

Schriftliche Abiturprüfung 2017

Leistungskurs Physik

Mittwoch, 26. April 2017 - 9.00 Uhr

Unterlagen für die Prüfungsteilnehmerinnen und -teilnehmer

Allgemeine Arbeitshinweise

- Tragen Sie bitte oben rechts auf diesem Blatt und auf den nachfolgenden Aufgabenblättern die Schulnummer, die schulinterne Kursbezeichnung und Ihren Namen ein.
- Schreiben Sie auf alle Entwurfsblätter (Kladde) und die Reinschrift Ihren Namen.
- Versehen Sie Ihre Reinschrift mit Seitenzahlen.

Fachspezifische Arbeitshinweise

- Die Arbeitszeit beträgt 240 Minuten.
 - Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.
-

Aufgaben

- Sie erhalten zwei Aufgaben zur Bearbeitung.
- Überprüfen Sie bitte zu Beginn die Vollständigkeit der vorgelegten Aufgaben (Anzahl der Blätter, Anlagen, ...).
- Vermerken Sie in Ihrer Reinschrift, welche Aufgabe Sie jeweils bearbeiten.

Aufgabe 1

Themenbereich: Thermodynamik

1.a

- 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.

(14 Punkte)

1.b 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.

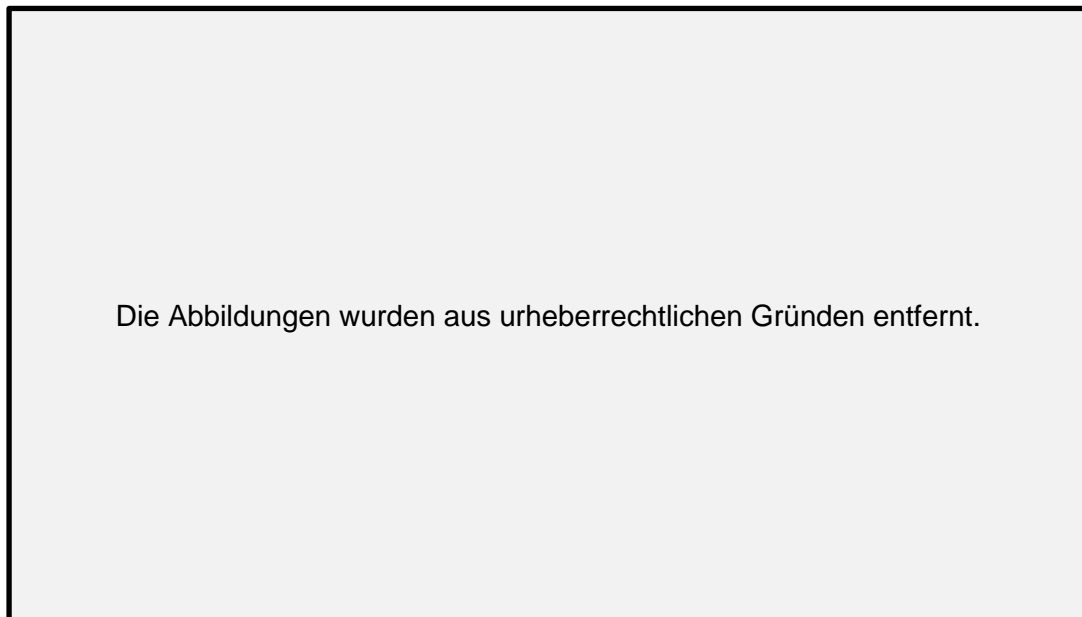


Abb. I bis IV : Bewegungsphasen eines Stirlingmotors. Quelle: Wikimedia Public Domain

- Erläutern Sie den Namen „Vierphasenmotor mit äußerer Wärmequelle“.
- 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 abgegebene Arbeit W graphisch dar. Begründen Sie Ihre Darstellung ohne Rechnung.

(11 Punkte)

1.c

- Stellen Sie die Definition vom Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine in Worten sowie in einer Formel dar.
- Leiten Sie den *carnotschen* oder *idealen* Wirkungsgrad $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ her.
- Erläutern Sie die Voraussetzungen für diesen *idealen* Wirkungsgrad η und begründen Sie seine Nichterreichbarkeit.

Abbildung V zeigt ein Beispiel für eine Wärmekraftmaschine: Eine Dampfturbine.

- Berechnen Sie den idealen Wirkungsgrad einer Dampfturbine (Eintrittstemperatur des Wasserdampfes 480°C, Abdampftemperatur 35°C.).
- Berechnen Sie erneut den idealen Wirkungsgrad für den Fall, dass man die Abdampftemperatur auf 120°C heraufsetzt, um die Energie zum Heizen zu verwenden (Fernwärme). Berechnen Sie die Größe der Abweichung vom vorherigen Wert.

