

Aufgabe 1

Themenbereich: Thermodynamik

- 1.a In diesem Aufgabenteil geht es um den sogenannten Heißluft- oder Stirlingmotor. Die vier Abbildungen I bis IV unten zeigen die Bewegungsphasen eines Stirlingmotors. Dabei ist AK der Arbeitskolben und VK der Verdrängerkolben.

Die Abbildungen wurden aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. I bis IV : Bewegungsphasen eines Stirlingmotors. Quelle: Wikimedia Public Domain

- Erläutern Sie den Namen „Vierphasenmotor mit äußerer Wärmequelle“ anhand der einzelnen Takte.
- Skizzieren Sie ein p-V-Diagramm mit einem idealen stirlingschen Kreisprozess. Geben Sie dabei die Beziehungen zu den obigen vier Abbildungen I bis IV an. Zeichnen Sie auch die Energien und ihre Flussrichtungen ein.
- Nennen Sie durch Beschriften die einzelnen Takte. Benutzen Sie dabei die Ausdrücke *isochor* und *isotherm*.
- Stellen Sie die vom Motor abgegebenen Arbeit W graphisch dar. Begründen Sie ihre Darstellung ohne Rechnung..

(15 Punkte)

- 1.b Eine Gasmenge wird in dem unten gezeigten Kreisprozess (Abb. V) durch diese drei Zustände geführt:

1.Zustand (0,5 Liter/ 1000 hPa/ 300 K), 2.Zustand (2,5 Liter/1000 hPa/ 1500 K), 3. Zustand (2,5 Liter/ 200 hPa/ 300 K).

Gehen Sie davon aus, dass die oben genannte Gasmenge in dem Zylinder in Abb. VI eingeschlossen ist und dabei den gezeigten Kreisprozess durchläuft.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. V: Kreisprozess Quelle: Geogebra

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. VI: Bild von liegendem Zylinder mit Kolben. Der Kolben kann sich nach rechts oder links bewegen. Quelle: Wikimedia Public Domain

- Beschreiben Sie ohne Rechnungen die drei Zustandsänderungen und die Bewegungen des Kolbens in Abb. VI.

In einem anderen Zylinder mit reibungslos gleitendem Kolben befindet sich die Stoffmenge $n = 0,015 \cdot \text{mol}$ eines einatomigen idealen Gases ($V_1 = 225 \text{cm}^3$, $p_1 = 1,55 \cdot 10^5 \text{Pa}$).

- Berechnen Sie mithilfe der universellen Gasgleichung die absolute Temperatur T_1 des Anfangszustandes.

Dieses Gas wird isobar durch Zufuhr der Wärmemenge Q_p auf die Temperatur T_2 erwärmt, bis das Volumen $V_2 = 300 \text{cm}^3$ erreicht ist. Dabei verrichtet es die Arbeit $W = p_1 \cdot \Delta V$

- Berechnen Sie die Arbeit W .

(9 Punkte)

1.c

- Stellen Sie die Definition vom Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine in Worten sowie in einer Formel dar.

Der sogenannte *carnotsche* oder *ideale* Wirkungsgrad ist gegeben durch: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$. Er ist als nicht erreichbare Grenze für alle Kreisprozesse zu betrachten.

Abbildung VII zeigt zwei Beispiele für Wärmekraftmaschinen: Eine Dampfturbine und eine Gasturbine.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. VII: Dampfturbine/Gasturbine. Quelle: Wikimedia Public Domain

- Berechnen Sie den idealen Wirkungsgrad einer Dampfturbine (Eintrittstemperatur des Wasserdampfes 480°C, Abdampftemperatur 35°C.).
- Berechnen Sie den idealen Wirkungsgrad einer Gasturbine (Eintrittstemperatur des Gases 690°C; Abgastemperatur 260°C)

(6 Punkte)

1.d

- Erklären Sie den 1. Hauptsatz der Thermodynamik und nennen Sie ein Beispiel.

In den Weltmeeren ist eine riesige Menge an innerer Energie gespeichert. Stellen Sie sich vor, ein Schiff besitzt ein Antriebssystem, das ganz ohne konventionelle Energieträger wie Kohle oder Öl funktioniert. Es pumpt warmes Meerwasser ins Antriebssystem, entzieht dem Meerwasser die Wärme und konzentriert diese auf seine Heizkessel. Dort dient die gewonnene Wärme ausschließlich dem Vortrieb des Schiffes. Das genutzte Wasser wird stark abgekühlt zurück ins Meer geleitet.

