflademethode	3		
	beschriftete Skizze	2		
	Durchführung des Versuchs, speziell Darstellung der Rolle des Gegenfeldes oder der Kondensatorspannung	2		
	$f_1 = \frac{c}{\lambda_2} = 6,081 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ $f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = 7,402 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	4		

Leistungskurs Physik  
Thema: Quantenphysik des Lichts

	$E_1 = e \cdot U_1 = 0,928 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $E_2 = e \cdot U_2 = 1,792 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $h = \frac{\Delta E}{\Delta f} = 6,54 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$ <p>Erläuterung dazu geben (Steigung bei Versuchsvariation unverändert), Austrittsenergie als Achsenabschnitt bestimmen <math>E_A = h \cdot f - E = 3,05 \cdot 10^{-19} \text{ J}</math>, Erläuterung dazu geben</p>	3		
d)	<p>Elektronenenergie berechnen:</p> $E = h \cdot f = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $E_{el} = E - E_A = 0,63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ <p>maximale Anzahl der Elektronen pro Sekunde und maximale elektrische Stromstärke berechnen:</p> $P = \frac{E}{t} = \frac{n \cdot E_{el}}{t} \Rightarrow \frac{n}{t} = \frac{P}{E_{el}} \Rightarrow$ $I = \frac{n \cdot e}{t} = \frac{P \cdot e}{E_{el}} = 25,4 \text{ mA}$ <p>Gründe dafür, dass Maximalwert nicht erreicht wird, sind z. B.: Elektron hat Teil der Energie im Metall verloren, nicht alle Elektronen verlassen das Metall, nicht alle Elektronen erreichen die Gegenelektrode</p>	1 1  2   2		
		40		

**Aufgabe 4) zum Thema „Röntgenstrahlung“**

**Hinweise für die Kurslehrkraft**

**Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.**

**Aufgabe 4) darf mit Aufgabe 1) oder Aufgabe 2) kombiniert, aber nicht mit Aufgabe 3) zusammen verwendet werden.**

**Die nachfolgende Aufgabe ist nicht mit der Durchführung eines Experimentes verbunden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.**

Leistungskurs Physik  
Thema: **Quantenphysik des Lichts**

---

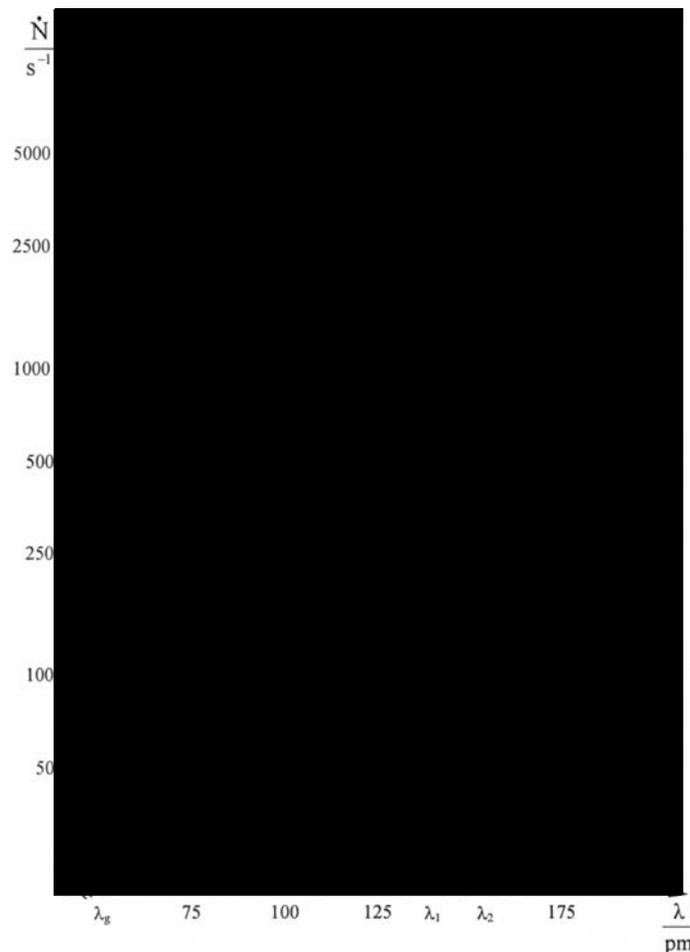
**Aufgabe 4) Röntgenstrahlung**

Im Jahre 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannte Röntgenstrahlung. Die Spektren der Röntgenstrahlung waren ein wesentliches Hilfsmittel bei der Erforschung der Struktur der Atomhüllen, Röntgenstrahlung bekannter Wellenlänge diente zur Analyse von Kristallstrukturen.

- a) Erklären Sie unter Verwendung einer geeignet beschrifteten Skizze den Aufbau und die Funktionsweise einer Röntgenröhre.

(6 Rohpunkte)

- b) Das angegebene Diagramm zeigt ein Röntgenspektrum von Kupfer.



