Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ________ Kennwort: ________ Arbeitsplatz-Nr.: ________	**Herbst 2022**	**64012**

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen
— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (vertieft studiert)**
Einzelprüfung: **Experimentalphysik**
Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **6 Aufgaben von denen 3 gemäß untenstehender Auswahlregel zu bearbeiten sind!**
Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: 11

Zu den drei Themenschwerpunkten A, B und C ist jeweils entweder die Aufgabe 1 oder 2 zu wählen. Auf der Vorderseite des Kopfbogens sind im Feld „Gewähltes Thema: Nr.“ die Nummern der drei ausgewählten Aufgaben anzugeben (z. B. A2, B1, C1).

Bitte wenden!

Themenschwerpunkt A: Atom- und Molekülphysik

Aufgabe 1: Das HCl-Molekül **(20 Punkte)**

Der Abstand der beiden Atomkerne in einem HCl-Molekül beträgt $r_0 = 1{,}3 \cdot 10^{-10}$ m (starrer Rotator).

a) Berechnen Sie das Trägheitsmoment θ des Moleküls $^1H^{35}Cl$ für eine Rotationsachse senkrecht zur Verbindungsachse der beiden Atome. (Ersatzlösung: $\theta = 3{,}0 \cdot 10^{-47}$ kg m^2) (2 Punkte)

b) Geben Sie einen mathematischen Ausdruck an, mit dem sich die möglichen Werte des Drehimpulses des HCl-Moleküls bestimmen lassen. Berechnen Sie den Energieabstand $\Delta E_{\text{rot}} = 2Bhc$ der untersten beiden Rotationsniveaus und berechnen Sie daraus die Rotationskonstante B in Wellenzahlen. (3 Punkte)

c) Im HCl-Molekül können reine Rotationsübergänge durch Mikrowellenabsorption induziert werden. Begründen Sie, warum dies im Cl_2-Molekül nicht möglich ist. (1 Punkt)

d) Skizzieren Sie die untersten fünf Rotationsniveaus in einem Termschema und zeichnen Sie die in einem Mikrowellen-Absorptionsspektrum sichtbaren Übergänge mit Pfeilen ein. Skizzieren Sie das Absorptionsspektrum. Beschriften Sie die Energieniveaus und die Lage der Spektrallinien in Einheiten von Bhc. Erläutern Sie, weshalb nur Übergänge zwischen benachbarten Rotationsniveaus beobachtet werden. (3 Punkte)

e) Erklären Sie, warum die Intensität der Absorptionslinien mit steigendem J zunächst zunimmt und nach Durchlaufen eines Maximums wieder abnimmt. (2 Punkte)

Das HCl-Molekül kann nicht nur rotieren, sondern auch schwingen. Die potentielle Energie lässt sich als Funktion des Kernabstands r mit Hilfe eines Morsepotentials

$$U(r) = U_D[1 - \exp(-a(r - r_e))]^2$$

beschreiben.

f) Erläutern Sie, weshalb das Morse-Potential die Bindung gut beschreibt. Approximieren Sie für kleine Auslenkungen das Morsepotential durch ein harmonisches Potential um $r = r_e$. Skizzieren Sie $U(r)$ für beide Potentiale (eine Zeichnung) und zeichnen Sie die Größen U_D und r_e ein. (3 Punkte)

g) Die zum Morsepotential gehörenden Termwerte können approximiert werden durch

$$\frac{E_n}{hc} = \tilde{\nu}_n = \tilde{\nu}_e(n + \frac{1}{2}) - \tilde{\nu}_e x_e (n + \frac{1}{2})^2 .$$

Experimentell werden folgende Schwingungswellenzahlen beobachtet:

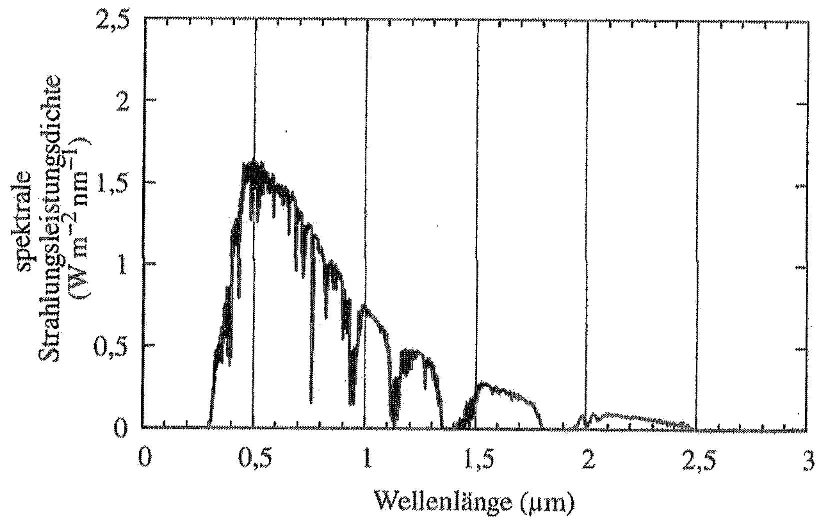
$$\Delta\,\tilde{\nu}_{01} = \tilde{\nu}_1 - \tilde{\nu}_0 = 2885{,}9\ cm^{-1}$$
$$\Delta\,\tilde{\nu}_{02} = \tilde{\nu}_2 - \tilde{\nu}_0 = 5668{,}0\ cm^{-1}$$

Berechnen Sie $\tilde{\nu}_e$ und die Anharmonizitätskonstante x_e. (3 Punkte)

h) Im HCl-Molekül werde nun eines der Atome durch das nächstschwerere Isotop desselben chemischen Elements ausgetauscht. Begründen Sie, welches Atom ersetzt werden muss, um die größten Veränderungen im Rotations-Schwingungs-Spektrum des Moleküls zu verursachen. Benennen Sie die entscheidende physikalische Kenngröße des Moleküls hierzu und geben Sie (gerundet) an, um welchen Faktor sie sich verändert. Verdeutlichen Sie grob maßstäblich anhand einer aussagekräftigen Skizze des Rotations-Schwingungs-Spektrums zwei Veränderungen, die der Austausch des einen Atoms verursacht hat. (3 Punkte)

Aufgabe 2: Sonnenspektrum und Paschen-Back-Effekt am Beispiel von Aluminium (20 Punkte)

Die Abbildung zeigt ein auf Meeresniveau aufgenommenes Spektrum der Sonne.



a) Diskutieren Sie unter Nennung der physikalischen Ursachen zwei Unterschiede, die das gezeigte Spektrum im Ganzen und im Detail im Gegensatz zu einem Spektrum zeigt, welches auf der Mondoberfläche aufgenommen würde. (4 Punkte)

b) Schätzen Sie mithilfe des gezeigten Spektrums die Oberflächentemperatur der Sonne ab. (2 Punkte)

c) Begründen Sie kurz, wie sich das gezeigte Spektrum qualitativ ändern wird, wenn sich die Sonne in ferner Zukunft in einen roten Riesen verwandelt.
Geben Sie an, wie sich dann die Oberflächentemperatur der Sonne ändern wird. (2 Punkte)

d) Zeigen Sie, dass für große Wellenlängen das Spektrum eines idealen Schwarzkörperstrahlers in das Rayleigh-Jeans-Gesetz übergeht. Geben Sie den physikalischen Grund für die starke Abnahme der Strahlungsleistung der Sonne im kurzwelligen Frequenzbereich im Gegensatz zur Vorhersage des Rayleigh-Jeans-Gesetzes an. (2 Punkte)

Im Folgenden soll die Energieaufspaltung des Grundzustands von Aluminium diskutiert werden. Vernachlässigen Sie in allen Teilaufgaben etwaige Kerneffekte.

e) Zeigen Sie mithilfe der Hund'schen Regeln, dass das Termsymbol von Aluminium im Grundzustand $3^2P_{1/2}$ lautet. (2 Punkte)

f) Begründen Sie, in wie viele Energieniveaus der Grundzustand aufgrund der Spin-Bahn-Kopplung aufspaltet. (1 Punkt)

g) Untersuchen Sie durch Rechnung, ob durch die Spin-Bahn-Kopplung die Energieniveaus äquidistant zur Grundzustandsenergie aufspalten oder nicht. (3 Punkte)

In einem starken Magnetfeld wird nun die Spin-Bahn-Kopplung aufgehoben (Paschen-Back-Effekt). Bahndrehimpuls und Spin der Elektronen wechselwirken also unabhängig voneinander mit dem äußeren Magnetfeld.

h) Skizzieren Sie in einem Energiediagramm (Termschema) die Aufspaltung des Grundzustands von Aluminium in einem starken Magnetfeld.
Berechnen Sie dazu die durch die magnetischen Spin- und Bahnmomente verursachten energetischen Aufspaltungen und diskutieren Sie, ob die energetischen Abstände äquidistant sind oder nicht. (4 Punkte)

Themenschwerpunkt B:
Kern- und Teilchenphysik

Aufgabe 1: Das Tröpfchenmodell **(20 Punkte)**

Die Bethe-Weizsäcker-Formel beschreibt die Bindungsenergie E_B von Atomkernen mit Massenzahl A und Kernladungszahl Z im Tröpfchenmodell gemäß

$$E_B = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C Z^2 A^{-1/3} - a_A (Z - A/2)^2/A + \delta a_p A^{-1/2}.$$

Dabei gilt $\delta = +1$ für gg-Kerne, $\delta = -1$ für uu-Kerne und $\delta = 0$ für ug- und gu-Kerne.

a) Benennen Sie die fünf Beiträge zur Bindungsenergie gemäß ihrer physikalischen Ursache. Geben Sie jeweils an, ob der Beitrag bindungsfestigend oder -lockernd ist. Begründen Sie für die ersten beiden Terme die Abhängigkeit von der Massenzahl A. (4 Punkte)

b) Skizzieren Sie die Bindungsenergie pro Nukleon als Funktion der Massenzahl A. Versehen Sie beide Achsen mit Einheiten und typischen Zahlenwerten und markieren Sie die Bereiche, in denen Energie durch Kernspaltung und durch Fusion gewonnen werden kann. (3 Punkte)

c) Geben Sie an, wie sich die Massenzahl A und die Kernladungszahl Z jeweils bei einem α-, einem β^+-, einem β^-- und einem γ-Zerfall ändern. (2 Punkte)

d) Um die Änderung der Bindungsenergie aufgrund von β^+-, und β^--Zerfällen zu beschreiben, müssen nicht alle Terme der Bethe-Weizsäcker-Formel betrachtet werden. Begründen Sie kurz, welche Terme relevant sind. (3 Punkte)

e) Die Bindungsenergie $E_B(Z)$ soll für konstante Werte von A betrachtet werden. Skizzieren Sie $E_B(Z)$ für das Intervall $[Z_0 - 3, Z_0 + 3]$ um das Extremum bei Z_0. Zeichnen Sie die möglichen β^+- und β^--Zerfälle ein. Erklären Sie, warum es für einige Werte von A nur einen stabilen Kern gibt, für andere Werte aber mehrere, und zeichnen Sie diese in Ihre Skizze(n) ein. (4 Punkte)

f) Berechnen Sie, ab welcher Kernladungszahl Z für ug- und gu-Kerne mit gleicher Protonen- und Neutronenzahl der abstoßende elektrostatische Anteil größer als die anderen abstoßenden Anteile ist. ($a_S = 18{,}34$ MeV, $a_C = 0{,}71$ MeV) (3 Punkte)

g) Der experimentell beobachtete Wert für E_B weicht für den Kern $^4_2$He erheblich von der Bethe-Weizsäcker-Formel ab. Begründen Sie diese Abweichung und zeichnen Sie den $^4_2$He-Kern in Ihre Skizze der Teilaufgabe b) ein. (Falls Sie b) nicht gelöst haben, nennen Sie explizit das Vorzeichen der Abweichung.) (1 Punkt)

