Hinweise: Hilfsmittel: Zugelassener Taschenrechner.
Die Aufgaben umfassen 6 Seiten.
Die benötigten Konstanten sind nach der Aufgabe III zusammengefasst.

Aufgabe I

1.1. Beim elastischen geraden zentralen Stoß eines Körpers der Masse m_1 und der Geschwindigkeit v_1 mit einem Körper der Masse m_2 und der Geschwindigkeit v_2 gilt für die Geschwindigkeiten nach der Wechselwirkung: $u_1 = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)\cdot v_1}{m_1 + m_2}$, $u_2 = \frac{2m_1v_1 + (m_2 - m_1)\cdot v_2}{m_1 + m_2}$.

1.1.1. Zur Untersuchung von elastischen Stoßvorgängen lässt man auf der Luftkissenfahrbahn einen Körper K_1 der Masse $m_1 = 140g$ mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten v_1 zentral auf einen ruhenden Körper K_2 der Masse m_2 treffen und misst die Geschwindigkeit u_2 von K_2 nach dem Stoß. Man erhält folgende Messreihe:

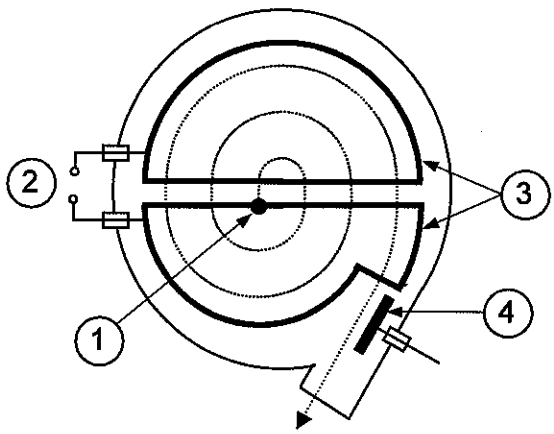
v_1 in $cm\cdot s^{-1}$	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
u_2 in $cm\cdot s^{-1}$	3,4	7,2	10,5	13,8	17,7	21,0

Zeigen Sie durch grafische Auswertung, dass $u_2 \sim v_1$, und bestimmen Sie den Zahlenwert der Proportionalitätskonstanten k. Welchen Term für k liefern die Stoßgesetze?
Berechnen Sie unter der Verwendung von k die Masse m_2 des Körpers K_2.

1.1.2. Ein Tennisball der Masse m_1 prallt mit der Geschwindigkeit $v_1 = 50\frac{km}{h}$ zentral, gerade und elastisch gegen die Rückwand eines LKWs mit der Masse m_2 und der Geschwindigkeit $v_2 = 10\frac{km}{h}$. Ermitteln Sie unter der Voraussetzung $m_2 \gg m_1$ die Geschwindigkeit u_1 des Tennisballs nach dem Aufprall.
Wie groß ist u_1 im Grenzfall, falls K_2 ruht?

1.2. Eine weiße Kugel mit der Masse $m_W = 220\,g$ und der Geschwindigkeit $v_W = 1{,}5\frac{m}{s}$ stößt elastisch auf eine gleich große schwarze ruhende Kugel der Masse $m_S = 120\,g$. Beide Kugeln bewegen sich nach dem Stoß im rechten Winkel zueinander, die weiße Kugel bewegt sich unter einem Winkel von $\alpha = 60°$ zu ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung. Zeichnen Sie das Impulsdiagramm für diesen Stoßvorgang und berechnen Sie die Geschwindigkeiten der Kugeln nach dem Stoß.

2.1. Die Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines Zyklotrons.



2.1.1. Benennen Sie die Teile 1 - 4, und beschreiben Sie kurz die Wirkungsweise des Zyklotrons.
Geben Sie für die eingezeichnete Teilchenbahn die Richtung der magnetischen Flussdichte an, wenn die verwendete Quelle Protonen emittiert.

2.1.2. Begründen Sie, dass man das Zyklotron bei nicht zu hohen Endenergien mit einer Wechselspannung $U(t) = U_m \cdot cos(\omega \cdot t)$ konstanter Frequenz betreiben kann, indem Sie nachweisen, dass die Umlaufzeit T unabhängig von der Teilchengeschwindigkeit v ist.

2.1.3. Nach wie vielen Umläufen muss man die Protonen bei $U_m = 2{,}20\ kV$ aus dem Zyklotron herauslenken, wenn ihre Endgeschwindigkeit $v_E = 1{,}95 \cdot 10^7\ \frac{m}{s}$ betragen soll? Vernachlässigen Sie dabei die Anfangsenergie.

