Abitur 2005 - Physik Lösungshinweise.

Die Lösungshinweise erheben nicht den Anspruch, den einzigen und kürzesten Lösungsweg aufzuzeigen. Sie sind auch nicht als vollständige mathematische Lösung gedacht, sondern sollen den Schülerinnen und Schülern Denkanstöße beim Lösen der Aufgaben geben, bzw. die wichtigsten physikalischen Gedankengänge aufzeigen. Die genannten Ergebnisse sind ohne Gewähr.

Diese Lösungshinweise sind aus rechtlichen Gründen auch nicht mit den Lösungsvorschlägen identisch, welche die Fachlehrerinnen und Fachlehrer als Auswahl- und Korrekturhilfe erhalten haben, sondern wurden von Mitarbeitern des Landesbildungsservers erstellt.

Aufgabe I.

I.a)

1.) Die erste Möglichkeit stellt die **Brechung** z.B. bei einem **Prisma** dar.
Dabei geht das weiße Licht *von einem Medium (Luft) in ein anderes Medium (z.B. Glas)* über.
An der Grenzstelle entstehen nach Huygens an jedem Punkt Elementarwellen, die sich im Glas mit einer kleineren Ausbreitungsgeschwindigkeit als in Luft ausbreiten.
Bei der Brechung gibt es nur ein einziges Spektrum.
Violettes bzw. blaues Licht (kleine Wellenlänge) wird stärker gebrochen, d.h. aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, als rotes Licht.
Die Brechzahl hängt von der Frequenz des Lichts am, man nennt dies **Dispersion**.
(Spaßhafte Merkregel eines ehemaligen Abiturienten : "(Wenn man) blau (ist), bricht (man) stärker.")
2.) Die zweite Möglichkeit ist **Interferenz** z.B. bei einem **Gitter**.
Es findet kein Übergang von einem Medium ist andere statt, die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist vor und hinter dem Gitter dieselbe.
In den Gitterspalten entstehen Elementarwellen fester Phasenbeziehung, die sich am Ort eines Schirms überlagern - miteinander interferieren. Verstärken sich die Wellen (konstruktive Interferenz), so erhält man maximale Intensität.
Es entstehen in der Regel mehrere Spektren (Ordnungen), die symmetrisch zur Mittelachse liegen. Sie können sich auch teilweise überlappen.
Das Maximum in der Mitte (0.Ordnung) ist immer "weiß", weil dort Licht aller Wellenlängen konstruktiv interferiert. Bei den höheren Ordnungen liegt das violette Licht am nächsten an der Mittelachse (es hat die kleinste Wellenlänge), das rote Licht am weitesten davon entfernt.

I.b.)

Abstand der Spaltmitten.

Man entnimmt dem Diagramm bei welchem Winkel sich Maxima der Intensität ergeben. So ist das Maximum zweiter Ordnung z.B. bei einem Winkel von 2,5 Grad zu finden, das Maximum 6. Ordnung bei ca. 7,5 Grad.
Für das Maximum 2. Ordnung ist der Gangunterschied der von den Spalten ausgehenden Wellen gerade 2 * λ.
Mit sin α = Gangunterschied / Spaltabstand g ergibt sich für g etwa $20{,}5 \cdot 10^{-6}$m.

Bestimmung der Spaltbreite.

Die Einhüllende der Intensitätspeaks ist die Intensitätskurve der Einzelspaltinterferenz. Es fällt auf, dass bei einem Winkel von 5 Grad eigentlich ein Maximum sein sollte, das nicht erscheint. Hier liegt das erste Minimum der Einzelspaltinterferenz. Ein Minimum der Einzelspaltinterferenz tritt immer dann auf, wenn der Gangunterschied der Randstrahlen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Damit folgt eine Spaltbreite b von $5{,}05 \cdot 10^{-6}$ m.
Da jedes 4. Maximum der Doppelspaltinterferenz ausfällt, verhält sich g : b wie 4 : 1.

Vergleich Doppelspalt-Gitter:

Verwendet man statt eines Doppelspalts ein Gitter mit gleichem Mittenabstand (also gleiches g), so bleiben die Winkel, unter denen konstruktive Interferenz auftritt, genau dieselben. Jedoch tragen nun mehr Spalte zur Interferenz bei. Die Maxima werden daher intensiver (heller) und schärfer, d.h. schmäler und deutlicher abgegrenzt als beim Doppelspalt. Das Ausfallen bestimmter Ordnungen geschieht hier nicht.