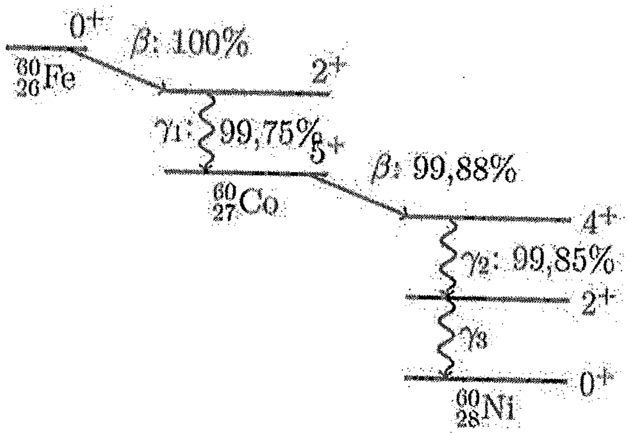
Aufgabe 2: Datierung extraterrestrischer Ereignisse durch $^{60}_{26}$Fe **(20 Punkte)**

Das bei der Erdentstehung ursprünglich vorhandene Vorkommen des Isotops $^{60}_{26}$Fe mit einer Halbwertszeit von $2{,}6 \cdot 10^6$ Jahren gilt in der heutigen Zeit als bereits zerfallen. Die in Proben von Tiefseesedimenten oder in der Antarktis gefundenen Mengen an $^{60}_{26}$Fe werden daher als Indikatoren für extraterrestrische Ereignisse wie zum Beispiel Supernoven gewertet, bei denen das Isotop entstanden und auf die Erde gelangt sein könnte. Zur Bestimmung der Halbwertszeit von $^{60}_{26}$Fe wurden Proben aus mit Protonen bestrahlten Kupferplatten verwendet, die bei Beschleunigern als radioaktiver Müll anfallen („beam dump“).

a) Erläutern Sie eine experimentelle Methode zum Nachweis von Gammastrahlung. (2 Punkte)

b) Leiten Sie einen Ausdruck zur Berechnung der Halbwertszeit $t_{1/2}$ des Isotops $^{60}_{26}$Fe aus den experimentell bestimmten Größen der Aktivität $A_{\text{Fe},60} = 49{,}19\ \text{Bq}$, des Isotopenanteils $R = \frac{N_{\text{Fe},60}}{N_{\text{Fe}}} = 2{,}0482 \cdot 10^{-4}$ und der Gesamtzahl der Eisenatome in der Probe $N_{\text{Fe}} = 2{,}867 \cdot 10^{19}$ in den Kupferplatten her und bestätigen Sie den oben angegebenen Wert der Halbwertszeit mit diesen Werten. (3 Punkte)

Die Bestimmung der Aktivität von $^{60}_{26}$Fe erfolgt meist indirekt über die bei der Zerfallsreihe $^{60}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni}$ entstehende Röntgen- bzw. Gammastrahlung entsprechend dem untenstehenden vereinfachten Zerfallsschema mit $E_{\gamma_1} = 58{,}6\ \text{keV}$, $E_{\gamma_2} = 1173\ \text{keV}$ und $E_{\gamma_3} = 1332\ \text{keV}$. Die Halbwertszeit des $^{60}_{27}$Co beträgt 5,2712 Jahre.



c) Stellen Sie die Zerfallsgleichungen der beiden β-Zerfälle auf und berechnen Sie die maximal freiwerdenden Energien der Elektronen in keV unter Annahme einer vernachlässigbaren Neutrinomasse. Die atomaren Massen der Isotope sind
$m(^{60}_{26}\text{Fe}) = 59{,}934072\,u$, $m(^{60}_{27}\text{Co}) = 59{,}933822\,u$ und $m(^{60}_{28}\text{Ni}) = 59{,}930786\,u$. (4 Punkte)

d) Leiten Sie die folgende Beziehung zwischen der Stärke I_{γ_2} (Übergänge pro Sekunde) der γ_2-Strahlung und der Aktivität von ${}^{60}_{26}\mathrm{Fe}$ her:

$$I_{\gamma_2} = 0{,}9985 \cdot [A^0_{\mathrm{Co},60} \cdot e^{-\lambda t} + 0{,}9975 \cdot A_{\mathrm{Fe},60}(1 - e^{-\lambda t})].$$

Nehmen Sie dabei an, dass die Lebensdauer des angeregten ${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$-Zustands im Vergleich zur Lebensdauer von ${}^{60}_{26}\mathrm{Fe}$ vernachlässigbar ist und die Aktivität $A_{\mathrm{Fe},60}$ als konstant während der Dauer des Experiments angenommen werden kann. Hier bezeichnet λ die Zerfallskonstante des β-Zerfalls von ${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$ und $A^0_{Co,60}$ die Aktivität des bei $t = 0$ bereits in der Probe vorhandenen ${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$.
Hinweis: Sie können die gekoppelten Zerfallsgleichungen aufstellen und zur Lösung den Ansatz der Variation der Konstanten verwenden. (5 Punkte)

e) Bestimmen Sie anhand des gegebenen Zerfallsschemas die möglichen Drehimpulse der Gammastrahlung γ_2 und γ_3, die beim Übergang der angeregten Nickelkerne frei wird. Erläutern Sie, ob die auftretende Gammastrahlung Dipolcharakter haben kann. (3 Punkte)

f) Der Übergang von Co nach Ni hat eine deutlich geringere Halbwertszeit als der Übergang von Fe nach Co. Begründen Sie dies mithilfe der Drehimpulse der emittierten Teilchen.
(3 Punkte)

Themenschwerpunkt C:
Festkörperphysik

Aufgabe 1: Neutronenstreuung

(20 Punkte)

Neutronen der Wellenlänge $\lambda_1 = 2{,}178\,\text{Å}$ werden an einem Kupfer-Einkristall (Gitterkonstante $a = 3{,}615\,\text{Å}$) mit kubisch-flächenzentrierter Elementarzelle gestreut. Die Neutronen treffen parallel zur [100]-Richtung auf den Kristall. Die unter einem Winkel $2\theta = 34{,}78°$ gestreuten Neutronen bewegen sich parallel zu den (001)-Netzebenen. Die Wellenlänge der gestreuten Neutronen beträgt $\lambda_2 = 1{,}375\,\text{Å}$.

a) Warum kann man bei Neutronen (Teilchen!) von einer Wellenlänge sprechen? Geben Sie die Dispersionsrelation $E(k)$ für freie Neutronen an. (E: kinetische Energie, k: Wellenvektor)
(1 Punkt)

b) Berechnen Sie den Impuls p_1, die Geschwindigkeit v_1 und die kinetische Energie E_1 der einfallenden Neutronen. Zeigen Sie durch Berechnung, warum man von thermischen Neutronen spricht.
(3 Punkte)

c) Erläutern Sie, durch welche Anregung im Kristallgitter die Änderungen von Energie und Impuls der Neutronen verursacht werden. Benennen Sie das Quasi-Teilchen, das mit den Neutronen wechselwirkt. Berechnen Sie die Frequenz der Anregung.
(3 Punkte)

d) Skizzieren Sie die Elementarzelle des Kupfers und den einfallenden Neutronenstrahl in einem (xyz)-Koordinatensystem. Zeichnen Sie in die Skizze eine $\{111\}$-Ebene ein.
(2 Punkte)

e) Fertigen Sie eine 2D-Skizze der von $\vec{k}_1$ und $\vec{k}_2$ aufgespannten Streuebene an und zeichnen Sie die Wellenvektoren $\vec{k}_1$ und $\vec{k}_2$ der einfallenden und der gestreuten Neutronen etwa maßstäblich ein.
(3 Punkte)

f) Die Impulsbilanz des Streuprozesses lautet $\vec{k}_1 + \vec{K} + \vec{G} = \vec{k}_2$. Dabei ist $\vec{K}$ der Wellenvektor der beteiligten Anregung. Drücken Sie die möglichen Werte des reziproken Gittervektors $\vec{G}$ durch die Gitterkonstante a aus. Berechnen Sie unter der Annahme $\vec{G}\,||\,[0,1,0]$ den Impulsvektor $\vec{K}$ der beteiligten Anregung.
(5 Punkte)

g) Begründen Sie ohne Rechnung, warum eine Schätzung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der betrachteten Anregung von $2\ \text{km s}^{-1}$ plausibel erscheint. Ist die Ähnlichkeit zur Neutronengeschwindigkeit Zufall?
(3 Punkte)

Aufgabe 2: Sommerfeldmodell des elektronischen Transports **(20 Punkte)**

Im Folgenden soll das Sommerfeldmodell der elektrischen Leitung für einen zweidimensionalen elektrischen Leiter diskutiert werden, an welchem in x-Richtung ein elektrisches Feld E_x anliegt, wodurch die Elektronen innerhalb einer Streuzeit τ streuen.
Die resultierende elektrische Stromdichte j beträgt in diesem Fall:

$$|j| = \frac{1}{2} n_F e v_F,$$

wobei n_F die Ladungsträgerdichte an der Fermikante, e die Elementarladung und v_F die Fermigeschwindigkeit ist.

Hinweise:
Temperatureinflüsse sollen im Folgenden vernachlässigt werden ($T = 0$).
Betrachten Sie die Elektronen zwischen zwei Stößen als freie Elektronen.

a) Beschreiben Sie eine Gemeinsamkeit und einen grundlegenden Unterschied der beiden Theorien für die elektrische Stromdichte nach Sommerfeld bzw. nach Drude. (2 Punkte)

b) Zeichnen Sie in einer Skizze jeweils den Fermikreis ohne elektrisches Feld und mit elektrischem Feld ein und zeigen Sie, dass der Fermikreis durch das elektrische Feld E_x um $|\delta k| = e\tau\,|E_x|/\hbar$ verschoben ist. (3 Punkte)

c) Zeigen Sie, dass mit der Änderung δk des k-Vektors der Elektronen an der Fermikante deren Energie um $\delta E = \frac{\hbar^2}{m_e} k_F \delta k$ steigt. (2 Punkte)

d) Zeigen Sie, dass in zwei Dimensionen für die elektronische Flächenzustandsdichte gilt: $D_A(E) = m_e/(\pi\hbar^2)$. (3 Punkte)

e) Zeigen Sie, dass in zwei Dimensionen für den Fermiwellenvektor gilt: $k_F = \sqrt{2\pi n_{el}}$, wobei n_{el} die elektronische Flächenladungsdichte ist. (2 Punkte)

f) Zeigen Sie mit Hilfe obiger Beziehungen, dass auch im Sommerfeldmodell für die elektrische Leitfähigkeit σ eines zweidimensionalen Leiters gilt: (3 Punkte)

$$\sigma = \frac{n_{el} e^2 \tau}{m_e}.$$

g) Geben Sie eine Methode an, wie man die Ladungsträgerdichte n_{el} experimentell bestimmen kann. (1 Punkt)

Das chemische Potential μ ist definiert als die Ableitung der inneren Energie U nach der Teilchenzahl N.

h) Bestimmen Sie einen allgemeinen Ausdruck für die innere Energie eines zweidimensionalen Elektronengases in Abhängigkeit von der Elektronenmasse m_e und Teilchenzahl N am absoluten Nullpunkt.
Berechnen Sie anschließend den Wert des chemischen Potentials μ für ein zweidimensionales Elektronengas am absoluten Nullpunkt in Einheiten von E_F. (4 Punkte)

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ______ Kennwort: ______ Arbeitsplatz-Nr.: ______	**Herbst 2022**	**64013**

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen

— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (vertieft studiert)**

Einzelprüfung: **Theoretische Physik**

Anzahl der gestellten Aufgaben: 8 Aufgaben, von denen 4 gemäß untenstehender Auswahlregel zu bearbeiten sind

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: 9

Zu den vier Themenschwerpunkten A (Mechanik), B (Elektrodynamik), C (Thermodynamik) und D (Quantenmechanik) ist jeweils entweder die Aufgabe 1 oder 2 zu wählen. Auf der Vorderseite des Kopfbogens sind im Feld „Gewähltes Thema: Nr." die Nummern der vier gewählten Aufgaben anzugeben (z. B. A2, B1, C1, D2)!

Bitte wenden!

