Abitur 2007 - 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.
Sollten Sie offensichtliche Fehler entdecken, dann bitten wir um Nachricht.

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)

Für die **Kapazität eines Kondensators** gilt:

$$C = \varepsilon_r \, \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

Die Plattenfläche ist dann A = $(0{,}1 \text{ m})^2$. Für die Kapazität erhält man dann mit den angegebenen Werten etwa 16 pF.

Die **Ladung** auf den Platten eines Kondensators ist : Q = C*U. Man erhält hier etwas 3,5 nC.

Die **elektrische Feldstärke** berechnet sich mit E = U / d. Mit der angegebenen Spannung und dem angegebenen Plattenabstand erhält man ca. $2{,}75 \cdot 10^4$ V/m.

Für die **im elektrischen Feld** eines Plattenkondensators **gespeicherte Energie** gilt:

$$W = \frac{1}{2} \, C \, U^2$$

Setzt man die gegebenen und errechneten Werte ein, so erhält man etwa $3{,}87 \cdot 10^{-7}$ J

Man muss zwischen den Verhältnissen bei angeschlossener Spannungsquelle und abgetrennter Spannungsquelle unterscheiden. (Die neuen Größen sind mit * bezeichnet)

a) Angeschlossene Quelle.

Bei **angeschlossener Spannungsquelle** ist die konstante Größe die angelegte **Spannung**, diese ändert sich nicht also ist $U^* = U$.

Für die **elektrische Feldstärke** gilt E = U / d. Da sich die Spannung nicht ändert und auch der Plattenabstand unverändert bleibt, ändert sich auch die elektrische Feldstärke nicht.

Wird ein Dielektrikum eingebracht, so erhöht sich die **Kapazität des Kondensators**: $C^* = 3{,}5 \cdot C$.

Wegen der auf dem Dielektrikum entstehenden Polarisationsladungen enden nun Feldlinien an diesen **Ladungen**. Auf die Platten des Kondensators strömen weitere Ladungen nach, denn es gilt $Q^* = C^* \cdot U = 3{,}5 \cdot C \cdot U$. Es passen nun 3,5 mal so viel Ladungen auf die Platten des Kondensators.

Für die **gespeicherte Energie** gilt $W^* = 1/2 * C^* * U^2$. Weil ja $U^* = U$ ist, ändert sich nur die Kapazität. Also ist die gespeicherte Energie ebenfalls 3,5 mal so groß wie ohne Dielektrikum.

b) Abgetrennte Quelle.

Bei **abgetrennter Spannungsquelle** ist die konstante Größe die **Ladung auf den Platten**, diese ändert sich nicht also ist $Q^* = Q$.

Die **Kapazität** erhöht sich um einen Faktor 3,5 (s.o.) also $C^* = 3{,}5 * C$.

Nun verändert sich die **Spannung an den Kondensatorplatten**, denn es gilt: $U^* = Q^* / C^*$. Also ist U^* nur 1 / 3,5 der Spannung U.

Wegen $E = U^* / d$ ist die **elektrische Feldstärke** nun ebenfalls nur 1 / 3,5 des alten Wertes.

Bei der **im Kondensator gespeicherten Energie** muss man ein wenig vorsichtig sein, denn es ändert sich hier sowohl die Kapazität als auch die Spannung. Es gilt:

$$W^* = \frac{1}{2} C^* (U^*)^2$$

$$W^* = \frac{1}{2} 3{,}5 \cdot C \ \left(\frac{1}{3{,}5}\right)^2 \cdot (U)^2$$

$$W^* = \frac{1}{3{,}5} \left(\frac{1}{2} \cdot C\ U^2\right)$$

$$W^* = \frac{1}{3{,}5}\ W$$

Also bleibt die Ladung konstant, die Kapazität vergrößert sich um einen Faktor 3,5 alle anderen Größen haben nur 1/ 3,5 ihres ursprünglichen Wertes.

Vergleiche zu diesem Thema auch diese Seite auf dem Landesbildungsserver.

b)

Es gilt nach dem Energieerhaltungssatz $W = q * U = 1/2 * m * v^2$.
Die Gleichung wird nach v^2 aufgelöst und die Zahlenwerte eingesetzt.
Mit $q = 5*10^{-9}$ C der Spannung $U = 10$ kV $= 1*10^4$ V und der Masse der Kugel $m = 3$mg $= 3*10^{-6}$ kg erhält man eine Geschwindigkeit von etwa 5,8 m/s.

Vergleiche hierzu folgende Seite auf dem Landesbildungsserver.

