Aufgabe 1

Themenbereich: Magnetische Felder

Elektronen sind so unvorstellbar klein und massearm, dass man sie auch mit einem extrem guten Mikroskop oder einer sehr genauen Waage nicht registrieren kann. Deshalb macht man sich die Eigenschaften eines Fadenstrahlrohrs zunutze.

Abb.1a: Fadenstrahlrohr mit Helmholtz-Spulenpaar

Abb. 1b: Prinzip eines Fadenstrahlrohrs. (Der magnetische Feldvektor $\vec{B}$ zeigt aus der Bildebene heraus.)

Die Abbildungen wurden aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

(Quelle: Höfling Physik Bd.II Teil 2)

1.a Beschreiben Sie die Funktionsweise eines Fadenstrahlrohrs. Erläutern Sie dabei auch die Herkunft der Kraft, die die Elektronen auf eine Kreisbahn zwingt. (Hinweis: Auf eine Skizze kann verzichtet werden. Nutzen Sie die Abbildungen.)

(*9 Punkte*)

1.b Mit einem Fadenstrahlrohr und der bekannten Elektronenladung e kann man Auskunft über die Elektronenmasse m_e erhalten.

Die Elektronenmasse m_e berechnet sich wie folgt:

$$m_e = \frac{e \cdot B^2 \cdot r^2}{2U_B}$$

(Dabei ist B die Magnetfeldstärke, r der Radius der Kreisbahn und U_B die Beschleunigungsspannung.)

Berechnen Sie mithilfe der obigen Gleichung und den folgenden Messwerten fünf Werte für die Elektronenmasse m_e. Bilden Sie daraus einen Mittelwert für die Elektronenmasse m_e.

U_B in V	150	200	250	250	250
B in mT	1	1	1	1,25	1,75
r in cm	3,8	5	5,2	4,4	2,9

Tabelle 1

Bei manchen Fadenstrahlrohren lässt sich der Elektronenstrahl nicht mehr so gut bündeln. Man sieht dann eine etwas divergente Leuchtspur und der Radius r der Kreisbahn im B- Feld hat einen Fehler von +/- 0,5 cm.

Berechnen Sie anhand der Messwerte in der letzten Spalte von Tabelle 1 den maximalen und den minimalen Wert für die Elektronenmasse m_e, der sich aus diesem Fehler ergibt.

(10 Punkte)

Freie Elektronen lassen sich im Vergleich zu makroskopischen Objekten auf viel höhere Geschwindigkeiten beschleunigen. Ab ca. 30% Lichtgeschwindigkeit gibt es allerdings merkbare relativistische Effekte. Die Auswirkungen dieser relativistischen Effekte werden hier nicht thematisiert. (*Hinweis: Gehen Sie bei 1.c von dem Literaturwert für die Elektronenmasse m_e aus.*)

1.c Berechnen Sie die maximal mögliche Geschwindigkeit v_e, die die Elektronen durch die Beschleunigungsspannungen U_B aus Tabelle 1 erreichen. Diese Geschwindigkeit v_e berechnet sich wie folgt:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$$

Leiten Sie diese Formel her.

Geben Sie die Elektronengeschwindigkeit v_e als Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit c an. Schätzen Sie ab, ob die Geschwindigkeit v_e den relativistischen Bereich erreicht.

(*5 Punkte*)

Das Helmholtz-Spulenpaar aus Abbildung 1a) liefert über einen kurzen Bereich ein in guter Näherung homogenes Magnetfeld. Will man dies über einen längeren Bereich realisieren, dann benutzt man eher lange zylindrische Spulen. Das bedeutet, dass die Länge l solcher Spulen wesentlich größer ist als ihr Durchmesser d.

1.d Skizzieren Sie eine lange zylindrische Spule mit hoher Windungsdichte und ihr Magnetfeld B. Begründen Sie die über einen langen Bereich gültige Homogentität des bei solchen Spulen vorhandenen Magnetfeldes B.