Themenschwerpunkt A

Mechanik

Aufgabe 1: Bewegung durch eine Potentialmulde

Die eindimensionale, dämpfungsfreie Bewegung eines Teilchens der Masse m sei durch

$$x(t) = \frac{x_0}{\cosh(\Omega t)} \tag{1}$$

mit positiven Konstanten x_0 und Ω gegeben.

a) Bestimmen Sie die Zeitabhängigkeit der Geschwindigkeit $v(t)$ des Teilchens und drücken Sie diese durch $x(t)$ aus. (6 Punkte)

Zur Kontrolle: Sie sollten eine Gleichung der Form $v(t) = A_1 \cdot x(t) \cdot \sqrt{1 - \frac{(x(t))^2}{A_2}}$ mit Konstanten A_1, A_2 erhalten.

b) Geben Sie den Ort des Umkehrpunkts der Bewegung an und bestimmen Sie den Ort der maximalen Geschwindigkeit. Skizzieren Sie die Abhängigkeit $v(x)$ für den gesamten Bewegungsablauf $-\infty < t < \infty$ und geben Sie an, in welcher Richtung die Kurve $v(x)$ durchlaufen wird. (7 Punkte)

c) Bestimmen Sie das Potential $V(x)$, in dem sich das Teilchen bewegt. Dabei soll der Potentialnullpunkt so gewählt sein, dass die durch (1) beschriebene Bewegung zur Energie $E = 0$ gehöre. Skizzieren Sie den Verlauf des Potentials $V(x)$. (5 Punkte)

Zur Kontrolle: Das Potential besitzt die Form $V(x) = Ax^2(B - x^2)$ mit $AB < 0$.

d) Entwickeln Sie das Potential bis zur zweiten Ordnung in x um den Punkt $x = 0$ und bestimmen Sie die allgemeine Lösung der Bewegungsgleichung in diesem genäherten Potential. Geben Sie die notwendige Bedingung für die in der allgemeinen Lösung auftretenden Konstanten an, wenn die Bewegung bei $E = 0$ erfolgen soll. Geben Sie an, wie die Konstanten demnach zu wählen sind, um die Bewegung bei großen Zeiten t zu beschreiben. (7 Punkte)

Nützliche Formel: $cosh^2(x) - sinh^2(x) = 1$

Aufgabe 2: Murmel in sphärischer Schale

Betrachtet wird eine homogene starre Vollkugel (Radius r, Masse m), die in einer sphärischen Schale (Radius $R > r$) unter dem Einfluss der Gravitation ohne Schlupf rollt. Die Kugel wird auf eine bestimmte Höhe in der Schale gerollt, losgelassen und führt dann Schwingungen um die Ruhelage aus. Die Bewegung findet also nur in einer Ebene statt und kann durch einen Winkel φ beschrieben werden (vgl. Abb. 1). Die Kugel hat ständig Kontakt zur Schale.

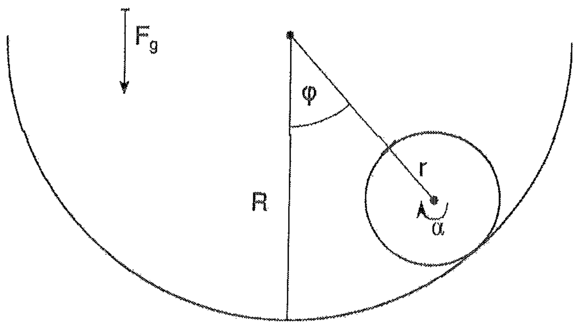


Abb. 1

a) Entscheiden Sie, ob die Schwingungsdauer der Kugel um die Ruhelage kleiner, gleich oder größer sein wird als die Schwingungsdauer eines Fadenpendels der gleichen Masse und einer Länge $R-r$, welches mit der gleichen Auslenkung gestartet wird. Begründen Sie Ihre Antwort qualitativ. (4 Punkte)

b) Bestimmen Sie das Trägheitsmoment I der Kugel für die Drehung um ihren Mittelpunkt als Funktion von m und r. Gehen Sie dazu von der Formel

$$I = \int \mathrm{d}^3x \, \rho(\vec{x}) \, l^2(\vec{x}) \tag{1}$$

für das Drehmoment aus, wobei $l(\vec{x})$ den Abstand des Punktes $\vec{x}$ von der Drehachse und $\rho(\vec{x})$ die Dichte des Körpers bezeichnen. (5 Punkte)
Zur Kontrolle: $I = c\,mr^2$ für eine bestimmte numerische Konstante $c > 0$.

c) Begründen Sie die Rollbedingung $(R-r)\dot{\varphi} = r\dot{\alpha}$ für die Kugel. Dabei ist α der Winkel, der die Orientierung der Kugel relativ zu ihrer Orientierung bei $\varphi = 0$ beschreibt. (2 Punkte)

d) Stellen Sie die Lagrangefunktion des Systems auf. Verwenden Sie dabei φ als generalisierte Koordinate. (8 Punkte)
Zur Kontrolle: Sie sollten eine Gleichung der Form $L(\varphi, \dot{\varphi}) = A_1 \cdot \dot{\varphi}^2 + A_2 \cdot \cos\varphi$ mit Konstanten A_1, A_2 erhalten.

e) Bestimmen Sie die Bewegungsgleichung und nähern Sie sie für kleine Auslenkungen φ. Bestimmen Sie anschließend die Frequenz ω von Schwingungen um die Ruhelage. (6 Punkte)

Themenschwerpunkt B

Elektrodynamik/Optik

Aufgabe 1: Ebene Wellen zwischen zwei ideal leitenden Platten

Bei $z = \pm L$ sei senkrecht zur z-Achse jeweils eine unendlich ausgedehnte, ideal leitende Metallplatte angebracht. Zwischen den beiden Platten liege Vakuum vor. Es sollen die ebenen elektromagnetischen Wellen in dieser Anordnung untersucht werden.

a) Eine ebene Welle im ladungs- und stromfreien Vakuum sei durch ein elektrisches Feld $\vec{E}$ und eine magnetische Flussdichte $\vec{B}$ mit der Orts- und Zeitabhängigkeit

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \mathrm{Re}\left[\vec{E}_0 \exp\left(\mathrm{i}(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t)\right)\right] , \tag{1}$$

$$\vec{B}(\vec{r},t) = \mathrm{Re}\left[\vec{B}_0 \exp\left(\mathrm{i}(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t)\right)\right] , \tag{2}$$

gegeben, wobei $\vec{k}$ den Wellenvektor und ω die Frequenz angibt. Im Folgenden genügt es, mit der komplexen Form in (1) und (2) zu rechnen, ohne zusätzlich den Realteil zu nehmen.

Leiten Sie mit Hilfe geeigneter Maxwellgleichungen Bedingungen für die relativen Lagen von $\vec{k}$, $\vec{E}_0$ und $\vec{B}_0$ her. Geben Sie die daraus resultierende Anzahl der linear unabhängigen Feldmoden für einen gegebenen Wellenvektor $\vec{k}$ an. (8 Punkte)

b) Zeigen Sie mit Hilfe des Induktionsgesetzes, dass an der Grenzfläche zwischen Vakuum und Metallplatte die transversale Komponente $\vec{E}_t$ des elektrischen Feldes parallel zur Grenzfläche verschwindet.

(8 Punkte)

c) Es sollen nun zunächst elektromagnetische Wellen mit vorgegebenem $|\vec{k}|$ untersucht werden, für die $k_z \neq 0$ ist und k_x sowie k_y mit $k_x^2 + k_y^2 < |\vec{k}|^2$ fest vorgegeben seien. Leiten Sie geeignete Linearkombinationen von zwei elektrischen Feldern der Form (1) her, mit denen sich die in den ersten beiden Teilaufgaben hergeleiteten Bedingungen erfüllen lassen. Geben Sie jeweils die möglichen Werte der z-Komponente des Wellenvektors an. Geben Sie außerdem die Anzahl der linear unabhängigen Feldmoden für die einzelnen Linearkombinationen an. (7 Punkte)

d) Nun soll der Spezialfall $k_x^2 + k_y^2 = |\vec{k}|^2$ betrachtet werden. Geben Sie die Richtung des in (1) auftretenden Feldvektors $\vec{E}_0$ und die Anzahl der linear unabhängigen Feldmoden an.

(2 Punkte)

Aufgabe 2: Metallkugel im homogenen elektrischen Feld

Gegeben sei ein homogenes elektrisches Feld $\vec{E}_0 = E_0\vec{e}_z$ in z-Richtung. Bei der Bearbeitung der nachfolgenden Aufgaben sollen Kugelkoordinaten verwendet werden, wobei der Polarwinkel θ von der z-Achse aus gemessen wird.

a) Geben Sie begründet ein zum Feld $\vec{E}_0$ gehöriges Potential $\Phi_0(r, \theta)$ an. (3 Punkte)

b) Nun wird eine metallische Hohlkugel vom Radius R mit Mittelpunkt im Koordinatenursprung hinzugefügt. Geben Sie das elektrische Feld $\vec{E}$ im Innern der Kugel an. Begründen Sie Ihre Antwort. (3 Punkte)

c) Für das Potential $\Phi(r, \theta)$ außerhalb der Kugel ($r > R$) wird der Ansatz mit einem zusätzlichen Punktdipol $\vec{p} = 4\pi\epsilon_0 R^3 \vec{E}_0$ am Ursprung gemacht. Bestimmen Sie die Komponenten E_r und E_θ des elektrischen Feldes. Überprüfen Sie die Randbedingung für die Tangentialkomponenten von $\vec{E}$ auf der Kugeloberfläche. (7 Punkte)

Hinweise: Das Dipolpotential hat die Form: $\Phi_{\text{dip}}(\vec{r}) = \frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{4\pi\epsilon_0|\vec{r}|^3}$. *Für den Gradienten eines* (r, θ)*-abhängigen Skalarfeldes gilt:* $\vec{\nabla} = \vec{e}_r\frac{\partial}{\partial r} + \vec{e}_\theta\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}$.

d) Bestimmen Sie die influenzierte Flächenladungsdichte $\sigma(\theta)$ auf der Metallkugel aus dem Sprung der Normalkomponente von $\vec{E}$. (3 Punkte)

e) Zuletzt soll dazu die Arbeit W berechnet werden, die zum Aufbau der Influenzladung nötig ist. Bestimmen Sie dazu ausgehend von der Energiedichte $w = \frac{\epsilon_0}{2}\vec{E}^2$ die Änderungen Δw_i für $r < R$ und Δw_a für $r > R$, die durch das Einbringen der metallischen Hohlkugel verursacht wurden. Beim anschließenden Volumenintegral ist es vorteilhaft die Winkelintegration zuerst auszuführen, unter Benutzung von $\int_0^\pi d\theta\, \sin\theta\cos^2\theta = \int_{-1}^1 d\zeta\, \zeta^2$ und $\int_0^\pi d\theta\, \sin^3\theta = \int_{-1}^1 d\zeta\, (1-\zeta^2)$. (9 Punkte)

Themenschwerpunkt C

Thermodynamik

Aufgabe 1: Entropieänderung durch Reibung

Betrachten Sie einen Körper der Masse m, der sich in einem Medium unter dem Einfluss der Reibungskraft $\vec{F}_R = -\gamma\vec{v}$ bewegt, wobei $\vec{v}$ die Geschwindigkeit des Massenschwerpunktes des Körpers ist. Nehmen Sie an, dass der Körper sich ohne Rotation bewegt und das Medium mit Körper ein abgeschlossenes System bildet.

a) Stellen Sie die Bewegungsgleichung für die Geschwindigkeit $\vec{v}$ des Massenschwerpunktes auf und lösen Sie diese mit der Anfangsbedingung $\vec{v}(t=0) = \vec{v}_0 \neq \vec{0}$. (3 Punkte)

b) Durch Reibung wird die mechanische Energie des Körpers in Wärme umgewandelt, die dann den inneren Energien von Medium und Körper, U_M und U_K, zugeführt wird. Berechnen Sie die pro Zeit in Wärme umgewandelte Energie. (5 Punkte)

c) Bestimmen Sie ausgehend von der Energieerhaltung die Temperatur als Funktion der Zeit und nehmen Sie an, dass zu jeder Zeit Körper und Medium dieselbe Temperatur T besitzen. Es gelten für Körper und Medium die kalorischen Zustandsgleichungen

$$U_\mathrm{K} = C_\mathrm{K}T + U_\mathrm{K0} \qquad \text{bzw.}$$
$$U_\mathrm{M} = C_\mathrm{M}T + U_\mathrm{M0}\,.$$

Dabei sind C_j mit $j \in \{\mathrm{K}, \mathrm{M}\}$ die Wärmekapazitäten der beiden Teilsysteme und U_{j0} Konstanten. Die Anfangstemperatur zur Zeit $t = 0$ sei T_0. (9 Punkte)
Zur Kontrolle: Sie sollten eine Gleichung der Form $T(t) = T_0 + a(1 - e^{-2\frac{\gamma}{m}\cdot t})$ mit der Konstante a erhalten.

d) Bestimmen Sie die Endtemperatur, der sich das System für große Zeiten, d. h. für $t \to \infty$, annähert. Geben Sie an, ob die Temperatur mit der Zeit ansteigt oder abfällt. (2 Punkte)

e) Die durch Reibung erzeugte und auf die inneren Energien U_K und U_M übertragene Wärme ist mit einer zeitlichen Entropieänderung verbunden. Berechnen Sie die Entropieänderung des aus Medium und Körper bestehenden Systems im Zeitbereich $0 \leq t \leq \infty$. Geben Sie an, ob es sich um eine Zu- oder Abnahme der Entropie dieses Systems handelt.