- Diskutieren Sie mithilfe der Hauptsätze der Thermodynamik, ob ein solches Antriebssystem existieren kann.

Fred der Physiker hat sich ein wenig mit *Wärmepumpen* beschäftigt. Er trifft auf Fabienne die Physikerin und berichtet ihr:

„So eine Wärmepumpe ist schon eine feine Sache. Für ein ideales Gas ist ihr *technischer Wirkungsgrad* laut *Metzler Physik* definiert als

$$\eta_{WP} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} .$$

Weiter heißt es im *Metzler*. „Für eine Raumtemperatur von 22°C und eine Grundwassertemperatur von 5°C ergibt sich ein Wirkungsgrad $\eta_{WP} = 17$,....“

Fred staunt: „Das sind 1700%! Wenn eine Wärmepumpe also 17 mal so viel Energie erzeugen kann wie sie braucht, ist sie eine Art Super - Perpetuum mobile. Warum baut man sie dann nicht in allen möglichen Bereichen vom Kraftwerk bis zum PKW-Antrieb ein?“

Fabienne muss lachen: „Hör zu, Fred. Klingt ja alles ganz toll, was du sagst. Aber es gibt aus meiner Sicht mindestens zwei nicht ganz unwichtige Sachverhalte, die dir leider einen Strich durch die Rechnung machen.“

- Fabienne hat Recht. Diskutieren Sie Freds Irrtümer.

(20 Punkte)

Aufgabe 2

Themenbereich: Teilchen in Feldern

In der Abbildung 1 ist ein Versuchsaufbau zum Fadenstrahlrohr zu sehen.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1

<http://www.rendtel.de/Unterricht/Fotos/Fadenstrahlrohr/P1040153.html>

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 2

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fadenstrahlrohr_Versuchsaufbau.svg

2.a In Abbildung 2 ist eine Versuchsskizze mit dem typischen Verlauf eines Elektronenstrahls dargestellt.

- Erläutern Sie die Entstehung des Elektronenstrahls im Fadenstrahlrohr sowie das Zustandekommen der zu beobachtenden Kreisbahn.

(8 Punkte)

2.b Die Beschleunigungsspannung im Fadenstrahlrohr beträgt $U = 250 \text{ V}$ und die magnetische Feldstärke $B = 0,001 \text{ T}$.

- Berechnen Sie die Geschwindigkeit v der Elektronen im Fadenstrahlrohr.
- Erläutern Sie den Einfluss der magnetischen Feldstärke auf den Radius der Kreisbahn.
- Leiten Sie für den Bahnradius r der Elektronen im Fadenstrahlrohr die Gleichung

$$r = \sqrt{\frac{2Um}{eB^2}}$$
 her und berechnen Sie den Bahnradius.

(14 Punkte)

2.c Die Elektronen auf der Kreisbahn senden elektromagnetische Wellen aus. Im Experiment mit dem Fadenstrahlrohr kann deshalb die Umlauffrequenz f_U der Elektronen mit einem Radio mit Digitalanzeige gemessen werden. Das Rauschen des Radios ändert sich hörbar, wenn

die Umlauffrequenz $f_U = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{e \cdot U}{2\pi^2 \cdot r^2 \cdot m}}$ der Elektronen im Empfänger eingestellt wird.

Darin ist T die Umlaufdauer, U die Beschleunigungsspannung, r der Bahnradius, e die Elektronenladung und m die Masse eines Elektrons.

- Bestimmen Sie den Bereich des Radiospektrums (Langwelle (LW 30 kHz – 300 kHz), Mittelwelle (MW 300 kHz – 3000 kHz), Kurzwelle (KW 3 MHz – 30 MHz) oder Ultrakurzwelle (UKW 30 MHz – 300 MHz), in dem die Umlauffrequenz f_U beim Fadenstrahlrohr gemessen werden kann. Der Radius beträgt $r = 6$ cm und die Beschleunigungsspannung $U = 250$ V.

In der Gleichung für die Frequenz taucht die magnetische Feldstärke B gar nicht auf, obwohl man dies erwarten würde.

- Erklären Sie diesen scheinbaren Widerspruch.

(8 Punkte)

- 2.d Die Elektronen im Fadenstrahlrohr geben durch Strahlung in der Zeit Δt die Energie ΔE ab. Während eines Umlaufs ist dies $\Delta E = 5,9 \cdot 10^{-31} \text{ J} = 3,6 \cdot 10^{-12} \text{ eV}$.