(*7 Punkte*)

1.e Die Magnetfelder im Inneren von langen zylindrischen Spulen wurden untersucht. (Dabei ist jeweils I die Stromstärke in den Spulen, n die Windungszahl der Spulen und A die Querschnittsfläche der Spulen.)

Folgende Messreihen sind entstanden:

I in A	0	0,5	1	1,5	2	2,5
B in mT	0	2,3	4,6	6,9	9,2	10,5

(Mit A, n *und* l konstant) Tabelle 2

l in cm	112	56	28	14	7
B in mT	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2
$B \cdot l$ in $\mathrm{mT \cdot cm}$		134,4		134,4	134,4

(Mit A, I *und* n konstant) Tabelle 3

Berechnen Sie die beiden fehlenden Werte in Tabelle 3 und tragen Sie sie ein.
Stellen Sie die Sachverhalte der beiden Tabellen von 1.e) graphisch dar. Nutzen Sie hierfür die vorbereiteten Koordinatensysteme im Anhang.
Geben Sie Proportionalitäten an.

(*12 Punkte*)

1.f Der Betrag der magnetischen Feldstärke B im homogenen Magnetfeld einer langen zylindrischen Spule ist unabhängig von der Querschnittsfläche A der Spule.

Erläutern Sie diesen Sachverhalt anhand der Tabelle 4 und den Zeichnungen unten.

(*7 Punkte*)

A in $\mathrm{m^2}$	0,01	0,02
B in mT	1,3	1,3

(Mit n, I *und* l konstant) Tabelle 4

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

(Anmerkung zu den Zeichnungen: Die Stromstärke I soll in allen drei gezeigten Spulen gleich groß sein.)

Anhang: Koordinatensysteme zu 1.e

Aufgabe 2

Themenbereich: Beugung und Interferenz

Vor einem an einem Ende geschlossenen Glasrohr, das feinverteiltes Korkmehl enthält, wird ein Lautsprecher am offenen Ende aufgestellt, der mit einem Tonfrequenzgenerator verbunden ist. Die Frequenz wird langsam von 20Hz an erhöht. Bei bestimmten Frequenzen ist der Ton lauter zu hören und das Korkmehl wird an jeweils verschiedenen Stellen kräftig aufgewirbelt. Schaltet man den Lautsprecher bei einer dieser Frequenzen aus, bilden sich ein oder mehrere Korkmehlhäufchen, so wie im Foto und der Abbildung zu sehen ist.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 2
aus Metzler Physik

2.a Erläutern Sie das Zustandekommen der höheren Lautstärke und der Korkmehlhäufchen bei diesen Frequenzen.

(10 Punkte)

2.b Die Gleichung einer stehenden Welle lautet $y(x,t) = 2\hat{y}\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$

- Benennen Sie die Bedeutung der Faktoren der Gleichung und stellen Sie diese in Beziehung zu Abbildung 2. Gehen Sie dabei auf die in der Gleichung auftretenden charakteristischen Größen der Welle ein.

(7 Punkte)

2.c Die Wellenlängen von stehenden Schallwellen können mit dem in die Glasröhre gestreuten Korkmehl ausgemessen werden.

- Nennen Sie den Zusammenhang zwischen den Knoten, Bäuchen und der Wellenlänge der stehenden Welle.
- Skizzieren Sie die stehenden Wellen in der Glasröhre, die zu den ersten vier tiefen Tönen gehören.
- Bestimmen Sie eine Gleichung für die Wellenlänge in Abhängigkeit von der Knotenanzahl.
- Die Frequenzen der vier tiefsten Töne sind in Tabelle 1 notiert.

$f_o = 141 Hz$	$f_1 = 424 Hz$	$f_2 = 706 Hz$	$f_3 = 989 Hz$

Tabelle 1

Die Länge des Glasrohres beträgt $L = 60 cm$. Berechnen Sie mit diesen vier Frequenzen die Schallgeschwindigkeit c.

(13 Punkte)

2.d Das sichtbare Linienspektrum einer Quecksilberhochdrucklampe besteht im Wesentlichen aus drei farbigen Linien: $\lambda_{blau} = 435nm$, $\lambda_{grün} = 546nm$ und $\lambda_{gelb} = 578nm$.