(6 Punkte)

Aufgabe 2: Adiabatische Entmagnetisierung

Ein magnetisches System befinde sich in einem Magnetfeld H und sei charakterisiert durch die (idealisierte) Abhängigkeit der Magnetisierung M von der Temperatur T mit einer Konstanten a

$$M = a\frac{H}{T} \tag{1}$$

und die Wärmekapazität (bei konstantem H-Feld)

$$C_H = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_H = a\frac{H_0^2 + H^2}{T^2} \,. \tag{2}$$

Die relevanten thermodynamischen Potentiale sind die Gibb'sche freie Energie G und die innere Energie U

$$G = U - TS - HM \,, \tag{3}$$

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S + H\mathrm{d}M \,. \tag{4}$$

a) Zeigen Sie, dass G das natürliche Potential in den Variablen T und H ist. (3 Punkte)

b) Leiten Sie aus dieser Bedingung die Maxwell-Relation

$$\left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T = \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H \tag{5}$$

her. (3 Punkte)

c) Der erste Hauptsatz der Thermodynamik lautet für infinitesimale Änderungen

$$\mathrm{d}U = \delta W + \delta Q \,. \tag{6}$$

Erklären Sie die Wahl der unterschiedlichen Symbole für die Differentiale. Geben Sie für den vorliegenden Fall die beiden intensiven Zustandsvariablen an. (3 Punkte)

d) Für einen reversiblen Prozess gilt $\delta Q(T, H) = T\mathrm{d}S$. Es soll kein Wärmeaustausch zwischen dem magnetischen System und der Umgebung stattfinden, d. h. es soll gelten

$$\delta Q(H, T) = 0 \,. \tag{7}$$

Leiten Sie aus dieser Forderung die Beziehung

$$\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_S = -\frac{T}{C_H}\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H \tag{8}$$

her. (7 Punkte)

e) Berechnen Sie hieraus das Verhältnis der Endtemperatur T_f zur Anfangstemperatur T_i, wenn die Magnetfeldstärke bei reversibler Prozessführung von H_i auf Null fällt. Zeigen Sie, dass die Endtemperatur T_f in der Tat kleiner als die Anfangstemperatur T_i ist. (9 Punkte)

Themenschwerpunkt D

Quantenmechanik

Aufgabe 1: Elektron im Magnetfeld

Betrachten Sie den Zustand eines Elektrons in einem Atom unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes. Die Ortswellenfunktion ist für die Rechnung nicht relevant, daher betrachten Sie im Folgenden nur den Spinzustand $|\psi\rangle$ des Elektrons. Die Eigenwertgleichungen für die Eigenzustände der z-Komponente des Spinoperators lauten

$$\widehat{S}_z|\uparrow\rangle = +\frac{1}{2}\hbar|\uparrow\rangle, \qquad \widehat{S}_z|\downarrow\rangle = -\frac{1}{2}\hbar|\downarrow\rangle. \tag{1}$$

Ohne äußeres Magnetfeld seien die Zustände $|\uparrow\rangle$ und $|\downarrow\rangle$ Energieeigenzustände zum gleichen Energieeigenwert E. Nach dem Anlegen eines homogenen Magnetfeldes $\vec{B} = B\vec{e}_x$ sind $|\uparrow\rangle$ und $|\downarrow\rangle$ keine Energieeigenzustände mehr. Der Hamiltonoperator ist dann

$$H = E(|\uparrow\rangle\langle\uparrow| + |\downarrow\rangle\langle\downarrow|) - \mu B(|\uparrow\rangle\langle\downarrow| + |\downarrow\rangle\langle\uparrow|), \tag{2}$$

wobei μ eine Konstante ist.

a) Berechnen Sie die Energieeigenwerte sowie die zugehörigen normierten Eigenzustände. (7 Punkte)

b) Das System befinde sich zur Zeit $t = 0$ im Zustand $|\uparrow\rangle$. Zum Zeitpunkt $t = T$ wird wieder die z-Komponente des Spins gemessen. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeiten $P_\uparrow(T), P_\downarrow(T)$, das System bei dieser Messung im Zustand $|\uparrow\rangle$ bzw. $|\downarrow\rangle$ zu finden. Vereinfachen Sie die gefundenen Formeln so weit wie möglich. (13 Punkte)
Zur Kontrolle: $P_\downarrow(T) = sin^2(A \cdot T)$ mit der Konstanten A.

c) Interpretieren Sie Ihr Ergebnis aus b) physikalisch: Was geschieht mit dem Elektronenspin? (5 Punkte)

Aufgabe 2: Harmonischer Oszillator mit Operatoren

Betrachtet wird der harmonische Oszillator mit Hamilton-Operator $\hat{H} = \hbar\omega(\hat{a}^\dagger\hat{a} + \frac{1}{2})$. Die Stufenoperatoren

$$\hat{a} = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{x} + \frac{i}{\sqrt{2m\omega\hbar}}\hat{p}\,, \qquad \hat{a}^\dagger = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{x} - \frac{i}{\sqrt{2m\omega\hbar}}\hat{p}\,. \tag{1}$$

erfüllen die Relation $[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1$. Der normierte Eigenzustand von $\hat{H}$ mit Energie $E_n = \hbar\omega(n + \frac{1}{2})$, $n = 0, 1, \ldots$, wird mit $|n\rangle$ bezeichnet.

a) Begründen Sie mit Hilfe der Angaben, dass der Anzahloperator $\hat{n} = \hat{a}^\dagger\hat{a}$ die Gleichung $\hat{n}|n\rangle = n|n\rangle$ erfüllt. (3 Punkte)

b) Zeigen Sie, dass $\hat{a}^\dagger|n\rangle = c_n|n+1\rangle$ gilt, wobei c_n eine nicht verschwindende Konstante ist, die Sie nicht zu bestimmen brauchen. (4 Punkte)

c) Zeigen Sie allgemein, dass

$$\frac{\partial E_n}{\partial s} = \langle n(s)|\frac{\partial \hat{H}(s)}{\partial s}|n(s)\rangle \textit{ gilt,} \tag{2}$$

wobei s einen Parameter bezeichnet, von dem der Hamilton-Operator $\hat{H}$ und die normierten Eigenzustände $|n\rangle$ abhängig sind. (6 Punkte)

d) Verifizieren Sie diese Gleichung für das Beispiel des harmonischen Oszillators für den Fall, dass der Parameter in Gleichung (2) die Masse des Teilchens ist, d. h. $s = m$ (bei konstanter Frequenz ω). Drücken Sie hierzu die Ableitungen der Stufenoperatoren (1) nach der Masse wieder durch die Stufenoperatoren selbst aus. (6 Punkte)

e) Geben Sie den Hamilton-Operator $\hat{H}(\hat{x}, \hat{p})$ als Funktion von $\hat{x}$ und $\hat{p}$ an. *(Hinweis: Sie müssen $\hat{H}(\hat{x}, \hat{p})$ nicht aus dem Ausdruck $\hat{H}(\hat{a}, \hat{a}^\dagger)$ herleiten, wenn Sie die Antwort wissen).* Interpretieren Sie damit die in der vorigen Teilaufgabe verifizierte Gleichung. (6 Punkte)

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ______ Kennwort: ______ Arbeitsplatz-Nr.: ______	**Herbst 2022**	**64018**

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen

— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (vertieft studiert)**

Einzelprüfung: **Fachdidaktik**

Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **3**

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: **3**

Bitte wenden!

Thema Nr. 1

Franck-Hertz-Versuch

1.

a) James Franck und Gustav Hertz führten zwischen 1911 und 1913 den – später nach Ihnen benannten – Franck-Hertz-Versuch durch.
Beschreiben Sie schülergerecht mit Hilfe einer Skizze den Aufbau und das Versuchsprinzip des Franck-Hertz-Versuchs! Gehen Sie darauf ein, wie Sie die relevanten Versuchsergebnisse darstellen, wie Sie deren Zustandekommen erläutern und die Ergebnisse deuten!

b) Erläutern Sie schülergerecht zwei Aspekte des Franck-Hertz-Versuchs, die maßgeblich zur Weiterentwicklung der Atom- und Quantenphysik beigetragen haben!

2. Beschreiben Sie vier Funktionen von Modellen als grundlegende Werkzeuge in der Physik! Belegen Sie außerdem die Aussage, dass Modellvorstellungen einem stetigen Wandel unterliegen, und verdeutlichen Sie dies anhand der historischen Entwicklung von Atommodellen!

3. Skizzieren Sie eine Unterrichtseinheit zur Struktur der Hülle eines Atoms, wobei Sie speziell auf die diskreten Energiewerte des Wasserstoffatoms und deren experimentelle Überprüfung anhand der Spektrallinien eingehen! Spezifizieren Sie dabei insbesondere auch Lernvoraussetzungen und Kompetenzerwartungen!

Thema Nr. 2

Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld

1. Nennen und beschreiben Sie ausführlich drei verschiedene Methodenwerkzeuge zum Anwenden bereits erlernter Inhalte! Formulieren Sie eine konkrete Umsetzung eines der Werkzeuge zum Thema „Magnetfeld“!

2. Beschreiben Sie ein Experiment (Material, Skizze, Durchführung, Beobachtung, Auswertung), das sich zur Einführung der magnetischen Flussdichte über die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld eignet! Zeigen Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede zur Einführung der elektrischen Feldstärke auf!

3. Beschreiben Sie eine Unterrichtseinheit (Lernvoraussetzungen, Lernziele, Artikulationsschema) zur quantitativen Einführung magnetischer Felder in der Oberstufe! Gehen Sie weiterhin begründet darauf ein, für welche Unterrichtsmethode Sie sich entschieden haben!

Thema Nr. 3

Wärmemotor

1. Nennen Sie mindestens drei verschiedene lernhinderliche Schülervorstellungen zum Begriff der Wärme! Stellen Sie drei sich daraus ergebende Lernschwierigkeiten dar! Beschreiben Sie für eine lernhinderliche Schülervorstellung ein geeignetes Experiment, mit denen Schülerinnen und Schüler unzufrieden mit ihren Vorstellungen gemacht werden können!

2. Der Energieerhaltungssatz ist von zentraler Bedeutung für die gesamte Physik und muss daher auch im Unterricht entsprechend gewürdigt werden. Allerdings wissen die Schülerinnen und Schüler aus dem Alltag, dass Energie knapp und teuer ist. Mit dem Konzept der Energieentwertung versucht man im Unterricht, beide Aspekte zu verbinden. Definieren Sie das Konzept der Energieentwertung schülergerecht und erläutern Sie die hierfür notwendigen Lernvoraussetzungen!

