Abitur 2006 - 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)

Maximale Flussdichte

Die maximale Flussdichte ergibt sich bei der maximalen Stromstärke (0,8 A). Für eine langgestreckte Spule gilt:

$$B = \mu_0 \frac{n_f}{\ell} I$$

Setzt man die gegebenen Werte in die Gleichung ein, so bekommt man B = $8{,}4 \cdot 10^{-3}$ T

Wann tritt eine Induktionsspannung auf?

Nur wenn sich der magnetische Fluss in der felderzeugenden Spule verändert, kann in der zweiten Spule eine Spannung induziert werden.
Dazu muss sich die Stromstärke I ändern.
Eine Induktionsspannung entsteht also zwischen 0 und 2 s und dann noch einmal zwischen 5 und 9 s.
Zwischen 2 s und 5 s ist die Stromstärke und damit der magnetische Fluss konstant, hier tritt keine Induktionsspannung auf.

Berechnung der Induktionsspannungen

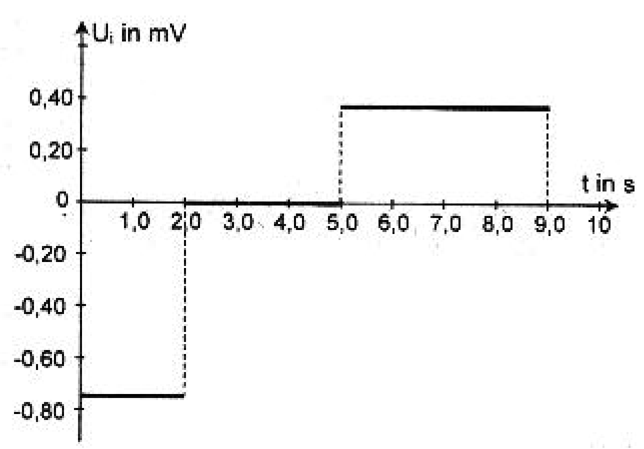
Für die induzierte Spannung gilt: (Spulenindex i - Induktionsspule , f - Feldspule)

$$U_i = -n_i \cdot \dot{\Phi} = -n_i \cdot \dot{B} \cdot A = -n_i \cdot \mu_0 \frac{n_f}{\ell} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot A$$

Mit den gegebenen Werten ergibt sich:

0 s - 2 s	-0,76 mV
2 s - 5 s	0 mV
5 s - 9 s	0,38 mV

(NB.: der dritte Zeitabschnitt ist doppelt so lang (4 s) wie der erste Zeitabschnitt (2 s). Delta-t ist damit doppelt so groß, die Induktionsspannung ist daher nur halb so groß.)
Wenn der magnetische Fluss zunimmt, dann ist die Induktionsspannung negativ (Vorzeichen der Induktionsspannung, vgl. lenzsche Regel). Wenn der magnetische Fluss abnimmt ($\Delta\Phi$ negativ), dann ist die Induktionsspannung positiv.
Damit ergibt sich folgendes Diagramm:



I.b.)

Berechnung der Kapazität

Es gilt: Q = C* U also C = Q / U. Mit gegebener Spannung (320 V) und gegebener Ladung Q kann man also C berechnen. Je größer der Plattenabstand d, desto kleiner die Kapazität C. Dies führt zu der Vermutung, dass C*d konstant sein könnte bzw. C proportional zu 1/d ist. Die geforderte Überprüfung erfolgt durch Berechnung der Produkte C*d (vgl. Tabelle)

Plattenabstand in cm	3,00	3,50	4,00	5,00	6,00	7,00
Ladung in nC	2,97	2,55	2,23	1,78	1,48	1,27
Kapazität in pF	9,28	7,97	6,97	5,56	4,63	3,97
C*d in pF * cm	27,8	27,9	27,9	27,8	27,8	27,8

Berechnung des Mittelwertes der elektrischen Feldkonstante
Beim luftgefüllten Kondensator gilt:
Die Plattenfläche A ist konstant. Man kann also den Mittelwert von ε_0 über den Mittelwert aus den verschiedenen Ergebnissen für das Produkt C*d berechnen
(eine leider für die Aufgabe nötige, wenn auch nicht sehr anspruchsvolle Rechnerei!)
Dieser Mittelwert ist etwa: $2{,}783 \cdot 10^{-13}$ Fm.
Daraus ergibt sich für ε_0 etwa $8{,}86 \cdot 10^{-12}$ As/Vm.