Die Elektronenbahn ist auf ihrer Innenseite nicht ganz scharf (vgl. die Abbildung 3). Dies deutet auf eine Verringerung des Bahnradius hin. Die Beschleunigungsspannung beträgt $U = 250$ V.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 3

www.tu-ilmenau.de/de/exphys1/lehre/physikpraktikum/versuche/atomphysik/

- Vergleichen Sie die Energie ΔE mit der kinetischen Energie der Elektronen auf ihrer Kreisbahn bei einer Beschleunigungsspannung von $U = 250$ V.
- Erklären Sie das Zustandekommen der unscharfen Innenseite des Elektronenstrahls. Beziehen Sie auch die abgestrahlte Energie ΔE in die Betrachtung ein. Beachten Sie, dass ein Elektron wegen der räumlichen Lage der Beschleunigungseinheit nur einen Umlauf tätigen kann und die Energie eines Photons aus dem sichtbaren Spektrum eine Energie von rund 2eV besitzt.

(8 Punkte)

- 2.e *In der Metropolregion Hamburg ist eine Forschungsanlage der Superlative im Jahr 2016 eingeweiht worden: Der European XFEL wird ultrakurze Laserlichtblitze im Röntgenbereich erzeugen – 27 000 Mal in der Sekunde und milliardenfach intensiver als die der besten herkömmlichen Röntgenquellen.*

Der Beschleuniger des European XFEL bringt Elektronen nahezu auf Lichtgeschwindigkeit und schießt sie anschließend durch sogenannte Undulatoren. Dadurch senden die Teilchen extrem kurze und starke Röntgenblitze aus. Diese Blitze haben Lasereigenschaften – was bestimmte Experimente erst möglich macht, etwa die Aufnahme von Hologrammen.

(nach http://www.desy.de/forschung/anlagen__projekte/european_xfel/index_ger.html)

In der untenstehenden Abbildung 4 ist ein Querschnitt eines Undulators dargestellt. Im Undulator werden die Elektronenpakete durch periodisch angeordneten Magnetfelder gelenkt. In jeweils gleich großen Streckenabschnitten sind abwechselnd Magnetfelder mit umgekehrter Polung angeordnet.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 4 (aus Unterrichtsmaterialien zum TESLA-Projekt, Aulis Verlag Deubner)

Elektronen, die mit einer Spannung von $U = 500 \text{ V}$ beschleunigt wurden, treten in z-Richtung (in der Abbildung 4 nach rechts) in das in seiner Orientierung wechselnde und $B = 1,26 \text{ mT}$ starke Magnetfeld eines Undulators ein.

- Berechnen Sie den Bahnradius der Elektronenbahn in den jeweiligen Magnetfeldbereichen.
- In der Anlage 1 ist die Bahn eines Elektrons dargestellt. Begründen Sie den zunehmenden Abstand des Elektrons von der ursprünglichen Strahlachse.
- Zeichnen Sie in die Anlage 1 (mit unverändertem Magnetfeld B und unveränderter Beschleunigungsspannung U) eine mögliche Elektronenbahn so ein, dass das Elektron im Punkt P ankommt und erläutern Sie kurz die zugrunde liegende Idee.

(12 Punkte)

Anlage 1 zu Aufgabe 2d

Schnitt durch das Magnetfeld des Undulators. Dargestellt ist die x-z-Ebene. Die Richtungen der Magnetfelder sind durch die Symbole \times und \odot gegeben.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

(Zeichnung in Anlehnung an die Unterrichtsmaterialien zum TESLA-Projekt, Aulis Verlag Deubner)

Aufgabe 3

Thema Mikroobjekte - Quantenphysik

3.a Im Unterricht haben Sie sich mit Mikroobjekten wie Elektronen und Photonen sowie deren Vergleich zu klassischen Teilchen beschäftigt.

- Nennen Sie zwei Unterschiede sowie zwei Gemeinsamkeiten von Photonen und Elektronen.
- Nennen Sie einen Unterschied zu einem klassischen Teilchen.

(5 Punkte)

3.b Abbildung 1 zeigt einen Versuchsaufbau zum Fotoeffekt.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1
Dorn/Bader Physik Gymnasium Sek II 12/13, Schroedel 2000, S.236

- Beschreiben Sie einen Versuchsaufbau zum Fotoeffekt, die Versuchsdurchführung und die Versuchsbeobachtung in eigenen Worten.