3. Beschreiben Sie einen Wärmemotor von der Art, wie er im Unterricht verwendet werden kann! Erläutern Sie das Konzept der Energieentwertung anhand dieses Beispiels unter Verwendung eines p-V- oder T-S-Diagramms!

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ___	**Herbst 2022**	**64112**
Kennwort: ___		
Arbeitsplatz-Nr.: ___		

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen
— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Chemie (vertieft studiert)**

Einzelprüfung: **Anorg. Chemie mit Analytik und Physik. Ch.**

Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): 3

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: 8

Bitte wenden!

Thema Nr. 1

Allgemeine Chemie

1a) Aus welchen drei „elementaren" Bausteinen bestehen die chemischen Elemente und was sind die beiden wesentlichen Unterschiede zwischen diesen Bestandteilen?

1b) Geben Sie zwei grundlegende Unterschiede zwischen Kernreaktionen und chemischen Reaktionen (chemischer Bindung) an!

1c) Warum ist Disauerstoff reaktiv?
Geben Sie eine Erklärung, basierend auf dem MO-Diagramm und vergleichen Sie den Grundzustand von Sauerstoff mit den beiden (ersten) angeregten Zuständen anhand von MO-Diagrammen!

1d) Warum ist Distickstoff unreaktiv?
Geben Sie eine kurze Erklärung, basierend auf dem MO-Diagramm (Zeichnung nicht erforderlich)!

1e) Welches sind die drei häufigsten Elemente im Universum? Welche davon sind auf der Erde in elementarer Form selten und warum?

Analytische Chemie

2a) Vergleichen Sie die Titrationskurven einer starken Säure mit einer starken Base und einer schwachen Säure mit einer starken Base anhand eines Titrationsdiagramms (Auftragung pH-Wert gegen zugetropftes Volumen Base) und erklären Sie die Unterschiede!

2b) Wo lägen in diesen Kurven die Umschlagbereiche der Indikatoren Methylrot und Phenolphtalein bzw. Thymolphtalein? Zeichnen Sie diese in die Graphik ein!

3) Das menschliche Blut hat einen pH-Wert von 7.35–7.45.

3a) Liegt dieser Wert im sauren oder im alkalischen Bereich?

3b) Vier Puffersysteme dienen zur Aufrechterhaltung des pH-Werts. Nennen Sie zwei dieser Systeme mit Namen (Formeln sind nicht erforderlich)!

3c) Geben Sie an, ob die folgenden Getränke jeweils sauer oder alkalisch sind:

Cola
Orangensaft

4a) Was versteht man unter einer Lewis-Säure und was unter einer Lewis-Base?

4b) Ist Ammoniak eine Lewis-Säure oder eine Lewis Base? Geben Sie eine kurze Begründung!

5a) Definieren Sie den Begriff Elektronegativität!

5b) Nennen Sie das elektronegativste Element im Periodensystem der Elemente!

Anorganische Chemie

6a) Welches sind gegenwärtig die drei Hauptbestandteile der Erdatmosphäre? Geben Sie die chemischen Formeln der drei Hauptbestandteile und die ungefähre Häufigkeit in Volumenprozent an!

6b) Geben Sie die Häufigkeit (in Vol-%) von Kohlenstoffdioxid in der Erdatmosphäre an!

6c) Welche Konsequenzen hat die Zu- und welche die Abnahme von atmosphärischem Kohlendioxid für die Lebewesen auf Erden? Nennen Sie in Stichpunkten je zwei Folgen und begründen Sie diese kurz!

6d) Nennen Sie ein weiteres Kohlenstoffoxid (Name oder Formel genügt)!

6e) Welches ist die bei Normalbedingungen thermodynamisch stabilste Modifikation von Kohlenstoff?

6f) Nennen Sie zwei Beispiele für „Treibhausgase"! Welche physikalisch-chemischen Voraussetzungen müssen Gase erfüllen, um „Treibhausgase" zu sein?

7) Leiten Sie aus der Orbitalaufspaltung eines oktaedrischen Ligandenfeldes die Aufspaltung eines quadratisch-planaren Ligandenfeldes her (Skizze der Orbitalaufspaltung im oktaedrischen und quadratisch-planaren Ligandenfeld)!

Physikalische Chemie

8a) Erläutern Sie das Prinzip des kleinsten Zwangs am Beispiel des Haber-Bosch-Verfahrens (inklusive Reaktionsgleichung des Verfahrens)!

8b) Wofür ist das Haber-Bosch-Verfahren von Bedeutung und wie werden die Startverbindungen gewonnen?

9a) Definieren Sie die Funktion eines Katalysators in einer chemischen Reaktion!

9b) Was versteht man unter Umsatzzahl (Turnover Number, TON) und Umsatzfrequenz (Turnover Frequency, TOF) in einer katalytischen Reaktion? Was kann man mit diesen Größen bestimmen?

9c) Beeinflusst ein Katalysator die Aktivierungsenergie einer chemischen Reaktion? Geben Sie eine kurze Begründung!

Thema Nr. 2

Grundlagen Anorganische Chemie

Aufgabe 1:

Skizzieren Sie die Lewis-Formeln folgender chemischer Elemente bzw. Verbindungen und geben Sie – sofern erforderlich – die jeweiligen Formalladungen an! Beachten Sie dabei die Oktettregel!

Weißer Phosphor, α-Schwefel, Schwefeldioxid, Dichlordisulfan, Diphosphan, Tetraphosphordekaoxid, Cyclopentasilan, Cyclotrikieselsäure und Stickstoffmonoxid.

Aufgabe 2:

Beschreiben Sie die Strukturen von Wasser, Phosphan, Xenondifluorid, Iodpentafluorid und Schwefeldichlorid anhand des VSEPR-Modells! Geben Sie dazu die Lewis-Formeln der Verbindungen, verbale Strukturbeschreibungen sowie Strukturzeichnungen mit Angabe der bindenden und nichtbindenden Elektronenpaare an!

Industrielle Anorganische Chemie

Aufgabe 3:

Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen (mit Angabe der Oxidationszahlen) für folgende technische Prozesse:

a) die Herstellung von Salpetersäure auf Basis des Ostwald-Verfahrens ausgehend von Ammoniak

b) die mehrstufige technische Herstellung von polykristallinem Reinstsilizium ausgehend von Quarzsand

c) für die technische Chloralkali-Elektrolyse gemäß dem Diaphragma-Verfahren

d) für das sog. „Kalkbrennen" und „Kalklöschen"

Aufgabe 4:

a) Beschreiben Sie die industrielle Darstellung von Aluminium aus Aluminiumoxid! Skizzieren Sie dabei den Aufbau der Elektrolysezelle und formulieren Sie die entsprechenden Vorgänge an den Elektroden mit Hilfe von Reaktionsgleichungen! Geben Sie die Zusammensetzung des verwendeten Elektrolyten an und begründen Sie diese!

b) Nennen Sie eine von a) unterschiedliche Methode zur Darstellung von Metallen aus ihren Verbindungen! Nennen Sie dafür ein typisches Beispiel und formulieren Sie die dazu gehörige Reaktionsgleichung!

Analytische Chemie

Aufgabe 5:

a) Wie unterscheiden sich die Löslichkeiten der Silber(I)-Halogenide in Wasser und welche Reihenfolge ergibt sich somit für die Löslichkeitsprodukte der Salze?

b) Ein Gemisch aus AgCl, AgBr und AgI wird zunächst mit einer wässrigen Lösung von Ammoniumcarbonat und anschließend mit einer konzentrierten wässrigen Ammoniak-Lösung behandelt. Diskutieren Sie anhand von Reaktionsgleichungen die dabei ablaufenden Prozesse!

c) Beschreiben Sie die quantitative Bestimmung von Chlorid-Ionen nach Mohr!

Aufgabe 6:

Es werden 100 mL einer verdünnten Schwefelsäure unbekannter Konzentration mit Natronlauge (c = 1 mol L^{-1}) titriert. Als Indikator dient Phenolphthalein. Bis zum Umschlagpunkt des Indikators werden 20 mL Natronlauge verbraucht.

a) Berechnen Sie die Konzentration der Schwefelsäure!

b) Zeichnen Sie den Verlauf der Titrationskurve! Wie viele Äquivalenzpunkte weist die Titrationskurve auf und bei welchen pH-Werten werden diese gefunden?

c) Wie viele Stufen werden bei der Titration von schwefliger Säure gleicher Konzentration wie der Schwefelsäure im Aufgabenteil a) beobachtet? Bei welchem Verbrauch von Natronlauge wird der jeweilige einzelne Sprung gefunden? Erläutern Sie dies anhand eines qualitativen Vergleichs der Säurestärken und begründen Sie, warum eine der Säuren stärker ist als die andere!

Koordinationschemie

Aufgabe 7:

Nennen Sie die geometrischen Strukturen, die Sie für folgende Komplexverbindungen erwarten:

$[Cr(H_2O)_6]^{3+}$, $[V(H_2O)_6]^{3+}$, $[Fe(CN)_6]^{3-}$, $[Fe(CO)_5]$, $[NiCl_4]^{2-}$, $[PdBr_4]^{2-}$!

Begründen Sie für die von Ihnen gewählten Strukturen der Halogenid-Ionen Ihre Entscheidung bezüglich möglicher Alternativen!

Physikalische Chemie

Aufgabe 8:

a) Skizzieren Sie den Aufbau der Normalwasserstoffelektrode und benennnen Sie die wichtigsten Komponenten sowie die Randbedingungen!

b) Definieren Sie den Begriff „Edelmetalle"!

c) Geben Sie vier Beispiele (Elementsymbol) für Edelmetalle!

d) Welche Gleichung gibt die Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit für das Potential einer Halbzelle an? Geben Sie den Namen und die Gleichung an! Wie wird diese Gleichung für $T = 298$ K in der Regel umgestellt?

Aufgabe 9:

a) Erläutern Sie in wenigen Sätzen das Atommodell nach Bohr und fomulieren Sie die Postulate der Bohr'schen Atomtheorie!

b) Erklären Sie, inwiefern mit diesem Modell das Elektronenspektrum des Wasserstoffs erklärt werden kann!

c) Begründen Sie, ob nach dieser Theorie eine Deutung der Elektronenspektren von Atomen, die elektronenreicher sind als der Wasserstoff, möglich ist!

Thema Nr. 3

1. Säuren/Basen

a) Das Element Sauerstoff („oxygen = Säurebildner") hat seinen Namen von der Reaktion bestimmter sauerstoffhaltiger Stoffe mit Wasser, durch die saure Lösungen entstehen. Nennen Sie diese Stoffklasse und geben Sie zwei Beispiele (Reaktionsgleichungen) aus der Stickstoff- und Phosphorchemie an!

b) Berechnen Sie den Dissoziationsgrad einer 10^{-5}-molaren Essigsäurelösung! Leiten Sie dazu die entsprechende Formel aus dem Protolysegleichgewicht her! Es gilt: K_S (Essigsäure) $= 2 \cdot 10^{-5}$

c) Für die pH-Berechnung einer einprotonigen Säure ist für den allgemeinen Fall eine kubische Gleichung zu lösen. Sie verwenden deshalb Näherungsformeln. Berechnen Sie den pH-Wert für folgende wässrige Lösungen!

(i) 0,1-molare Essigsäure

(ii) 10^{-5}-molare Essigsäure (berücksichtigen Sie Ihr Ergebnis unter b))
10^{-5}-molare Salzsäure

(iii) 10^{-8}-molare Essigsäure

2. Elektrochemie

Berechnen Sie aus den Standardpotentialen der beiden Reaktionen das Löslichkeitsprodukt von Silberchlorid! Erstellen Sie dazu zunächst die jeweilige Nernst-Gleichung!
Definieren Sie die Standardbedingungen!

$$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag^0 \qquad E^0 = +0{,}80\ V$$

$$AgCl + e^- \rightleftharpoons Ag^0 + Cl^- \qquad E^0 = +0{,}22\ V$$

3. VSEPR

a) Die VSEPR-Regeln dienen zur Vorhersage der Strukturen von Molekülen bzw. Molekülionen. Bestimmen (Angabe auch als AB_xE_y), skizzieren (Besetzung der Positionen beachten) und beschreiben Sie die Geometrie der folgenden Spezies!