I.c.)

Wäre der Spalt in der Mitte geschlossen, dann wäre dies ein *Doppelspaltproblem*.

Für jede beliebige Position des Detektors auf der Mittelachse ist der Weg vom oberen und

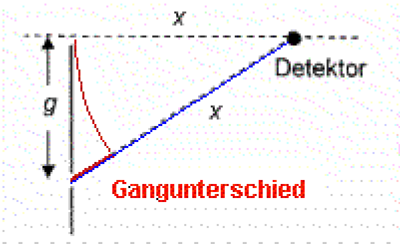
unteren Spalt dorthin gleich weit. Der Gangunterschied der beiden Wellenzüge am Ort des Detektors ist dann für alle Orte auf der x-Achse stets 0, die beiden Wellen interferieren also überall konstruktiv. Hätte jede Welle die Amplitude "1", so wäre die Amplitude der Interferenz überall auf der x-Achse "2". (Keine Abnahme der Amplitude mit der Entfernung).
(siehe "Kurs Interferenz"- Mittelsenkrechte)
Nun kommt noch der dritte Spalt in der Mitte hinzu.

Je nachdem, wie der Gangunterschied der von dort ausgehenden Welle zu den beiden anderen Wellen ist, kann es zu konstruktiver Interferenz oder destruktiver Interferenz kommen.
Bei *konstruktiver Interferenz* kann die Gesamtamplitude maximal "3" werden, bei *destruktiver Interferenz* minimal "1".
Die Gesamtamplitude an jedem Ort auf der Mittelachse muss zwischen diesen beiden Werten liegen. Sie kann also nie "0" werden.
(Die Lichtintensität wäre das Quadrat dieser Gesamtamplitude).
Die Stelle x = 50 cm soll ein Minimum also *ein Ort destruktiver Interferenz* sein. Der Gangunterschied der vom Mittelspalt ausgehenden Welle zu jeder der beiden anderen muss daher ein *ungeradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge* sein. Es ist also $\delta = (k+1) * \lambda / 2$ (mit k = 0,1,2,3.....).

Mit Hilfe des Satzes von Pythagoras ergibt sich :

$$\delta = \sqrt{x^2 + g^2} - x$$

Der Gangunterschied δ ist also etwa 0,25 cm, also gerade $\lambda/2$.



I.d.)
Elektronen als "klassische Teilchen" betrachtet.
Wären die Elektronen klassische Teilchen, dann würde sich für jeden der beiden Spalte in etwa eine gaußsche Verteilungskurve der Auftreffpunkte ergeben. Wie die Häufigkeitsverteilung der Überlagerung aussieht, hängt von der Spaltbreite und dem Mittenabstand der Spalte ab.
Dies kann man virtuell mit dem Doppelspaltexperiment von Klaus Muthsam erforschen, wenn man statt Elektronen klassische Teilchen wie Farbtröpfchen oder Kugeln verwendet.
Tatsächliche Häufigkeitsverteilung.
Nun sind Elektronen aber *keine klassischen Teilchen* sondern *Quantenobjekte*.
Führt man das Experiment real aus (vgl. Doppelspaltexperiment von *Jönsson* und Abitur 2004 Ic) so erhält man ein Interferenzstreifenmuster, wie man es auch vom Doppelspaltversuch mit Licht kennt.
Die Elektronen zeigen in diesem Experiment also Welleneigenschaften, man kann ihnen nach *de-Broglie* eine Wellenlänge $\lambda = h / p$ zuordnen.
Dabei ist h das plancksche Wirkungsquantum (Konstanten am Ende der Aufgabe). Der Impuls p ist (nichtrelativistisch) einfach $p = m * v$.
Abstand der beiden Minima erster Ordnung.
Mit den Daten der Röhre wird zunächst mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes $e*U = 1/2*m*v^2$ die Geschwindigkeit der Elektronen bestimmt, das Ergebnis ist etwa $1{,}3*10^7$ m/s.
Der Impuls der Elektronen $p = m * v$ ist also etwa $1{,}18*10^{-23}$ kg*m/s.
Daraus ergibt $\lambda = h / p$ eine Wellenlänge von ca. 54,9 pm.

