Name:	**Punkte:**	**Note:**	**Ø:**

Profilkurs Physik — Abzüge für: Darstellung: — Rundung:

7. Klausur

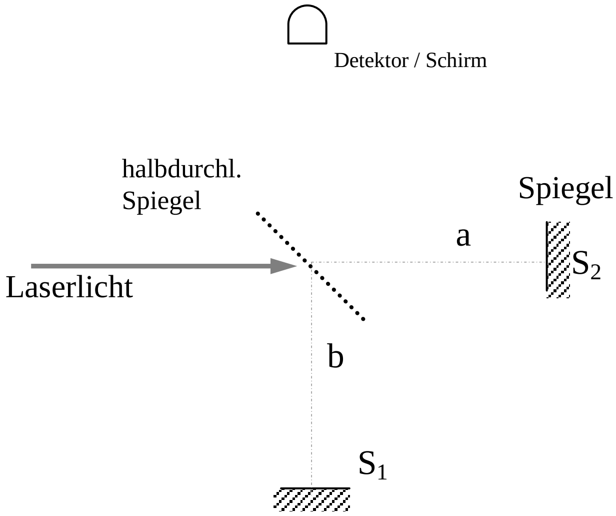
am 18. 3. 2013

Achte auf die Darstellung und vergiss nicht Geg., Ges., Formeln, Einheiten, Rundung . . .!

Angaben: $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js , Lichtgeschwindigkeit $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ m /s

$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C, $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg $\sin\alpha = g / h$ $\tan\alpha = g / a$

Tipp: Bei Rechnungen im Bogenmaß musst du den Rechner auf „Rad“ umstellen.



Aufgabe 1) (13 Punkte)
Das Licht eines Lasers (λ = 640 nm) tritt in die nebenstehend gezeichnete Anordnung.

a) Geben Sie den Namen dieser Versuchsanordnung an.

b) Zunächst seien die beiden Strecken **a** und **b** exakt gleich lang. Was wird dann der Detektor registrieren? Begründe deine Antwort genau!

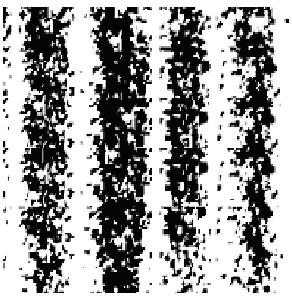
c) Nun wird der rechte Spiegel S_2 langsam nach links verschoben. Nach welcher Strecke registriert der Detektor minimale Intensität? Begründe!

d) Welche Intensität registriert der Detektor, wenn man S_2 um 800 nm verschoben hat?

e) Nun wird der Versuch b) mit einzelnen Lichtquanten durchgeführt. Welche Aussagen kann man bei der gegebenen Versuchsanordnung über den Weg machen, den ein einzelnes Quant läuft?

e) Welche Energie und welchen Impuls haben die einzelnen Lichtquanten?

Aufgabe 2) (14 Punkte) Elektronen Geschwindigkeit 600 km/s treffen orthogonal auf einen Doppelspalt mit dem Spaltabstand 200 nm. Im Abstand 20,0 cm hinter dem Doppelspalt steht parallel zum Doppelspalt eine fotografische Platte. Die ganze Anordnung befindet sich im Vakuum.
Die Abbildung zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fotoplatte, die längere Zeit durch den Doppelspalt belichtet und dann entwickelt wurde.



a) Erkläre anhand des Versuchsaufbaus und der der Abbildung ausführlich folgende Prinzipien der Quantenphysik:

- Wahrscheinlichkeitsprinzip,
- Determiniertheit der Wellenfunktion
- Nichtobjektivierbarkeit

b) Zeige, wie du den Abstand zweier benachbarter Streifen maximaler Intensität berechnen kannst und gib das Ergebnis an.

c) Warum gelingt das Experiment nur, wenn alle Elektronen einheitliche Energien besitzen und der Spaltabstand extrem klein ist?

Bitte wenden!!!!

Aufgabe 3) (10 Punkte) Ein Elektron kann sich innerhalb eines hohen Potentialtopfes frei bewegen, jedoch nicht nach außen gelangen

a) Skizziere die Wellenfunktionen und die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für die ersten drei möglichen Energieeigenwerte des Elektrons im hohen Potentialtopf.

b) Welchen Eigenwert der Energie hat das Elektron im Zustand E_2 , falls der hohe Potentialtopf 2,0 nm breit ist. Stelle deine Überlegungen zur Berechnung von E_2 dar!

c) Wenn der Potentialtopf niedrig ist, sehen die Wellenfunktionen etwas anders aus. Beschreiben Sie die Unterschiede.