I.b)

Auswahl des geeigneten Diagramms.

Beschreibung des Vorgangs.

Wird das Kügelchen an der linken Kondensatorplatte geladen, so hat es zunächst das gleiche Ladungsvorzeichen wie die linke Platte und das entgegengesetzte Ladungsvorzeichen der rechten Platte, es führt also eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung in Richtung auf die rechte Platte aus.

Die konstante Beschleunigung ergibt sich aus F = q * E und E = U / d also F = (q * U) / d. Diese Kraft bewirkt eine Beschleunigung nach dem zweiten Gesetz von Newton F = m * a.

Also ist a = (q * U) / (m * d) = konstant.

Nach dem Energieerhaltungssatz gilt : q * U = 1/2 * m * v^2. Setzt man die Werte ein (und rechnet die Kugelmasse richtig in Kilogramm um!) so erhält man 5,8 m/s.

Erreicht die Kugel die rechte Platte wird sie ohne Energieverlust reflektiert. Sie behält also den Betrag der Geschwindigkeit bei, bewegt sich jedoch jetzt nach links. Da sie zudem umgeladen wird, wird sie nun von der rechten Platte abgestoßen und von der linken Platte angezogen. Sie erfährt also eine nochmalige Beschleunigung, diesmal auf die linke Platte zu.

Analyse der gezeichneten Diagramme.

Diagramm1 *ist ungeeignet*. Der Vorzeichenwechsel der Geschwindigkeit fehlt hier. Auf dem Rückweg nach links wird das Kügelchen weiter beschleunigt, seine Geschwindigkeit nimmt weiter zu und nicht ab, wie das Diagramm unterstellt.
Dieses Diagramm wäre dann richtig, wenn das Kügelchen zwar seine Geschwindigkeitsrichtung an der rechten Platte ändern würde, aber seine Ladung beibehielte. Dann würde es auf dem Rückweg gebremst.

Diagramm2 hat zwar den Richtungswechsel der Geschwindigkeit, doch ist die Steigung a = Delta v / Delta t hier im negativen Bereich eine andere als im positiven Bereich. Die Beschleunigung bleibt aber konstant (s.o.) *also ist das Diagramm nicht brauchbar*. Da das Kügelchen ja auch immer weiter beschleunigt wird, wird es immer schneller. Es benötigt für den Rückweg nach links nun eine kürzere Zeit und nicht dieselbe Zeit wie für den Hinweg. Auch das stimmt in Diagramm 2 nicht.

Diagramm 3 *stellt die Verhältnisse richtig dar*, die Steigungen sind gleich und die Zeit für den Rückweg ist kürzer.

Diagramm 4 ist ebenfalls **unbrauchbar**. Hier ist kein s-t-Diagramm dargestellt (dann wäre es sogar wahrscheinlich richtig, zumindest was den "Hinweg" anbelangt), sondern ein v-t-Diagramm. Durch die Parabelform wäre dann aber die Geschwindigkeitszunahme quadratisch mit der Zeit und nicht linear, wie es für eine konstante Beschleunigung sein muss.

I.c)

In diesem Aufgabenteil geht es um die Selbstinduktion in einer Spule, das Diagramm stellt den zeitlichen Verlauf der Stromstärke in der Spule dar.

Erklärung des Kurvenverlaufs:

Die Stromstärke in der Spule nimmt nach dem Einschalten zu. Durch diese Änderung der Stromstärke kommt es auch zu einer Änderung der magnetischen Flussdichte B in der Spule. Das sich ändernde Magnetfeld bewirkt in der Spule eine Selbstinduktionsspannung. Sie wirkt nach der Regel von Lenz ihrer Ursache, also der äußeren Spannungsquelle, entgegen - der Stromanstieg wird hinausgezögert.

Nach langer Zeit gibt es keine Selbstinduktion mehr. Nun wirkt nur noch die Spannung der Quelle und der ohmsche **Widerstand des Spulendrahtes**. Hier gilt also R = U / I=12 V / 1,2 A=10 Ohm.

