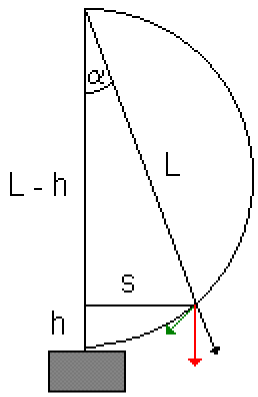
Abitur 2004 - Physik Lösungshinweise.

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 überarbeitet.

Aufgabe I.

I.a)



- Wegen der Massenträgheit kommt die Last nicht zur Ruhe, sondern schwingt über die Endposition hinaus. Es handelt sich um eine Art "Fadenpendelproblem". Über den Energieerhaltungssatz ($1/2*m*v_o^2 = m*g*h$) kann man den Höhengewinn und daraus den maximalen Auslenkungswinkel errechnen.
  (vgl. nebenstehende Skizze hierzu. Ergebnis $\alpha = 5{,}3^o$)

- Bei der Auslenkung ist die Rückstellkraft = Gewichtskraft * sin α. Da der Winkel klein ist, ist die Auslenkung s etwa gleich der Kreisbogenlänge und es gilt etwa sinα = s / L (L ist die Pendellänge). Damit ist die Rückstellkraft zur Auslenkung proportional. Ist ein solches "lineares Kraftgesetz" gegeben, ergibt sich eine harmonische Schwingung. Für die kleinen Winkel ist dies näherungsweise erfüllt.

- Die Schwingungsdauer ergibt sich aus der Periodendauer T eines entsprechenden Fadenpendels. (Ergebnis: 6,95 s).

- Die maximale Amplitude ist also etwa s = L * sin α. (Ergebnis : 1,1 m)

- Die maximale Seilkraft ergibt sich im tiefsten Punkt der Bahnbewegung, dort wirkt zunächst die ganze Gewichtskraft. Weiterhin ist aber dort die Geschwindigkeit nicht 0, also muß das Seil zusätzlich noch eine Zentripetalkraft für die Kreisbewegung aufbringen ($m*v^2$ / L). Es ergibt sich eine Gesamtkraft von etwa 247 kN.

I.b.)

- Man muss hier zunächst die Quadrate der Saitenlängen L errechnen. Wenn F proportional zu L^2 sein soll, dann muss für die Quotienten F / L^2 immer etwa derselbe Zahlenwert (ca. 138 nm^{-2}) herauskommen.

- Für die Grundschwingung einer Saite gilt L = λ / 2. Damit ist wegen c = f * λ also c = 2 * L * f

  Für das Schaubild muss man zu jedem Wert von F den Wert von c berechnen und dies auftragen.
- Da F proportional zu L^2 und damit auch F proportional zu c^2ist, ist der Quotient c^2 / F in etwa konstant. (ca. 5600 $m^2s^{-2}N^{-1}$). Daraus kann man den Zusammenhang c in Abhängigkeit von F angeben.

- Aus dem Schaubild liest man für F = 25 N etwa ab: c = 375 m^{-1}. Berechnet ergibt sich etwa dasselbe.

I.c.)

- Es handelt sich um ein Doppelspaltproblem. Es tritt konstruktive und destruktive Interferenz auf, was zu dem Streifenmuster führt. Solche Streifenmuster kennt man vom parallelen Experiment mit Licht, also mit elektromagnetischen Wellen.
  Elektronen haben also auch Welleneigenschaften. An den hellen Stellen ist die Auftreffwahrscheinlichkeit für die Elektronen höher als an den dunklen Stellen.

- Die Energie der Elektronen ist gegeben (1 eV entsprechen $1{,}6 * 10^{-19}$ J). Damit lässt sich die (klassische) Geschwindigkeit der Elektronen ($1{,}45 * 10^{7}$ ms^{-1}) berechnen und ihr Impuls angeben. Damit kann man mithilfe der de Broglie Beziehung die Wellenlänge berechnen, die man ihnen zuordnen kann. (ca. 50 pm). Die restliche Rechnung entspricht der Doppelspalttheorie mit Licht für kleine Beugungswinkel. Es ergibt sich als Mittenabstand d der Streifen etwa 0,05 mm.

