

### Aufgabe 1 – Schwerpunktthema Gravitationsfeld

1.a Der Begriff des Feldes bietet den Vorteil, unterschiedliche physikalische Gebiete mit ähnlichen mathematischen Strukturen zu beschreiben.

- Vergleichen Sie das Modell des Gravitationsfeldes mit dem Modell des elektrischen Feldes. Gehen Sie dabei insbesondere auf die Ursache des Feldes, die Feldstärken und die Feldlinien ein.

(13 BE)

1.b • Erläutern Sie im Hinblick auf die Newtonsche Gravitationstheorie den Begriff des Gravitations-trichters. Benutzen Sie auch die Abbildung 1.

- Berechnen Sie die Mindestgeschwindigkeit, die eine Rakete haben muss, um das Gravitationsfeld der Erde zu verlassen.
- Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der ein geostationärer Satellit die Erde umkreist. Berechnen Sie dazu zunächst den Radius der zugehörigen Kreisbahn.

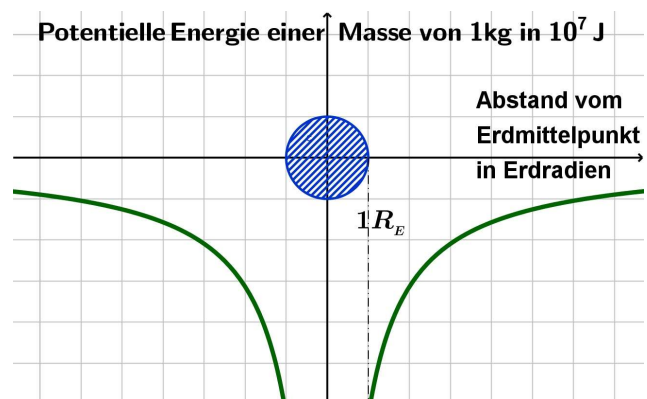


Abbildung 1 (Quelle: Abiturkommission)

(14 BE)

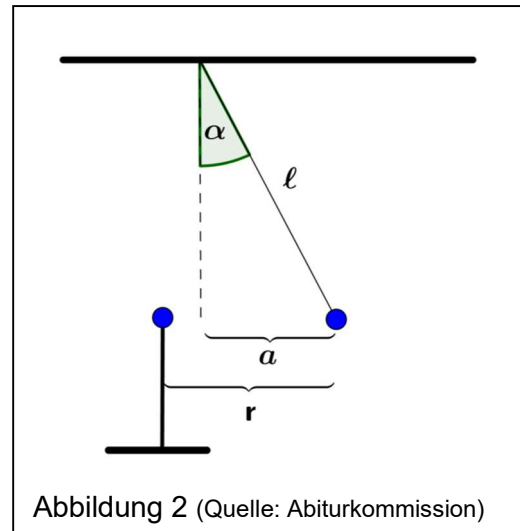
1.c Satelliten werden mit Raketen in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht.

- Berechnen Sie die Energie, um einen Satelliten der Masse  $m$  von 3 t von der Erdoberfläche in eine Höhe  $h$  von 400 km zu transportieren.
- Berechnen Sie die notwendige kinetische Energie, damit der Satellit sich auf einer Kreisbahn bewegt.
- Vergleichen Sie die beiden Energien.

(13 BE)

1.d *Eine Messung der Feldkonstanten*

Die elektrische Feldkonstante  $\epsilon_0$  kann mit einem Pendel gemessen werden. Dazu werden zwei identische mit Graphit bestrichene Wattekugeln benutzt (Masse  $m=0,001\text{ kg}$ ). Eine wird an zwei langen Fäden so aufgehängt, dass sie nur in eine Richtung auslenken kann. Abb.2 zeigt die Seitenansicht der Aufhängung. Die zweite wird mit einer Konduktorkugel aufgeladen. Anschließend wird die Ladung durch Berührung der beiden Wattekugeln aufgeteilt. Mit der Auslenkung der aufgehängten Kugel kann die abstoßende Kraft gemessen werden. Die Ladungen  $Q$  der Kugeln betragen jeweils  $30\text{ nC}$  und die Pendellänge  $\ell$  beträgt  $1,5\text{ m}$ .



- Berechnen Sie die elektrische Feldkonstante, wenn für den Winkel  $\alpha=2^\circ$  bei einem Abstand  $r=15\text{ cm}$  gemessen wird.
- Nehmen Sie Stellung zu der Behauptung, dass mit einem solchen Fadenpendel-Experiment auch die Gravitationskonstante bestimmt werden kann.