Aufgabe 4) (8 Punkte)

Mit Hilfe der Schrödinger-Gleichung $\boldsymbol{\psi_{(x)}'' = -C \cdot (E - E_{pot(x)}) \cdot \psi_{(x)}}$ kann man mögliche Verläufe der Wellenfunktionen eines Elektrons innerhalb eines Kraftfeldes, z.B. in der Nähe eines Atomkernes, ermitteln, indem man aus sinnvoll erscheinenden Startwerten für Ψ , Ψ', und E numerisch den weiteren Verlauf der Funktion berechnet.

a) Die meisten so ermittelten Wellenfunktionen sind physikalisch unsinnig. Erläutere diese Aussage!

b) Drei der physikalisch sinnvollen Wellenfunktionen in einem Wasserstoffatom haben folgende Energieeigenwerte:

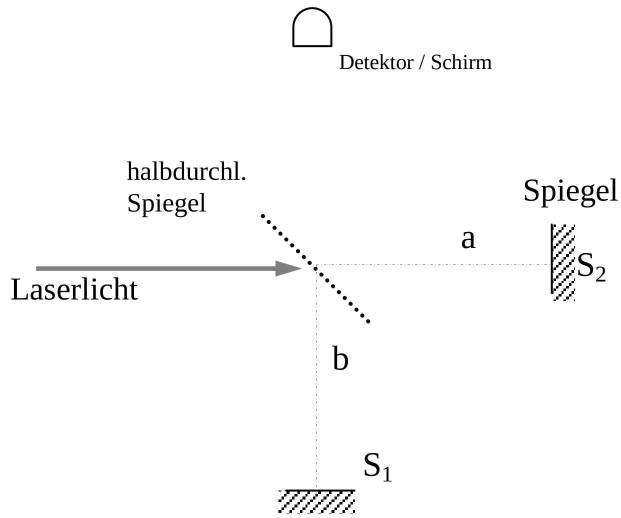
$$E_1 = -13{,}5466 \text{ eV}, \quad E_2 = -3{,}38958 \text{ eV}, \quad E_3 = -1{,}50680 \text{ eV}$$

Erläutere mit Hilfe dieser Angaben, warum angeregte Wasserstoffatome keine kontinuierlichen Spektren, sondern <u>Linien</u>spektren aussenden und berechne für eine dieser Linien die Wellenlänge.

Viel Erfolg bei der letzten Physik-Klausur!

Lösungen:

Aufgabe 1) (13 Punkte)
Das Licht eines Lasers (λ = 640 nm) tritt in die nebenstehend gezeichnete Anordnung.



1 a) Geben Sie den Namen dieser Versuchsanordnung an.

Michelson - Interferometer

2 b) Zunächst seien die beiden Strecken **a** und **b** exakt gleich lang. Was wird dann der Detektor registrieren? Begründe deine Antwort genau!

Das Laserlicht wird am Strahlteiler in zwei Wege aufgespaltet: Weg a zum Spiegel, zurück und zum Detektor und Weg b zum unteren Spiegel, zurück und auch zum Detektor. 1

Da beide Wege <u>exakt gleich lang</u> sind, besteht zwischen ihnen <u>kein Gangunterschied</u> und beide Teilwellen verstärken sich gegenseitig. => maximale Intensität. 1

2 c) Nun wird der rechte Spiegel S_2 langsam nach links verschoben. Nach welcher Strecke registriert der Detektor minimale Intensität? Begründe!

Minimale Intensität erhält man zum ersten Mal, wenn der Gangunterschied 1/ 2 λ beträgt. Da der Weg a zwei Mal zurückgelegt wird (hin und zurück), ist dies dann der Fall, wenn man S_2 um $\lambda/4$ nach links verschiebt, <u>**also um 160 nm.**</u>

3 d) Welche Intensität registriert der Detektor, wenn man S_2 um 800 nm verschoben hat?

Wenn a um 800 nm kürzer wird, beträgt der Gangunterschied δ = 1600 nm 1

$\delta / \lambda = 1600 / 640 = 2,5$ 1

1

=> $\delta = 2,5 \cdot \lambda$ also ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/2$

=> <u>**Man erhält nach einer Verschiebung um 800 nm minimale Intensität.**</u>

1

e) Nun wird der Versuch b) mit einzelnen Lichtquanten durchgeführt. Welche Aussagen kann man bei der gegebenen Versuchsanordnung über den Weg machen, den ein einzelnes Quant läuft?