Um Elektronen aus einer Natriumfotозelle auszulösen, darf das Licht höchstens eine Wellenlänge $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7}$ m haben.

- Erklären Sie die Ursache für diesen Sachverhalt.
- Erläutern Sie, dass der Versuch einen Hinweis auf den Teilchencharakter von Licht liefert.

In diesem Versuch wird die Natriumfotозelle mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ m bestrahlt.

- Berechnen Sie die maximale kinetische Energie W_{\max} der herausgelösten Elektronen.

(21 Punkte)

3.c

- Berechnen Sie die kinetische Energie W_e sowie die Wellenlänge λ_e eines Elektrons, das aus dem Ruhezustand eine Spannung U von 200 V durchläuft und dadurch beschleunigt wird.
- Schätzen Sie die Größe der Gitterkonstanten eines Gitters ab, an dem ein solches Elektron gebeugt wird.
- Berechnen Sie die Wellenlänge λ_{ph} einer Lichtstrahlung, deren Photonen eine Energie W_{ph} von 200 eV haben.
- Vergleichen Sie die Wellenlängen λ sowie die Energien W dieser Photonen und Elektronen.
- Bestimmen Sie die Formel für die kleinstmögliche Impulsunschärfe Δp_{\min} eines Teilchens, dessen Ortsunschärfe seiner de-Broglie-Wellenlänge λ entspricht.
- Vergleichen Sie Δp_{\min} mit dem Impuls p des Teilchens.

(15 Punkte)

3.d Tim und Tina streiten. Tim meint: „Ein Elektron ist wie ein Ball nur sehr viel kleiner.“ Tina entgegnet: „Das ist völlig falsch. Ein Elektron ist eher wie die Farbe eines Regenbogens, die aus Photonen besteht, denn beide haben eine Wellenlänge.“

- Diskutieren Sie diesen Streit aus physikalischer Sicht.

(9 Punkte)

Schriftliche Abiturprüfung 2017 im dritten Prüfungsfach

Grundkurs Physik

Mittwoch, 26. April 2017, 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 Kinder und Bildung von 7.00 bis 9.30 Uhr. Die von der Senatorin für Kinder und Bildung 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.	<p>Ein Stirlingmotor durchläuft vier Phasen eines Kreisprozesses, bevor er wieder seinen Ausgangszustand erreicht. Das Gas wird von außen erwärmt. Die vier Phasen lassen sich idealisiert beschreiben und im V-p-Diagramm darstellen:</p> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> <ol style="list-style-type: none"> Zu Abb.I: Isotherme Expansion. Wärmemenge Q_1 wird zugeführt; das Gas verrichtet Arbeit W_1. Zu Abb.II: Isochore Abkühlung. Wärmemenge Q_2 wird abgegeben. Das Gas verrichtet keine Arbeit. Zu Abb.III: Isotherme Kompression. Wärmemenge Q_3 wird abgegeben. Am Gas wird Arbeit W_3 verrichtet. Zu Abb.IV: Isochore Erwärmung. Wärmemenge Q_4 wird zugeführt. Das Gas verrichtet keine Arbeit. <p>Die Fläche zwischen dem Kurvenabschnitt von 1 nach 2 und der V-Achse entspricht der Energie, die durch die Arbeit W_1 an das Schwungrad abgegeben wird. Die Fläche unter dem Kurvenabschnitt von 3 nach 4 entspricht der Energie, die durch die Arbeit W_3 vom Schwungrad zugeführt wird. Also stellt die dunkle vom Kreisprozess eingeschlossene Fläche die Energie dar, die bei einem Zyklus vom Motor insgesamt durch Arbeit W abgegeben wird.</p>	11	4	
b.	<p>Die Änderung von Zustand 1 nach Zustand 2 erfolgt durch isobare Erwärmung. Der Kolben bewegt sich nach rechts. Die Änderung von Zustand 2 nach Zustand 3 erfolgt durch isochore Abkühlung. Der Kolben bewegt sich also nicht. Die Änderung von Zustand 3 nach Zustand 1 erfolgt durch isotherme Kompression. Der Kolben bewegt sich nach links.</p> $T_1 = \frac{p_1 \cdot V_1}{n \cdot R} = \frac{1,55 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 225 \cdot 10^{-6} m^3}{0,015 mol \cdot 8,3145 \frac{J}{mol \cdot K}} \approx 279,6 K$ $W = p_1 \cdot \Delta V = 1,55 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot (300 - 225) \cdot 10^{-6} m^3 \approx 11,6 J$	2	6	1
c.	<p>$\eta_{WKM} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$. Dabei ist die zugeführte Wärmeenergie Q_1 positiv und die abgegebene Wärmeenergie Q_2 negativ. Der Wirkungsgrad ist also der Quotient aus dem während eines Kreisprozesses in mechanische Energie W umgewandelten Teil der Wärmeenergie und der zugeführten Wärmeenergie.</p>		6	