(10 BE)

## Aufgabe 2 – Schwerpunktthema Thermodynamik

Die Messung der globalen durchschnittlichen Lufttemperatur zeigt, dass die 20 wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnung alle nach 1990 liegen. Dies soll als Anlass dienen sich Gedanken über thermodynamische Abläufe auf unserer Erde zu machen.

- 2.a Um zukünftig möglichst wenig zusätzliches  $\text{CO}_2$  in unserer Atmosphäre freizusetzen, bieten sich Heißluftmotoren statt Verbrennungsmotoren an, bei denen die Beheizung des Motors entweder mittels Solarenergie oder mittels Biomasse erfolgen kann. Der von John Ericsson 1850 entwickelte Ericssonmotor mit äußerer Verbrennung ähnelt dem Stirlingmotor. Der Kreisprozess ist qualitativ in Abbildung 1 dargestellt. Er besteht aus zwei isothermen und zwei isobaren Zustandsänderungen.

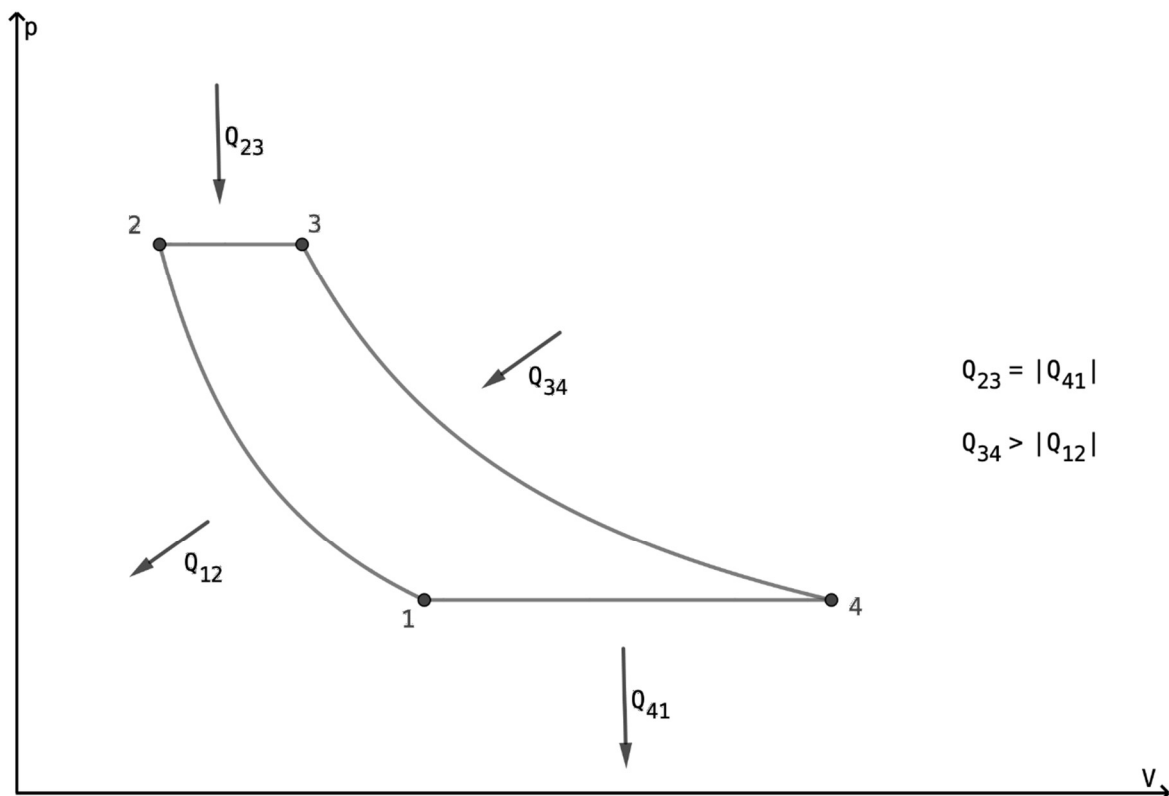


Abb. 1: V-p-Diagramm eines Ericssonmotors (Quelle: Abiturkommission)

- Geben Sie an in welcher Phase (in Abb. 1) eine isotherme Expansion und in welcher Phase eine isotherme Kompression vorliegt.