(i) $[XeOF_5]^-$

(ii) $[XeF_3]^-$

(iii) $PH(NH_2)_2F_2$

b) Ordnen Sie die folgenden Spezies nach zunehmendem Bindungswinkel und begründen Sie Ihre Wahl durch die Angabe der relevanten Elektronenpaare (z. B. AB_xE_y...)!
$[ClO_2]^+$, ClO_2, $[ClO_2]^-$

4. Elektronen-Abzählregeln

a) Leiten Sie die Strukturen des anionischen Teils der folgenden Zintl-Phasen her!

(i) Ba_3As_4

(ii) Ba_5Si_3

b) Berechnen Sie die Zahl der Metall-Metall-Bindungen des folgenden Metallclusters und zeichnen Sie die Struktur!

$Os_4(CO)_{15}$

c) Bestimmen Sie die räumliche Struktur der folgenden Borane/Heteroborane nach den Wade'schen Regeln! Skizzieren Sie die zugrundeliegende *closo*-Struktur und markieren Sie die nicht besetzte(n) Position(en)!

(i) B_5H_{11}

(ii) CB_5H_9

5. Atombau

a) Das Bohr'sche Modell enthält Elemente der klassischen Physik, z. B. den Bahndrehimpuls ($m \cdot v \cdot r$).

Berechnen Sie nach dem Bohr'schen Modell die Geschwindigkeit des Elektrons (im Grundzustand) in Prozent der Lichtgeschwindigkeit ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s) und die Umlaufdauer um den Kern in Femtosekunden (fs) und zeigen Sie damit, dass relativistische Effekte bei leichten Elementen nur untergeordnete Bedeutung haben!

$h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Js, $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}, Elektronenmasse $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg;
Protonenmasse $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg, Bohr'scher Radius $a_0 = 52{,}9$ pm

b) Art und Anzahl der Knotenflächen eines beliebigen Orbitals lassen sich aus den jeweiligen Quantenzahlen berechnen und somit die Orbitalgestalt herleiten.

Wenden Sie diese Berechnung auf ein 4 d_{xy}-Orbital an, stellen Sie das Orbital graphisch dar (Koordinatensystem einzeichnen, Vorzeichen nicht vergessen) und kennzeichnen Sie die Knotenflächen!

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ________	**Herbst 2022**	**44010**
Kennwort: ________		
Arbeitsplatz-Nr.: ________		

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen
— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (Unterrichtsfach)**
Einzelprüfung: **Mechanik/Wärmelehre/Optik usw.**
Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **1**
Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: **5**

Sämtliche Teilaufgaben sind zu bearbeiten!

Bitte wenden!

Teilaufgabe 1:

Flugzeugphysik **(20 Punkte)**

Ein Flugzeug mit zwei Strahltriebwerken mit maximalem Schub von jeweils 60 kN ohne und 90 kN mit Nachbrenner habe eine Masse von 15500 kg. Nehmen Sie zur Vereinfachung an, dass die Erdbeschleunigung g unabhängig von der Flughöhe konstant ist und vernachlässigen Sie eventuell auftretende Reibungskräfte.

a) Berechnen Sie die maximale Gesamtmasse, die das Flugzeug haben darf, wenn es mit eingeschaltetem Nachbrenner senkrecht aufsteigen können soll. (2 Punkte)

b) Das Flugzeug (Masse soll nun konstant 15500 kg betragen) vollführe unmittelbar nach dem Start einen senkrechten Steigflug mit eingeschaltetem Nachbrenner. Berechnen Sie die Zeit, die das Flugzeug benötigt, um eine Höhe von 5000 m zu erreichen. (3 Punkte)

c) In ein Triebwerk ströme pro Zeitintervall Δt von vorne Luft mit der Masse Δm und der Fluggeschwindigkeit v_e ein. Beim Verbrennungsvorgang soll die Luft mit der Gasaustrittsgeschwindigkeit v_a aus der Düse austreten (die Masse des verbrannten Treibstoffs soll nicht berücksichtigt werden). Stellen Sie die Impulsbilanz für die ein- und ausströmende Luft auf und leiten Sie daraus einen Ausdruck für die resultierende Schubkraft auf das Triebwerk her. (4 Punkte)

d) Berechnen Sie die Gasaustrittsgeschwindigkeit und geben Sie die Richtung der Schubkraft an, wenn $v_a >> v_e$ gilt und der Nachbrenner ausgeschaltet ist. Fertigen Sie dazu eine Skizze mit den Vektoren für die Kräfte und Geschwindigkeiten an. (2 Punkte)

e) Bei einer Kreisbahn liegt die maximal zulässige Beschleunigung für dieses Flugzeug bei $9g$. Drücken Sie den minimal zulässigen Kurvenradius der Kreisbahn als Funktion der Fluggeschwindigkeit aus. Berechnen Sie diesen Radius für die Fluggeschwindigkeiten 800 km/h und für 2000 km/h. (3 Punkte)

f) Das Flugzeug fliege in einer Höhe von $h_0 = 15000$ m mit einer Geschwindigkeit von 2400 km/h in einem Steigflug mit dem Winkel von 20° zur Horizontalen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ werden beide Triebwerke abgeschaltet und das Flugzeug bewege sich ohne Auftrieb auf einer ballistischen Bahn. Stellen Sie die Bewegungsgleichung $\vec{x}(t)$ für $t > 0$ auf und berechnen Sie damit die horizontale Entfernung, in welcher das Flugzeug eine Flughöhe von 5000 m erreicht. Geben Sie die auf die Pilotin während des ballistischen Fluges wirkende Beschleunigung an. (6 Punkte)

Teilaufgabe 2:

Relativistische Teilchen im LHC **(20 Punkte)**

In den ringförmigen Beschleuniger LHC (= Large Hadron Collider) werden vorbeschleunigte Protonen mit einer kinetischen Energie von $E_i = 421$ GeV eingeschossen. Dort werden Sie in einer Zeit von 20 Minuten auf eine kinetische Endenergie von $E_{max} = 3{,}70$ TeV weiter beschleunigt, bevor sie für die Experimente verwendet werden können. Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Teilchen dabei stets auf einer konstanten Kreisbahn mit Radius 4,25 km gehalten werden.

a) Zeigen Sie, dass für die Protonen mit der Anfangsenergie E_i der Lorentzfaktor $\gamma = 450$ beträgt. Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Teilchen beim Einschuss und bestätigen Sie damit, dass für die Geschwindigkeit der Protonennäherungsweite mit c gerechnet werden kann. Die Ruhemasse des Protons beträgt näherungsweise 938 MeV/c^2. (4 Punkte)

b) Erklären Sie anhand einer Skizze mit entsprechenden Vektoren, warum Ionen in einem homogenen Magnetfeld bei geeigneter Feldrichtung eine geschlossene Kreisbahn durchlaufen. Geben Sie die Richtung des Magnetfeldes an. (3 Punkte)

c) Die Flussdichte B des Magnetfeldes muss im LHC während der Beschleunigung kontinuierlich von B_{min} auf B_{max} erhöht werden, um die Teilchen auf einer Bahn mit konstantem Radius zu halten. Leiten Sie aus dem nicht relativistischen Kräftegleichgewicht einen allgemeinen Zusammenhang von Bahnradius und Magnetfeld her und beschreiben Sie, was sich im relativistischen Fall ändert. Berechnen Sie B_{min} und B_{max}.
(Hinweis: Nutzen Sie dabei die in a) bestätigte Näherung für die Geschwindigkeit der Protonen.) (5 Punkte)

d) Berechnen Sie die Energie, die einem Proton pro Umlauf zugeführt werden muss. (3 Punkte)

e) Die Energie, die im Schwerpunktsystem von zwei aufeinanderprallenden Teilchen mit den Gesamtenergien (E_n = kinetische Energie + Ruheenergie) E_1 und E_2 für eine Reaktion zur Verfügung steht, ist: $E_s = \sqrt{4E_1E_2}$. Berechnen Sie E_s für den Fall, dass ein Proton der Maximalenergie aus dem LHC auf einen ruhenden Wasserstoffkern trifft und vergleichen Sie diese mit dem Fall eines Stoßes, bei dem beide Protonen in entgegengesetzter Richtung beschleunigt mit E_{max} aufeinander treffen (Collider). (3 Punkte)

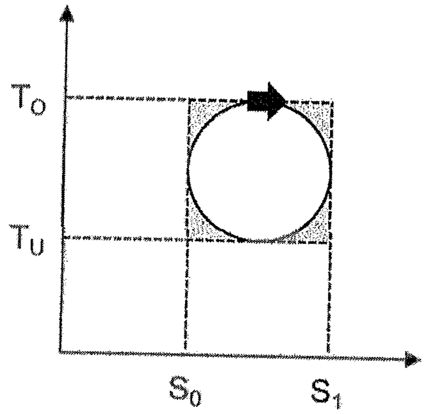
f) Im Prinzip können im LHC auch Elektronen oder deren Antiteilchen (Positronen) beschleunigt werden. Dabei wird aber ein erheblicher Teil der aufgewendeten Energie in Form von Synchrotronstrahlung abgestrahlt. Beschreiben Sie qualitativ deren Ursache und geben Sie eine Beschleunigergeometrie an, mit der trotzdem Elektronen auf höchste Energien beschleunigt werden können. (2 Punkte)

Teilaufgabe 3:

Kreisprozess und Entropie

(20 Punkte)

Betrachten Sie den in der Abbildung dargestellten Kreisprozess für ein ideales Gas. Im S-T-Diagramm stellt er gerade einen Kreis dar. Die höhere Temperatur T_O sei 1000 °C, die niedrigere Temperatur T_U sei 100 °C. Die Entropiedifferenz $S_1 - S_0$ betrage 1,5 kJ/K. Der Prozess verlaufe vollkommen reversibel.



a) Berechnen Sie die jeweils pro Umlauf aufgenommene und abgegebene Wärme.

Hinweise: Für reversible Prozesse gilt: $dS = \frac{dQ}{T}$.

An dieser Stelle kann eine geometrische Betrachtung der Flächen die Rechnung vereinfachen. Beachten Sie das Flächenverhältnis von Quadrat und Kreis.

(*Ersatzlösungen: $Q_{zu} = 1834\ kJ$, $Q_{ab} = 823\ kJ$*) (6 Punkte)

b) Berechnen Sie die pro Umlauf umgesetzte Arbeit und begründen Sie, ob diese aus der Umgebung zugeführt oder dorthin abgegeben wird. (2 Punkte)

c) Berechnen Sie den Wirkungsgrad einer Maschine, in der dieser Kreisprozess realisiert ist und vergleichen Sie diesen mit dem Wirkungsgrad, der sich mit den beiden Wärmereservoirs T_O und T_U maximal erreichen ließe. Begründen Sie, warum die Maschine diesen Wirkungsgrad nicht erreicht. (5 Punkte)

d) Sie wollen diese Maschine möglichst kompakt bauen. Begründen Sie anhand der jeweiligen molekularen Eigenschaften, warum die drei Gase Argon, Stickstoff und Wasserdampf in dieser Reihenfolge immer kleinere Stoffmengen des Arbeitsgases zulassen. (3 Punkte)

e) Die Maschine laufe mit einer Umdrehungsfrequenz von 500 pro Minute. Die Temperatur der Reservoirs T_U soll durch einen Gegenstrom-Wärmetauscher langfristig konstant gehalten werden. Berechnen Sie die erforderliche Wärmeleistung und den minimalen Massenstrom an Luft mit konstantem Druck und der Temperatur $T_L = 20$ °C durch den Wärmetauscher. (4 Punkte)

Teilaufgabe 4:

Abbildung durch eine Linse **(20 Punkte)**

20 cm vor einer dünnen Sammellinse befinde sich ein 10 cm hoher Gegenstand. Linse, Gegenstand und Abbildung befinden sich komplett in einem Wasserbad, der Brechungsindex von Wasser betrage $n_1 = 1{,}3$. Die Brennweite der Linse im Wasser betrage $f = 10$ cm.