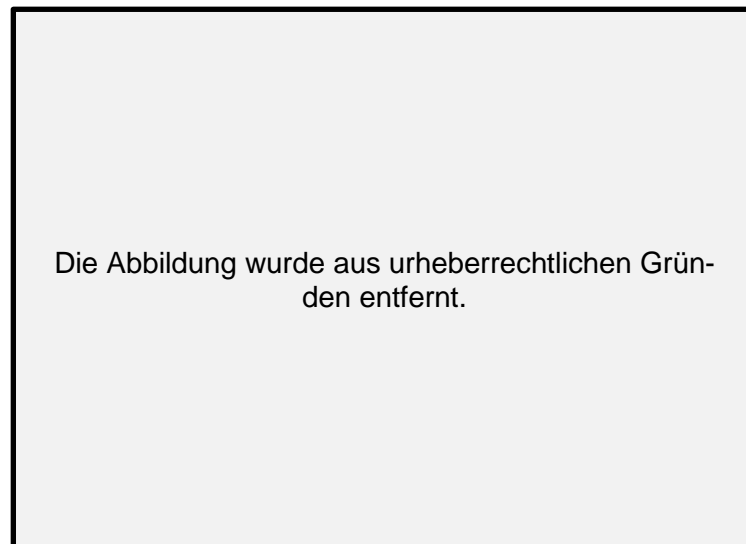


Abb. V: Dampfturbine. Quelle: Wikimedia Public Domain

(16 Punkte)

- 1.d Sogenannte *adiabatische* Zustandsänderungen laufen so schnell ab, dass dabei kein nennenswerter Austausch von Wärmeenergie stattfindet. In Abb. VI (unteres Diagramm) sind zum Vergleich zwei isotherme Zustandsänderungen und eine adiabatische Zustandsänderung eingezeichnet.

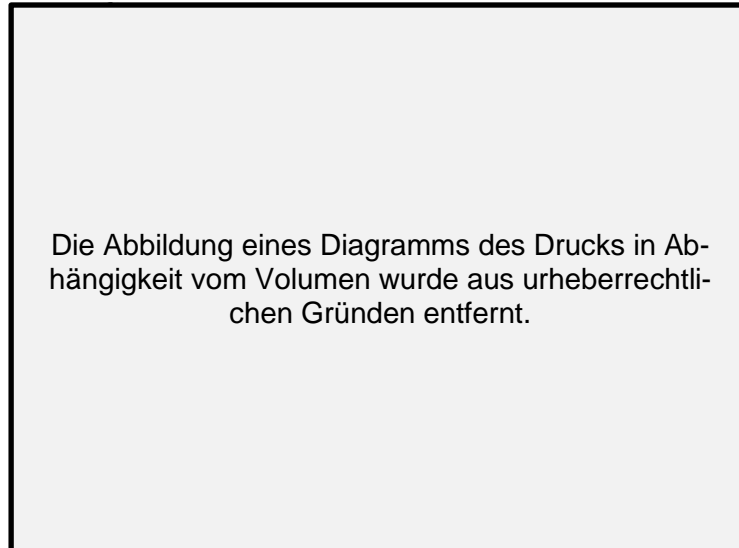


Abb.VI: Isotherme/Adiabatische Zustandsänderungen (Quelle: Wikimedia Public Domain)

- Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Verlauf der drei Kurven in Abb. VI und begründen Sie deren Zustandekommen.

Bei älteren Benzinrasenmähern kann die Kompression nachlassen.

Ein solcher älterer Rasenmäher hat einen Einzylinder-Viertaktmotor mit einem Kompressionsverhältnis von 1:5. Ein neuerer Mäher hat ein Kompressionsverhältnis von 1:8,5. Der neuere Mäher braucht dafür aber etwas höherwertiges Superbenzin (Preis 1,33 € pro Liter) statt des normalen Benzins (Preis 1,31 € pro Liter), mit dem der ältere Mäher läuft.

- Bestimmen Sie die Wirkungsgrade η beider (*idealisierten*) Motoren. Hinweis: In diesem

$$\text{Fall ist } \eta = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \quad \kappa = 1,4.$$

- Schätzen Sie den Unterschied der Wirkungsgrade η bei den *realen* Motoren ab und diskutieren Sie die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des neuen Mähers im Vergleich zu dem alten Gerät.

Bei der adiabatischen Expansion eines idealen Gases vom Volumen V_1 auf das Volumen V_2

wird die mechanische Energie $W = \frac{p_1 \cdot V_1}{\kappa - 1} \cdot \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \right)$ abgeführt. Dabei ist κ eine Konstante.

- Nennen Sie Bedingungen, unter denen diese abgeführte mechanische Energie W möglichst groß wird.