Bei den isothermen Phasen besitzt das Arbeitsgas eine Temperatur von  $T_K = 400\text{K}$  und  $T_W = 800\text{K}$ . Die Stoffmenge ( $n = 0,005\text{ mol}$ ) des Arbeitsgases bleibt erhalten, der niedrigste Druck des Kreisprozesses liegt bei  $p_t = 1,61 \cdot 10^5\text{ Pa}$  und der höchste Druck bei  $p_h = 1,66 \cdot 10^5\text{ Pa}$ .

- Berechnen Sie das größte Volumen  $V_g$  des Gases im Kreisprozess.
- Zeigen Sie mit Hilfe der universellen Gasgleichung, dass sich das Gasvolumen vor der isothermen Expansion  $V_{vor}$  mit der Gleichung  $V_{vor} = V_g \cdot \frac{p_t}{p_h}$  berechnen lässt.
- Beschreiben Sie auf Basis des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik das Verhalten der inneren Energie  $U$  in der ersten (1-2) und dritten (3-4) Phase des Kreisprozesses.

(15 BE)

2.b Beurteilen Sie mit Hilfe des ersten und zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, ob folgende periodisch arbeitende Maschine konstruiert werden kann um die globale Temperatur zu senken. Die Maschine soll nichts weiter bewirken als das Anheben einer Last und gleichzeitig die Temperatur des Erdbodens in ihrer Nähe verringern.

- Erläutern Sie die allgemeine Definition des Wirkungsgrads  $\eta$  und bestimmen Sie den Wirkungsgrad der in Abbildung 2 dargestellten Wärmekraftmaschine.

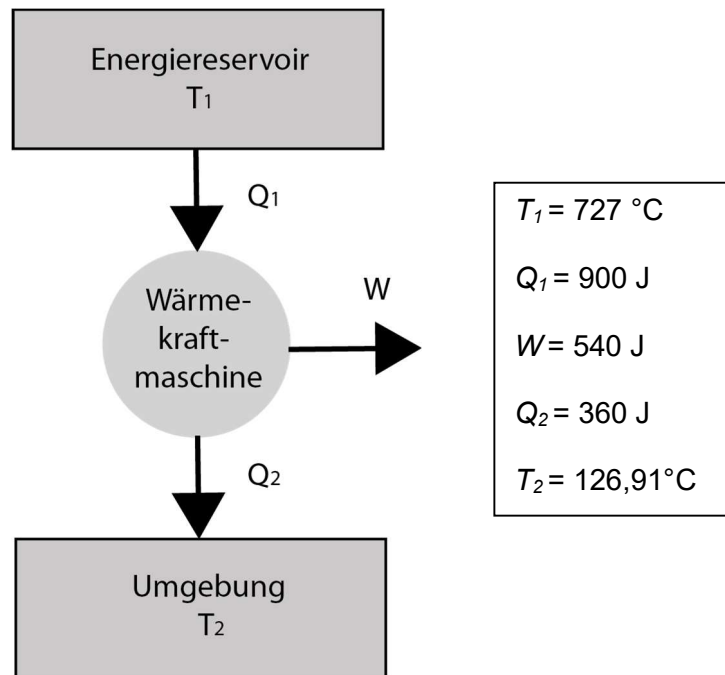


Abb. 2: Energiefluss einer Wärmekraftmaschine (Quelle: Abiturkommission)

(12 BE)

2.c Im folgenden Modell zur Beschreibung des Treibhauseffekts wird davon ausgegangen, dass die Erde eine Atmosphäre besitzt und die Erdoberfläche einem idealen schwarzen Körper entspricht.