a) Skizzieren Sie den Strahlengang der Hauptstrahlen und konstruieren Sie so das Bild des Gegenstandes. (2 Punkte)

b) Berechnen Sie die Position des Bildes und dessen Vergrößerung. Begründen Sie, ob das Bild reell oder virtuell ist. (3 Punkte)

Nun wird ein mit Luft (Brechungsindex $n_2 = 1$) gefülltes Gefäß so eingetaucht, dass die Luft/Wasser-Grenzfläche genau senkrecht zur optischen Achse liegt und durch den hinteren Brennpunkt der Linse verläuft. Die Wände des Gefäßes sollen vernachlässigt werden.
Die Gegenstandshöhe betrage nun 1 cm.

c) Skizzieren Sie den Verlauf der Hauptstrahlen unter den geänderten Bedingungen. Bestimmen Sie die Bildgröße und berechnen Sie die Bildweite. (6 Punkte)

d) Bestimmen Sie den Winkel, um welchen die Grenzfläche gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden muss, damit der Mittelpunktstrahl Totalreflexion erfährt (Drehachse durch den Brennpunkt und senkrecht zur Zeichenebene der Skizze aus Teilaufgabe c)). Geben Sie an, für welche Einfallswinkel des Mittelpunktstrahls sich ein Bild des Gegenstandes durch Reflexion an der Grenzfläche ergibt. (6 Punkte)

e) Erläutern Sie, was man unter Polarisation einer elektromagnetischen Welle versteht. Geben Sie an, in welcher Richtung das reflektierte Licht des Mittelpunktstrahls aus Teilaufgabe d) polarisiert ist. Begründen Sie, wieso eine Schallwelle in Luft nicht polarisierbar ist. (3 Punkte)

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ______		
Kennwort: ______	Herbst 2022	44011
Arbeitsplatz-Nr.: ______		

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen
— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (Unterrichtsfach)**

Einzelprüfung: **Aufbau der Materie**

Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **1**

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: **5**

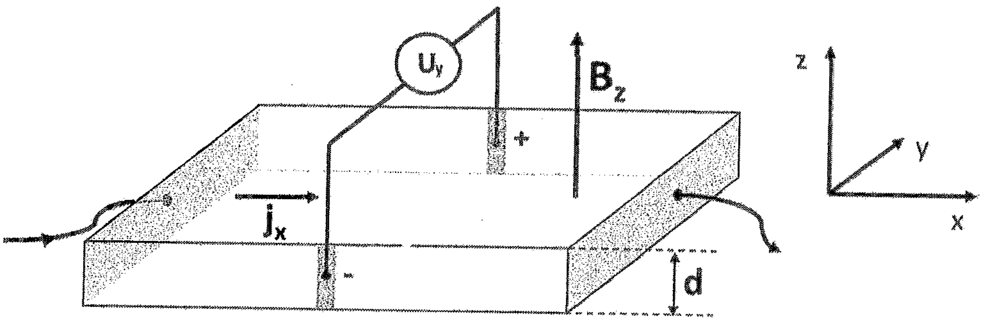
Sämtliche Teilaufgaben sind zu bearbeiten!

Bitte wenden!

Teilaufgabe 1:

Hall-Sonde **(20 Punkte)**

Ein rechteckiges Stück dotiertes Silizium ist in der Hall-Geometrie kontaktiert (siehe Abb.). Die Dicke der Probe betrage d = 1,0 mm. Die Stromdichte und das Magnetfeld sind homogen verteilt. Bei einem Strom von I = 1,0 mA und einem Magnetfeld B_z = 10 mT wird eine Hall-Spannung von $U_H = U_y$ = 6,24 mV gemessen.



a) Die allgemeine Bewegungsgleichung für die Ladungsträger lautet:

$$m\dot{\vec{v}} + m\frac{\vec{v}}{\tau} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Erläutern Sie die Bedeutung der einzelnen Terme. (4 Punkte)

b) Geben Sie die Bewegungsgleichung für die Majoritätsladungsträger in Komponentenschreibweise für den stationären Fall an. Vereinfachen Sie diese soweit möglich und zeigen Sie, dass das elektrische Feld in y-Richtung durch:

$$E_y = \frac{B_z}{nq} j_x$$

gegeben ist, wobei n die Dichte der Ladungsträger mit Ladung q und j_x die Stromdichte bezeichnet. (5 Punkte)

c) Skizzieren Sie in einer Draufsicht auf die Probe (Blickrichtung (–z), welche Kräfte auf die Ladungsträger wirken. Diskutieren Sie, wie sich der auftretende Hall-Effekt bemerkbar macht und begründen Sie, welche Majoritäts-Ladungsträger im eingangs dargestellten Fall für Silizium vorhanden sind. Berechnen Sie die minimale Dichte dieser Ladungsträger und begründen Sie, warum Hall-Sonden aus Halbleitern und nicht aus Metallen hergestellt werden. (6 Punkte)

d) Die Probe wird nun mit einem kurzen Lichtblitz der Energieflächendichte 15 $\mu J/cm^2$ homogen beleuchtet. Die Wellenlänge der Photonen sei $\lambda = 550$ nm. Dabei werden 10 % der einfallenden Photonen in freie Ladungsträger konvertiert. Berechnen Sie die Ladungsträgerdichten im Material kurz nach dem Blitz und begründen Sie, ob die Hallspannung nach dem Lichtblitz größer oder kleiner wird.
(5 Punkte)

Teilaufgabe 2:

Halbleiter

(20 Punkte)

a) Nennen Sie die vier hauptsächlich auftretenden Typen von chemischen Bindungen, die unter Normalbedingungen zur Bildung eines Festkörpers führen können. Geben Sie an, welche der vier Bindungen die schwächste ist.
(3 Punkte)

b) Nennen Sie je zwei Halbleiter und zwei Isolatoren sowie die in diesen Festkörpern dominant vorherrschende Bindungsart. Geben Sie an, was im Bändermodell den Unterschied zwischen Halbleiter und Isolator bestimmt.
(3 Punkte)

c) Erklären Sie den Unterschied zwischen Metall (metallischer elektrischer Leiter) und intrinsischem Halbleiter. Vergleichen Sie hierzu jeweils die Energiebänderschemata und die resultierenden elektronischen Transportmechanismen.
(4 Punkte)

d) Wir betrachten einen einatomaren Halbleiter, dessen Atome N Valenzelektronen besitzen. Beschreiben Sie, wie man einen n- bzw. p-dotierten Halbleiter daraus herstellt. Erläutern und skizzieren Sie die elektronische Struktur des so erzeugten n- bzw. p-Halbleiters unter Zuhilfenahme von Energiebänderschemata. Zeichnen Sie außerdem das jeweilige Ferminiveau ein.
(4 Punkte)

e) Skizzieren Sie die Bandstruktur einschließlich der Fermienergie für einen pn-Übergang (Diode) ohne äußere Spannung. Begründen Sie hiermit das Auftreten von Raumladungszonen und Bandverbiegungen.
(4 Punkte)

f) Skizzieren Sie, wie sich das Bänderschema ändert, wenn man eine Spannung in Sperrrichtung des pn-Kontaktes anlegt.
(2 Punkte)

Teilaufgabe 3:

Betazerfall und das Isotop ^{40}K **(20 Punkte)**

Die Bindungsenergie E_B leichter und mittelschwerer Atomkerne der Kernladungszahl Z, der Neutronenzahl N und der Nukleonenzahl A lässt sich im Tröpfchenmodell näherungsweise durch folgende Formel darstellen:

$$E_B = f(A) + a_4 \cdot \frac{(N-Z)^2}{4A} + a_5 \cdot \delta \frac{1}{\sqrt{A}}$$

Dabei bezeichnet a_4 den Skalierungsfaktor für die Asymmetrieenergie und a_5 den für die Paarungsenergie.

a) Erläutern Sie, warum für „gg"-Kerne (mit gerader Protonen- und Neutronenzahl) $\delta = (+1)$ und für „uu"-Kerne (jeweils ungerader Protonen- und Neutronenzahl) $\delta = (-1)$ ist. Nennen Sie den Gesamtspin von gg-Kernen im Grundzustand und einen typischen Wert für den Beitrag der Paarungsenergie zur gesamten Bindungsenergie mittelschwerer Kerne. (3 Punkte)

b) Skizzieren Sie allgemein auf einer geeigneten Skala, wie die Massen von Isobaren (Kernen gleicher Massenzahl A) von der Kernladungszahl Z abhängen. Fertigen Sie dabei getrennt eine Skizze für die Massenzahl A = 41 und A = 40 jeweils im Bereich 16 < Z < 24 an und benennen Sie den wesentlichen Unterschied für gerade und ungerade Massenzahlen. Markieren Sie die jeweils stabilen Kerne und zeichnen Sie weiter alle möglichen Zerfälle unter schwacher Wechselwirkung ein. Markieren Sie das Isotop ^{40}K. (6 Punkte)

Das Isotop ^{40}K hat eine Halbwertszeit von $T_{1/2}$ = 1,25 Milliarden Jahren und die besondere Eigenschaft, dass es mit einem Verzweigungsverhältnis von B1 = 0,89 in ^{40}Ca und B2 = 0,11 in ^{40}Ar zerfallen kann. Für den Zerfall zum ^{40}Ar stehen diesem Kern theoretisch sogar zwei unterscheidbare Zerfallswege zur Verfügung.

c) Geben Sie für alle drei Reaktionen die *vollständigen* Reaktionsgleichungen an. (3 Punkte)

d) Berechnen Sie die Energien, die bei diesen Reaktionen jeweils direkt frei werden. (3 Punkte)

e) Berechnen Sie zunächst die Zerfallskonstante von ^{40}K in der Einheit [s^{-1}]. Berechnen Sie aus dem gegebenen Verzweigungsverhältnis die Aktivitäten, die zu den jeweiligen Zerfallszweigen gehören. Berechnen Sie daraus die partiellen Zerfallskonstanten des ^{40}K zu ^{40}Ar und zu ^{40}Ca. (5 Punkte)

Teilaufgabe 4:

Röntgenemission und -absorption **(20 Punkte)**

a) Skizzieren Sie den Aufbau einer Röntgenröhre mit einer Leistung von 500 W, einer Kupferanode und benennen Sie alle wesentlichen Komponenten und Anschlüsse für den Dauerbetrieb.

(3 Punkte)

b) Berechnen Sie im Bohrschen Atommodell die Energie und Wellenlänge der K_α-Linie für Kupfer und Silizium. Skizzieren Sie für beide Anodenmaterialien das Emissionsspektrum $I(\lambda)$ der Röhre, wenn sie mit einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 9$ kV betrieben wird. Benennen Sie jeweils die wesentlichen Anteile des Spektrums und deren physikalische Ursachen.

(7 Punkte)

Ein Silizium-Einkristall wird mit einem breitbandigen Spektrum von Röntgenstrahlen ($I(\lambda) \approx$ konstant) untersucht, deren maximale Energie E_{max} deutlich größer als die Bindungsenergie des $n = 1$ Elektrons im Silizium ist.

c) Skizzieren Sie das beobachtete Röntgen-Absorptionsspektrum auf einer geeigneten Wellenlängenskala.

(3 Punkte)

d) Benennen Sie die physikalische Ursache der sogenannten K-Kante im Absorptionsspektrum. Berechnen Sie die Energie der K-Kante in Silizium (Ersatzlösung: 2,1 keV) und vergleichen Sie deren Energie mit der K_α-Linie im Emissionsspektrum.

(4 Punkte)

e) Betrachten Sie nun monoenergetische Röntgenstrahlen der Energie $E = 3{,}0$ keV. Berechnen Sie die kinetische Energie und die deBroglie-Wellenlänge für Elektronen, die damit aus der K-Schale im Silizium freigesetzt werden.

(3 Punkte)

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ____________	Herbst 2022	44017
Kennwort: ____________		
Arbeitsplatz-Nr.: ________		

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen

— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (Unterrichtsfach)**

Einzelprüfung: **Fachdidaktik - Grundschulen**

Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **3**

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: **3**

Bitte wenden!