(9 Punkte)

Aufgabe 2

Themenbereich: Teilchen in Feldern

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

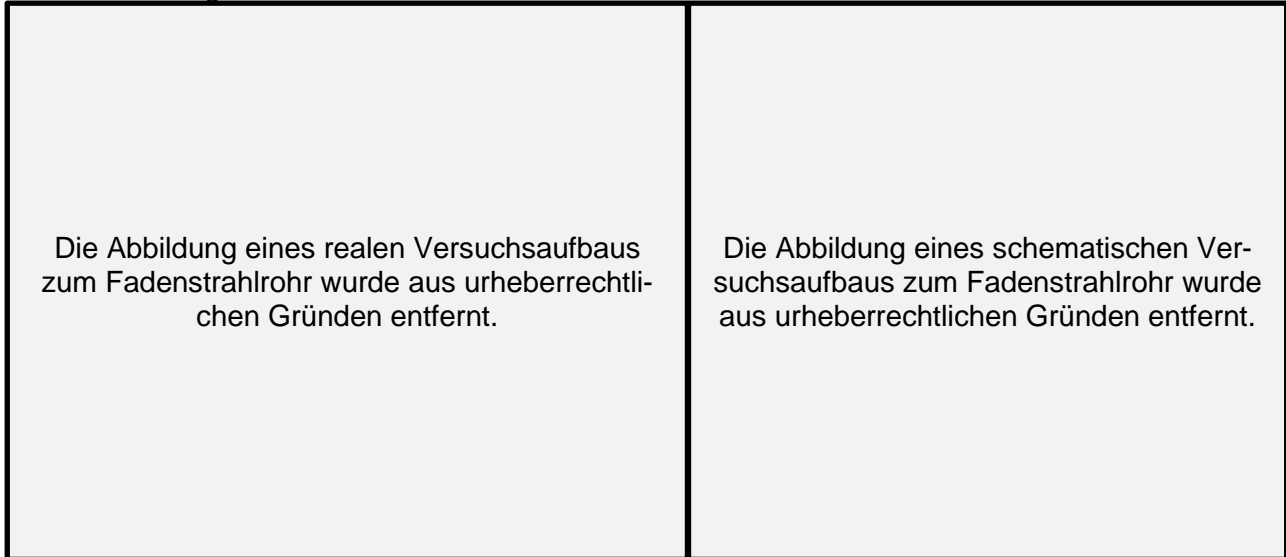


Abbildung 1 (Quelle: <http://www.rendtel.de/Unterricht/Fotos/Fadenstrahlrohr/P1040153.html>)

Abbildung 2 (Quelle: 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 Elektronenstrahles im Fadenstrahlrohr und das Zustandekommen der zu beobachtenden Kreisbahn.
- Leiten Sie für den Bahnradius r der Elektronen im Fadenstrahlrohr die Gleichung

$$r = \sqrt{\frac{2Um}{eB^2}} \text{ her.}$$

(10 Punkte)

2.b Da der Elektronenstrahl kreisförmig ist, lässt sich für die Elektronen eine Umlauffrequenz f_U angeben.

- Leiten Sie mithilfe der Bahngeschwindigkeit $v = \frac{2\pi r}{T}$ für die Umlauffrequenz f_U der Elektronen die folgende Gleichung her, in der nur direkt messbare Größen oder Naturkonstanten auftreten:

$$f_U = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{e \cdot U}{2\pi^2 \cdot r^2 \cdot m}}.$$

Darin ist T die Umlaufdauer, U die Beschleunigungsspannung, r der Bahnradius, e die Elektronenladung und m die Masse eines Elektrons. Hinweis: Benutzen Sie die Bahngeschwindigkeit eines Elektrons

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

- Erklären Sie diesen scheinbaren Widerspruch.

Beschleunigte Ladungen geben Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab. 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 der Elektronen im Empfänger eingestellt wird.

- Bestimmen Sie mit Hilfe der Abbildung 3 den Bereich des Radiospektrums (Langwelle, Mittelwelle, Kurzwelle oder Ultrakurzwelle), in dem die emittierte Strahlung beim Fadenstrahlrohr gemessen werden kann. Berechnen Sie dafür die Frequenz der Strahlung für eine Beschleunigungsspannung von $U = 200 \text{ V}$ und einem Bahnradius von $r = 8 \text{ cm}$.

Die Abbildung eines Teils des elektromagnetischen Spektrums wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 3 (Quelle: Metzler Physik, Schroedel Verlag, 2007, 4. Aufl. S.330)

(13 Punkte)

2.c Die Elektronen im Fadenstrahlrohr geben durch Strahlung in der Zeit Δt die Energie ΔW ab.

Diese Energie lässt sich berechnen mit der Gleichung $\Delta W = \frac{e^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} a^2 \cdot \Delta t$. Darin ist a die

Zentripetalbeschleunigung, e die Ladung des Elektrons, c die Lichtgeschwindigkeit und ϵ_0 die elektrische Feldkonstante.

- Bestimmen Sie die Größe der Zentripetalbeschleunigung für die Kreisbahn mit $r = 5 \text{ cm}$ und der Beschleunigungsspannung $U = 250 \text{ V}$.
- Berechnen Sie die Energiemenge ΔW in der Einheit Elektronenvolt, die ein Elektron während eines Umlaufes auf der Kreisbahn abgibt.
- Vergleichen Sie den erhaltenen Wert mit der kinetischen Energie der Elektronen.