Um die **Eigeninduktivität L** der Spule zu bestimmen, muss man sich den Beginn des Induktionsvorgangs - direkt nach dem Einschalten - genauer ansehen.

$$U_{ges}(t) = U - L \cdot \dot{I}(t) = R \cdot I(t)$$

$$I(t) = \frac{U - L \cdot \dot{I}(t)}{R}$$

Für t = 0 s ist I (0) = 0 A. Also ist:

$$U - L \cdot \dot{I}(t) = 0$$

oder umgeformt:

$$L = \frac{U}{\dot{I}(0)}$$

Man muss nun also den Anstieg der Stromstärke zu Beginn des Selbstinduktionsvorgangs ermitteln. Dazu legt man eine Tangente an die Kurve im Ursprung. Man bekommt dann z.B. für t = 0,5 ms eine Stromstärke von 1,2 A (oder auch 1,4 A). Eine gewisse Ungenauigkeit ist hier nicht zu vermeiden.

Für die Stromstärkeänderung ergibt sich dann z.B. 2400 A/s. (oder auch 2800 A/s). Damit erhält man für die Eigeninduktivität den Wert 5 mH (oder auch 4,3 mH)

Zur Selbstinduktion gibt es zahlreiche Seiten auf dem Landesbildungsserver.

I.d)

Bestimmung der de-Broglie Wellenlänge der Elektronen:

Zunächst benötigt man die Geschwindigkeit der Elektronen. Die Energie, die sie bei dem Beschleunigungsvorgang erhalten ist W = e * U. Dies ist dann auch die kinetische Energie W = 1/2 * m * v^2.Gleichgesetzt und nach v aufgelöst erhält man etwa 1,33 * 10^8 m/s.
Der Impuls ist p = m * v. Mit der Elektronenmasse ergibt sich der Impuls zu etwa 1,21* 10^{-22}kg*m/s.

Die de-Broglie Beziehung verknüpft die typische Teilchengröße 'Impuls' mit der typischen Wellengröße 'Wellenlänge'. Es gilt h = p * Lambda. Nach der Wellenlänge Lambda aufgelöst ergibt sich dann 5,5 pm.

Bestimmung der Wellenlänge aus dem Doppelspaltmuster:

Die Bestimmung folgt der normalen Doppelspalttheorie. Hier sind die Winkel klein, so dass man mit der Näherungsgleichung rechnen kann.

$$\sin\alpha = \frac{k\lambda}{g} = \frac{x}{a} = \tan\alpha$$

Für zwei benachbarte Maxima folgt daraus für deren Abstand:

$$\Delta x = \frac{a\lambda}{g}$$

Mit den angegebenen Werten bekommt man dann dasselbe Ergebnis wie oben (5,5 pm).

Elektronen als Quantenobjekte:

Interferenzfähigkeit: Elektronen kann man eine Wellenlänge zuordnen (vgl. Elektronenbeugung). Sie können mit sich selbst interferieren.

Stochastische Verteilung: Wo ein einzelnes Elektron auftreffen wird, lässt sich nicht vorhersagen. Es lassen sich jedoch Wahrscheinlichkeitsaussagen darüber machen, welche Auftreffpunkte wahrscheinlicher sind und welche weniger wahrscheinlich. Wenn man die Auftreffwahrscheinlichkeiten vieler Elektronen betrachtet, so führt dies zu einer Überlagerung der Wahrscheinlichkeitswellen, die dann der Intensitätsverteilung auf dem Schirm bestimmt.

Elektronen sind also weder Teilchen noch Welle. Sie sind Quantenobjekte. Die Lokalisationswahrscheinlichkeit P für das Auftreffen an einer bestimmten Stelle auf dem Schirm wird durch eine Wellenfunktion bestimmt.

Aufgabe II

II.a)

Ort des Seilanfangs (Erreger) zum Zeitpunkt t_1 = 2,4 s.

Der Seilanfang ist der Erreger, für diesen Erreger gilt die Schwingungsgleichung.

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

$$s(t) = \hat{s} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

Setzt man die Zahlenwerte ein, so erhält man als Ergebnis etwa -1,9 cm, d.h. der Erreger ist fast in der negativen maximalen Auslenkung. Es stellt sich nun die Frage, ob er sich nach oben oder nach unten bewegt.

Geschwindigkeit nach Zeitpunkt t_1 = 2,4 s.