Welche elektrische Feldstärke E ist bei einer magnetischen Flussdichte von $B = 1{,}0\ T$ für die Herauslenkung erforderlich?

2.2. Bei hohen Geschwindigkeiten muss die relativistische Massenzunahme berücksichtigt werden.

2.2.1. Skizzieren Sie die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse eines Protons.

2.2.2. Beim TEVATRON des Fermilab in Chicago bringt ein Vorbeschleuniger Protonen auf die Gesamtenergie $8{,}0\ GeV$.
Berechnen Sie die relativistische Massenzunahme und die Geschwindigkeit der Protonen.

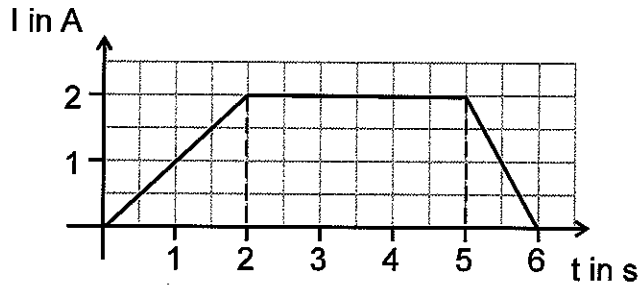
Aufgabe II

1. Im Inneren einer Spule A ($n_A = 8000$, $A_A = 320\ cm^2$, $\ell_A = 45\ cm$) befindet sich koaxial eine zweite Spule B ($n_B = 500$, $A_B = 20\ cm^2$, $\ell_B = 8\ cm$).

1.1. Leiten Sie aus dem Induktionsgesetz eine Formel für die Induktionsspannung $U_{ind}(t)$ zwischen den Enden der Spule B her, die auftritt, wenn sich die Stromstärke in der Spule A ändert.
Fassen Sie anschließend alle unveränderlichen Größen zu einer einzigen Konstanten zusammen.

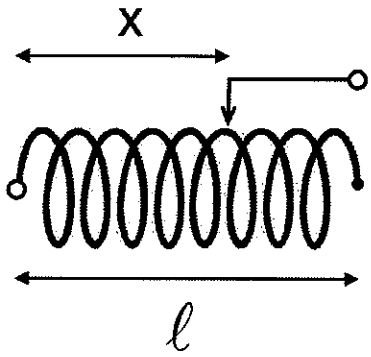
(Ergebnis: $U_{ind}(t) = -\ 22{,}4 \frac{mVs}{A} \cdot \dot{I}(t)$)

1.2. Durch eine elektronisch gesteuerte Spannungsquelle wird erreicht, dass die Stromstärke in der Spule A den in der Abbildung dargestellten zeitlichen Verlauf hat.
Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung zwischen den Enden der Spule B in einem Diagramm dar.



Nun wird das Experiment wiederholt mit folgenden Änderungen:
a) Die Spule B wird mit einem Eisenkern versehen.
b) Die Achse der Spule B wird senkrecht zur Achse der Spule A gestellt.
Begründen Sie, welche Änderungen im $U_{ind}(t)$ – Diagramm in beiden Fällen zu erwarten sind.

2. Eine lange Spule und ein luftgefüllter Plattenkondensator mit veränderlichem Plattenabstand bilden einen Schwingkreis mit vernachlässigbarem ohmschen Widerstand. Die Induktivität der Spule kann durch einen Schleifkontakt verändert werden.
Nach Aufladen des Kondensators wird das System sich selbst überlassen.



2.1. Erläutern Sie, wie es zu einer elektromagnetischen Schwingung kommt und geben Sie die Eigenfrequenz des Schwingkreises an.
Geben Sie zwei konkrete Möglichkeiten an, wie sich die Eigenfrequenz durch Ändern der Kapazität halbieren lässt. Berücksichtigen Sie dabei, dass die Plattengröße unveränderlich ist, es aber möglich ist, einen zweiten Kondensator zusätzlich zu benutzen.

2.2. Zeigen Sie, dass die Eigenfrequenz dieses Schwingkreises bei konstanter Kapazität des Kondensators umgekehrt proportional zur Wurzel aus der wirksamen Länge x der Spule ist.

3.1. An einem Kondensator der Kapazität $C = 470\ nF$ liegt die Wechselspannung gemäß der Abbildung auf der folgenden Seite 4.

3.1.1. Entnehmen Sie dem Diagramm Scheitelspannung und Periodendauer, und geben Sie U(t) konkret an.
Entwickeln Sie den zugehörigen Term für die Stromstärke, und zeichnen Sie I(t) in das abgebildete Diagramm auf Seite 4.