Die Elektronenbahn ist auf ihrer Innenseite nicht ganz scharf (vgl. die Abbildung 4). Dies deutet auf eine Verringerung des Bahnradius r hin.

- Erklären Sie das Zustandekommen der unscharfen Innenseite des Elektronenstrahls. Beziehen Sie in Ihre Betrachtungen auch ein, ob die abgestrahlte Energie ΔW einen nennenswerten Beitrag leisten kann. 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.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 4 (Quelle: www.tu-ilmenau.de/de/exphys1/lehre/physikpraktikum/versuche/atomphysik/)

(17 Punkte)

2.d Bei sehr hohen Elektronengeschwindigkeiten senden Elektronen elektromagnetische Wellen nicht mehr gleichmäßig in alle Richtungen aus. „Stattdessen wird der bei weitem größte Teil der Strahlung in Fahrtrichtung abgegeben, fast nichts mehr nach hinten, oben oder unten. Dies ist ein Effekt, der mit der klassischen Physik allein nicht erklärt werden kann, sondern nur zusammen mit Einsteins spezieller Relativitätstheorie. Diese intensive Vorwärtsstrahlung heißt Synchrotronstrahlung, denn sie wurde 1947 zuerst in einem Teilchenbeschleuniger des gleichnamigen Typs entdeckt.“

(Quelle: http://www.desy.de/expo2000/deutsch/dhtmlbrowser/webthemen/07_hasyllab/synchrotronstrahlung.htm)

In der Metropolregion Hamburg ist im Jahr 2016 eine Forschungsanlage der Superlative 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 lange Undulatoren. Dadurch senden die Teilchen extrem kurze und starke Röntgenblitze aus. Anders als die Röntgenpulse aus einem Speicherring haben diese Blitze Lasereigenschaften – was bestimmte Experimente erst möglich macht, etwa die Aufnahme von Hologrammen.“

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

In der nebenstehenden Abbildung 5 ist ein Querschnitt eines Undulators dargestellt. Im Undulator werden die Elektronenpakete durch Strukturen mit periodisch angeordneten Magneten gelenkt. Der Abstand λ_U zweier gleich orientierter Magnetfelder heißt Undulatorwellenlänge.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

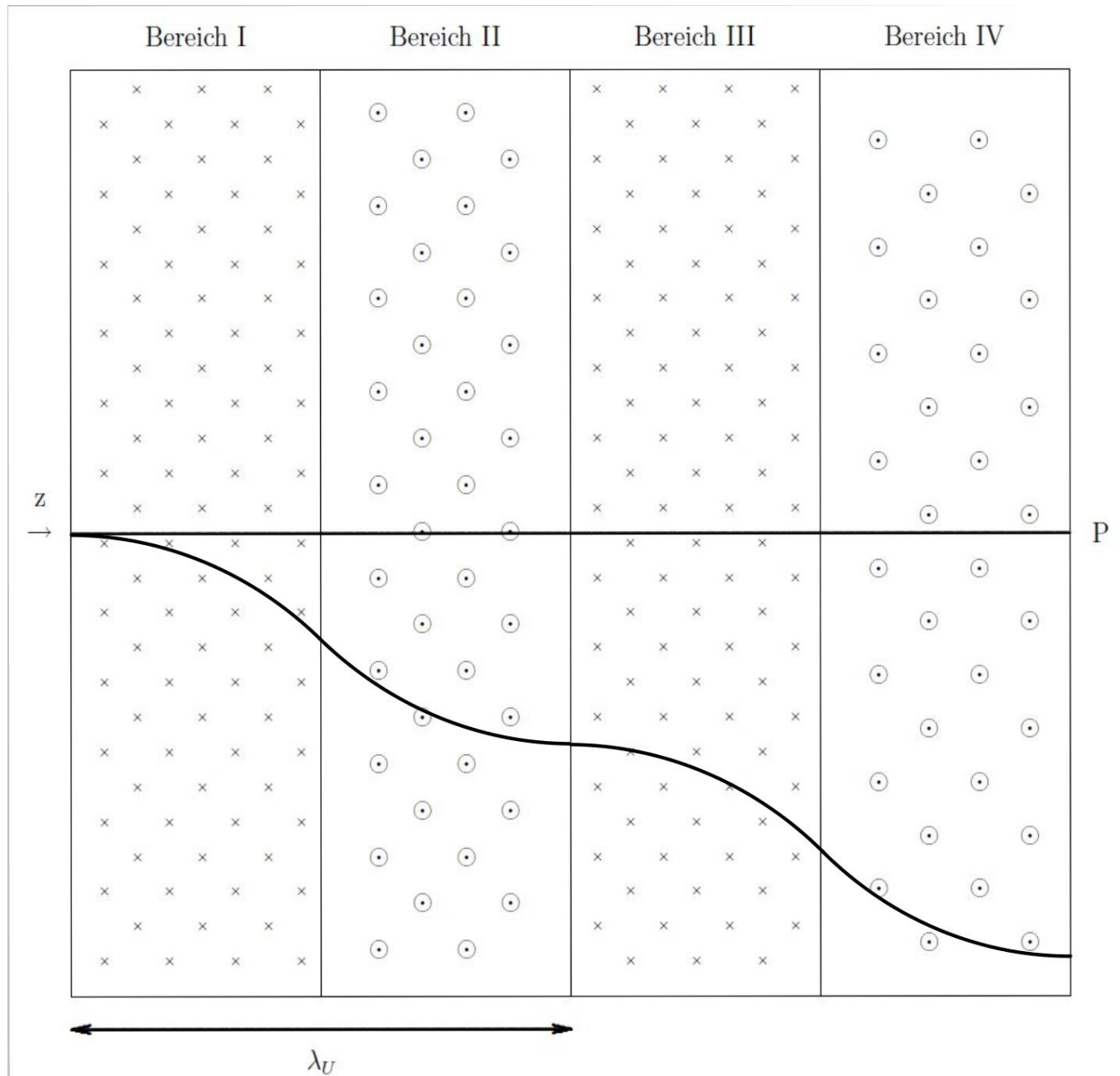
Abbildung 5 (Quelle: Unterrichtsmaterialien zum TESLA-Projekt, Aulis Verlag Deubner)