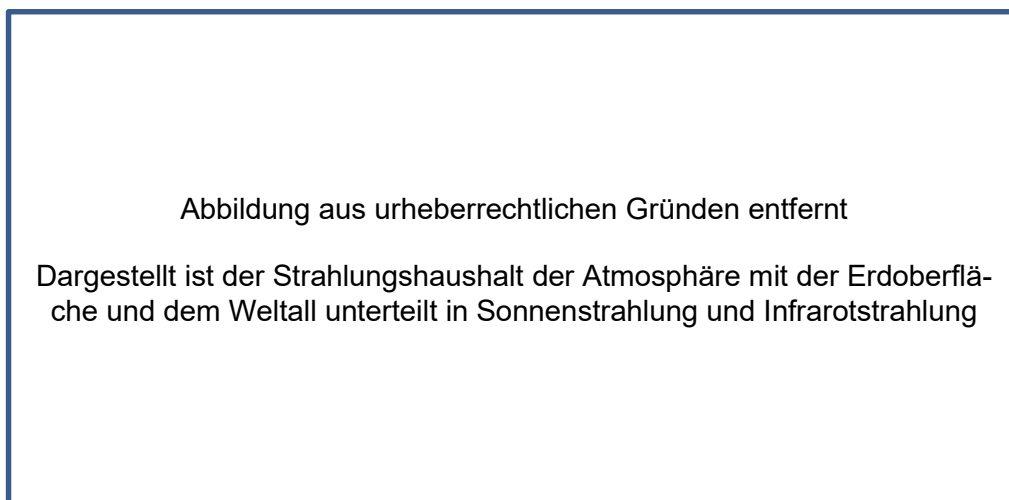


Abb. 3: Strahlungsgleichgewicht der Erde mit Atmosphäre (Angaben in Prozent der eingestrahnten Leistung) (Quelle: <https://bildungsserver.hamburg.de/physik/unterricht/experimente/2585206/schritte/>; Stand: 15.12.19)

- Beschreiben Sie mit Hilfe der Abbildung 3 den Treibhauseffekt der Erde und begründen Sie, dass hier ein Strahlungsgleichgewicht an der Atmosphäre und an der Erdoberfläche vorliegt.

(16 BE)

2.d Christoph und Lena unterhalten sich über den Treibhauseffekt der Erde. Christoph meint: „Ich habe gehört, dass wir Menschen ohne den Treibhauseffekt der Erde hier gar nicht leben könnten. Dann macht es doch keinen Sinn, dass in den Medien häufig so negativ über ihn berichtet wird.“ Lena erwidert: „Ja, das weiß ich auch nicht so genau, aber auf jeden Fall soll es etwas mit irgendwelchen Treibhausgasen zu tun haben.“ Christoph antwortet: „Aber die Atmosphäre besteht doch zu 99% aus Sauerstoff und Stickstoff, sind die so gefährlich für uns?“. Diskutieren Sie diese Aussagen.

(7 BE)

### Aufgabe 3 – Schwerpunktthema Quantenphysik der Atomhülle / Spektren

Ein Spektrum in der Physik beschreibt die Verteilung einer physikalischen Größe, wie beispielsweise Energie, Frequenz oder Masse. Einige dieser Spektren können wir hören (akustisches Spektrum) oder sehen (elektromagnetisches Spektrum). Emissionsspektren geben Auskunft über die Quelle, Absorptionsspektren beschreiben die Veränderungen der Spektren durch eine Probe.

3.a

- Erklären Sie den Begriff „Anregung eines Atoms“.
- Nennen Sie zwei Möglichkeiten, die zur Anregung von Atomen führen können.
- Beschreiben Sie die wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Anregungsmöglichkeiten.

(12 BE)

3.b In den Jahren 1911 bis 1914 beschäftigten sich James Franck und Gustav Hertz mit den Phänomenen, die in Gasentladungsröhren auftreten. In diesem Zusammenhang untersuchten sie die Stoßprozesse von Elektronen mit Quecksilberatomen. Dabei stießen sie auf überraschende Ergebnisse.