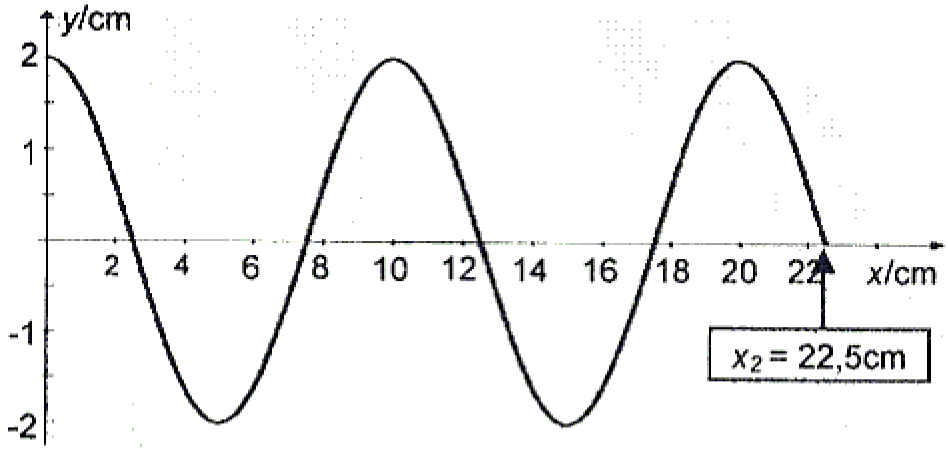
Die Geschwindigkeitsfunktion v(t) ist die erste Ableitung der Schwingungsgleichung s(t) nach der Zeit t.
Es gilt:

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

Setzt man die gegebenen Werte ein, so ergibt sich +7,8 cm / s, d.h. der Erreger ist nach oben unterwegs.

Momentaufnahme nach t_2 = 1,125 s.

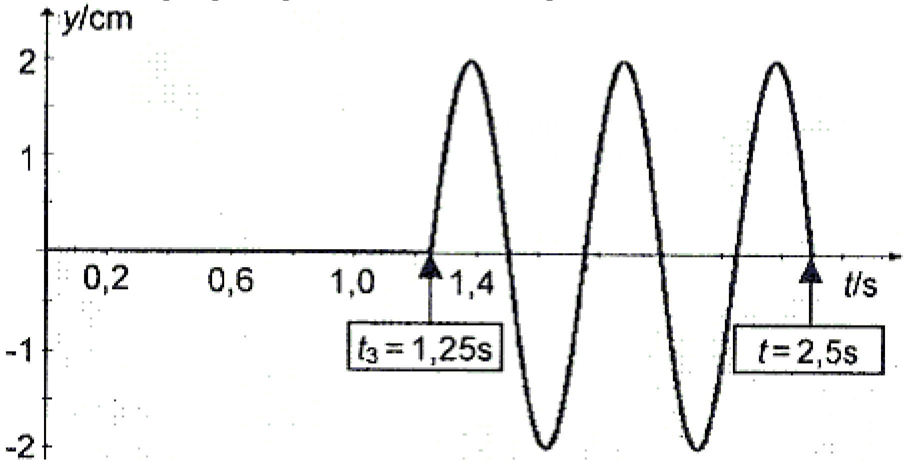
Zunächst wird man sich überlegen, wie groß die Wellenlänge der Schwingung ist. Hier gilt Lambda = c * T, das sind also 10 cm. Die Wellenfront kommt während der Zeit t_2 um die Strecke $x_2 = c * t_2$ voran, das sind 22,5 cm.
Der Punkt in dieser Entfernung nimmt ab jetzt an der Wellenbewegung teil und macht zum Zeitpunkt t_2 jetzt genau die Bewegung, die der Erreger zum Zeitpunkt t = 0 s ausführte, er beginnt sich nach oben zu bewegen.
Das Diagramm muss also folgendermaßen aussehen:



y-t-Diagramm des Seilpunktes B.

Zum Zeitpunkt t_2 hat die Welle den Punkt B noch nicht erreicht.
Dies geschieht erst 1,25 s nach Beginn der Schwingung ($t_2 = x_3$ / c).
Bis 1,25 s gibt es also gar keine Auslenkung des Punktes. Danach nimmt er an der Schwingung teil, wobei er sich - genau wie der Erreger - zunächst nach oben bewegt.
Während der nächsten 1,25 s bis zum Zeitpunkt 2,5 s führt der Punkt B dann also 2 1/2 Schwingungen aus, da die Periodendauer ja 0,50 s beträgt.

Sein Schwingungsdiagramm sieht also folgendermaßen aus:



II.b)

Beobachtung und ihre Erklärung:

Nur bei ganz bestimmten Frequenzen, den sogenannten Eigenfrequenzen, tritt eine stehende Welle auf, d.h. es gibt Stellen auf dem Gummiseil, die zu keinem Zeitpunkt eine Auslenkung haben (Knotenstellen) und Stellen, an denen die Schwingung zwischen den Maximalauslenkungen schwankt (Bauchstellen).