Elektronen, die mit einer Spannung von $U = 500 \text{ V}$ beschleunigt wurden, treten in z-Richtung (in der Abbildung 5 nach rechts) in das in seiner Orientierung wechselnde und $B = 1,26 \text{ mT}$ starke Magnetfeld eines Undulators ein.

- Begründen Sie, dass eine nichtrelativistische Rechnung hier zulässig ist.
- Berechnen Sie den Bahnradius r 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.
- Erläutern Sie die notwendigen Änderungen der Berechnung des Bahnradius r im relativistischen Fall. (10 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.



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

Aufgabe 3

Thema Mikroobjekte - Quantenphysik

Im Unterricht haben Sie sich mit Mikroobjekten wie Elektronen und Photonen beschäftigt. Auch der Vergleich zu klassischen Teilchen in makroskopischen Systemen war dabei wichtig.

3.a

- Nennen Sie zwei Unterschiede und zwei Gemeinsamkeiten von Photonen und Elektronen sowie einen Unterschied zu einem klassischen Teilchen.
- Zeichnen Sie ein Wasserstoffatom mit Hilfe des Orbitalmodells im Grundzustand. Erläutern Sie Ihre Zeichnung.

Die Energieniveaus beim Wasserstoff betragen:

n	∞	4	3	2	1
W_n in eV	0	-0,85	-1,5	-3,4	-13,6

- Bestimmen Sie die Wellenlänge, die ausgesandt wird, wenn ein Elektron von W_4 zu W_1 übergeht.
- Erläutern Sie die Begriffe Zustandsfunktion $\psi(x)$, Energieniveau W_n und Spektrallinie.

Ein sehr einfaches Atommodell ist der lineare Potentialtopf.

- Begründen Sie mit diesem Modell, dass Elektronen nur bestimmte Energieniveaus W_n besetzen können.
- Leiten Sie die Formel $W_n = \frac{h^2 n^2}{8m_e a^2}$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ zur Berechnung der Energieniveaus her.

Im Modell des linearen Potentialtopfes haben die Zustandsfunktionen $\psi(x)$ für die einzelnen Energieniveaus jeweils eine konstante Wellenlänge λ , während die Wellenlänge λ der Zustandsfunktionen $\psi(x)$ beim Wasserstoffatom mit wachsendem Abstand r zum Kern zunimmt.

- Erläutern Sie das Zustandekommen dieses Unterschieds.

(22 Punkte)

3.b

- 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.
- Bestimmen 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.

(9 Punkte)

3.c

Abbildung 1 zeigt einen Versuchsaufbau zum Fotoeffekt.

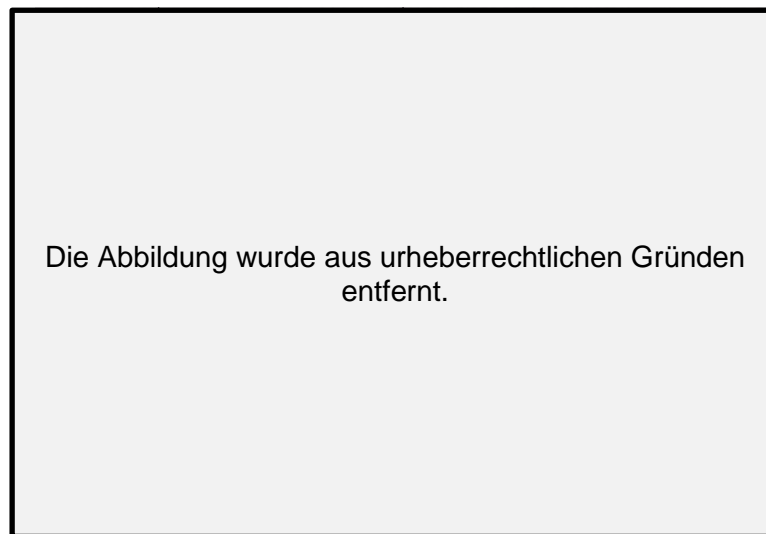


Abbildung 1

(Quelle: 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.