- Wenn die Energien nicht einheitlich sind, ergeben sich verschiedene Geschwindigkeiten und Impulse und damit verschiedene Wellenlängen. Dadurch wird die Beugungserscheinung "verschmiert" (ähnlich wie wenn man weißes, d.h. nicht monochromatisches Licht auf einen Doppelspalt fallen lässt). Um eine ordentliche Beugungserscheinung zu erhalten, bei der die Beugungswinkel genügend groß werden, sollte der Spaltmittenabstand g in etwa in der Größenordnung der Wellenlänge liegen.

Aufgabe II.

II.a.)

- Den Halleffekt und seine Herleitung findet man in jedem Physikbuch der Oberstufe. Es ist eine Skizze und ein erklärender Text erforderlich. Folgende Ideen sind zentral und sollten erwähnt werden : Lorentzkraft auf die bewegten Elektronen im Magnetfeld, Ladungstrennung aufgrund dieser Kraft, elektrisches Feld ("Plattenkondensator"), Gleichgewicht zwischen dieser elektrischer Feldkraft und der Lorentzkraft.

  Die Herleitung findet man ebenfalls im Physikbuch (sie wird hier erwartet): $U_H = v*d*B$, wobei v die Elektronengeschwindigkeit, d die Höhe des Hall-Plättchens und B die magnetische Flussdichte des Feldes ist. U_H ist also zu B proportional.

  Experimentell benutzt man z.B. eine lange Spule. Hier kann man über die Spulendaten und die Stromstärke die sich ergebende magnetische Flussdichte berechnen (Gleichung B-Feld einer langen Spule). Man misst nun für verschiedene Stromstärken (Flussdichten) die Hallspannung und kann so rechnerisch oder grafisch den Proportionalitätsfaktor erhalten.

II.b.)

- Die Polung der sich ergebenden Induktionsspannung bekommt man mit der 3-Finger-Regel. Die Grundidee ist für die Induktion dieselbe wie für den Halleffekt : es tritt eine Lorentzkraft auf, die zu einer Ladungstrennung führt, eine elektrische Feldkraft wirkt entgegen, und es ergibt sich ein Kräftegleichgewicht zwischen Lorentzkraft und der elektrischen Feldkraft.
  (der einzige Unterschied besteht darin, was zur Bewegung der Elektronen führt).
  Man erhält also $U_{ind} = n*v*d*B$. (d ist hier die gesamte Grundlänge, in der die Induktion erfolgt, also die Strecke von 4,0 cm multipliziert mit der Zahl der Windungen n !)
  Setzt man die Werte für B, d, n und v ein, so müssen sich die genannten 36 mV ergeben.

- Die Spule fällt zunächst beschleunigt $y = 1/2 *g*t^2$. Man kann damit berechen, wie lange es dauert, bis die Spule das Magnetfeld erreicht (0,1 s). Während dieser Zeit ist die Induktionsspannung 0. Es tritt nun so lange Induktion auf, bis sich die vom Magnetfeld durchsetzte Spulenfläche nicht mehr ändert, bis also die Spule ganz im Feld ist (0,15 s).

  Da zwischen A und B keine leitende Verbindung besteht ("hochohmiges Spannungsmessgerät") gibt es auch keine nach oben wirkende Bremskraft, die Spule fällt die ganze Zeit beschleunigt weiter. Es gilt dabei $v = g*t$.
  Man kann damit die Geschwindigkeiten bestimmen, welche die Spule in dem Augenblick hat, in dem sie das Feld erreicht, und auch ihre Geschwindigkeit in dem Augenblick, wenn sie ganz im Feld ist. Damit bekommt man die Spannungswerte zu diesen Zeitpunkten (1,8 V bzw. 2,6 V).
  Da die Geschwindigkeit linear anwächst, wächst auch die Induktionsspannung zwischen 0,1s und 0,15 s linear an.

  Ist die Spule ganz im Feld tritt keine Induktionsspannung mehr auf.

II.c.)