3.1.2. Skizzieren Sie außerdem in das Diagramm den zeitlichen Verlauf der Momentanleistung.
Geben Sie die mittlere Leistung am Kondensator an, und nennen Sie die Zeitintervalle, in denen der Kondensator Energie abgibt.

3.2. An einem Kondensator der Kapazität C liegt eine Wechselspannung mit variabler Frequenz.

3.2.1. Schlagen Sie einen Versuch vor, der belegt, dass der kapazitive Widerstand umgekehrt proportional zur Frequenz der angelegten Wechselspannung ist. Fertigen Sie dazu eine Schaltskizze mit allen erforderlichen Messgeräten an, und gehen Sie kurz auf die Auswertung ein.

3.2.2. Das Diagramm zeigt die Effektivstromstärke in Abhängigkeit von der Frequenz bei der Scheitelspannung $U_m = 12\ V$.
Bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators.

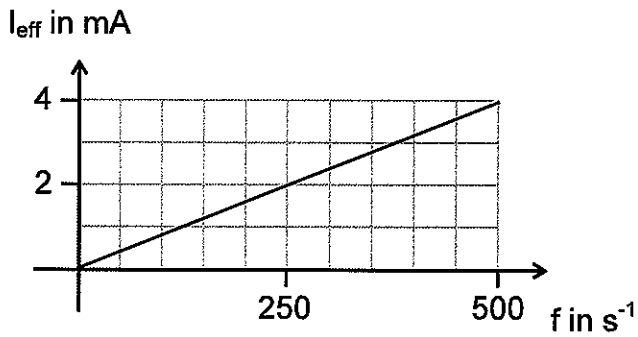
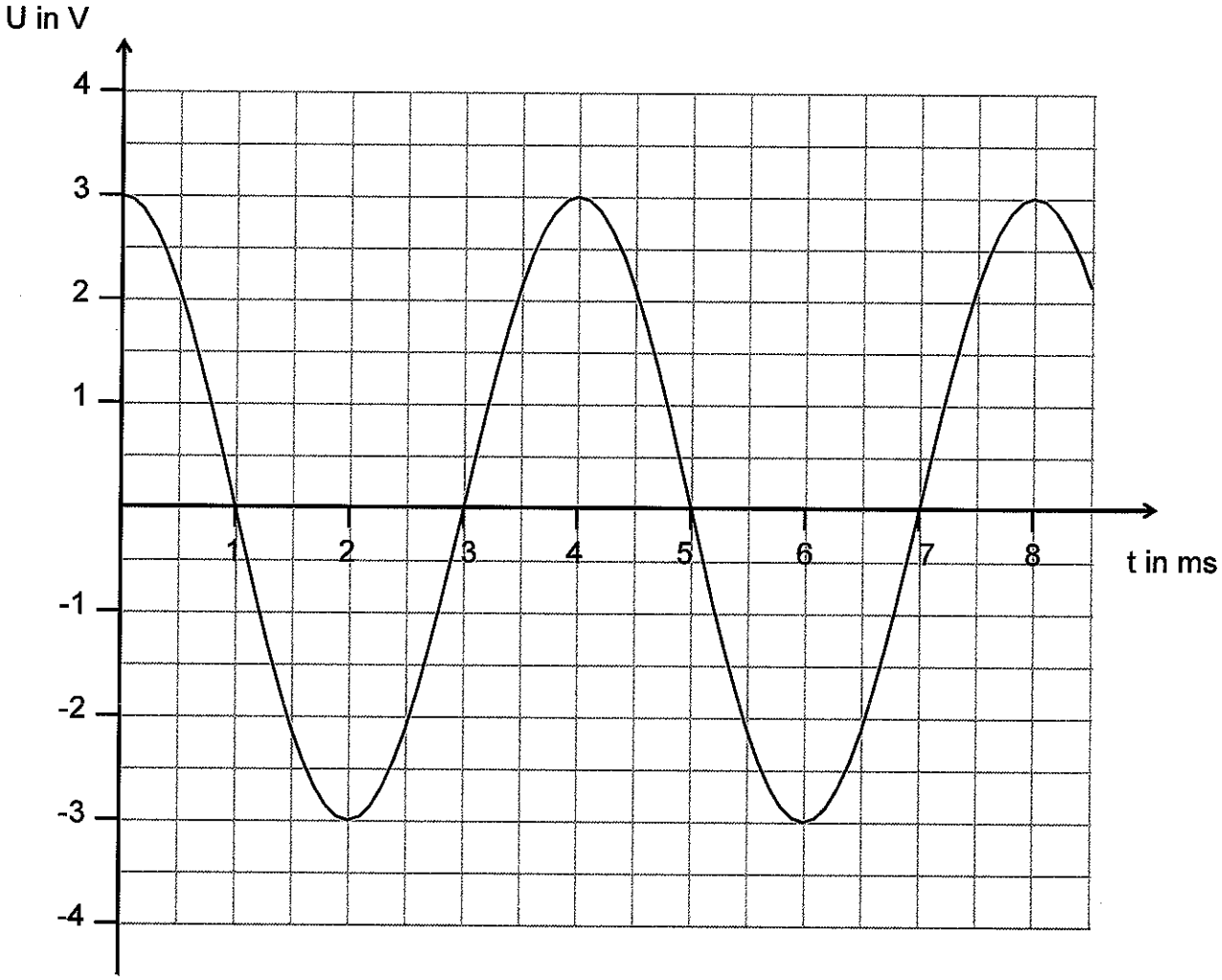