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

(13 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.

(6 Punkte)

Schriftliche Abiturprüfung 2017

Leistungskurs Physik

Mittwoch, 26. April 2017, 9.00 Uhr

Unterlagen für Referenten und Korreferenten

- Diese Unterlagen sind nicht für Schülerinnen und Schüler bestimmt -

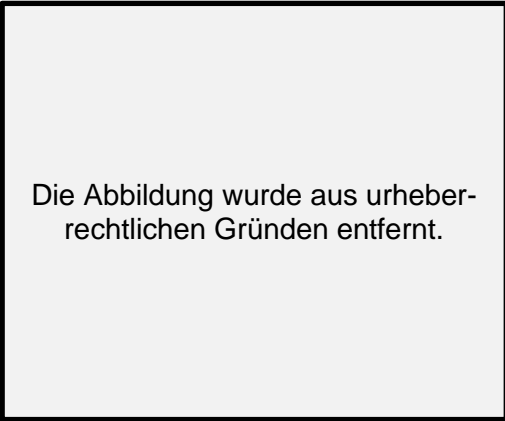
Diese Unterlagen enthalten ...

- 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 über die **Hotline (0421...)** 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 240 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.

Aufgabe 1 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<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>	2	10	2
b.	<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> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>p</p>  <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zu Abb.I: Isotherme Expansion. Wärmemenge Q_1 wird zugeführt; das Gas verrichtet Arbeit W_1. 2. Zu Abb.II: Isochore Abkühlung. Wärmemenge Q_2 wird abgegeben. Das Gas verrichtet keine Arbeit. 3. Zu Abb.III: Isotherme Kompression. Wärmemenge Q_3 wird abgegeben. Am Gas wird Arbeit W_3 verrichtet. 4. Zu Abb.IV: Isochore Erwärmung. Wärmemenge Q_4 wird zugeführt. Das Gas verrichtet keine Arbeit. 			

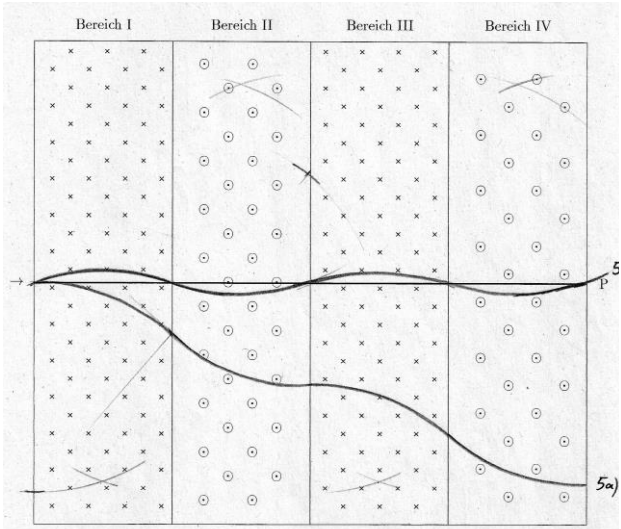
Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Die Fläche zwischen dem Kurvenabschnitt von 1 nach 2 und der V-Achse entspricht der Energie, die durch die Arbeit W_1 an das Schwungrad abgegeben wird. Die Fläche unter dem Kurvenabschnitt von 3 nach 4 entspricht der Energie, die durch die 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>	8	3	
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> <p>Für hinreichend langsame (idealisierte) Prozesse gilt nach der allg. Gasgleichung $p = \frac{nRT}{V}$ und für eine isotherme Expansion ($W < 0$):</p> $W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = -nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -nRT \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right).$ <p>Dementsprechend ist $Q_1 = -W_{12} = nRT_1 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$</p> <p>und $Q_2 = -W_{34} = -nRT_2 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$. Also ist $\eta = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.</p> <p>Um diesen höchstmöglichen Wirkungsgrad zu erreichen, müssten alle Irreversibilitäten vermieden werden. Das bedeutet, es dürfte keine Verluste durch Reibung geben. Daher ist der Wirkungsgrad bei realen Prozessen stets kleiner als der ideale Wirkungsgrad.</p> <p>Da bei WKM die tiefere Temperatur $T_2 \approx 300K$ (Umgebungstemperatur) ist, können große Wirkungsgrade nur durch hohe Arbeitstemperaturen T_1 erreicht werden. Diese werden durch die Werkstoffe und durch Erfordernisse der Sicherheit begrenzt.</p> $\eta_{DT1} = 1 - \frac{308K}{753K} \approx 0,591 \quad \dots \quad \eta_{DT2} = 1 - \frac{393K}{753K} \approx 0,478$			
			10	6