Ein Minimum erster Ordnung ist in folgenden Abstand von der Mitte zu finden:

$$d_1 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{a}{g}$$

Mit den gegebenen Zahlenwerten und der berechneten Wellenlänge ergibt sich $d_1 = 3{,}66 \cdot 10^{-6}$ m

Gefragt ist jedoch der *Abstand der beiden Minima erster Ordnung voneinander*.

Eines liegt um d_1 links von der Mitte entfernt, das andere in gleicher Entfernung rechts von der Mitte.

Der Abstand der beiden Minima ist also 2 * d_1 bzw. etwa $7{,}32 \cdot 10^{-6}$ m.

Aufgabe II.

II.a.)

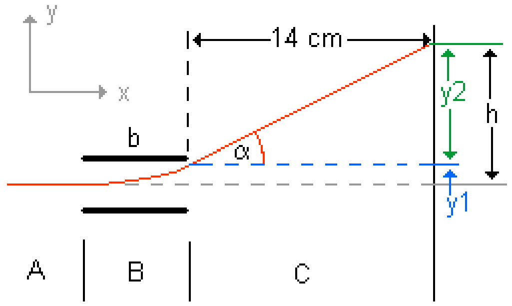
1) Geschwindigkeit der Elektronen an der Stelle M.

Ist keine Spannung an den Kondensatorplatten angelegt, bewegen sich die Elektronen nach dem Verlassen der Anode A bis zum Schirm gleichförmig und geradlinig. Zwischen der Katode K und der Anode A werden sie beschleunigt. Dabei gibt $e * U_A = 1/2 * m * v_o^2$. Wenn man nach v_o auflöst und die gegebenen Werte und Konstanten einsetzt, ergibt sich die behauptete Geschwindigkeit.

Skizze des Bahnverlaufs und Beschreibung der verschiedenen Abschnitte.

Wird eine Spannung Uy an die Kondensatorplatten angelegt, nehmen die Elektronen einen Weg, wie ihn die Skizze zeigt. Folgende Bereiche sind zu unterscheiden.

- (A) von der Anode bis zum Erreichen des Kondensator bewegen sich die Elektronen geradlinig gleichförmig auf der Mittelachse mit der Geschwindigkeit v_0.
- (B) Zwischen den Platten werden die Elektronen von einer konstanten elektrischen Feldkraft zur oberen Platte hin beschleunigt. Dieser Bewegung überlagert ist eine gleichförmige Bewegung in Richtung der Mittelachse. Zwischen den Platten erhält man also eine "Wurfparabel" nach oben. Die Gesamtgeschwindigkeit der Elektronen nimmt zu.
- (C) Nach dem Verlassen der Kondensators bewegen sich die Elektronen wieder gleichförmig. Sie haben jedoch nun auch noch eine Geschwindigkeitskomponente v_y senkrecht zur Mittelachse. Die Gesamtbewegung ist daher hier eine Überlagerung zweier gleichförmiger Bewegungen.



2) Entfernung h des Auftreffpunkts vom Punkt M entfernt, wenn die Spannung am Kondensator 20 V beträgt.

Aus der Skizze oben ergibt sich, dass sich die gesamte Ablenkung h aus zwei Anteilen zusammensetzt:

- Der Ablenkung y1 um die das Elektron im Kondensator wegen der elektrischen Feldkraft schon im Kondensator abgelenkt wurde.
- Der Ablenkung y2 zwischen Kondensator und Schirm, die sich durch die Überlagerung der beiden gleichförmigen Bewegung bis zum Schirm ergibt.

2a) Ablenkung im Kondensator y_1:

In y-Richtung werden die Elektronen durch das elektrische Feld beschleunigt, wobei gibt
$y_1 = 1/2 * a * t^2$

Die Zeit, während der die Beschleunigung a wirken kann, ist bei dieser Überlagerung zweier

Bewegungen dieselbe Zeit, die das Elektron braucht, um in x-Richtung den Kondensator gleichförmig zu durchqueren, also $t = b / v_0$. (b ist die Länge der Kondensatorplatten).
Im Plattenkondensator gilt für das elektrische Feld: $E = U_y / d$ (d ist der Plattenabstand) und für die elektrische Feldkraft $F = e * E$.
Diese Feldkraft bewirkt nach Newton die Beschleunigung a und es gilt $F = m * a$.
Benutzt man alle drei Gleichungen, dann ergibt sich:

$$y_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U}{d} \frac{e}{m} \cdot \left(\frac{b}{v}\right)^2$$

Mit den gegebenen Werten ergibt sich eine Ablenkung von etwa 4 mm.