Hinter einem Beugungsgitter mit der Gitterkonstanten $g = 1,7 \cdot 10^{-5} m$ wird in einer Entfernung von $e = 110cm$ ein großer Schirm aufgestellt.

- Berechnen Sie die Abstände a_{1blau}, $a_{1grün}$, a_{1gelb} der drei Farben des ersten Spektrums vom Hauptmaximum.

(8 Punkte)

2.e Messung der Lichtgeschwindigkeit

- Beschreiben Sie die Methode zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit c mit Hilfe der Jupitermonde mit einer oder mehrerer geeigneter Skizzen.

- „So anders sind die modernen Messungen heutzutage ja gar nicht." ist ein häufig zu hörender Schülerausruf. Beschreiben Sie die Drehspiegelmethode unter Bezug auf die nebenstehende Skizze.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

veränderte Skizze aus http://de.wikipedia.org/wiki/Drehspiegelmethode

- Bewerten Sie die obige Aussage.

(12 Punkte)

Aufgabe 3

Themenbereich: h-Bestimmung, Energie von Photonen

3.a Die beiden Physiker James Franck und Gustav Hertz erhielten 1925 den Nobelpreis für ihr Experiment, das die Wechselwirkung zwischen beschleunigten Elektronen und Quecksilber (Hg)-Atomen untersucht.

Beschreiben Sie den Aufbau und die Durchführung des Experimentes.

(9 Punkte)

3.b Mit Hilfe dieses Experimentes ist es auch möglich, das Planck'sche Wirkungsquantum h zu bestimmen.

Leiten Sie mit Hilfe einer Energiebilanz die Gleichung für das Planck'sche Wirkungsquantum $h = \frac{e \cdot U_B \cdot \lambda}{c}$ her.

(9 Punkte)

3.c Bei der Durchführung des Franck-Hertz-Experimentes mit Quecksilber ergeben sich folgende Messwerte:

U_B in V	1,25	2,5	3,5	4,8	5	5,2	6	7,5	9,7	11	12,5	14,6	15,5
I in μA	0,25	0,9	2	2,3	2,1	1,8	0,9	2	3,8	1,2	2,5	4,8	2,8

Stellen Sie diese Messwerte grafisch dar und erklären Sie anhand Ihrer grafischen Darstellung die Vorgänge in der Franck-Hertz-Röhre.

(12 Punkte)

3.d Bei der Auswertung des Experimentes stellt man fest, dass die Abstände der Maxima des Auffangstromes I in einem Intervall von $\Delta U_B = 4{,}9V$ folgen. Dabei kann man auch die Aussendung von ultraviolettem Licht der Wellenlänge $\lambda = 250nm$ messen. Bestimmen Sie mit diesem Wert und der Formel aus 3.b das Planck'sche Wirkungsquantum h.

(5 Punkte)

3.e Tim und Tina streiten.
Tim: „Im Franck-Hertz-Experiment ist die Energie der Elektronen gequantelt."
Tina: „Das stimmt nicht! Die Energie der Elektronen ist nicht gequantelt."
Diskutieren Sie diesen Streit aus physikalischer Sicht.

(7 Punkte)

3.f In einer Elektronenbeugungsröhre werden Elektronen durch eine Beschleunigungsspannung U_B beschleunigt. Danach treffen sie auf ein Kristallgitter (Graphitfolie). Auf einem Leuchtschirm, der sich hinter der Graphitfolie befindet, erkennt man ein Interferenzmuster mit mehreren Beugungsringen (siehe Abb. 1)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Aufbau einer Elektronenbeugungsröhre

Die Elektronen werden mit einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 1{,}83 \cdot 10^3 V$ beschleunigt. Berechnen Sie den Impuls p dieser Elektronen.
(Hinweis: Sie können eventuelle relativistische Effekte unberücksichtigt lassen.)