(Bild entnommen aus: Wilfried Kuhn: Handbuch der experimentellen Physik, Band 8. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG 1996)

Beschreiben und erklären Sie ein Verfahren zur Aufnahme des Diagramms und leiten Sie die Bragg'sche Bedingung her.

Werten Sie das gegebene Diagramm aus.

Beschreiben und erklären Sie die Entstehung des angegebenen Röntgenspektrums.

Erläutern Sie, inwieweit man die Erzeugung von Röntgenstrahlen als Umkehrung des Fotoeffekts bezeichnen kann.

(21 Rohpunkte)

Leistungskurs Physik  
**Thema: Quantenphysik des Lichts**

- c) Bestimmen Sie die Beschleunigungsspannung, mit der das angegebene Röntgenspektrum von Kupfer aufgenommen wurde.

Berechnen Sie mithilfe der angegebenen Tabelle die Wellenlängen, bei denen im Röntgenspektrum von Kupfer mögliche Spitzen auftreten und vergleichen Sie diese theoretisch ermittelten Werte mit dem experimentellen Befund.

Tabelle

Element	Bindungsenergie in keV auf der		
	K-Schale	L-Schale*	M-Schale**
Cu	8,9789	0,9411	0,0736

\* Exakt müsste es heißen: Mittelwert LII – LIII – Schale;

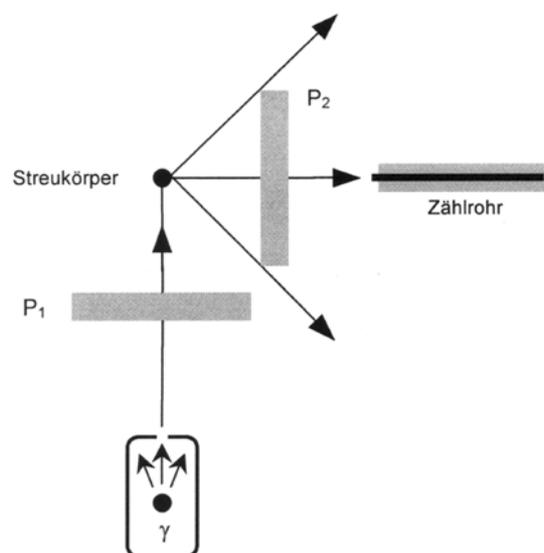
\*\* Exakt müsste es heißen: Mittelwert MII – MIII – Schale

(9 Rohpunkte)

- d) **Der Barkla-Effekt**

Charles G. Barkla beobachtete 1904 erstmals, dass Röntgenstrahlung bei der Streuung an Materie eine vom klassischen Standpunkt unverständliche Veränderung erleidet:

Monochromatische  $\gamma$ -Strahlung eines  $^{60}\text{Co}$ -Präparats der Wellenlänge  $\lambda = 1,0 \text{ pm}$  trifft entsprechend der Skizze auf einen Streukörper (Blei). Mit einem Zählrohr misst man die Intensität  $I_s$  der unter einem  $90^\circ$ -Winkel gestreuten Strahlung.



Bringt man nun eine ca. 1 mm dicke Plexiglasscheibe an der Stelle P<sub>1</sub> in den primären Strahlengang, so stellt man keine Veränderung der Intensität  $I_s$  fest. Bringt man aber die gleiche Plexiglasscheibe an der Stelle P<sub>2</sub> in den sekundären Strahlengang, so nimmt die Intensität  $I_s$  deutlich ab.

Erklären Sie diese Beobachtung.

(4 Rohpunkte)

Leistungskurs Physik  
**Thema: Quantenphysik des Lichts**

---

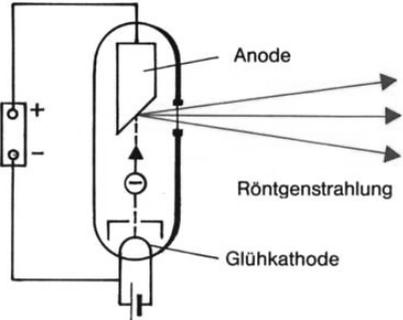
**Hilfsmittel:**

Formelsammlung,  
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,  
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik  
Thema: **Quantenphysik des Lichts**

**Aufgabe 4) Röntgenstrahlung**

Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte		Bemerkungen
		maximal	erreicht	
a)	Prinzipieller Aufbau der Röntgenröhre: Glühkathode, Anode, $U_H$ , $U_B$ , Wehneltzylinder	3		
	 <p>Funktionsweise Glühelektrischer Effekt, Bündelung der Elektronen, Beschleunigung der Elektronen im elektrischen Feld, Aufprall auf Anode, Erwärmung der Anode, Aussendung von Röntgenstrahlung</p>	3		
b)	Drehkristallmethode beschreiben (incl. Skizze),	4		
	Bragg-Reflexion erklären, Formel herleiten	5		
	Auswerten des Diagramms: Unterscheidung Brems- / char. Strahlung	1		
	Röntgenbremsstrahlung: Erklärung für – Abbremsen der auftreffenden Elektronen – Emission von Röntgenstrahlung – kontinuierliches Spektrum – kurzwellige Grenze	4		