2b) Ablenkung y_2 nach dem Verlassen des Kondensators

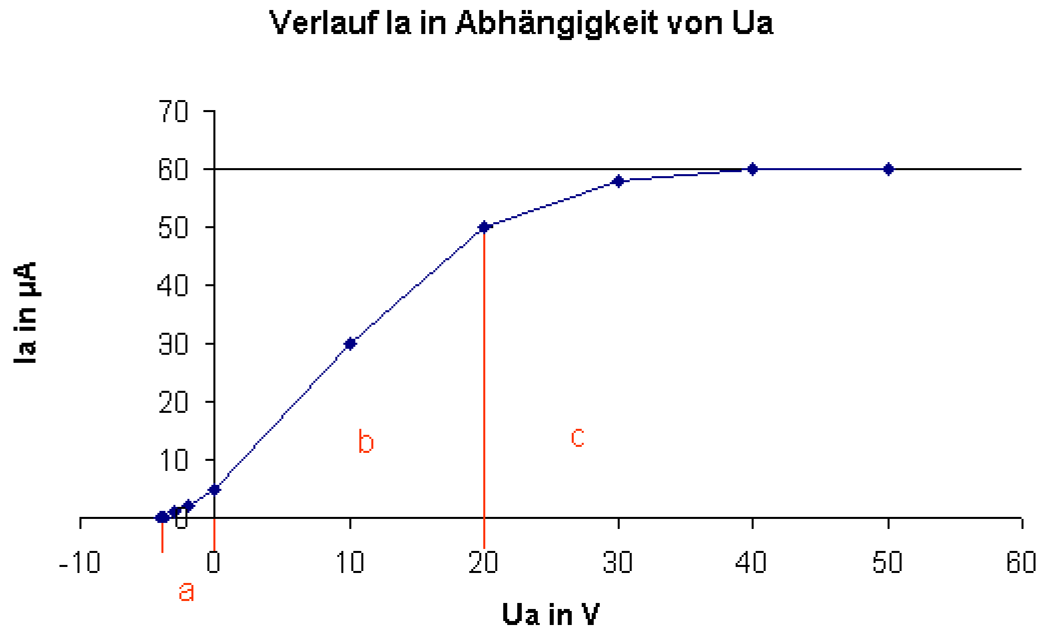
Zunächst benötigt man die Geschwindigkeitskomponente in y-Richtung, die das Elektron beim Verlassen des Kondensators hat. Es gilt dabei $v_y = a * t$.
Dabei ist a der rot gedruckte Faktor aus der Gleichung oben, t der blau gedruckte Faktor.
Mit den gegebenen Werten erhält man für v_y etwa $1{,}67*10^6$ m/s. Man kann nun z.B. mit Hilfe von v_0 und v_y den Winkel α (vgl. Ablenkungsskizze oben) bestimmen. Durch die Ähnlichkeit der Geschwindigkeitsdreiecks und des Lagedreiecks bekommt man y_2 heraus: etwa 28 mm.
Die gesamte Ablenkung von M ist daher $h = y_1 + y_2$ = 4 mm + 28 mm = 32 mm.

3) Bestimmung von Richtung und Betrag des Magnetfeldes.

Die Elektronen werden nur dann im Kondensator nicht abgelenkt, wenn keine Gesamtkraft auf sie wirkt. Die elektrische Feldkraft nach oben besteht nach wie vor, denn die Spannung an den Kondensatorplatten bleibt angelegt. Also muss zusätzlich eine magnetische Feldkraft gleicher Stärke in entgegengesetzter Richtung (also nach unten) wirken.
Die Richtung des Feldes findet man mit der *Drei-Finger-Regel der Linken Hand*. Der Daumen zeigt dabei in die Bewegungsrichtung der Elektronen, also in Richtung der Mittelachse, der Zeigefinger hat die Richtung des Magnetfeldes, der Mittelfinger weist in Richtung der wirkenden Lorentzkraft. Damit der Mittelfinger nach unten zeigt (s.o.) muss das Magnetfeld senkrecht zur Zeichenebene in die Zeichenebene hinein zeigen.
Die elektrische und die magnetische Feldkraft muss gleichen Betrag haben, es muss also gelten:
$F_{el} = F_L = e * E = e * v * B$
Nach B aufgelöst und die Werte eingesetzt ergibt für die magnetische Flussdichte B etwa $2{,}4*10^{-4}$ T.