(8 Punkte)

Schriftliche Abiturprüfung 2015 im dritten Prüfungsfach

Grundkurs Physik

Freitag, 24. April, 9.00 Uhr

Unterlagen für Referenten und Korreferenten

- Diese Unterlagen sind nicht für Schülerinnen und Schüler bestimmt -

---

Diese Unterlagen enthalten …

- Allgemeines,
- Erwartungshorizonte, Bewertungen und Korrekturhinweise zu den Aufgaben,
- keine Aufgabenstellungen – Ihre Exemplare entnehmen Sie bitte den Schüleraufgaben – ,
- einen Protokollbogen zur Auswahl der Aufgaben für die Prüfungsakten Ihrer Schule,
- einen Rückmeldebogen für die Zentralabiturkommission zur Auswahl der Aufgaben.

Allgemeines

- Prüfen Sie die Prüfungsaufgaben vor der Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre Vollständigkeit und formale und inhaltliche Korrektheit und ergänzen Sie sie gegebenenfalls. Bei nicht ausreichender Anzahl erstellen Sie entsprechende Kopien vor Ort. Bei einem schwerwiegenden inhaltlichen Fehler informieren Sie sofort die Senatorin für Bildung und Wissenschaft von 7.00 bis 9.30. Die von der Senatorin für Bildung und Wissenschaft vorgenommene Korrektur gibt die Schule sofort an die für die schriftliche Prüfung zuständige Lehrkraft weiter.
- Wählen Sie gemeinsam mit Ihrer Korreferentin / Ihrem Korreferenten aus den drei vorgelegten Aufgaben zwei aus. Kommt es zu keiner Einigung, bestimmt die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die Auswahl der Aufgaben (§ 10 Abs. 2 Nr. 1 AP-V). Protokollieren Sie auf dem beigefügten Protokollformular, welche Aufgaben Sie gewählt haben (Prüferin/Prüfer und Korreferentin/Korreferent und ggf. auch die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses unterschreiben das Protokoll).
- Füllen Sie bitte für die Zentralabiturkommission Physik den beigefügten Rückmeldebogen zur Auswahl der Aufgaben aus und schicken ihn an die dort genannte Adresse.
- Fragen Sie vor Verteilung der Aufgaben nach der Arbeitsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler und weisen Sie diese auf die Regelungen des § 5 AP-V (Täuschung und Behinderung) hin.
- Machen Sie die Schülerinnen und Schüler auf die Arbeitshinweise aufmerksam, die am Anfang ihrer Unterlagen für die Prüfung stehen. Geben Sie ihnen ggf. die nötigen Angaben zur Schulnummer sowie zur genauen Kursbezeichnung.
- Die Bearbeitungszeit beträgt 180 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.

Aufgabe 1 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
		I	II	III
a.	In einer kugelförmigen Glasröhre werden Elektronen, die aus einer Glühkathode treten, mit der Spannung U_B beschleunigt. Die Röhre ist mit Gas unter geringem Druck gefüllt. Einige der beschleunigten Elektronen stoßen mit Gasmolekülen zusammen und regen diese zum Leuchten an. Der Elektronenstrahl erzeugt entlang seines Weges also eine feine Leuchtspur. Ein von außen mithilfe des Helmholtz-Spulenpaares angelegtes Magnetfeld, das senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen verläuft, übt eine Lorentzkraft auf die Elektronen aus und zwingt sie so auf eine Kreisbahn.	6	3	0
b.	Mittelwert für die Elektronenmasse: Man erhält fünf verschiedene Elektronenmassen (in 10^{-31}kg): 7,71; 10,00; 8,66; 9,69 und 8,25. Der Mittelwert ist 8,86. Divergente Leuchtspur mit Radiusfehler: Maximaler Wert für die Elektronenmasse: $1{,}13 \cdot 10^{-30}\,kg$ Minimaler Wert für die Elektronenmasse: $5{,}65 \cdot 10^{-31}\,kg$	3	5	2
c.	$U_B = 250\text{V}$ benutzen ergibt $v = 9{,}38 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die Formel für v soll vorher aus der Energiegleichung eU=0,5mv² hergeleitet werden. Diese Geschwindigkeit ist nur ca. drei Prozent der Lichtgeschwindigkeit c und damit weit unterhalb der kritischen Grenze von 30 % Lichtgeschwindigkeit c.	2	3	0
d.	Skizze der Spule. Zum Beispiel: ***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** (Quelle: Leifi Physik) Anm.: Es genügt, die Skizze längs der Spulenachse anzufertigen. Begründung für die Homogenität des Magnetfeldes: Die Feldlinienbeiträge der einzelnen Windungen addieren sich wegen der hohen Windungsdichte zu einer Reihe von geraden, weitgehend äquidistanten Linien. Die Feldliniendichte ist also weitgehend konstant und damit auch die Magnetfeldstärke B.	5	2	0
e.	Beide Werte in Tabelle 3 ergänzen. Diese sind jeweils auch 134,4. Die im Anhang zu zeichnenden Graphen sind *B vs.I und B vs.l.* Folgende Proportionalitäten sollen aus den Tabellen oder Graphen erkannt und angegeben werden: *B~I und B~1/l.* Die Proportionalitäten können auch in Worten angemessen beschrieben werden.	4	8	0