- Die Herleitung für die Ablenkung von Elektronen in einem Plattenkondensator findet man im Physikbuch. Es handelt sich hier um ein "waagrechter Wurf" Problem, bei dem sich eine beschleunigte Bewegung des Elektrons im E-Feld (vertikal) der gleichförmigen Bewegung in horizontaler Richtung überlagert.
  In vertikaler Richtung ist die elektrische Feldstärke der an die Platten angelegten Spannung proportional. ($E = U/d$). Entsprechend ist auch die elektrische Kraft ($F = e*E$) auf die Elektronen und ihre Beschleunigung ($a = F/m$) der Ablenkspannung proportional.
  Aus der gleichförmigen Bewegung in x-Richtung bekommt man die Zeit, die sich die Elektronen im Kondensator befinden ($t = x/v_0$).
  Setzt man dies zusammen mit der Beschleunigung in die Weg-Zeit Gleichung der beschleunigten Bewegung ($y = 1/2*a*t^2$) ein, so erhält man die Gleichung einer Parabel.

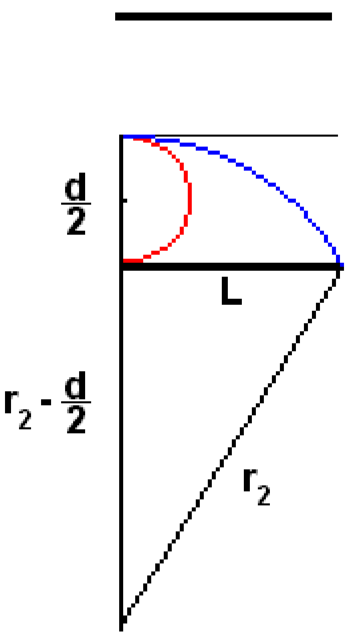
  Eine Herleitung dieser Art wurde sicher im Unterricht erarbeitet.

- Sie treffen genau dann auf die Kondensatorplatte, wenn $y = d/2$ ist. x in der Parabelgleichung wäre dann im Grenzfall die Plattenlänge L.
  Man kann damit die Gleichung nach v_0 auflösen. Es ergibt sich im Grenzfall $v_0 = 1{,}8*10^7$ ms^{-1}. Sind die Elektronen schneller, so kommen sie "ungestreift" durch den Kondensator hindurch. Die Geschwindigkeit muss also kleiner als im Grenzfall sein.

- Da die Elektronen durch das elektrische Feld nach oben abgelenkt werden, muss das Magnetfeld eine Ablenkung nach unten bewirken. Die Richtung des Magnetfeldes bekommt man mit der Drei-Finger-Regel. Für eine Ablenkung der Elektronen nach unten muss das Magnetfeld in die Zeichenebene hinein orientiert sein.
  Die Anordnung ist ein "Wien'sches Geschwindigkeitsfilter". Damit die Elektronen ohne Ablenkung durch den Kondensator gehen, muss die elektrische und die magnetische Feldkraft gleich groß sein. ($e*E = e*v*B$) Damit bekommt man $B = 0{,}83$ mT.

  Sind die Elektronen langsamer, ist die (geschwindigkeitsabhängige) magnetische Feldkraft kleiner als die (nicht von der Geschwindigkeit abhängige) elektrische Feldkraft, diese überwiegt dann, die Elektronen werden nach oben abgelenkt.

- Der letzte Teil der Aufgabe verlangt besonders klares Denken! Es gibt zwei Grenzfälle!



Für die Bewegung der Elektronen gilt : $e*v*B = m*v^2/r$ oder $r = m*v / e*B$.
Langsame Elektronen durchlaufen also eine Kreisbahn mit kleinem Radius, schnelle Elektronen eine Kreisbahn mit großem Radius.

Zu langsame Elektronen durchlaufen also Kreisbahnen mit noch kleinerem Radius als dem roten Radius aus der Zeichnung (Grenzfall 1). Für zu schnelle Elektronen wird der Radius größer als der blau eingezeichnete zweite Grenzfall. Nur wenn die Geschwindigkeit dazwischen liegt, treffen die Elektronen auf die Platte. (Die Platten sind die dicken schwarzen Balken in der Zeichnung)

Aus der Geometrie bekommt man folgende Werte:

$r_1 = d/2 = 2{,}0$ cm

$r_2 = 14,5$ cm.