II.b.)

Trägt man die Werte in ein Schaubild ein, so ergibt sich etwa der folgende Verlauf:



Das Diagramm wurde mit den gegebenen Zahlenwerten mit Excel erstellt

Man kann im Diagramm drei Bereiche unterscheiden:

- (a) den Bereich in dem die Spannung negativ ist
  macht man Ua betragsmäßig größer (bewegt man sich also auf der Spannungsachse nach links),
  so nimmt die Stromstärke Ia immer mehr ab und wird schließlich 0.
- (b) im Bereich zwischen 0 V und etwa 20 V steigt die Stromstärke Ia näherungsweise linear mit der Spannung Ua an
- (c) ab etwa 35 V nimmt die Stromstärke praktisch nicht mehr zu, wenn Ua weiter vergrößert wird, und geht gegen einen Grenzwert.

Wird die Katode geheizt, so treten die Elektronen mit einer bestimmten Anfangsenergie aus dem Katodenmaterial aus.
Daher gelangen auch schon bei einer Spannung von 0V Elektronen zur Anode und ergeben die Stromstärke von 5 µA.

Hier ist die Spannung negativ gepolt, d.h. die Anode ist mit dem negativen Anschluss der Quelle verbunden, die Katode mit dem positiven.
Zwischen Anode und Katode ergibt sich also ein *Gegenfeld*.
Die aus der Katode austretenden Elektronen müssen gegen dieses Gegenfeld anlaufen. Macht man die Stärke dieses Gegenfeld immer größer, erhöht man also die Gegenspannung, so schaffen es nur noch die energiereichsten Elektronen zur Anode zu gelangen.
Bei etwa -3,9 V ist die Stromstärke praktisch 0, dies bedeutet, dass nun keine Elektronen mehr das Gegenfeld überwinden können, dass also die energiereichsten Elektronen die Katode mit einer Energie von etwa 3,9 eV verlassen.
(Die Betrachtungsweise ist dieselbe, wie man sie von der *Gegenfeldmethode des Fotoeffekts* zur Messung der Energie der ausgelösten Fotoelektronen kennt.
Der einzige Unterschied besteht darin, dass hier die Energie der Elektronen aus dem *glühelektrischen Effekt* und *nicht aus der Energie auftreffender Photonen* stammt.)
Wird Ua größer 40V, so nimmt der Strom nicht mehr zu. Eine Erhöhung der Spannung kann also offenbar die Zahl der Elektronen, die je Zeiteinheit zur Anode gelangen, nicht mehr weiter vergrößern. Vermutlich strömen nun alle aus der Katode ausgetretenen Elektronen zur Anode hin ab.

II.c.)
Nachdem gedanklich der erste Abschnitt der Kurve aus Teil b) schon Anklänge an den Fotoeffekt hatte, geht es hier direkt um den Fotoeffekt.

Ablöseenergie aus der Katode.

Die Energie $W_{ph} = h * f$, die das Photon mitbringt, dient zunächst dazu, in der (Foto)katode Elektronen abzulösen, also die Ablöseenergie W_A aufzubringen.
Haben die Photonen mehr Energie als zum Ablösen der Elektronen nötig ist, dann bekommen die Elektronen - nach dem Energieerhaltungssatz - diese Energie in Form von kinetischer Energie mit "auf den Weg". Das Photon gibt damit seine gesamte Energie ab.
Es gilt daher:

$$W_{ph} = W_A + W_{kin}$$

$$W_A = h \cdot f - e \cdot U$$

Aus der gegebenen Wellenlänge von 589 nm kann man z.B. mit $c = f * \lambda$ die Frequenz des gelben Natriumlichts berechnen. Man erhält etwa $5{,}09 \cdot 10^{14}$ Hz. U ist die gegebene Gegenspannung von 1,0 V.
In die Gleichung eingesetzt ergibt sich als Ablöseenergie W_A 1,1 eV bzw. $1{,}8 \cdot 10^{-19}$ J.

Spannung Ua bei der Stromstärke gerade auf zurückgeht.