f.	Die Tabelle zeigt, dass sich B offenbar nicht ändert bei doppelter Querschnittsfläche. Zwei gleiche Spulen mit rechtwinkligem Querschnitt werden beide von Strom gleicher Stromstärke I durchflossen. Man legt sie so aneinander, dass sich die Leiter auf der rechten Seite von Spule I und auf der linken Seite von Spule II berühren. Die sich berührenden Leiter werden von gleichen Strömen in entgegengesetzter Richtung durchflossen. Also kann man die sich berührenden Leiter herausnehmen, ohne die Feldstärke im Inneren zu verändern. Die dadurch entstehende Spule besitzt bei gleicher magnetischer Feldstärke B die doppelte Querschnittsfläche A. Also muss B unabhängig von A sein.	0	4	3
Verteilung der insgesamt **50** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

Aufgabe 2 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze</th><th colspan="3">Bewertung</th></tr>
<tr><th>I</th><th>II</th><th>III</th></tr>
<tr><td>a.</td><td>Erklärung der höheren Lautstärke
• Die eingestrahlte Schallwelle wird am geschlossenen Ende reflektiert.
• Die eingestrahlte und reflektierte Welle überlagern sich.
• In dem Glasrohr bildet sich eine stehende Welle aus.
• Dadurch schwingt die Luftsäule im Glasrohr mit der Frequenz des Lautsprechertones und verstärkt diesen.
• Es liegt Resonanz vor, wenn die Lautsprecherfrequenz eine Eigenfrequenz des Glasrohres trifft.
Erklärung der Entstehung der Korkmehlhäufchen
• Schallwellen sind Longitudinalwellen. Die Luftmoleküle sind die Oszillatoren und schwingen um ihre Ruhelage hin und her.
• Am festen Ende wird die Geschwindigkeitswelle mit einem Phasensprung von $\Delta\varphi = \pi$ reflektiert, so dass sich die eingestrahlte und die reflektierte Welle dort auslöschen.
• Am festen Ende entsteht deshalb ein Geschwindigkeitsknoten, weil sich die Luft nicht hin und her bewegen kann.
• Am freien Ende können die Luftmoleküle die Bewegung mitmachen und es entsteht ein „Geschwindigkeitsbauch“.
• An den Orten der Geschwindigkeitsknoten bleibt das Korkmehl einfach liegen.
• An den Orten der Geschwindigkeitsbäuche wird das Korkmehl herumgewirbelt.
• Die Querrippen an den Orten der Geschwindigkeitsbäuche entstehen durch Verwirbelung der Luftströmung an der Grenzfläche von Luft und Korkmehl.</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr>
<tr><td>b.</td><td>Bedeutung der Faktoren:
• Der cos-Term ist der Schwingterm, denn er enthält die Zeit t und die Schwingungsdauer T und gibt den Schwingungszustand eines Oszillators zum Zeitpunkt t an.
• Der Term $2 \cdot \hat{y} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ ist der Amplitudenterm. Er gibt die Amplitude eines Oszillators am Ort x an.
• Die Wellenlänge findet man als doppelten Abstand zweier Knoten, denn die Sinusfunktion hat für $x = \frac{\lambda}{2}$ ihre erste Nullstelle.
• Die Amplitude der beiden sich überlagernden Wellen ist $\hat{y}$.
• Die Schwingungsdauer eines Oszillators ist T.</td><td>5</td><td>2</td><td></td></tr>
</table>