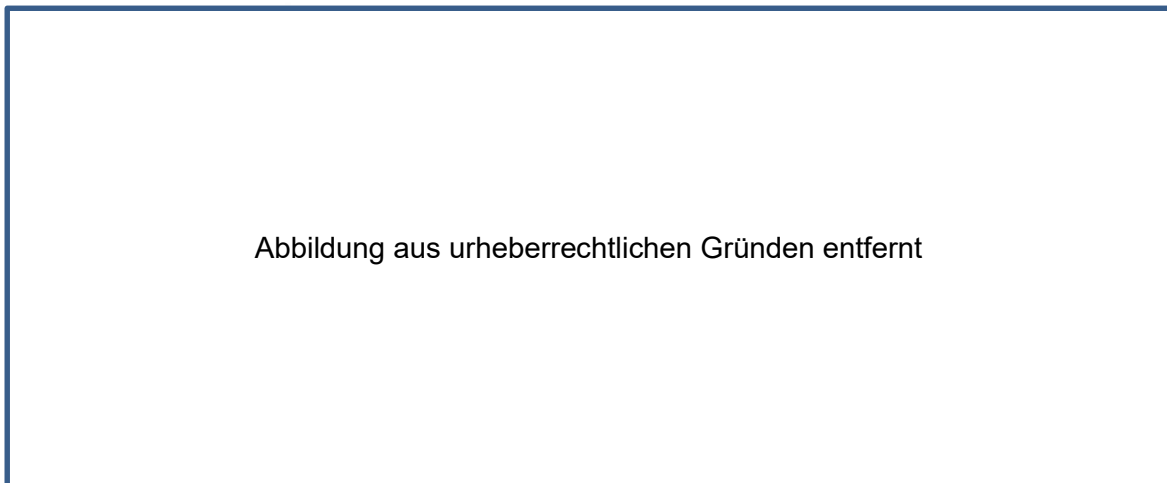


Abb. 1: Schematischer Versuchsaufbau des Franck-Hertz-Versuchs (Quelle: Grehn, J., Krause, J. (Hrsg.): Metzler Physik, 4. Auflage, Braunschweig: Schroedel Verlag, 2007, S. 407)

- Beschreiben Sie unter Verwendung von Abb.1 die Anordnung und die Durchführung des Franck-Hertz-Versuches.
- Skizzieren Sie das Versuchsergebnis in Form eines  $U$ - $I$ -Diagrammes.
- Tragen Sie die ungefähre Lage der Anregungszonen in die Abbildung 1 ein für eine Spannung von  $U = 9,8 \text{ V}$ .
- Erklären Sie das Versuchsergebnis.

(18 BE)

- 3.c Die Energieverhältnisse im Atom lassen sich durch ein sogenanntes Energieniveauschema übersichtlich darstellen. In der Abbildung 2 wurde ein Ausschnitt des Energieniveauschemas des Quecksilberatoms dargestellt.

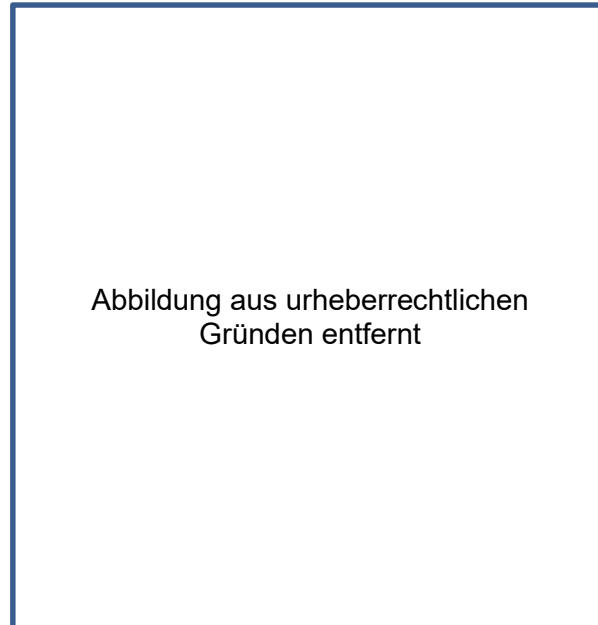


Abb. 2: Energieniveauschema des Quecksilberatoms (Quelle: Diehl, Dr. B. u.a.: Physik Oberstufe Gesamtband, 1. Aufl., 4. Druck, Berlin: Cornelsen Verlag, 2011, S. 338, Ausschnitt ohne explizite Energiedifferenzen)

- Erläutern Sie Abbildung 2.
- Berechnen Sie für die in Abbildung 2 dargestellten Emissionsübergänge die jeweilige Wellenlänge der emittierten Strahlung und beurteilen Sie ob diese Emissionen sichtbar sind.
- Anhand der Abbildung 2 sind auch andere Energieübertragungen als  $\Delta W = 4,9 \text{ eV}$  möglich. Geben Sie eine Ursache für das Fehlen dieser Anregungen in der Frank-Hertz-Kurve (Ihre Skizze) an.
- Skizzieren und erläutern Sie die Veränderungen der Kennlinie ( $U$ - $I$ -Diagramm) bei einer Änderung von Temperatur und Druck.