Zusätzlich zum gelben Natriumlicht wird nun noch blaues Licht eingestrahlt. Blaues Licht hat eine kleinere Wellenlänge / größere Frequenz als gelbes Licht. Die Photonen des blauen Lichts sind also energiereicher als die Photonen des gelben Lichts. Da die Ablösearbeit eine Materialkonstante des Katodenmaterials ist, bleibt diese - unabhängig von der Lichtfarbe - genau so groß wie zuvor berechnet ($1{,}8 \cdot 10^{-19}$J.), die zusätzliche Energie geht in die kinetische Energie der abgelösten Fotoelektronen.
Die vom blauen Licht abgelösten Fotoelektronen sind also energiereicher als die vom gelben Licht abgelösten. Man muss daher die Gegenspannung U erhöhen, damit sie nicht zur Anode gelangen.
Es gilt: $W_{kin} = h \cdot f - W_A$
Als Ergebnis ergibt sich eine Spannung von etwa -1,7 V (negativ, da Gegenspannung)
(vgl. : bei gelbem Natriumlicht war diese Gegenspannung -1,0 V)

Grenzwellenlänge für den Fotoeffekt.

Hier geht es um die sogenannte Grenzfrequenz / Grenzwellenlänge. Das ist die Frequenz, bei der das Photon genau so viel Energie mitbringt um gerade die Ablöseenergie für das Elektron aufzubringen, danach bleibt aber nichts mehr übrig, d.h. das Elektron verlässt dann die Kathode mit der kinetischen Energie 0.

Es gilt also im Grenzfall: $h \cdot f_{gr} = W_A$
Daraus folgt für die Grenzfrequenz $2{,}71 \cdot 10^{14}$ Hz. Damit kein Fotoeffekt auftritt, muss die Frequenz <u>kleiner</u> als diese Grenzfrequenz sein. Damit ergibt sich eine Grenzwellenlänge von $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ m. Die Wellenlänge muss also <u>größer (oder gleich)</u> dieser Grenzwellenlänge sein: λ < 1,1 µm.

Aufgabe III.

III.a.)

Stromstärke in der langgestreckten Spule.

Für die magnetische Flussdichte, die eine langgestreckte Spule erzeugt, gilt:

$$B = \mu_0 * \mu_r * I * \frac{n}{l}$$

Die magnetische Feldkonstante μ_o ist gegeben, die Permeabilitätszahl μ_r ist bei einer luftgefüllten Spule praktisch 1, Windungszahl n, Länge l und Flussdichte B sind gegeben. Man kann die Gleichung nach der Stromstärke I auflösen und die Werte einsetzen. Das Ergebnis ist etwa 250 mA.

Polung der Abschlüsse.

Die Polung findet man einfach nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum und der *Drei-Finger-Regel der linken Hand* heraus. Nimmt man an, bei P sei der Minuspol der Quelle, so bewegen sich die Elektronen im linken Leiterteil von oben nach unten, im (entscheidenden) unteren Leiterteil von links nach rechts. Der Daumen zeigt hier dann also nach rechts. Der Zeigefinger (steht für die Richtung des Magnetfeldes) zeigt in die Zeichenebene hinein, der Mittelfinger, der die Richtung der Lorentzkraft anzeigt, weist also nach unten. Die Annahme war also richtig. P muss am Minuspol, Q am Pluspol der Quelle angeschlossen werden.

Gesamte nach unten wirkende Kraft.

Die gesamte nach unten wirkende Kraft setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

- der <u>Gewichtskraft</u>, die auf das Rähmchen auch ohne Magnetfeld und Stromstärke in der Spule wirkt
- der <u>magnetischen Feldkraft</u>

Die <u>Gewichtskraft</u> ist einfach $F_G = m * g$, was etwa 0,373 N ergibt.
Die Größe der <u>magnetischen Feldkraft</u> hängt von der Stromstärke im Rähmchen (750 mA), der magnetischen Flussdichte B, der Windungszahl des Rähmchen n_p (500) und der Grundlänge d ab.
Dabei gilt : $F_{magn} = I * B * n_p * d$
Setzt man die bekannten Werte ein (0,75 A ; $4{,}2*10^{-3}$T ; 500 ; 0,05 m) so erhält man für die magnetische Kraft 0,079 N.
Die <u>gesamte nach unten wirkende Kraft</u> ist also $F_{ges} = F_G + F_{magn}$ = 0,373 N + 0,079 N = 0,45 N.