I.c.)
Für die Betrachtung eines Potenzials ist immer ein vereinbartes Nullniveau nötig. Nach Abbildung 2 ist dieses die linke Kondensatorplatte, die geerdet ist. Erde ist ein Nullniveau. Um eine positive Probeladung q nach rechts zu verschieben, muss gegen das elektrische Feld Arbeit verrichtet werden. Da beim Plattenkondensator das elektrische Feld E konstant ist, ist es auch die Kraft F_{el} auf die Probeladung.
Dabei gilt $W = F_{el} \cdot x = q \cdot E \cdot x$.
(A)

Man nennt den Quotienten $\varphi = W/q$ das *elektrische Potenzial* im Punkt P des elektrischen Feldes.

Entlang der Mittelachse wächst das Potenzial linear von 0V (bei 0 cm) auf 320V (bei 6cm). Es ergibt sich das nebenstehende Schaubild.

Die Gleichung der Kurve ist $\varphi(x) = E \cdot x$ wobei die Steigung k etwa 53,3 V / cm beträgt.
Die Steigung entspricht der elektrischen Feldstärke.

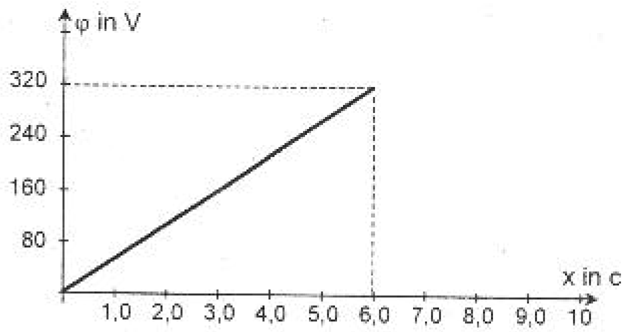


Schaubild bei Änderung des Plattenabstandes:
a) Der Wert des Potenzials an der positiven rechten Kondensatorplatte bleibt gleich. Es wird derselbe Endwert erreicht, jedoch erst innerhalb von 12 cm. Die Steigung der Gerade halbiert sich also.

Nach der Gleichung (A) von oben könnte man auch über die elektrische Feldstärke argumentieren. Wegen E = U/d halbiert sich diese beim Verdoppeln des Plattenabstandes d.
b) Diesmal bleibt die Ladung konstant. Damit ändert sich auch die Flächenladungsdichte und die elektrische Feldstärke E nicht. Die Steigung der Geraden bleibt gleich. Das Potenzial bei 12 cm ist aber nun doppelt so groß (640 V).

I.d.)

Erklärung der Sachverhalte.

Da sich bei Beleuchten mit gelbem Licht (578 nm) der Kondensator nicht lädt, werden keine Elektronen aus dem Kalium ausgelöst. Offenbar ist Licht dieser Wellenlänge also nicht energiereich genug, um die Ablösearbeit W_A aufzubringen. Die Energie der Photonen des violetten Lichts (405 nm) reicht dazu aber aus, denn der Kondensator lädt sich.

Ablösearbeit bei Kalium

Photonen des violetten Lichts haben eine Energie $W_{ph} = h * f_2 = h * c / \lambda_2$. Diese Energie dient zunächst dazu, die Ablösearbeit aufzubringen. Bleibt noch Energie übrig, so bekommt sie das Elektron als kinetische Energie mit. Dabei ist $W_{kin} = e * U$, wobei U die Spannung am Kondensator ist.

Die Energie des Photons ist $W_{ph} = h * c / \lambda_2 = 4{,}91*10^{-19}$ J = 3,07 eV.

(Erinnerung: 1 eV ist die Energie, die ein Elektron der Elementarladung $1{,}6*10^{-19}$ C hat, wenn es eine Spannung von 1 V durchlaufen hat - $1{,}6*10^{-19}$ J)

Im Kondensator ist die Energie 0,81 eV. Die Differenz (2,26 eV) ist die Ablösearbeit der Elektronen aus Kalium.