c.	Es muss der Abstand zweier benachbarter Knoten gemessen werden. Der doppelte Wert liefert die Wellenlänge der stehenden Schallwelle. Es sei n die Knotenanzahl der stehenden Welle. Es passen $\left(\frac{1}{2}n+\frac{1}{4}\right)$ Wellenlängen in die Glasröhre. ***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** veränderte Grafik aus Metzler Physik Daraus ergibt sich $\lambda=\frac{L}{\frac{1}{2}n+\frac{1}{4}}$. Mit $c=\lambda\cdot f$ erhält man die Schallgeschwindigkeit $c=\frac{L}{\frac{1}{2}n+\frac{1}{4}}\cdot f$. Mit den gegebenen Werten erhält man $c_o=338,4\frac{m}{s}$, $c_1=339,2\frac{m}{s}$, $c_2=338,9\frac{m}{s}$ und $c_3=339,1\frac{m}{s}$ und damit $\overline{c}=338,9\frac{m}{s}$.	2	9	2
d.	Es gilt $\sin(\alpha)=\frac{\Delta s}{g}$ für das Dreieck mit zwei Spalten und dem Gangunterschied $\Delta s=n\cdot\lambda$. Es ist $\tan(\alpha)=\frac{a_n}{e}$ ***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** Für kleine Winkel α ist $\sin(\alpha)\approx\tan(\alpha)$ und deshalb ergibt sich $\frac{\lambda}{g}=\frac{a_n}{e}$. Umgestellt nach a ergibt sich $a_{gelb}=3,74cm$, $a_{grün}=3,53cm$ und $a_{blau}=2,81cm$.	2	5	1

e.	Die Jupitermonde benötigen $42,5h$ für eine Umkreisung des Jupiter, wenn in Oppositionsposition beobachtet wird. Dafür wir die Zeit zwischen zwei Austritten aus dem Jupiterschatten gemessen. ***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt*** *Bild von leifiphysik.de* In Oppositionsposition ändert sich die Entfernung der Erde zum Jupiter während einer Jupiterumkreisung des Mondes nicht merklich. Wenn die Erde sich in Richtung Konjunktionsposition bewegt, nimmt während der Zeit von $42,5h$ die Entfernung zum Jupiter zu. Das Licht benötigt deshalb eine um einige Sekunden längere Zeit bis zur Erde wenn der Mond aus dem Jupiterschatten heraustritt (maximal 15s). Während eines halben Jahres summieren sich diese „Verspätungen“ zu etwa $t = 1000s$ auf. Mit dem Bahndurchmesser d der Erdbahn kann die Lichtgeschwindigkeit $c = \frac{d}{t}$ berechnet werden. Auch moderne Lichtgeschwindigkeitsmessungen basieren auf Laufzeitunterschieden. Bei der Drehspiegelmethode fällt Licht auf einen drehbaren Spiegel. Dieser reflektiert das Licht auf einen festen Spiegel. Vom festen Spiegel wird das Licht wieder auf den Drehspiegel geworfen. Dreht sich ein Spiegel sehr schnell, so kann man den reflektierten Strahl an einer anderen Stelle auf einem Schirm beobachten. Die Lichtgeschwindigkeit wird mit der Strecke zwischen Drehspiegel und festem Spiegel sowie der zugehörigen Laufzeit-berechnet. Die Messungen sind allerdings im Labor durchführbar und die Messfehler hängen nicht von astronomischen Daten ab.	4	6	2
Verteilung der insgesamt **50** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

(Sämtliche Antworten, welche sich aus der Behandlung des Themas im Unterricht ergeben, sind entsprechend zu werten.)