III.b.)

Periodendauer der Schwingung.

Zunächst muss man die Federhärte der Schraubenfeder aus den in der Aufgabe gemachten Angaben ermitteln:
eine Kraft von 180 mN führt zu einer Verlängerung von 3,0 cm. Also ist die Federhärte D = F / s = 0,18 N / 0,03 m = 6,0 N/m.
Für die harmonische Schwingung eines Feder-Masse-Systems gilt:

$$\text{Kreisfrequenz:} \quad \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$$\text{Periodendauer:} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Mit D = 6,0 N/m und einer Masse m = 38 g = 0,038 kg ergibt sich für die Periodendauer T recht genau 0,5 s.

Maximale Geschwindigkeit des Rähmchens.

Die maximale Geschwindigkeit des Rähmchen wird im Nulldurchgang der Schwingung erreicht.

Sie lässt sich auf recht unterschiedliche Arten ermitteln, dieser Teil der Aufgabe ist sehr offen gestellt.

1) Ein Weg führt über das Aufstellen der Schwingungsgleichungen:
zum Zeitpunkt t = 0 s ist das Rähmchen um 3,0 cm nach unten ausgelenkt. Aus dieser Position beginnt die Schwingung (Anfangsbedingungen).
Als Ansatz kommt daher nur folgender s(t) -Verlauf in Frage:

$$s(t) = -\hat{s} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Die Geschwindigkeit v(t) ist nun die Ableitung der s(t)-Funktion nach der Zeit, also:

$$v(t) = \overbrace{\hat{s} \cdot \omega}^{\hat{v}} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Daraus ersieht man, das die maximale Geschwindigkeit des Rähmchen einfach das Produkt der maximalen Auslenkung und der Kreisfrequenz der Schwingung ist.
Als Ergebnis für den Betrag der maximale Geschwindigkeit bekommt man 0,38 m/s.

2) Da die Aufgabe des Aufstellen der Schwingungsgleichung nicht ausdrücklich fordert, hätte man die maximale Geschwindigkeit auch direkt über diesen Zusammenhang ermitteln können.

3) Eine andere Möglichkeit wäre ein Ansatz mit dem Energieerhaltungssatz: 1/2 * D * s^2 = 1/2 m * v^2 .Setzt man für s die maximale Auslenkung von 0,03 m ein, ist v die maximale Geschwindigkeit des Rähmchens.
In diesen Fällen (2 und 3) muss man sich dann überlegen, dass die Geschwindigkeit beim Loslassen (also zu Beginn des Vorgangs) 0 ist.

Maximale Induktionsspannung und Diagramm.

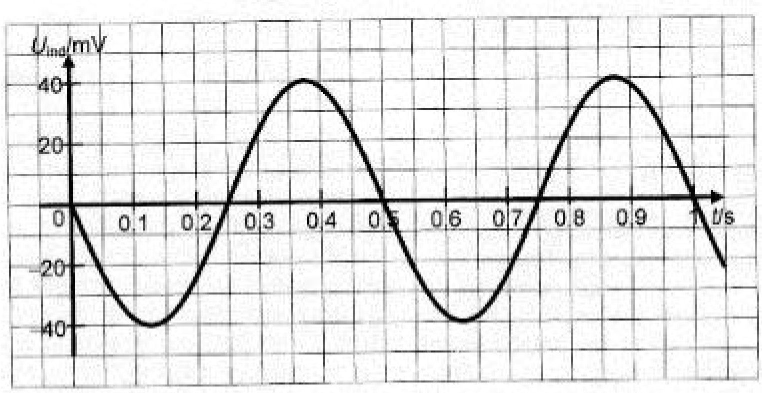
Kennt man den Verlauf der Geschwindigkeit und die maximale Geschwindigkeit des Rähmchens, kann die Induktionsspannung (Induktion 1. Art) formulieren. Man kann über die Geschwindigkeit oder über die Flächenänderung an die Lösung der Aufgabe herangehen.
Für die Induktionsspannung gilt:

$$U_{ind}(t) = -B \cdot n \cdot d \cdot v(t) = -B \cdot n \cdot d \cdot \hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

n * d ist dabei die gesamte wirksame Leiterlänge. Alle konstanten Faktoren, die vor dem Sinusausdruck stehen, bestimmen den Scheitelwert der induzierten Spannung; also:

$$\hat{U}_{ind} = B \cdot n \cdot d \cdot \hat{s} \cdot \omega$$

Mit den gegebenen Werten ergibt sich ein Scheitelwert der Induktionsspannung von 40 mV.
Das Diagramm Induktionsspannung in Abhängigkeit von der Zeit hat daher folgenden Verlauf:



Auch eine Spiegelung der Kurve an der t-Achse ist möglich, da nichts darüber ausgesagt ist, wie das Spannungsmessgerät an die Punkte P und Q angeschlossen ist.