Die vom linken Ende ausgehende Welle wird zunächst am rechten Ende des Wellenträgers mit einem Phasensprung von einer halben Wellenlänge (festes Ende!) reflektiert. Auch am linken Ende wird sie danach mit einem Phasensprung von einer halben Wellenlänge reflektiert.
Nur wenn die wieder nach rechts laufende, zwei Mal reflektierte Welle mit der neu erzeugten Welle phasengleich ist, kann sich eine stehende Welle aufbauen.

Es passt dann immer ein geradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge auf den Wellenträger, also gilt für die Eigenschwingungen L = k * Lambda / 2.

Ausbreitungsgeschwindigkeit im Gummiseil.

Die Darstellung zeigt die 4. Harmonische, da gerade 4 Halbwellen auf das Seilstück passen. Hier ist also k = 4. Kommen zwei weitere Schwingungsbäuche dazu, dann entsteht die 6. Harmonische mit k = 6.
Es ist Lambda = c / f. Verwendet man dies und löst man L = k * Lambda / 2 nach der entsprechenden Eigenfrequenz auf, so ergibt sich f_k = (k * c) / (2 * L).

Es folgt weiter:

$$f_k = \frac{k \cdot c}{2 \cdot L}$$

also auch:

$$f_6 = \frac{6 \cdot c}{2 \cdot L} \qquad f_4 = \frac{4 \cdot c}{2 \cdot L}$$

$$20\ \mathrm{Hz} = \Delta f = f_6 - f_4 = \frac{(6-4) \cdot c}{2 \cdot L}$$

$$20\ \mathrm{Hz} = \Delta f = \frac{c}{L}$$

Löst man nach c auf und setzt die Werte ein, so kommt man auf c = 16 m/s.

Eigenfrequenz der Grundschwingung.

Für die Grundschwingung gilt L = Lambda / 2 oder f_k = c / 2*L.
Mit der gerade berechneten Ausbreitungsgeschwindigkeit kommt man dann auf genau 10 Hz.

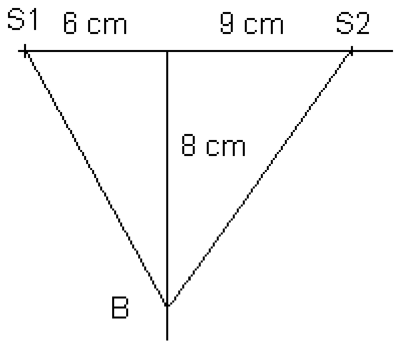
II.c)

Amplitude in Punkt B.

Dieser Punkt liegt auf der Mittelachse. Die beiden Erreger sind von allen Punkten der Mittelachse gleich weit entfernt. Egal wo der Punkt B liegt, treffen also die von S1 und von S2 kommenden Wellen bei ihm phasengleich ein. Es ergibt sich konstruktive Interferenz. Die Amplitude ist also die Summe der Einzelamplituden, also 2 mm.

Berechnung der Frequenz für ein Minimum.

Der Stift S2 ist nun vom Ursprung 9 cm entfernt, der Stift S1 nach wie vor 6 cm. Daher ist die Wegstrecke von S2 nach B nun größer als von S1 nach B. Es ergibt sich also eine Gangdifferenz. Die in B eintreffenden Wellen sind nicht mehr phasengleich. Damit in Punkt B das erste Minimum entsteht, muss diese Gangdifferenz gerade Lambda / 2 sein.



Die Wegstrecke von S1 nach B ist gerade 10 cm lang (Berechung mit Pythagoras). Von S2 nach B sind es 12,04 cm.

Der Gangunterschied ist also etwa 2 cm.

Daher ist der Wellenlänge der abgestrahlten Welle also 4,0 cm, wenn in B ein Minimum entstehen soll.

Zusammen mit der gegebenen Ausbreitungsgeschwindigkeit von 10 cm/s ergibt daraus f = c / Lambda eine Frequenz von 2,5 Hz.

Bestimmung der Amplitude in einem anderen Punkt.