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	$\eta_{DT1} = 1 - \frac{308K}{753K} \approx 0,591$ $\eta_{GT} = 1 - \frac{533K}{963K} \approx 0,447$			
d.	<p>Die Änderung der inneren Energie ΔU eines Körpers ist gleich der Summe der ausgetauschten mechanischen Energie ΔW und der ausgetauschten Wärmeenergie ΔQ: $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$</p> <p>Z.B. alle Maschinen, bei denen Reibungsverluste auftreten, erfüllen den 1. HS (nicht aber den EES der Mechanik). Zwei Beispiele sind der Otto-Viertaktmotor und die Kältemaschine.</p> <p>Dieses Antriebssystem wäre ein Perpetuum mobile (2. Art). Es bewirkt nichts anderes als die Abkühlung eines Wärmereservoirs und die Umwandlung der abgegebenen Wärmeenergie in mechanische Energie.</p> <p>Der 1. HS wird durch dieses Antriebssystem nicht verletzt. Der 2. HS besagt jedoch, dass es keine <i>periodisch</i> arbeitende Maschine geben kann, die Wärmeenergie ausschließlich in mechanische Energie umwandelt, ohne dass ein Teil der zugeführten Wärmeenergie wieder abgegeben wird.</p> <p>Ein solches Antriebssystem wäre aber offensichtlich periodisch arbeitend, also kann es nicht existieren. Wenn man so etwas bauen könnte, dann hätte man es schon längst getan.</p> <p>Ein Wirkungsgrad von 17 hört sich erstmal so an, als könne eine Wärmepumpe jede Menge Energie aus dem Nichts erzeugen. Dann wäre sie in der Tat eine Art Super - Perpetuum mobile.</p> <p>Das ist natürlich Unsinn. Zum einen ist der <i>technische</i> Wirkungsgrad gleich dem <i>Kehrwert</i> des carnotschen Wirkungsgrads (s. Formelsammlung) und daher zwangsläufig größer als 1 (Auch <i>Leistungszahl</i> genannt). Dieser Wert hat aber nichts mit einem Perpetuum mobile zu tun, sondern gibt lediglich Auskunft über die Güte und Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe.</p> <p>Zum anderen wird ein technischer Wirkungsgrad von 17 in der Wirklichkeit bei weitem nicht erreicht. Er stellt genau wie beim carnotschen Wirkungsgrad eine Grenze dar.</p> <p>Außerdem könnte man noch anmerken, dass der technische Wirkungsgrad umso höher liegt, je <i>kleiner</i> die Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ ist. Deshalb kann eine Wärmepumpe gut geeignet sein, um z.B. eine Fußbodenheizung zu betreiben; nicht aber ein Kraftwerk oder einen PKW.</p>	2	9	9
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, vor allem, wenn sie in sinnvoller Weise von der Erwartung abweichen.“ (vgl. §12 (1) der Verordnung über die Abiturprüfung (22.09.15))