Kondensatorspannung

Die Berechnung erfolgt genau umgekehrt: ein Photon der Wellenlänge 436 nm hat die Energie $4{,}56*10^{-19}$ J oder 2,85 eV. Von diesen werden 2,26 eV für die Ablösearbeit benötigt. Also verbleiben dem ausgelösten Elektron 0,59 eV Energie. Der Kondensator lädt sich also auf 0,59 V auf.

Erhöhung der Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlungsstärke ändert die <u>Zahl</u> der auftreffenden Photonen, jedoch nicht deren <u>Energie</u>.

Die ausgelösten Elektronen haben daher immer noch gleiche Energie, die Spannung am Kondensator bleibt unverändert.

In der gleichen Zeit werden nun aber mehr Elektronen ausgelöst, der Kondensator lädt sich also schneller auf.

Aufgabe II.

II.a.)

Beschleunigungsspannung in K_0.

Im Kondensator K_0 werden die He^+-Ionen beschleunigt. Sie durchlaufen dabei die Spannung U_0. Dadurch erhalten sie die Energie $W = e*U_0$. Ihre kinetische Energie nach dem Durchlaufen des Kondensators ist $1/2*m*v_0^2$

Also gilt $e*U_0 = 1/2*m*v_0^2$.

Nach U_0 aufgelöst ergibt sich eine Beschleunigungsspannung von etwa 260 V.

(Beachten: es geht <u>nicht</u> um Elektronen. Die Masse ist 20 u. Die Masse von 1 u ist angegeben)

Ablenkung in K_1.

Die Ablenkung im Plattenkondensator taucht in Abituraufgaben immer wieder auf. (vgl. hierzu auch Aufgabe IIa aus 2005).

Im Plattenkondensator herrscht ein homogenes elektrisches Feld. Dadurch wirkt auf die Ionen eine Kraft, die nach Betrag und Richtung im ganzen Kondensator konstant ist. Die Bewegung der Ionen ist daher vergleichbar mit einem waagrechten Wurf im Schwerefeld der Erde. Es ergibt sich eine Parabelbahn.

Zwei Bewegungen überlagern sich:

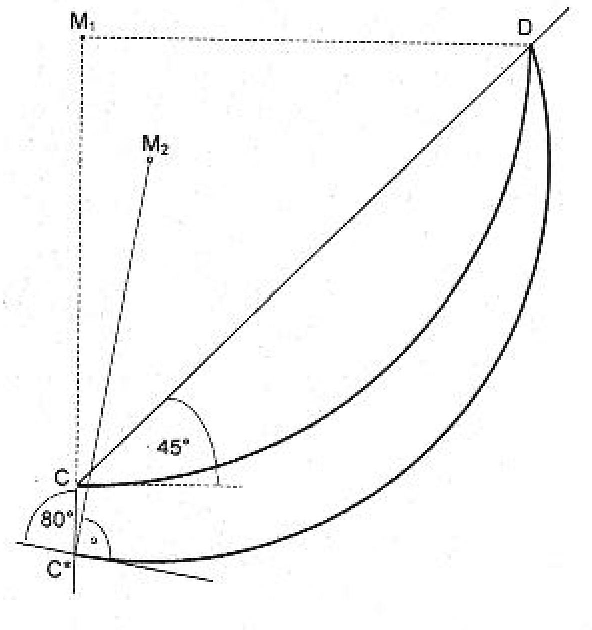
- eine gleichförmige Bewegung mit der konstanten Geschwindigkeit v_0 in horizontaler Richtung.

- eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung senkrecht dazu.

Verweildauer:
Aus der ersten Bewegung wird die Verweildauer t_0 bestimmt: $t_0 = L / v_0$ (L ist die Länge des Kondensators). Ergebnis: $1{,}0*10^{-6}$ s.
Vertikalbeschleunigung:
Für die (vertikale) Beschleunigung im E-Feld gilt: $a_y = e*E / m = e*U_a / m*d$. Ergebnis: $2{,}1*10^{10}$ ms^{-2}.
Geschwindigkeitskomponente in y-Richtung:
Es gilt: $v_y = a_y*t_0$. Ergebnis: $2{,}1*10^4$ ms^{-1}.
Mit Hilfe des Satzes von Pythagoras kann nun mit Hilfe von v_y und v_o die Gesamtgeschwindigkeit v_1 und der Winkel berechnet werden.
Ergebnis: $v_1 = 5{,}4*10^4$ ms^{-1} (vgl. Teilaufgabe b ;-))

Der Winkel (mit Tangens zu berechnen) ist etwa 22,5°.