Man kann dies mit der Methode der Phasenzeiger erreichen.
Ist der Erreger S2 zwischen 6,0 cm und 9,0 cm von der Mittelachse entfernt, so liegt der Gangunterschied der in B eintreffenden Wellen zwischen 0 und Lambda / 2. Für die Berechnung des Gangunterschieds würde man genauso vorgehen wie gerade für das Minimum. Es ist dann einfach:

$$\delta = \overline{S_2B} - \overline{S_1B}$$

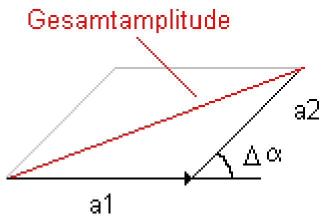
Um den Phasenunterschied zu bestimmen muss man bedenken, dass sich 360° zur Wellenlänge Lambda gleich verhält, wie der Phasenwinkel zum Gangunterschied. Also kann man

Phasendifferenz $\Delta\alpha$

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta\alpha}{360°}$$

folgendermaßen formulieren:

Man muss nun in einem Zeigerdiagramm die Phasenzeiger aufzeichnen und die beiden Amplituden vektoriell addieren.



Für einen Phasenwinkel von 45° würde das dann z.B. so aussehen, wie auf der Darstellung links.
a1 ist der Zeiger der Amplitude der Welle von S1.
Die Welle von S2 hat die Amplitude a2, sie ist gegenüber der Wellen von S1 hier um 45° phasenverschoben (der Zeiger a2 wird unter einem Winkel von 45° an die Spitze des Zeigers a1 angesetzt).

Die Gesamtamplitude findet man als Diagonale im Parallelogramm.

Vergleiche hierzu folgenden Lehrgang auf dem Landesbildungsserver.
Zahlreiche Programme und Simulationen zu diesem Thema findet man auch hier..

II.d)

Vorher war es nicht hier nicht dort, es hatte sich für keinen Ort entschieden:
Es gibt Auftrefforte auf dem Schirm, die wahrscheinlich sind und Auftrefforte, die unwahrscheinlich sind. Die Überlagerung der Wahrscheinlichkeitsfunktion für beide Spalte ergibt die Intensitätsverteilung.
Man kann aber nicht sagen, durch welchen Spalt ein einzelnes Elektron wohin auf dem Schirm gegangen ist.

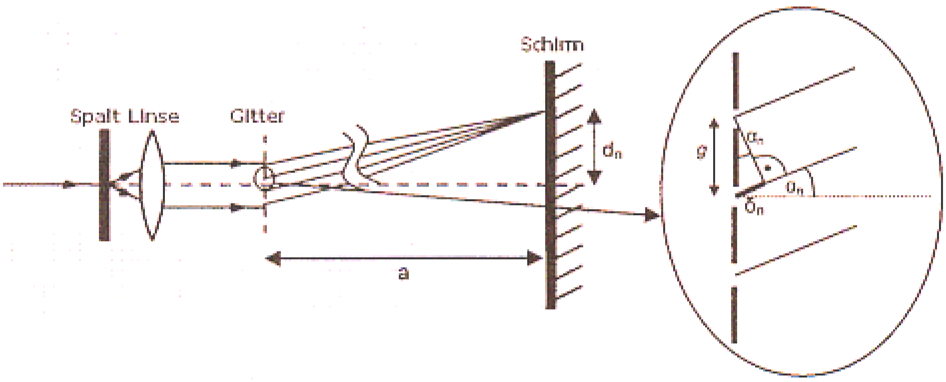
Wir zwingen es an einen bestimmten Ort:
Versucht man nun mehr über den Weg eines einzelnen Elektrons herauszufinden und festzustellen, durch welchen Spalt es gelangt ist (durch Wechselwirkung), dann lokalisiert man das Elektron schon in der Spaltebene. Damit verschwindet aber das typische Interferenzbild auf dem Schirm. Die Messung stört und beeinflusst als das Messergebnis.

Vergleiche hierzu die Simulation zum quantenmechanischen Doppelspaltexperiment auf dem Landesbildungsserver.

Aufgabe III:

III.a)

Eine Lampe beleuchtet einen Spalt. Weil das Licht divergent ist, wird mit Hilfe einer Linse daraus paralleles Licht erzeugt, mit dem man dann ein Gitter beleuchtet. Auf einem weit entfernten Schirm laufen dann die zunächst gebeugten, parallelen Wellenstrahlen zusammen. Dort kann man Interferenz beobachten. Eine geeignete Skizze könnte also so ähnlich aussehen:



Bestimmung der Wellenlänge:
Man misst für eine Lichtfarbe den Abstand der beiden Spektrallinien n-ter Ordnung und teilt durch 2 (alternativ auch den Abstand einer Spektrallinie von der Mittelachse), so erhält man d_n. Man misst dann den Abstand a vom Gitter zum Schirm. Daraus lässt sich aus dem Lagedreieck der Winkel, unter dem das Licht auf dem Schirm auftritt, berechnen: Tangens des Winkels = d_n / a.