Aufgabe 2 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>Mit dem Glühelektrischen Effekt werden in einer Glühwendel Elektronen freigesetzt, die dann in einem elektrischen Feld beschleunigt werden. Den Elektronen wird beim Durchlaufen der Spannung U vom elektrischen Feld die kinetische Energie</p> $\frac{1}{2}mv^2 = eU \text{ zugeführt.}$ <p>Die beschleunigten Elektronen treten in das von dem Helmholtzspulenpaar erzeugten homogene Magnetfeld ein. Geladene Teilchen mit einer Geschwindigkeit senkrecht zur magnetischen Feldstärke bewegen sich auf einer Kreisbahn, denn die an ihnen angreifende Lorentzkraft ist die Zentripetalkraft. Die Lorentzkraft, die Teilchengeschwindigkeit und die magnetische Feldstärke stehen paarweise senkrecht zueinander.</p>	8		
b.	<p>Die Gleichung $\frac{1}{2}mv^2 = eU$ für die kinetische Energie wird nach v umgestellt. Es ergibt sich $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 9,38 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.</p> <p>Die Lorentzkraft ist proportional zur magnetischen Feldstärke. Die Lorentzkraft ist die Zentripetalkraft. Mit steigender magnetischer Feldstärke steigt daher Kraft, die die Elektronen auf die Kreisbahn zwingt an. Daher wird der Kreisbahnradius bei gleich bleibender Elektronengeschwindigkeit kleiner.</p> <p>Aus $evB = \frac{mv^2}{r}$ erhalten wir für den Kreisbahnradius $r = \frac{mv}{eB}$. Aus der Gleichung für die kinetische Energie setzen wir $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ ein und erhalten</p> $r = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2eUm^2}{e^2B^2m}} = \sqrt{\frac{2Um}{eB^2}} = 5,3 \text{ cm.}$	4	8	2
c.	<p>Für $U = 250 \text{ V}$ und $r = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$ erhalten wir $f_U = 24,9 \text{ MHz}$, die Frequenz liegt im Bereich der Kurzwelle.</p> <p>Weil die Lorentzkraft von der magnetische Feldstärke abhängt und die Lorentzkraft die Elektronen auf die Kreisbahn zwingt, beeinflusst die magnetische Feldstärke den Radius der Kreisbahn. Bei gleicher Beschleunigungsspannung bleibt bei ansteigender magnetischer Feldstärke die Elektronengeschwindigkeit gleich, der Kreisradius wird allerdings kleiner, die Frequenz größer. Der Einfluss der magnetischen Feldstärke macht sich in der Größe des Kreisradius bemerkbar.</p>		6	2
d.	<p>Die kinetische Energie der Elektronen beträgt $E_{kin} = 250 \text{ eV}$.</p> <p>Die abgestrahlte Energie $\Delta E = 5,9 \cdot 10^{-31} \text{ J} = 3,6 \cdot 10^{-12} \text{ eV}$ ist um 15 Zehnerpotenzen kleiner als die kinetische Energie der Elektronen.</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Im Fadenstrahlrohr befindet sich ein Leuchtgas unter geringem Druck. Einige der Elektronen regen die Gasatome unter Energieabgabe zum Leuchten an. Die bei dieser Wechselwirkung übertragene Energiemenge liegt im Bereich von 1-2eV. Gibt ein Elektron an mehrere Gasatome Energie ab, so verringert sich seine kinetische Energie und der Kreisradius wird sichtbar kleiner. Eine Energieabgabe durch die Synchrotronstrahlung verringert dagegen die kinetische Energie eines Elektrons während eines Umlaufes praktisch gar nicht und kann daher den unscharfen inneren Rand nicht erklären.</p>	2	3	3
e.	<p>Mit der Formel aus Teilaufgabe 2.a erhalten wir $r = 6 \text{ cm}$.</p> <p>In der ersten Zeichnung entfernt sich das Elektron bei horizontalem Eintritt (z-Richtung) von der Strahlachse weil die Magnetfeldbereiche gleich breit sind. Nach der Umkehr des Magnetfeldes kann im folgenden Bereich nur die ursprüngliche Einschussrichtung erhalten werden.</p> <p>Die Elektronen müssen mit einem Neigungswinkel zur Bahnachse eingeschossen werden, damit die Bahn um die Bahnachse oszilliert.</p> <p>In den Zeichnungen soll der berechnete Kreisradius $r = 6 \text{ cm}$ benutzt werden.</p> <p style="text-align: center;">Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p>	1	8	3
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, vor allem, wenn sie in sinnvoller Weise von der Erwartung abweichen.“ (vgl. §12 (1) der Verordnung über die Abiturprüfung (22.09.15))