Aufgabe 3 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze</th><th colspan="3">Bewertung</th></tr>
<tr><th>I</th><th>II</th><th>III</th></tr>
<tr><td>a.</td><td>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

(Hinweis: Eine Abbildung ist nicht gefordert, für eine Erklärung aber sinnvoll)
In einem beheizten Glaskolben befindet sich Quecksilberdampf bei niedrigem Druck.
Von einer Glühkatode lösen sich Elektronen. Diese werden zu einem Gitter hin durch eine Beschleunigungsspannung beschleunigt. Zwischen dem Gitter und einer dahinter liegenden Anode liegt eine Gegenspannung an. Besitzen die Elektronen nach dem Passieren des Gitters genug Energie, um diese Gegenspannung zu überbrücken, dann werden sie als Anodenstrom registriert.
Die Beschleunigungsspannung wird von 0V bis ca. 30V langsam hochgeregelt. Dabei wird der Anodenstrom in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung aufgezeichnet.</td><td>7</td><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>b.</td><td>Energie der beschleunigten Elektronen: $E_{el} = e \cdot U_B$
Energie der bei elastischen Stößen abgegebenen Photonen: $E_{phot} = h \cdot f$
$c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$
$e \cdot U_B = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$
$\Rightarrow h = \frac{e \cdot U_B \cdot \lambda}{c}$</td><td>2</td><td>6</td><td>1</td></tr>
<tr><td>c.</td><td>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Die Schüler_innen sollen auf der x-Achse die Beschleunigungsspannung U_B in Volt und auf der y-Achse die Stromstärke I in Mikroampere darstellen und die Messwerte sinnvoll verbinden.
Erklärung:
Im ersten Abschnitt (0V-4,9V) steigt der Strom kontinuierlich, da die freien Elektronen mit den Quecksilberatomen elastisch zusammenstoßen und dabei lediglich ihre Richtung ändern. Ab 4,9V finden inelastische Stöße statt bei denen die freien Elektronen ihre Energie an die Quecksilberatome abgeben und nun nicht zur Auffangplatte gelangen. Dadurch sinkt der gemessene Strom. Er geht nicht ganz auf Null zurück, weil einige Elektronen ohne Zusammenstoß mit Quecksilberatomen zur Auffangplatte gelangen.
Die Elektronen, die inelastisch mit Quecksilberatomen zusammenstießen, werden im elektrischen Feld erneut beschleunigt, so dass sich der Vorgang mehrfach wiederholen kann. In der vorliegenden Messung sieht man diese Wiederholung bei 9,8V und bei 14,7V.</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

	Sinnvoll aber für das Erreichen der vollen Punktzahl nicht notwendig: Die Daten zeigen, dass Quecksilberatome Energie nur in bestimmten Portionen so genannten Quanten aufnehmen können.	4	8	
d.	$h = \dfrac{1{,}602 \cdot 10^{-19} C \cdot 4{,}9V \cdot 250 \cdot 10^{-9} m}{2{,}998 \cdot 10^{8} \frac{m}{s}} = 6{,}55 \cdot 10^{-34} Js$	5		
e.	Tim hat Unrecht, weil die Energiequantelung nur auf die Elektronen der Quecksilberatome zutrifft, während die freien Elektronen mit denen die Quecksilberatome beschossen werden kontinuierlich Energie aufnehmen. Tina hat vielleicht jene freien Elektronen im Blick, vergisst dabei jedoch die gequantelte Energieaufnahme der in den Quecksilberatomen gebundenen Elektronen. Auch ihre Position ist darum nicht richtig.		3	4
f.	$e \cdot U_B = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2$ $\Rightarrow m_e \cdot v = \sqrt{2 \cdot e \cdot U_B \cdot m_e} = \sqrt{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} C \cdot 1{,}83 \cdot 10^{3} V \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31} kg}$ $= 2{,}31 \cdot 10^{-23} \dfrac{kg \cdot m}{s}$ mit: $p = m_e \cdot v$	2	6	
Verteilung der insgesamt **50** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**