Im Interferenzdreieck (in der Vergrößerung oben rechts) taucht dieser Winkel Alpha$_n$ wieder auf. Der Gangunterschied Delta$_n$ ist ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge. Ist g bekannt, kann man daher mit Hilfe der Sinusbeziehung die Wellenlänge bestimmen.

Spektrallinien:

g ist 0,01 mm.

Diese Aufgabe ist sehr offen gestellt, eine Lösungsidee könnte so aussehen:
Bei allen Ordnungen ist das rote Licht (große Wellenlänge) weiter von der Mittelachse entfernt als blaues Licht.
Man wird also untersuchen, unter welchen Winkel rotes Licht der zweiten Ordnung auftrifft (Sinus alpha = 2*656nm / g). Es ergibt sich für den Sinus etwa 0,131.

Am "verdächtigsten" für die Überlappung ist das kurzwelligste violette Licht (410 nm) der dritten Ordnung, denn das befindet sich bei der dritten Ordnung am nächsten der Mittelachse.
Sinus alpha = 3*410nm / g ergibt 0,123. Dies bedeutet ein kleinerer Winkel. Violettes Licht der dritten Ordnung (410 nm) liegt also näher an der Mittelachse als rotes Licht (656nm) der zweiten Ordnung.
Auch blau-violettes Licht der Wellenlänge 434 nm erfüllt diese Bedingung noch (0,130), jedoch nicht mehr das blaue Licht mit 486 nm (0,146).

III.b)

Minima 1. und 2. Ordnung:

Minima beim Einzelspalt treten auf, sofern gilt:

$$\sin\alpha = \frac{k\,\lambda}{b}$$

Für k = 1 ergibt sich ein Winkel von 7,26°, für k = 2 ein Winkel von 14,6°, wenn man die Werte einsetzt.

Anzahl der Minima:

Der Winkel Alpha kann maximal 90 Grad werden, d.h. Sinus Alpha kann nicht größer als 1 sein. Aus dieser Grenzbedingung k = b / Lambda erhält man 7,91. Also treten Minima 8. Ordnung nicht mehr auf, es gibt nur Minima bis zur 7. Ordnung. Da diese links und rechts der Mitte auftreten sind also insgesamt 14 Minima zu beobachten.
(Vorsicht: Unbedingt an diese Symmetrie denken. Es sind auch 14 Minima und keine 15, denn ein Minimum 0. Ordnung gibt es nicht. Anders als bei den Maxima muss man die 0. Ordnung hier nicht addieren).

Veränderung des Intensitätsverlaufes:

Wird die Spaltbreite kleiner, so werden nach der Beziehung oben (b steht im Nenner) die Winkel größer, d.h. die Minima rücken weiter auseinander, die Interferenzerscheinung wird in die Breite gezogen, bis schließlich gar keine Minima mehr beobachtet werden können. Die Intensität des Zentralmaximums, die sich ja nun auf einen größeren Winkelbereich verteilen muss, nimmt dabei immer mehr ab.

Bestimmung der Haardicke:

Ein sehr motivierendes Experiment, das man unbedingt auch im Unterricht / Praktikum machen sollte.

Man löst die Gleichung von oben nach b auf. k ist hier 10, Lambda 632 nm und der Winkel 17,7°. Damit kommt man auf eine Haardicke von 20,8 Mikrometer.

(N.B.: Es handelt sich dabei wahrscheinlich um ein recht dünnes Frauenhaar. In realen Experimenten kann das Ergebnis auch durchaus bei 60 oder 70 Mikrometer liegen.)

III.c)

Ist das Glasplättchen nicht vorhanden, so befindet sich das Maximum 0. Ordnung genau auf der Mittelachse. Die beiden von den Spalten ausgehenden Wellenzüge haben keinen Gangunterschied.

Wird nun ein Glasplättchen vor einen der beiden Spalte gebracht, so breitet sich das Licht im Glasplättchen mit kleinerer Ausbreitungsgeschwindigkeit aus als in Luft, die Wellenlänge im Glas ist also auch kleiner. Beim Licht, das auf dem Weg zum anderen Spalt nicht durch Glas geht, verändert sich nichts.
Aus der Mittelachse trifft daher das Licht jetzt nicht mehr phasengleich ein, es ergibt sich jetzt ein Gangunterschied.