Aufgabe 3 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>Unterschiede: Elektronen besitzen eine Ruhemasse, Photonen nicht. Elektronen sind Träger elektrischer Ladung und Bestandteil von Materie, Photonen nicht.</p> <p>Gemeinsamkeiten: Beide sind durch h gekennzeichnete Quantenobjekte.</p> <p>$\lambda = \frac{h}{p}$ und $f = \frac{W}{h}$ gilt für Photonen gleichwie Elektronen. Beugung und Interferenz können sowohl bei Elektronen als auch bei Photonen beobachtet werden.</p> <p>Bei einem klassischen Teilchen wie einer Kugel können Ort und Impuls sowie Energie und Zeit gleichzeitig exakt gemessen werden. Der Bewegungsverlauf lässt sich bei gegebenen Anfangsbedingungen exakt vorhersagen.</p>	4	1	
b.	<p>In eine luftleere Fozelle fällt Licht, welches vorher durch Linse und Blende gebündelt wird. Durch Verkleinern der Blendenöffnung kann man die Lichtintensität verringern und durch Filter oder verschiedene Lichtquellen lässt sich die Frequenz des Lichtes variieren. Über einen Messverstärker wird die Spannung zwischen der Kathode und der Anode gemessen. In Abhängigkeit von der Frequenz des Lichtes misst man für ein Kathodenmaterial (z.B. Na) Spannungswerte zwischen 0 V und einer maximalen Spannung U_{\max}. Von der Intensität des Lichtes ist die Spannung unabhängig.</p> <p>Um Elektronen aus der Kathode zu lösen, wird eine bestimmte Energie benötigt. Bei zu großer Wellenlänge des Lichtes wird diese Energie nicht erreicht und die Elektronen bleiben im Metall gebunden.</p> <p>Licht gibt Energie nicht kontinuierlich, sondern in bestimmten Portionen ab. Dies entspricht unserer Vorstellung vom Impulsübertrag durch den Zusammenstoß von Teilchen.</p> <p>geg: c h $\lambda_1 = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $\lambda_2 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$</p> <p>ges: W_A W W_{kin}</p> <p>Rechnungen: $W_A = \frac{hc}{\lambda_1} = 3,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $W = \frac{hc}{\lambda_2} = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $W_{\text{kin}} = W - W_A = 3,57 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,23 \text{ eV}$</p> <p>Die herausgelösten Elektronen erhalten eine (maximale) kinetische Energie von 2,23 eV.</p>	7	8	6
c.	<p>$W = 200 \text{ eV}$</p> <p>$v = \sqrt{\frac{2W}{m}}$ $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mW}} = 8,68 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ gerundet 0,1 nm</p> <p>Das Gitter, an dem ein solches Elektron gebeugt würde, müsste eine Gitterkonstante in der Größenordnung von 0,1 nm haben.</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	$W = hf = 200eV \quad \lambda = \frac{hc}{W} = 6,2 \cdot 10^{-9} m$ $c_{\text{Licht}} = \lambda f$ <p>Obwohl Elektronen und Photonen dieselbe Energie besitzen, unterscheiden sich ihre deBroglie Wellenlängen deutlich, wobei die massenbehafteten Elektronen die deutlich kleinere Wellenlänge in der Größenordnung $10^{-11} m$ besitzen.</p> <p>Unschärferelation $\Delta x = \lambda$</p> $\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{mit} \quad \Delta x \Delta p \geq h \quad \text{ergibt sich} \quad \Delta p_{\min} = \frac{h}{\Delta x} = \frac{h}{\left(\frac{h}{p}\right)} = p$ <p>Die kleinstmögliche Impulsunschärfe entspricht dem Impuls des Teilchens.</p>	4	11	
d.	<p>Beide haben Unrecht. Zwar hat Tim Recht damit, dass man sich freie Elektronen vereinfacht als kleinste Teilchen (Bälle) vorstellen kann. Beide haben eine Masse und können Energie aufnehmen oder abgeben. Aber Tim hat Unrecht, weil in seinem Bild vom Elektron als Ball kein Platz für Quanteneigenschaften wie Unschärfe und Wellen-Teilchen-Dualismus bleibt.</p> <p>Tinas Behauptung greift den Wellencharakter von Elektronen auf, den sie als Quantenobjekte besitzen. Unterschiedliche Farben könnten für unterschiedliche Frequenzen und damit unterschiedliche Energien stehen. Ob Tina sich Materiewellen als klassische Wellen oder gar farbige Elektronen vorstellt, bleibt in ihrer Antwort offen. Der von Tim angesprochene Teilchencharakter fehlt in Tinas Erläuterung ganz.</p> <p>Für die Vergabe der vollen Punktzahl muss auf Tims und Tinas Äußerungen explizit Bezug genommen sein.</p>		5	4
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, vor allem, wenn sie in sinnvoller Weise von der Erwartung abweichen.“ (vgl. §12 (1) der Verordnung über die Abiturprüfung (22.09.15))