II.b.)
Richtung der magnetischen Flussdichte
Man findet die Richtung des Magnetfeldes mit der Drei-Finger Regel.
Dabei gilt zu beachten: die Ionen sind positiv geladen! Wer also mit der linken Hand arbeitet (wie für negativ geladene Elektronen sehr nützlich), muss sein Ergebnis noch einmal "umdrehen".
Das Magnetfeld muss in die Zeichenebene hineinzeigen.
Der Mittelfinger deutet ja in Richtung des Mittelpunktes M der Kreisbahn, in die sich die Ionen bewegen werden.
Dieser muss irgendwo oberhalb von C (in Richtung Fotoplatte) liegen, damit die Kreisbahn nach oben verläuft und die Ionen auch zur Fotoplatte gelangen können.
Begründung für die Kreisbahn.
Die Ionen sind geladene Teilchen, die sich in einem Magnetfeld bewegen. Daher wirkt die Lorentzkraft auf sie.
Die Lorentzkraft wirkt aber stets senkrecht zur Bewegungsrichtung der Ionen, sie wirkt als Zentripetalkraft. Daher bewegen sich die Ionen auf einer Kreisbahn, die genau dann zu Ende ist, wenn sie auf die Fotoplatte treffen.
Entfernung des Auftreffpunktes D von C.
Radius der Kreisbahn: Es gilt $F_L = F_Z$ also $e*v_1*B = m*v_1^2 / r_1$. Nach r_1 aufgelöst ergibt sich mit den gegebenen Werten ein Radius von etwa 11,2 cm.



Zeichnet man die Bahnkurve ein, so ergibt sich in etwa das nebenstehende Bild. (Bahnkurve CD).

Die Entfernung von C nach D erhält man mit Hilfe des Satzes von Pythagoras: Die Strecke C nach M_1 ist der Radius r_1, ebenso die Strecke M_1 nach D.. Also ist CD gerade r_1 mal Wurzel aus 2, das sind 16 cm.

Damit lässt sich die Bahnkurve dann auch zeichnen.

II.c.)

Begründung, warum langsamere Ionen stärker abgelenkt werden.

Langsamere He^+-Ionen erfahren eine andere Ablenkung in K_1. Auf sie wirkt zwar dieselbe Kraft F_{el} und dieselbe Vertikalbeschleunigung a_y, ihre Verweildauer im Kondensator ist aber größer (siehe 2a)).
Daher wirkt die Kraft F_{el} länger auf sie ein, so dass sie stärker abgelenkt werden.

Ergänzung der Zeichnung.

Die langsameren Ionen treten zwar an einem anderen Punkt (C*) in das Feld ein, durchlaufen danach aber ebenfalls einen Teilkreis. Da sie langsamer sind, durchlaufen sie eine Kreisbahn mit kleinerem Radius. Dieser ist nur 9,96 cm.
(Berechnung wie in 2b))
Der Mittelpunkt der Kreisbahn (M2) liegt auf der Senkrechten zur Einfallsrichtung im Punkt C*.
Damit ergibt sich die oben eingezeichnete Bahn.

Vermutung:

Es fällt auf, dass auch die langsameren Ionen ebenfalls in D auf die Fotoplatte auftreffen. Dies legt die Vermutung nahe, dass gleichartige Ionen mit leicht verschiedenen Geschwindigkeiten dennoch alle im gleichen Punkt auftreffen.

II.d.)

Ohne Polarisatoren.

Sind <u>keine</u> Polarisatoren in der Anordnung, sind die beiden Wege nicht unterscheidbar: es gibt keine Information darüber, wie die Photonen zum Zielpunkt kommen. Daher erhält man eine Interferenz auf dem Schirm.

Mit Polarisatoren mit +45° und -45°.

Mit den Polarisatoren werden die beiden Wege unterscheidbar. Man beobachtet nun keine Interferenz mehr. Die Photonen verhalten sich wie Teilchen.

Mit zusätzlichem dritten Polarisator mit 90°.

Hinter dem dritten Polarisator mit 90° haben wieder alle Photonen, die ihn passieren, die gleiche Polarisationsrichtung. Damit wird wieder nicht mehr unterscheidbar, ob sie vorher den Weg1 oder den Weg 2 genommen haben. Nun wird wieder Interferenz beobachtet.