(20 BE)

---

## Schriftliche Abiturprüfung 2020 im dritten Prüfungsfach

### Grundkurs Physik

Montag, 27. April 2020, 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.                                | Genannt werden sollen der Verlauf der Feldlinien, die Richtung der Feldlinien, die Fallbeschleunigung als Gravitationsfeldstärke, die Masse als Äquivalent zur elektrischen Ladung, allerdings zwei Arten elektrischer Ladung, bei der Gravitation nur anziehende Kräfte und die Messungen der Feldstärke mit Hilfe von Probeladungen bzw. Probemassen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 13        |    |     |
| b.                                | <p>Der Gravitationstrichter ist ein Modell zur Veranschaulichung der potentiellen Energie eines Körpers in einem Radialfeld einer Masse. Die Form des Trichters folgt dem Abstandsgesetz der potentiellen Energie. In dem Modell hat ein Körper im Gravitationsfeld mehr potentielle Energie, wenn er weiter oben im Trichter liegt. Die Gravitationskraft wird durch die Hangabtriebskraft modelliert. Eine im Trichter rollende Kugel modelliert einen Satelliten. Es können elliptische und kreisförmige Bahnen gut modelliert werden.</p> <p>Im Modell des Gravitationstrichters wird das Gravitationsfeld der Erde erst verlassen, wenn die Rakete keine Gravitationskraft mehr erfährt. Dazu muss sie unendlich weit weg sein. Die benötigte kinetische Energie entspricht genau dem Betrag der potentiellen Energie. Daher ergibt sich</p> $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \gamma \frac{M \cdot m}{R_E} \quad \text{und daraus} \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot M}{R_E}} = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ <p>Für die Kreisbahn gilt <math>F_Z = F_G</math> und damit</p> $\frac{m \cdot 4\pi^2 r}{T^2} = \gamma \frac{mM}{r^2} \quad r = \sqrt[3]{\gamma \frac{MT^2}{4\pi^2}} = 42306 \text{ km} \quad v = \frac{2\pi r}{T} = 3077 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ | 2         | 12 |     |
| c.                                | <p>Die für das Anheben benötigte Energie berechnet sich zu</p> $W = \Delta W_{pot} = \gamma m M \left( \frac{1}{R_E} - \frac{1}{R_E + h} \right) = 1,109 \cdot 10^{10} \text{ J}.$ <p>Für die kinetische Energie wird die Bahngeschwindigkeit benötigt:</p> $\frac{m \cdot v^2}{r} = \gamma \frac{M \cdot m}{R_E} \quad \text{und daraus} \quad v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot M}{R_E + h}} = 7,673 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ <p>Für die kinetische Energie ergibt sich dann <math>W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 8,832 \cdot 10^{10} \text{ J}.</math></p> <p>Die kinetische Energie ist etwa 8 mal größer als die benötigte Lageenergie. Das liegt daran, dass die Geschwindigkeit quadratisch in die kinetische Energie eingeht. Wegen der noch sehr großen Gewichtskraft in 400km Höhe wird eine große Geschwindigkeit benötigt, damit der Satellit auf einer Kreisbahn um die Erde fällt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           | 10 | 3   |

| Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Bewertung |           |           |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | I         | II        | III       |  |
| d.                                                                                  | <p>Die Coulombkraft und die Gewichtskraft addieren sich vektoriell zur Fadenskraft, so dass ein rechtwinkliges Kräfteparallelogramm entsteht. Es ergibt sich</p> $F_c = F_G \cdot \tan \alpha \quad \text{und} \quad \text{daraus}$ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{r^2} = m \cdot g \cdot \tan \alpha$ $\epsilon_0 = \frac{Q^2}{4\pi r^2 \cdot m \cdot g \cdot \tan \alpha} = 9,25 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ <p>Die Gewichtskraft der jeweiligen Kugeln ist um viele Zehnerpotenzen größer als die Massenanziehung der beiden Kugeln. Daher ist der Auslenkwinkel so klein, dass er nicht messbar ist.</p> |           |           |           |  |
| Verteilung der insgesamt <b>50</b> Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>15</b> | <b>25</b> | <b>10</b> |  |

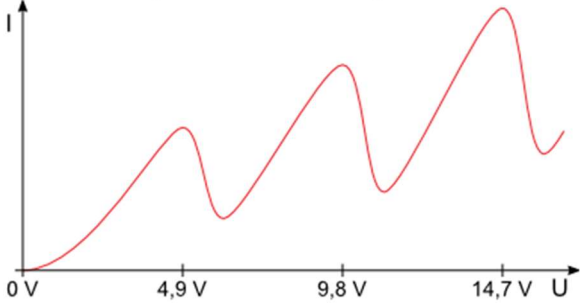
Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, wenn sie in sinnvoller Weise von den Erwartungen abweichen.“