Diagramm zu Aufgabe II, 3.1.:



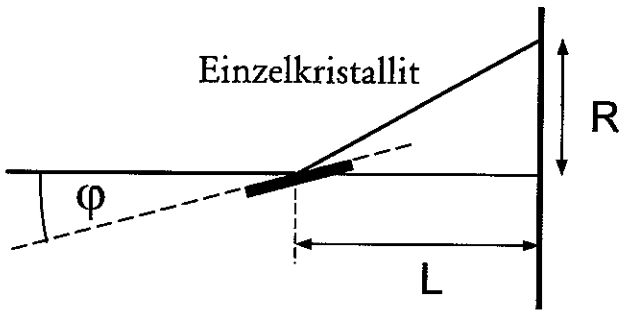
Aufgabe III

1. Beschreiben Sie möglichst knapp zwei Verfahren zur Erzeugung freier Elektronen.

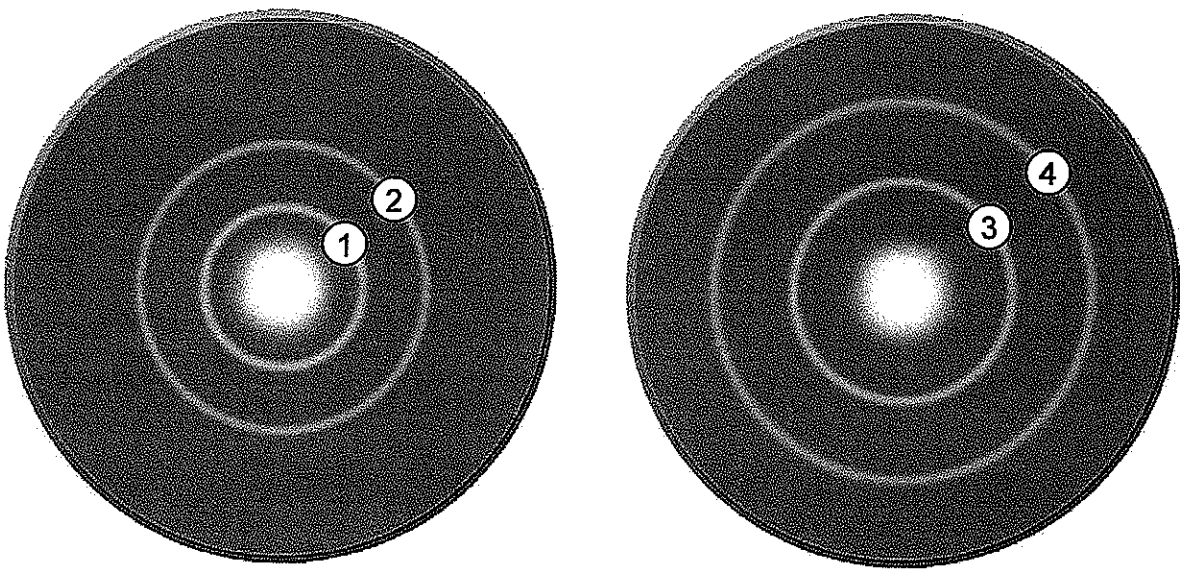
2.1. Elektronen werden im Vakuum durch die Spannung U beschleunigt und treffen auf eine dünne Folie aus polykristallinem Graphit. Hinter der Folie befindet sich im Abstand L ein Leuchtschirm, auf dem man zwei konzentrische Kreise mit dem Radius R beobachten kann, die durch Bragg-Reflexion 1. Ordnung an Netzebenen mit dem Abstand d entstehen.