Thema Nr. 1

Temperatur

Im Lernbereich 3 (3.3) des LehrplanPLUS für bayerische Grundschulen ist für die Jahrgangsstufe 3/4 unter „Kompetenzerwartungen" genannt:
„formulieren Forschungsfragen und Vermutungen zum Thema Wasser, planen dazu den Einsatz einfacher naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden, führen diese durch und werten die Ergebnisse aus".

1. Erläutern Sie drei naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden, die im Sachunterricht der Grundschule zum Einsatz kommen können, und bewerten Sie deren Relevanz für den Physikunterricht an weiterführenden Schulen!

2. Beschreiben Sie ein exploratives Experiment zum Thema Wasser! Erläutern Sie anhand dieses Beispiels das Konzept des explorativen Experimentierens!

3. Konzipieren Sie eine Lernstation, an der Schülerinnen und Schüler zum Thema Wasser eine selbst formulierte Hypothese experimentell prüfen können, und begründen Sie die Gestaltung Ihrer Lernstation!

Thema Nr. 2

Aufbau und Funktionsweise des Auges

Im Lernbereich 2 ist für die Jahrgangsstufe 3/4 das Auge als ein Inhalt genannt.

1. Erläutern Sie drei fachlich unangemessene Schülervorstellungen zum Sehen, mit denen Sie im Unterricht rechnen müssen! Beschreiben Sie kurz zu jeder der genannten Schülervorstellungen ein Konzept zum Umgang mit der jeweiligen Schülervorstellung!

2. Das Thema „Wie funktioniert Sehen" soll hier über ein Lernen an Stationen behandelt werden. Diskutieren Sie Vor- und Nachteile eines Lernens an Stationen! Gehen Sie dabei auf drei didaktisch relevante Perspektiven ein und formulieren Sie passende Kompetenzerwartungen! Beschreiben Sie drei mögliche Probleme, auf die Sie vorbereitet sein sollten!

3. An vier Stationen sollen Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen die folgenden Themen mit Hilfe von kleinen Experimenten bearbeiten:

   a) Wie breitet sich Licht aus?
   b) Welchen Weg nimmt das Licht durch unser Auge?
   c) Was passiert mit Lichtstrahlen, wenn man sie durch eine Linse schickt?
   d) Wie wird das Bild eines Gegenstandes auf der Netzhaut abgebildet?

   Beschreiben Sie für zwei der Themen jeweils ein passendes Experiment und konzipieren Sie ein Arbeitsblatt für eines der beschriebenen Experimente!

Thema Nr. 3

Experimentieren im Physikunterricht

Das Experiment ist ein zentraler Bestandteil des Physikunterrichts. Es kann dazu dienen, verschiedene Ziele des Unterrichts zu erreichen.

1. Erläutern Sie jeweils zwei Aspekte, die zeigen, wie Experimente dazu beitragen

   a) Fachwissen zu vermitteln,
   b) naturwissenschaftliches Arbeiten zu erlernen,
   c) Interesse anzuregen!

2. In der Physikdidaktik werden Experimente unter verschiedenen Gesichtspunkten kategorisiert. Nennen Sie drei dieser Gesichtspunkte, erläutern Sie für einen dieser Gesichtspunkte die sich ergebenden Kategorien und beschreiben Sie jeweils ein passendes Experiment!

3. Beschreiben Sie ein Unterrichtsexperiment aus dem Lernbereich „Bauen und Konstruieren“, das sich mit dem Thema „Gleichgewichtsprinzip bei Balancegeräten“ beschäftigt! Beschreiben Sie, inwieweit das vorgestellte Experiment die in Teilaufgabe 1 genannten Aspekte erfüllt (Hinweis: Es muss nicht jeden Aspekt erfüllen)! Beschreiben Sie, wie Sie das Experiment in Ihrem Unterricht einsetzen, und geben Sie zwei fachdidaktische Argumente für Ihr Vorgehen an!

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ______ Kennwort: ______ Arbeitsplatz-Nr.: ______	**Herbst 2022**	**44018**

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen

— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (Unterrichtsfach)**

Einzelprüfung: **Fachdidaktik - Mittelschulen**

Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **3**

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: **3**

Bitte wenden!

Thema Nr. 1

Die physikalischen Größen Spannung und Strom

1. Die unterschiedliche Bedeutung von „Spannung“ und „Strom“ wird von vielen Schülerinnen und Schülern nicht eindeutig erkannt. Die Umgangssprache trägt dabei oft nicht zur Differenzierung (z. B. „Stromanschluss“, „Stromerzeuger“) bei. Definieren Sie diese beiden Begriffe schülergerecht und geben Sie das jeweils zugrundeliegende physikalische Konzept an!

2.

   a) Beschreiben Sie ein geeignetes Experiment zum Beginn einer Unterrichtseinheit „Ohm´sches Gesetz“! Stellen Sie dar, wie Sie mit diesem Experiment notwendige Lernvoraussetzungen aufgreifen und den Zusammenhang zwischen I und U erarbeiten!

   b) Skizzieren Sie für eine Glühlampe und für eine Bleistiftmine den typischen Verlauf der gemessenen Spannungs-Strom-Kennlinie in einem Diagramm! Begründen Sie schülergerecht die von Ihnen gezeichneten Verläufe! Geben Sie an, für welche (U, I)-Werte (Spannungsbereiche) die Dichte an Messpunkten höher vorgegeben/gewählt werden sollte!

3. Sie planen eine Unterrichtseinheit zum Thema „Schutzkontaktsystem“ im Haushalt.

   a) Beschreiben Sie einen geeigneten Einstieg mit einem präparierten Gerät aus dem Alltag mit blankgescheuertem Phasenleiter! Gehen Sie insbesondere auch auf die Sicherheitsaspekte ein (Größenordnungen für Spannung und Stromstärke)!

   b) Geben Sie das Artikulationsschema zu dieser Unterrichtseinheit an und formulieren Sie drei Kompetenzerwartungen aus zwei Bereichen!

Thema Nr. 2

Geometrische Optik

1. Beschreiben Sie zwei Versuche, anhand derer das in der geometrischen Optik verwendete Strahlenmodell erarbeitet werden kann! Beschreiben Sie mit Hilfe von zwei Phänomenen mögliche Grenzen dieses Modells!

2.
   a) Erstellen Sie ein Tafelbild, mit dem Sie die „Konstruktionsstrahlen" für die Abbildung an einer Sammellinse zum Einsatz bringen und welches die optischen Aspekte des Sehens eines Gegenstandes zum Inhalt hat!

   b) Fertigen Sie passende Skizzen zum Thema „Kurz- und Weitsichtigkeit" für einen Hefteintrag an!

3. Entwerfen Sie eine Unterrichtseinheit (Lernvoraussetzungen, Kompetenzerwartungen, Artikulationsschema) zum Thema „Die Lupe"! Erläutern Sie die Eignung Ihres Vorgehens zum Erreichen zweier Kompetenzerwartungen (eine nicht aus dem Bereich Fachwissen)!

Thema Nr. 3

Wärmestrahlung

1. Beschreiben Sie einen qualitativen und einen quantitativen Demonstrationsversuch, mit dem jeweils der Energietransport (in Luft) durch Wärmestrahlung nachgewiesen werden kann! Nennen Sie die notwendigen Lernvoraussetzungen und die fachlichen Lernziele für die jeweiligen Versuche!

2. Konzipieren Sie ein begleitendes Arbeitsblatt zu dem quantitativen Demonstrationsversuch aus Teilaufgabe 1, das sowohl das Experimentierprotokoll umfasst als auch die Kompetenz der Erkenntnisgewinnung durch hypothesengeleitetes Experimentieren schult!

3. Skizzieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema „Wärmestrahlung"! Setzen Sie dabei ein forschend-entdeckendes Unterrichtsverfahren ein! Geben Sie die geplanten Artikulationsstufen, die Unterrichtsziele und die Kompetenzen an, die im Rahmen der Unterrichtseinheit weiterentwickelt werden sollen!

Prüfungsteilnehmer	Prüfungstermin	Einzelprüfungsnummer
Kennzahl: ____________		
Kennwort: ____________	**Herbst 2022**	**44019**
Arbeitsplatz-Nr.: ________		

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen
— Prüfungsaufgaben —

Fach: **Physik (Unterrichtsfach)**

Einzelprüfung: **Fachdidaktik - Realschulen**

Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): **3**

Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: **3**

Bitte wenden!

Thema Nr. 1

Die physikalischen Größen Spannung und Stromstärke

1. Die unterschiedliche Bedeutung von „Spannung“ und „Strom“ wird von vielen Schülerinnen und Schülern nicht eindeutig erkannt. Die Umgangssprache trägt dabei oft nicht zur Differenzierung (z. B. „Stromanschluss“, „Stromerzeuger“) bei. Definieren Sie diese beiden Begriffe schülergerecht und geben Sie das jeweils zugrundeliegende physikalische Konzept an!

2.
   a) Beschreiben Sie ein geeignetes Experiment zum Beginn einer Unterrichtseinheit „Ohm´sches Gesetz“! Stellen Sie dar, wie Sie mit diesem Experiment notwendige Lernvoraussetzungen aufgreifen und den Zusammenhang zwischen I und U erarbeiten!

   b) Skizzieren Sie für eine Glühlampe und für eine Bleistiftmine den typischen Verlauf der gemessenen Spannungs-Stromstärke-Kennlinie in einem Diagramm! Begründen Sie schülergerecht die von Ihnen gezeichneten Verläufe! Geben Sie an, für welche (U, I)-Werte (Spannungsbereiche) die Dichte an Messpunkten höher vorgegeben/gewählt werden sollte!

3. Sie planen eine Unterrichtseinheit zum Thema „Schutzkontaktsystem“ im Haushalt.

   a) Beschreiben Sie einen geeigneten Einstieg mit einem präparierten Gerät aus dem Alltag mit blankgescheuertem Phasenleiter! Gehen Sie insbesondere auch auf die Sicherheitsaspekte ein (Größenordnungen für Spannung und Stromstärke)!

   b) Geben Sie das Artikulationsschema zu dieser Unterrichtseinheit an und formulieren Sie drei Kompetenzerwartungen aus zwei Bereichen!

Thema Nr. 2

Geometrische Optik

1. Beschreiben Sie zwei Schulversuche, anhand derer das in der geometrischen Optik verwendete Strahlenmodell erarbeitet werden kann! Beschreiben Sie mit Hilfe von zwei Phänomenen mögliche Grenzen dieses Modells!

2.
   a) Erstellen Sie ein Tafelbild, mit dem Sie die „Konstruktionsstrahlen" für die Abbildung an einer Sammellinse zum Einsatz bringen und welches die optischen Aspekte des Sehens eines Gegenstandes zum Inhalt hat!

   b) Fertigen Sie passende Skizzen zum Thema Kurz- und Weitsichtigkeit für einen Hefteintrag an!

3. Entwerfen Sie eine Unterrichtseinheit (Lernvoraussetzungen, Kompetenzerwartungen, Artikulationsschema) zum Thema „Die Lupe"! Erläutern Sie die Eignung Ihres Vorgehens zum Erreichen zweier Kompetenzerwartungen (eine nicht aus dem Bereich Fachwissen)!

Thema Nr. 3

Wärmestrahlung

1. Beschreiben Sie einen qualitativen und einen quantitativen Demonstrationsversuch, mit dem jeweils der Energietransport (in Luft) durch Wärmestrahlung nachgewiesen werden kann! Nennen Sie die notwendigen Lernvoraussetzungen und die fachlichen Lernziele für die jeweiligen Versuche!

2. Konzipieren Sie ein begleitendes Arbeitsblatt zu dem quantitativen Demonstrationsversuch aus Teilaufgabe 1, das sowohl das Experimentierprotokoll umfasst als auch die Kompetenz der Erkenntnisgewinnung durch hypothesengeleitetes Experimentieren schult!

3. Skizzieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema „Wärmestrahlung"! Setzen Sie dabei ein forschend-entdeckendes Unterrichtsverfahren ein! Geben Sie die geplanten Artikulationsstufen, die Unterrichtsziele und die Kompetenzen an, die im Rahmen der Unterrichtseinheit weiterentwickelt werden sollen!