Diese Phasendifferenz wird dann wieder Null, wenn der Wellenzug, der durch das Glasplättchen gegangen ist, nun dafür hinter dem Doppelspalt einen kürzeren Weg zurücklegen muss, also der Wellenzug, der nicht durch das Plättchen gegangen ist. Also verschiebt sich das Maximum 0. Ordnung nun in Richtung des Spaltes, vor dem das Plättchen steht.

Gelbes Licht wird statt blauem Licht verwendet:

In Luft ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit für alle Lichtfarben gleich.

Im Glas ist das nicht so. Lässt man weißes Licht (alle Wellenlängen) auf Glas fallen, so bekommt man Brechung und eine Aufspaltung in die Farben (vgl. Prisma)
Dabei wird blaues Licht am stärksten gebrochen. Das bedeutet nach der Theorie der Brechung, dass blaues Licht sich in Glas langsamer ausbreitet als gelbes Licht.

Beim blauen Licht ist also der Gangunterschied zwischen Wellenzügen, die durch Glas gegangen sind, und solchen, die nicht durch Glas gegangen, sind größer. Daher wird beim blauen Licht das Maximum 0.Ordnung also weiter von der Mittelachse weg verschoben als bei gelbem Licht.

III.d)

Maximale kinetische Energie der Fotoelektronen:

Lichtquanten der Energie W = h * f treffen auf das Kathodenmaterial auf und lösen dort Fotoelektronen aus. Um die Elektronen abzulösen, muss zunächst die (materialabhängige) Ablöseenergie Wa aufgebracht werden.
Wenn dann noch Energie "übrig ist", bekommen die Elektronen diese als kinetische Energie mit. Da nicht alle Elektronen direkt an der Kathodenoberfläche ausgelöst werden, sondern in tieferen Schichten, gibt es auch Elektronen mit etwas kleinerer Energie.

Um die Energie der schnellsten Fotoelektronen zu bestimmen, lässt man diese gegen ein Gegenfeld anlaufen. Die Gegenspannung wird so lange erhöht, bis der Fotostrom 0 A wird. Dann kommen keine Elektronen, auch nicht die schnellsten vom Licht ausgelösten Elektronen, mehr an der Anode an.
Für die maximale Energie der Elektronen gilt dann also $e * U = W_{kin(max)}$

Ablöseenergie für das Kathodenmaterial:

Es gilt:

Photon Elektron

$h * f = W_a + W_{kin}$

Mit f = c / Lambda erhält man die Frequenz des Lichts ($1{,}2 \cdot 10^{15}$ Hz). Daraus kann man die Energie der Photonen - in Joule - bestimmen (W = h * f). Die Ablöseenergie bekommt man indem die kinetische Energie von dieser Energie abzieht. Damit bekommt man $W_a = 5{,}0 \cdot 10^{-19}$ J oder 3,2 eV.

Veränderung der Intensität und der Frequenz des Lichts:

Vergrößert man die Lichtintensität, dann steigt der Fotostrom an, d.h. es werden nun *mehr* Fotoelektronen ausgelöst.
Dies ändert aber nichts an der Energie des einzelnen Fotoelektrons, denn bei gleicher Gegenspannung kommen auch bei größerer Lichtintensität keine Fotoelektronen mehr an.
Die Energie der Fotoelektronen hängt ausschließlich von der Wellenlänge des Lichts ab, und nicht von der Intensität.
Vergrößert man die Frequenz der Lichts (verkleinert man die Wellenlänge) so nimmt die Energie der Fotoelektronen zu.

Widerspruch zum Wellenmodell:

Eine Erhöhung der Intensität bedeutet, dass die Welle nun eine größere Energiemenge transportiert, die auch je Zeit- und Flächeneinheit auf das Kathodenmaterial trifft. Man müsste daher nach der klassischen Physik annehmen, dass dann auch die Energie der ausgelösten Fotoelektronen zunehmen müsste. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Lichtquantenhypothese:

Die Energie des Lichts ist quantisiert. So wie Ladung nur als ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung auftritt, ist Energie aus Energieportionen der Größe h * f zusammengesetzt.

Bei höherer Frequenz steigt damit die Energie pro Quant und damit auch die auf das Fotoelektron übertragene Energie. Um diese Elektronen "abzufangen" ist nun eine größere Gegenspannung U nötig. Bei Erhöhung der Intensität erhöht sich die Anzahl der Quanten und damit die Zahl der ausgelösten Photoelektronen, nicht jedoch deren Energie.

(N.B. hier ist eine gewisse Redundanz zur Fragestellung davor unvermeidlich. Was dort schon ausführlich dargestellt wurde, muss hier nicht noch einmal wiederholt werden.)