**Aufgabe 2 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

| Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bewertung |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | I         | II        | III       |
| a.                                                                                  | <p>Isotherme Expansion: Phase 3 bis 4; Isotherme Kompression: Phase 1 bis 2</p> $V_g = \frac{n \cdot R \cdot T_w}{p_t} \approx 2,066 \cdot 10^{-4} \text{m}^3$ <p>Da in Punkt 3 und Punkt 4 dieselbe Temperatur <math>T_w</math> vorliegt, ergibt sich mit der universellen Gasgleichung:</p> $V_{vor} \cdot p_h = n \cdot R \cdot T_w = V_g \cdot p_h \quad \Rightarrow \quad V_{vor} = V_g \cdot \frac{p_t}{p_h}$ <p>Bei isothermen Zustandsänderungen ändert sich die innere Energie nicht (<math>\Delta U = 0</math>). Aus dem ersten Hauptsatz (<math>\Delta U = \Delta W + \Delta Q</math>) ergibt sich also: <math>\Delta Q = -\Delta W</math>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4         | 11        |           |
| b.                                                                                  | <p>Der erste Hauptsatz der Thermodynamik (<math>\Delta U = \Delta W + \Delta Q</math>) besagt, dass die innere Energie eines thermodynamischen Systems sich nur durch geleistete Arbeit oder die Zu- bzw. Abfuhr von Wärmeenergie ändern kann. Er entspricht prinzipiell der Idee der Energieerhaltung. Unter dem Aspekt könnte die Maschine konstruiert werden.</p> <p>Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt in einer seiner Formulierungen, dass es keine periodisch arbeitende Maschine geben kann, die vollständig Wärmeenergie in mechanische Energie umwandelt. Damit kann die Maschine nach dem zweiten Hauptsatz nicht konstruiert werden.</p> <p>Der Wirkungsgrad beschreibt allgemein, dass Verhältnis der nutzbringenden Energie zur aufgewendeten Energie.</p> <p>In diesem Fall: <math>\eta_{WKM} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{400,06 \text{ K}}{1000,15 \text{ K}} = 0,6</math> (oder über die Wärme Q)</p>                                  | 5         | 5         | 2         |
| c.                                                                                  | <p>Der Treibhauseffekt entsteht durch die unterschiedliche Durchlässigkeit der Atmosphäre für kurzwelliges Sonnenlicht und langwelliges Infrarotlicht. Wie man sehen kann, werden 50 % der eingestrahnten Leistung des Sonnenlichts durch die Atmosphäre durchgelassen, welche von der Erdoberfläche absorbiert werden und diese thermalisiert. Daraufhin gibt diese Infrarotstrahlung ab, welche zum Großteil von der Atmosphäre absorbiert wird. Diese wird dadurch thermalisiert und sendet Infrarotstrahlung in alle Richtungen aus (zur Hälfte wieder Richtung Erdoberfläche).</p> <p>Es liegt ein Strahlungsgleichgewicht vor, da einerseits über der Atmosphäre von den 100% der eingestrahnten Leistung wieder zurückgestrahlt werden (30% werden sofort reflektiert und 70% (10 + 14 + 46) werden als Infrarotstrahlung zurückgestrahlt). Auf die Erdoberfläche treffen 106% der ursprünglich eingestrahnten Leistung und die Erde strahlt 106% wieder ab.</p> | 5         | 6         | 5         |
| d.                                                                                  | <p>Bei der Bewertung dieser Teilaufgabe kommt es auf die Qualität der Diskussion an. Es sollen dabei die gemachten Aussagen auf Richtigkeit eingeschätzt werden und falls nötig korrekt dargestellt werden.</p> <p>Folgende Punkte können dabei angesprochen werden: Aus Lenas Äußerung kann man keine Fehlvorstellung ableiten. Christoph hat den Unterschied zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt noch nicht verstanden. Außerdem ist ihm nicht klar, welche Gase in der Atmosphäre für den Treibhauseffekt verantwortlich sind (z.B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon, Methan).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1         | 3         | 3         |
| Verteilung der insgesamt <b>50</b> Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>15</b> | <b>25</b> | <b>10</b> |

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, wenn sie in sinnvoller Weise von den Erwartungen abweichen.“