Aufgabe III.

III.a.)

Diese Aufgabe findet sich so auch immer wieder in Abiturprüfungen.

Beobachtung und Erklärung.

Man beobachtet ein System von hellen und dunklen Streifen - ein Interferenzmuster - auf dem Schirm.

In den beiden Spalten des Doppelspaltes entstehen Elementarwellen. Diese Wellen interferieren miteinander.

Der Gangunterschied zwischen den beiden Wellen bestimmt, ob es im Auftreffpunkt zu Helligkeit (konstruktive Interferenz) oder Dunkelheit (destruktive Interferenz) kommt.

Konstruktive Interferenz ergibt sich, wenn der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist ($\delta = k*\lambda$ mit k = 0,1,2,3,...).

Destruktive Interferenz entsteht bei einem ungeradzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge ($\delta = (2k+1)*\lambda/2$ mit k = 0,1,2,3,...).

Beugungswinkel für die 4. Ordnung.

Für Winkel, unter denen Maxima zu beobachten sind gilt : $\sin\alpha = \delta / g = k * \lambda / g$.

Setzt man die gegebenen Werte für die Wellenlänge und den Spaltabstand sowie k = 4 ein, so erhält man als Winkel etwa 0,48°.

Benachbarte Maxima.

Wenn man nicht gerade Maxima sehr großer Ordnung betrachtet, sind die Winkel offenbar sehr klein. Die Näherung $\sin\alpha = \tan\alpha$ ist also hier möglich. Für den Abstand zweier Ordnungen gilt nach dieser Näherung $d_k = a * \alpha / g$.

Als Ergebnis ergibt sich etwa 2,1 mm.

III.b.)

Vorteile des Gitters gegenüber einem Doppelspalt.

Je mehr Spalte vorhanden sind, desto mehr Wellen interferieren. Daher sind die Maxima bei einem Gitter intensitätsstärker und auch schärfer begrenzt als bei einem Doppelspalt.

Dadurch lassen sich die Abstände der Maxima präziser messen.

Herleitung der Gleichungen.

Gefragt ist hier nach der Herleitung der Theorie des Doppelspaltes bzw. des Gitters. Die hier geforderten Skizzen findet man in jedem Physikbuch.

Aus dem ersten Dreieck (Lage Maximum, Nullpunkt, Mitte zwischen zwei Spalten auf dem Schirm) ergibt sich $\tan\alpha = d / a$.

Aus dem zweiten Dreieck (Dreieck des Gangunterschiedes) folgt: $\sin\alpha = k * \lambda / g$.

Es sind 5 Punkte auf dem Schirm zu sehen. Der Punkt in der Mitte gehört zur 0. Ordnung (Gangunterschied 0). Die beiden Punkte rechts und links daneben zur ersten Ordnung (Gangunterschied λ). Die beiden äußeren Punkte gehören zur zweiten Ordnung (Gangunterschied $2 * \lambda$).

Wellenlänge des Laserlichts.

Das Maximum zweiter Ordnung fällt laut Aufgabe gerade auf den Rand. Es ist von der optischen Achse (Schirmmitte) also d = 15,0 cm entfernt.

Mit $\tan\alpha = d / a$. folgt daraus ein Winkel von 23,8°.

Man sieht daraus, dass man die Näherungsgleichungen hier also <u>nicht</u> verwenden darf, weil die Winkel zu groß sind.

Die zweite Gleichung $\sin\alpha = k * \lambda / g$ wird nach λ aufgelöst. Mit k = 2 (für die zweite Ordnung) und der richtigen Gitterkonstante von 1/600 mm = 1,66 μm ergibt sich eine Wellenlänge von 336 nm. (vgl. Fortsetzung des Aufgabentextes!)

Bereich der Gitterkonstante des neuen Gitters.

Der mittlere Punkt gehört zu k = 0, die beiden links und rechts daneben zu k = 1.