Als untere Grenzgeschwindigkeit (für r_1) ergibt sich $2,9 \cdot 10^6$ ms^{-1}
(die Elektronen müssen also schneller sein)
also obere Grenzgeschwindigkeit (für r_2) ist das Ergebnis
$2,1 \cdot 10^7$ ms^{-1}.
Zwischen diesen Werten muss die Geschwindigkeit also liegen.

Aufgabe III.

III.a.)

- Für das Zeichnen der Momentaufnahme müssen zunächst die Wellenlänge λ (4,0 cm) und die Periodendauer T (0,4 s) berechnet werden.
  Bei 1,9 s (19/4 Perioden) sind die beiden Erreger gerade bei der Maximalauslenkung nach unten, und an ihrem Ort trifft zudem die jeweils andere Welle phasengleich ein, so dass sich eine Gesamtamplitude von 2,0 cm ergibt. Zum Zeitpunkt 2,0 s löschen sich die beiden Wellen komplett aus.

  Die maximale Auslenkung genau in der Mitte zwischen den Erregern ist 2,0 cm, (z.B. erreicht zum Zeitpunkt 1,9 s). Die maximale Geschwindigkeit (erste Ableitung) und die maximale Beschleunigung (zweite Ableitung) erhält man über die Wellengleichung
  $s(t) = s_{max} * \sin(\omega * t)$

  Ergebnisse: max. Geschwindigkeit 0,314 ms^{-1} ; maximale Beschleunigung 4,93 ms^{-2}.

III.b.)

- Es gibt Stellen, an denen Punkte des Wellenträgers ständig in Ruhe sind (Bewegungsknoten) und Stellen, an denen der Wellenträger mit maximaler Amplitude hin- und herschwingt (Bewegungsbäuche). Der Abstand zweier benachbarter Knoten bzw. Bäuche ist gerade eine halbe Wellenlänge. Die Welle transportiert hier keine Energie.

- Hier könnte z.B. eine stehende Schallwelle genannt werden. Sie entsteht durch Überlagerung einer von einem Lautsprecher ausgehenden Welle und der an einer Wand reflektierten Welle. Man misst den Abstand zwischen zwei Knotenstellen der Bewegung (Bauchstellen des Drucks - hier spricht das Mikrofon maximal an) aus. Er entspricht einer halben Wellenlänge.

III.c.)

- Diese Aufgabe ist eine logische Weiterführung von b) und a).
  Über die Masse der Natriumatome und deren Geschwindigkeit lässt sich ihr Impuls p berechnen und so mithilfe der de Broglie Beziehung $\lambda = h / p$ die Wellenlänge ermitteln. (30 μm). Da der Abstand der Knoten 15 μm beträgt, ist dies gerade $\lambda/2$.

- Bei der Materiewelle wären "Knoten" Stellen geringer Antreffwahrscheinlichkeit, "Bäuche" Stellen, an denen Natriumatome besonders wahrscheinlich anzutreffen sind.

- Bei 580 ms^{-1} wäre die de Broglie Wellenlänge 30 pm. Dies ist aber viel weniger als die Wellenlänge von Licht, daher ist das im Schattenwurf nicht aufzulösen.

III.d.)

- Diese Aufgabe ist ein "Gitterproblem". Die Vorgehensweise ist wieder ähnlich: über die Masse und die Geschwindigkeit wird der Impuls berechnet und mit de Broglie die Wellenlänge ermittelt, die man den Fullerenmolekülen zuordnen kann ($4 * 10^{-12}$ m)

Mit der gewöhnlichen Theorie der Beugung am Gitter (für kleine Beugungswinkel) ermittelt man den Abstand des Zentralmaximums zum Maximum 1. Ordnung zu 51 µm, was gut zu dem aus dem Diagramm abzulesenden Abstand von 50 µm passt.

- Weil jeweils nur ein Molekül in der Anordnung ist, kann die Interferenzerscheinung nicht durch Wechselwirkung mit anderen Molekülen erfolgen. Jedes einzelne Fullerenmolekül trägt also schon selbst die ganze Information in sich, wie die Interferenzerscheinung aussieht. Die Interferenzerscheinung entsteht sozusagen durch "Superposition der Möglichkeiten", der Überlagerung der Wahrscheinlichkeiten dafür, wo ein einzelnes Fullerenmolekül auftreffen wird.