**Aufgabe 3 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

| Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Bewertung |    |     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|-----|
|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | I         | II | III |
| a.                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unter „Anregung eines Atoms“ versteht man die Zufuhr von Energie an ein Atom, welche dieses vom Grundzustand in einen höheren Energiezustand überführt. In diesem höheren Energiezustand bezeichnet man das Atom als angeregt.</li> <li>• Die Schülerinnen und Schüler können hier z.B. nennen:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- Thermische Anregung (Flammenfärbung)</li> <li>- Elektronenstoß (Frank-Hertz-Versuch)</li> <li>- Bestrahlung durch Photonen (Umkehrung der Na-D-Linie)</li> </ul> </li> <li>• Unterschiede: Bei der thermischen Anregung und durch Elektronenstoß kann die Energie des stoßenden Teilchens auch höher sein als die Anregungsenergie. Der Rest bleibt dann dem stoßenden Teilchen als kinetische Energie erhalten. Bei der Bestrahlung mit Photonen kommt es nur dann zu einer Anregung von Atomen, wenn die Energie der Photonen gleich der Anregungsenergie des betreffenden Energieniveaus des Atoms ist. Ist die Energie des Photons kleiner oder größer, so ist eine Anregung unmöglich.</li> </ul>                                                                                                                                                                            | 5         | 7  |     |
| b.                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlage für die Bewertung ist die im Unterricht behandelte Durchführung des Franck-Hertz-Versuches.</li> <li>• Eine mögliche Darstellung wäre:                          </li> <li>• Eine mögliche Skizze:                         <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">                             Abbildung der Zonen aus urheberrechtlichen Gründen entfernt                         </div> </li> <li>• Für die volle Punktzahl sollen folgende Aspekte in einem zusammenhängenden Text gefasst werden: periodische Zunahme und Abnahme der Stromstärke bei Erhöhung der Spannung. Die Stromstärke erfährt einen signifikanten Abfall bei ganzzahligen Vielfachen der Anregungsspannung. Die Schülerinnen und Schüler sollen die unterschiedlichen Bereiche im Diagramm kennzeichnen/erläutern: Bereiche mit elastischen bzw. unelastischen Stöße zwischen Elektronen und Quecksilberatome. Die Stromstärke erfährt einen signifikanten Abfall bei ganzzahligen Vielfachen der Anregungsspannung da die Elektronen nicht mehr genügend Energie besitzen, um das Gegenfeld zu durchlaufen.</li> </ul> | 5         | 10 | 3   |
| c.                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass es in der Abbildung um ein vereinfachtes Energietermschema handelt: ein Grundzustand und</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |    |     |

| Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   | Bewertung |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   | I         | II        | III       |
| <p>zwei angeregte Zustände. Die Elektronen des Quecksilberatoms können in diese angeregten Zustände gelangen durch Energieübertragung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Für <math>\Delta W = 4,9 \text{ eV}</math> mit <math>\Delta W = h \cdot \frac{c}{\lambda}</math> gilt <math>\lambda \approx 2,52 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 252 \text{ nm}</math></li> </ul> <p>Für <math>\Delta W = 6,46 \text{ eV}</math> gilt <math>\lambda \approx 1,92 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 192 \text{ nm}</math> und für <math>\Delta W = (6,46 - 4,9) \text{ eV}</math> gilt <math>\lambda \approx 7,95 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 795 \text{ nm}</math>.</p> <p>Die emittierten Wellenlängen liegen entweder im UV-Bereich oder im IR-Bereich, dürfen also nicht mit bloßem Auge beobachtet werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Der Grund dafür, dass diese Energieübertragung nicht beobachtet werden kann liegt in den speziellen Versuchsbedingung: Der Gasdruck des Quecksilbers und damit die mittlere freie Wellenlänge der Elektronen ist so gewählt, dass die meisten Elektronen ihre Energie durch unelastische Stöße verlieren, sobald sie eine kinetische Energie von <math>\Delta W = 4,9 \text{ eV}</math> erhalten haben.</li> <li>Die Darstellung sollte eindeutig zeigen, dass eine „kalte“ Röhre wenige oder keine Strommaxima und -minima hat und ähnelt der Kennlinie einer Vakuumdiode, da die Zahl der Stöße zwischen Quecksilberatomen und Elektronen vernachlässigbar klein ist. Bei sehr hoher Temperatur werden die Dichte des Quecksilberdampfs und damit die Stoßwahrscheinlichkeit der Elektronen sehr groß so weist die Messkurve keine ausgeprägten Maxima und Minima mehr aus.</li> </ul> | 5 | 8         | 7         |           |
| Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   | <b>15</b> | <b>25</b> | <b>10</b> |

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, wenn sie in sinnvoller Weise von den Erwartungen abweichen.“