Die beiden denkbaren Grenzen sind folgende:

- a) die Punkte liegen ganz außen genau auf dem Rand des Schirms.
- b) die beiden Punkte der ersten Ordnung liegen weiter innen. Die Maxima der nächsten Ordnung (k = 2) liegen aber ganz knapp *außerhalb* des Schirms.

a) Es ist k = 1. Der Winkel α ist für den Rand 23,8° (s.o.)
Man löst $\sin\alpha = k * \lambda / g$ nach g auf und setzt ein:
Der kleinste Wert für die Gitterkonstante ist dann 0,83 µm.
b) Den zweiten Fall hat man eigentlich schon vorher berechnet. Wenn das Maximum der 2. Ordnung gerade zu sehen ist, dann ist die Gitterkonstante 1,66 µm. (s.o.) Die Gitterkonstante muss also kleiner als dieser Wert sein.

Damit gilt für den Bereich von g: $0{,}83\ \mu m < g < 1{,}66\ \mu m$

III.c.)
Breite des Hauptmaximums beim Einzelspalt.
Das Hauptmaximum erstreckt sich zwischen dem ersten Minimum links und dem ersten Minimum rechts von der optischen Achse.
Da der Schirmabstand noch größer ist als im Aufgabenteil a, und da es nur um das erste Minimum geht, ist hier sicher die Winkelnäherung wieder möglich, also ist:
$\lambda / b = \sin\alpha = \tan\alpha = d / a$.
Der Abstand a ist 1,5 cm. (Rand bis optische Achse). Die Breite des Hauptmaximums hat den doppelten Wert, also 3,0 cm.
Anzahl der Spalte und Begründung.
Es treten Nebenmaxima auf. Diese entstehen, wenn Wellen aus mehr als zwei Spalten interferieren. Bei einem Dreifachspalt ergibt sich dabei ein Nebenmaximum, das genau dort auftritt, wo beim Doppelspalt das Minimum liegt.
Hier treten zwei Nebenmaxima auf, also muss es sich um einen Vierfachspalt handeln. Die Zahl der Nebenmaxima ist immer Spaltzahl - 2.
Spaltmittenabstand.
Im Diagramm erkennt man, dass die Maxima keine konstante Intensität haben, sondern für höhere Ordnungen in der Intensität abnehmen. Dies ist eine Folge aus der Einzelspaltinterferenz. Legt man eine Hüllkurve über die Maxima des Vielfachspaltes, so erhält man den Verlauf der Intensität des Einzelspaltes.
Insbesondere fällt auf, dass das Maximum der 4. Ordnung fehlt, also muss dort ein Minimum der Einzelspaltinterferenz liegen.
Die Beugungswinkel zum 4. Hauptmaximum der Vierfachspaltinterferenz und zum ersten Minimum der Einzelspaltinterferenz sind also gleich.
(Das erste Minimum der Einzelspaltinterferenz kann auch nicht weiter "links" sein, denn dann würde schon eine frühere Ordnung ausfallen.)
Es gilt: $4*\lambda / g = \lambda / b$.
Damit ist $g = 4*b = 0{,}68$ mm.

III.d.)
Erläuterung der Aussage Einsteins.
Es ist nicht möglich, vorherzusagen, wo das nächste Photon auf den Schirm auftreffen wird. Dazu müsste man seine Momentanwerte von Ort und Geschwindigkeit exakt angeben können. Das ist nicht möglich (vgl. auch Heisenberg'sche Unschärferelation).
Man kann lediglich Wahrscheinlichkeiten dafür angeben, dass das nächste Photon an einer bestimmten Stelle auftreffen wird.

Bei einer optischen Beobachtung werden sehr viele Photonen registriert. Dabei treffen die Photonen bevorzugt an wahrscheinlichen Stellen auf (große Helligkeit) aber auch - wenn auch weniger häufig - an anderen Stellen. Die sich daraus ergebende Häufigkeitsverteilung entspricht der Intensitätsverteilung, die man bei der Beugungserscheinung erhält.

Übertragung des Begriffs "monochromatisch" auf Elektronen.

Monochromatisch bedeutet, dass das Licht nur aus einer Wellenlänge besteht.

Nach der de-Broglie-Beziehung, die z.B. aus der Elektronenbeugung folgt, ist $\lambda = h / p$.

Da h eine Naturkonstante ist, bedeutet dies übertragen auf Elektronen, dass die Elektronen alle den gleichen Impuls p haben müssen. Das bedeutet aber insbesondere eine einheitliche Geschwindigkeit ($p = m * v$).

Auf Elektronen übertragen würde die Aussage also lauten: "Bei diesem Experiment werden Elektronen mit gleicher Geschwindigkeit verwendet."