III.c.)
Warum bei dem Vorgang eine Spannung auftritt.
Ein Stabmagnet ist von einem Magnetfeld umgeben. Fällt er durch die Spule, so ändert sich der magnetische Fluss Φ in der Spule. Die zeitliche Änderung dieses magnetischen Flusses führt nach dem Induktionsgesetz zu einer Induktionsspannung an den Spulenenden (Induktion 2. Art).
Auswahl der Kurven mit Begründung.
Beim Eintauchen des Stabmagneten in die Spule nimmt der magnetische Fluss zu.

Ist der Stabmagnet ganz in der Spule, ändert sich der magnetische Fluss nicht. Dann ist die induzierte Spannung 0. Kurve III kommt daher nicht in Betracht.

Beim Verlassen der Spule nimmt der magnetische Fluss ab. Es entsteht wieder eine Induktionsspannung - aber mit umgekehrtem Vorzeichen wie beim Eintauchen.
Kurve I berücksichtigt dies nicht. Also beschreibt Kurve II den Spannungsverlauf am besten.
Änderung bei größerer Fallhöhe.
Fällt der Magnet aus einer größeren Höhe, so hat er beim Erreichen der Spule eine größere Geschwindigkeit erreicht, er durchfällt die Spule schneller und hat auch eine größere Geschwindigkeit, wenn er die Spule wieder verlässt.

Es entsteht also eine größere Induktionsspannung (die <u>Peaks werden höher</u>). Eintauchen und Herausfallen erfolgen aber in kürzerer Zeit als zuvor, d.h. die <u>Peaks werden schmäler</u>. Zudem ist der Magnet eine kürzere Zeit in der Spule, die <u>Peaks rücken also auch noch enger zusammen</u>.

III.d.)
Klassische Physik: dieselben Umstände führen stets zum gleichen Ergebnis.
Hier kann man praktisch jedes Experiment der klassischen Physik beschreiben.
Lässt man z.B. denselben Körper am gleichen Ort bei gleichen Anfangsbedingungen mehrmals fallen, so bewegt er sich stets nach denselben physikalischen Gesetzen auf genau der gleichen, vorhersagbaren Bahn.
Er benötigt z.B. für die gleiche Fallhöhe stets dieselbe Zeit und kommt am Boden mit derselben Geschwindigkeit an. Ort und Geschwindigkeit können für jeden Zeitpunkt der Bewegung exakt vorausgesagt werden.
Quantenphysik: Begründung, weshalb die Aussage des Philosophen heute so nicht mehr gilt.
Lässt man Photonen oder Elektronen auf einen Doppelspalt fallen, so erhält man ein Interferenzmuster. Verringert man die Zahl der Photonen oder Elektronen so weit, dass sich

praktisch immer nur ein Quant in der Anordnung befindet, erhält man nach langer Beobachtungszeit immer noch ein Interferenzmuster.
Die Auftreffpunkte der einzelnen Quanten sind stochastisch verteilt, manche Auftreffpunkte sind wahrscheinlicher als andere.
Jedoch ist es nun unmöglich, den genauen Auftreffpunkt des nächsten Quants vorherzusagen, es sind nur noch Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich.
(vgl. dazu die Simulation von Klaus Muthsam)
Ein anderes Experiment wäre z.B. ein Experiment mit einem Strahlteiler - ähnlich dem "Quantum Eraser" von Huber. Für viele Quanten sind die Wege I und II stochastisch verteilt, die Hälfte der Quanten nimmt den Weg I, die andere Hälfte den Weg II.
Betrachtet man aber ein einzelnes Quant, so ist es unmöglich vorherzusagen, ob es den Weg I oder den Weg II zum Schirm nehmen wird.
Auch eine Darlegung der heisenbergschen Unschärferelation wäre eine denkbare Lösung der Aufgabe.