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Vgl: $\frac{\eta_{DT2}}{\eta_{DT1}} \approx 0,81$ Der Wirkungsgrad bei höherer Abdampftemperatur ist also um ca. 19 % geringer als der bei niedrigerer Abdampftemperatur.</p>			
d.	<p>Die Adiabate schneidet die beiden Isothermen. Bei allen drei Kurven steigt der Druck mit kleiner werdendem Volumen, aber bei der Adiabate geschieht dies schneller. Viertakt-Verbrennungsmotoren komprimieren das Gas derart schnell, dass dem Gas dadurch mechanische Energie zugeführt wird, was eine Erhöhung der Temperatur im Brennraum zur Folge hat. Daher der höhere Druckanstieg als bei den isothermen Kompressionen mit $p \sim 1/V$.</p> $\eta_{alt} = 1 - \left(\frac{1}{5}\right)^{1,4-1} \approx 0,475 \quad \eta_{neu} = 1 - \left(\frac{1}{8,5}\right)^{1,4-1} \approx 0,575$ <p>Reale Motoren erreichen diese Werte bei weitem nicht. Benzinmotoren haben tatsächliche Wirkungsgrade, die nur ungefähr halb so groß sind wie die berechneten Werte.</p> <p>Man kann demnach erwarten, dass der Wirkungsgrad des neuen Motors in Wirklichkeit ein paar Prozent höher liegt als der des alten Motors.</p> <p>Das normale Benzin kostet nur 2 Cent weniger als höherwertiges Superbenzin. Bei Preisen von deutlich über 1 € pro Liter sind das weniger als 2% Differenz. Der neue Mäher läuft also insgesamt etwas wirtschaftlicher als der alte Mäher.</p> <p>Wann er sich im Vergleich zu dem alten Mäher amortisiert, hängt natürlich von Unwägbarkeiten wie Reparaturen etc. ab.</p> <p>Der Ausdruck in Klammern ist der Wirkungsgrad $\eta = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1}$. W wird groß, wenn der Wirkungsgrad und das Produkt $p_1 V_1$ beide möglichst groß sind.</p> <p>Ein hoher Wirkungsgrad wird erzielt, wenn das Kompressionsverhältnis $\frac{V_1}{V_2}$ möglichst klein wird, der Motor also eine hohe Verdichtung hat.</p> <p>Ein großes Produkt $p_1 V_1$ wird erzielt, wenn hoher Druck im Brennraum herrscht und wenn das Volumen des Brennraums groß ist, sodass auch das Volumen V_1 nach der möglichst hohen Verdichtung immer noch relativ groß ist.</p>		2	7
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		10	25	15

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> $\frac{1}{2}mv^2 = eU$ <p>zugeführt.</p> <p>Die beschleunigten Elektronen treten in das von dem Helmholtzspulenpaar erzeugte homogene Magnetfeld ein. Geladene Teilchen mit einer Geschwindigkeit senkrecht zur magnetischen Feldstärke bewegen sich auf einer Kreisbahn, denn die Lorentzkraft ist die Zentripetalkraft. Die Lorentzkraft, die Teilchengeschwindigkeit und die magnetische Feldstärke stehen paarweise senkrecht zueinander.</p> <p>Die Lorentzkraft ist die Zentripetalkraft. 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 $r = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2Um^2}{e^2B^2m}} = \sqrt{\frac{2Um}{eB^2}}$.</p>	6	4	
b.	<p>Für die Bahngeschwindigkeit gilt $v = \frac{2\pi r}{T}$. Die Gleichung $\frac{1}{2}mv^2 = eU$ für die kinetische Energie wird nach v umgestellt und die beiden Terme für v werden gleichgesetzt. Es ergibt sich $\frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$. Daraus erhalten wir</p> $\frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi r} \sqrt{\frac{2eU}{m}} \quad f_U = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{2eU}{4\pi^2 r^2 m}} = \sqrt{\frac{eU}{2\pi^2 r^2 m}}$ <p>Weil die Lorentzkraft von der magnetischen 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> <p>Für $U = 200 \text{ V}$ und $r = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$ erhalten wir $f_U = 16,7 \text{ MHz}$, die Frequenz liegt im Bereich der Kurzwellen. Im logarithmischen Diagramm unterteilen wir mit $\log(16,7) \approx 1,2$ den Bereich zwischen 10 und 100 MHz in fünf gleiche Abschnitte. Der erste liegt im Kurzwellenbereich.</p>	2	7	4
c.	<p>Die Zentripetalbeschleunigung wird mit $a = \frac{v^2}{r}$ bestimmt. Für die Geschwindigkeit setzen wir den Term $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ eingesetzt und erhalten</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung			
		I	II	III	
	<p>$a = \frac{2eU}{m \cdot r} = 1,76 \cdot 10^{15} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Für einen Umlauf ist $\Delta t = T = \frac{1}{f_U} = 3,36 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.</p> <p>Für die abgestrahlte Energie erhalten wir $\Delta W = 5,9 \cdot 10^{-31} \text{ J} = 3,6 \cdot 10^{-12} \text{ eV}$.</p> <p>Die kinetische Energie der Elektronen beträgt $E_{kin} = 250 \text{ eV}$. Das ist mehr als 10^{13} mal so viel.</p> <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 emittierte elektromagnetische Strahlung verringert dagegen die kinetische Energie eines Elektrons während eines Umlaufes beinahe gar nicht und kann daher den unscharfen inneren Rand nicht erklären.</p>	1	8	8	
d.	<p>Die kinetische Energie der Elektronen ist viel kleiner als die Ruheenergie der Elektronen, daher darf nichtrelativistisch gerechnet werden.</p> <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>Im Falle einer relativistischen Rechnung muss mit der relativistischen Masse gerechnet werden:</p> $evB = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot \frac{v^2}{r}$ <p>In den Zeichnungen sollte der berechnete Kreisradius $r = 6 \text{ cm}$ benutzt werden.</p>		1	6	3
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		10	25	15	