2.1.1. Leiten Sie den Term $\frac{h}{\sqrt{2em_eU}}$ für die Materienwellenlänge der Elektronen λ_{Th} aus der Theorie her.

Zeigen Sie, dass aus dem Experiment unter der Annahme kleiner Winkel für die Materienwellenlänge $\lambda_{Ex} = \frac{d \cdot R}{L}$ folgt.



2.1.2. Die Abbildung zeigt das Ergebnis im Maßstab 1 : 1, wenn das Experiment mit den Beschleunigungsspannungen $U_A = 3{,}0\ kV$ bzw. $U_B = 5{,}0\ kV$ durchgeführt wird und der Schirm sich im Abstand $L = 13{,}5\ cm$ zur Folie befindet. Die entsprechenden Netzebenenabstände bei Graphit betragen $d_1 = 1{,}23 \cdot 10^{-10} m$ und $d_2 = 2{,}13 \cdot 10^{-10} m$.

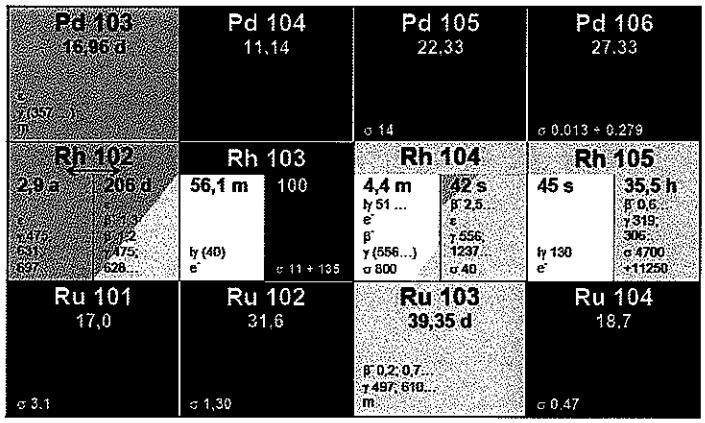


Ordnen Sie den Ringen 1 - 4 jeweils eine Beschleunigungsspannung und einen Netzebenenabstand richtig zu. Vergleichen Sie für <u>einen</u> Beugungsring die Materienwellenlänge λ_{Ex} aus dem Experiment mit dem theoretischen Wert λ_{Th}.

2.1.3. Welche historische Bedeutung hatte dieses Experiment, und zu welchem Zweck werden analoge Experimente heute in der Forschung eingesetzt?

2.2. Die Folie in 2.1. wird nun durch einen Spalt ersetzt.
Berechnen Sie die Spaltbreite b, wenn das Maximum 1. Ordnung auf dem Schirm, der sich $13,5\ cm$ hinter dem Spalt befindet, den Abstand $2,5\ cm$ zur hellen Mitte hat und die Elektronen mit $10\ V$ beschleunigt werden.
Wie ändert sich das Beugungsbild, wenn die Spaltbreite kontinuierlich auf $1\ cm$ vergrößert wird?

3. Bestrahlt man Rhodium $^{103}_{45}Rh$ mit langsamen Neutronen, entsteht in einigen Fällen durch Neutroneneinfang ein instabiler Zwischenkern, der durch β^- – Zerfall zerfällt.
Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Nuklidkarte.



3.1. Schreiben Sie die Reaktionsgleichung auf.

3.2. Die Impulsrate R gibt die Anzahl der Impulse pro Sekunde an.
Die Tabelle zeigt den zeitlichen Verlauf der Impulsrate R, wie sie mit einem Zählrohr gemessen wurde.

Zeit t in min	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Impulsrate in s^{-1}	625	380	235	140	85	50	30

Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Impulsrate, entnehmen Sie dem Diagramm die Halbwertszeit T_H und berechnen Sie die Zerfallskonstante λ.

Wie viele radioaktive Atome enthielt das Präparat zu Beginn der Messung, wenn das Zählrohr nur 10 % der ausgesandten Teilchen erfasst.

<u>Konstanten:</u> Elementarladung $e = 1,60 \cdot 10^{-19}\ C$
Elektronenmasse $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}\ kg$
Protonenmasse $m_P = 1,67 \cdot 10^{-27}\ kg$
Lichtgeschwindigkeit $c = 3,00 \cdot 10^{8}\ \frac{m}{s}$
magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}\ \frac{Vs}{Am}$
plancksche Konstante $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\ Js$