1 <u>Jedes Quant geht beide Wege</u> bzw. seine Wellenfunktion geht beide Wege. Am Ende interferieren die beiden Teilwellen miteinander. Nach vielen gleichartigen Versuchen entsteht ein Beugungsbild. Jedes Quant geht also <u>beide Wege!</u>

4

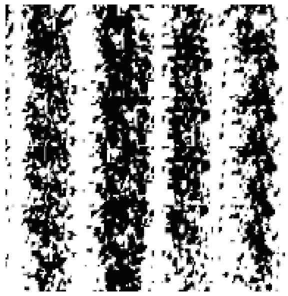
f) Welche Energie und welchen Impuls haben die einzelnen Lichtquanten?

$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda =$ 2

<u>**$E = 3{,}11 \cdot 10^{-19}$ J**</u> 1/2

$p = h / \lambda$ 1

<u>**$p = 1{,}04 \cdot 10^{-27}$ kg m/s**</u> 1/2



Aufgabe 2) (14 Punkte) Elektronen Geschwindigkeit 600 km/s treffen orthogonal auf einen Doppelspalt mit dem Spaltabstand 200 nm. Im Abstand 20,0 cm hinter dem Doppelspalt steht parallel zum Doppelspalt eine fotografische Platte. Die ganze Anordnung befindet sich im Vakuum.
Die Abbildung zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fotoplatte, die längere Zeit durch den Doppelspalt belichtet und dann entwickelt wurde.

5 a) Erklären Sie anhand des Versuchsaufbaus und der der Abbildung ausführlich folgende Prinzipien der Quantenphysik:

- Wahrscheinlichkeitsprinzip,
- Determiniertheit der Wellenfunktion
- Nichtobjektivierbarkeit

Wahrscheinlichkeitsprinzip:
Über die Wellenfunktion kann man berechnen, wie Ψ nach dem Gang durch den Doppelspalt aussieht. Mit $|\Psi|^2$ kann man berechnen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Elektron an einer bestimmten Stelle registriert wird. Wo ein einzelnes Quant nach 2
dem Doppelspalt registriert wird, kann man nicht vorhersagen.

Determiniertheit der Wellenfunktion:
Die Wellenfunktion enthält alle Informationen, die man über das Quant besitzen kann. Mehr Information, insbesondere über die Flugbahn oder den Auftreffort kann man nicht erhalten. 2

Nichtobjektivierbarkeit:
Man kann nicht sagen, das Quant geht durch den einen oder durch den anderen Spalt. Seine Wellenfunktion geht durch beide Spalte. Man muss alle existierenden Wege betrachten: $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \ldots$ 1

7

b) Zeige, wie du den Abstand zweier benachbarter Streifen maximaler Intensität berechnen kannst und gib das Ergebnis an.

Für Maxima am Doppelspalt gilt:

$\sin\alpha = k \cdot \lambda / g$ mit $k = 0,1,2,3\ldots$ (da $g \ll a$) 1

Weiterhin gilt für die Orte d_k, an denen die Maxima am Schirm liegen:

$$\left.\begin{aligned} &\tan\alpha = d/a = \sin\alpha \;\; \textbf{1} \;\; (\text{ da } \alpha \text{ sicher sehr klein sein wird}) \\ &\Rightarrow \; d/a = k \cdot \lambda / g \\ &\quad d = k \cdot \lambda \cdot a / g \\ &\quad d_1 = 1 \cdot \lambda \cdot a / g \end{aligned}\right\} \; 2$$

Mit $\lambda = h/p = h / m \cdot v$ folgt: 2

$d_1 = h \cdot a / (g \cdot m \cdot v) = 1{,}21\text{ mm}$ 1

Gesucht ist der Abstand d zwischen zwei Maxima, also z.B. $d = d_1 - d_0$.