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> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Die Abbildung eines s-Orbitals wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Das s-Orbital zeigt die Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte des Wasserstoffelektrons im Grundzustand. Sie nimmt mit wachsendem Abstand zur Kugelmittle (Ort des Atomkerns) ab und hat keinen definierten Rand.</p> <p>$\Delta W_{4 \rightarrow 1} = -0,85 \text{ eV} + 13,6 \text{ eV} = 12,75 \text{ eV} = 2,04 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ mit $W = hf$ folgt</p> <p>$f_{4 \rightarrow 1} = \frac{\Delta W_{4 \rightarrow 1}}{h} = 3,08 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ mit $\lambda = \frac{c}{f}$ ergibt sich $\lambda_{4 \rightarrow 1} = 97,3 \text{ nm}$</p> <p>Ein Quantenobjekt (hier das Wasserstoffelektron) wird durch seine Psi-Funktion $\Psi(x)$ beschrieben. Ihr Betragsquadrat gibt die Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte des Quantenobjekts bei einer Messung an und wird durch ein Orbital veranschaulicht. Jedem Zustand ist ein Energieniveau W_n zugeordnet, es ist ein Maß für die Stärke der Bindung zwischen Elektron und Proton. Wechselt ein Elektron zwischen Energieniveaus, zeigt sich dies in Absorptions- bzw. Emissionsspektren (Spektrallinien).</p> <p>Die unendlichen Potentialtopfwände stellen die Grenzen des Atoms dar und können von den Elektronen (hier nur das eine Wasserstoffelektron) nicht verlassen werden. Elektronen werden als Quantenobjekte durch eine Wellenfunktion $\psi(x)$ beschrieben, die im Modell des Potentialtopfes durch stehende Wellen dargestellt wird. Innerhalb des Potentialtopfes der Länge a gibt es für die Herausbildung von stehenden Wellen nur fest definierte Möglichkeiten, da am Rand immer Knoten zu finden sein müssen (denn die Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte Psi-Betragsquadrat soll am Rand und außerhalb des Potentialtopfes gleich Null sein).</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Aus diesen Randbedingungen folgt für die möglichen Wellenlängen der stehenden Wellen $\lambda_n = \frac{2a}{n}$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$. Dies führt zu den möglichen Impulsen $p_n = \frac{h}{\lambda_n} = \frac{hn}{2a}$ und zu den Energieniveaus $W_n = \frac{p_n^2}{2m_e} = \frac{h^2 n^2}{8m_e a^2}$</p> <p>Der Potentialtopf ist ein kräftefreier Raum. Das heißt, der Abstand zum Atomkern spielt für die potentielle Energie des gebundenen Elektrons, anders als beim Wasserstoffatom, keine Rolle.</p>	4	10	8
b.	<p>$W = 200 \text{ eV}$</p> $v = \sqrt{\frac{2W}{m}} \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mW}} = 8,68 \cdot 10^{-11} \text{ m gerundet } 0,1 \text{ nm}$ <p>Das Gitter, an dem ein solches Elektron gebeugt würde, müsste eine Gitterkonstante in der Größenordnung von 0,1 nm haben.</p> <p>$W = hf = 200 \text{ eV}$ $c_{\text{Licht}} = \lambda f \quad \lambda = \frac{hc}{W} = 6,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$</p> <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: $\Delta x = \lambda$ $\lambda = \frac{h}{p}$ mit $\Delta x \Delta p \geq h$ ergibt sich $\Delta p_{\min} = \frac{h}{\Delta x} = \frac{h}{(\frac{h}{p})} = p$</p> <p>Die kleinstmögliche Impulsunschärfe entspricht dem Impuls des Teilchens.</p>	3	6	
c.	<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>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<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: $W_A = \frac{hc}{\lambda_1} = 3,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $W = \frac{hc}{\lambda_2} = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $W_{kin} = W - W_A = 3,57 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,23 \text{ eV}$</p> <p>Die herausgelösten Elektronen erhalten eine (maximale) kinetische Energie von 2,23 eV.</p>	3	6	4
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>		3	3
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		10	25	15

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))