Da $d_0 = 0$ mm folgt: **$\underline{d = 1{,}21\text{ mm.}}$** 1

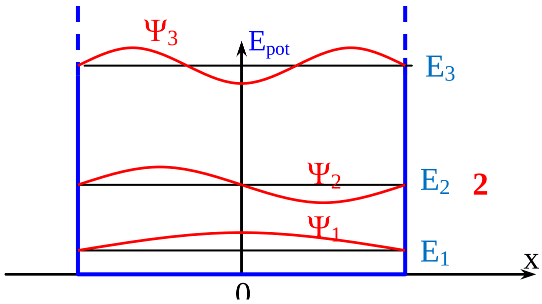
2 c) Warum gelingt das Experiment nur, wenn alle Elektronen einheitliche Energien besitzen und der Spaltabstand extrem klein ist?

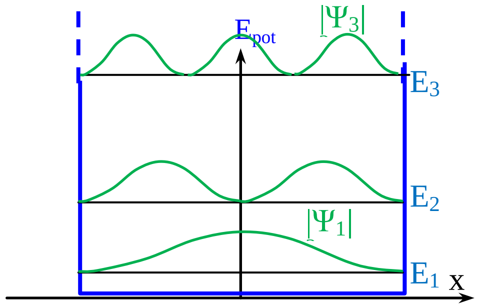
Jedes Elektron interferiert mit sich selbst. Nun wenn alle die gleiche Energie besitzen, haben sie auch die gleiche Wellenlänge und bilden am gleichen Ort ihre Maxima aus. Elektronen mit verschiedenen Energien hätten unterschiedliche Wellenlängen und ergäben Maxima an unterschiedlichen Orten. 1

Da die Wellenlänge der Elektronen extrem klein ist, muss auch der Spaltabstand sehr klein sein, damit das Maximum 1. Ordnung einen messbaren Abstand vom Maximum 0. Ordnung hat. 1

Aufgabe 3) (10 Punkte) Ein Elektron kann sich innerhalb eines hohen Potentialtopfes frei bewegen, jedoch nicht nach außen gelangen

3 a) Skizziere den Potentialtopf mit den Wellenfunktionen und zusätzlich in einer zweiten Skizze die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für die ersten drei möglichen Energieeigenwerte des Elektrons im hohen Potentialtopf.





1

6 b) Welchen Eigenwert der Energie hat das Elektron im Zustand E_2 , falls der hohe Potentialtopf 2,0 nm breit ist. Stelle deine Überlegungen zur Berechnung von E_2 dar!

Für die zweite Eigenfunktion (k = 1) m hohen Potentialtopf gilt:

An den Rändern ist Ψ = 0, in der Mitte sieht sie Sinusförmig aus. (s. Abb. in 3a)

=> $L = \lambda$ 1 (1)

Innerhalb des Potentialtopfes ist $E_{pot} = 0$ J => $E_{ges} = E_{pot} + E_{kin} = E_{kin}$

Mit $E_2 = \frac{1}{2} m v^2$ = 1 $\frac{1}{2} \cdot p^2 / m$ 1

und $p = h / \lambda$ folgt: 1

$E_2 = \frac{1}{2} \cdot h^2 / \lambda^2 \cdot m$ 1

Mit (1) ergibt sich:

$E_2 = \frac{1}{2} \cdot h^2 / L^2 \cdot m$

$\underline{\mathbf{E_2 = 6{,}0 \cdot 10^{-20}\ J}}$ 1

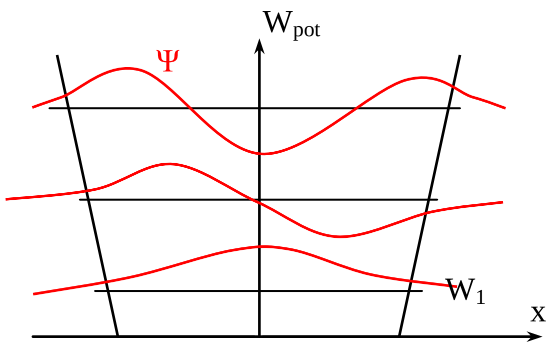
Manche haben sich folgende Formel auswendig gemerkt:

$$\mathbf{E_n = h^2 \cdot n^2 / (8 \cdot L^2 \cdot m)}$$

→ Unsinnig und riskant, da man sich leicht was Falsches merkt. Es ist keine erstrebenswerte Kompetenz, sich komplizierte Formeln für Spezialfälle zu merken!

1 c) Wenn der Potentialtopf niedrig ist sehen die Wellenfunktionen etwas anders aus. Beschreiben Sie die Unterschiede.

Die Wellenfunktionen reichen hier ein kleines Stück weit über den Rand des Potentialtopfes hinaus. (s. Skizze)



Aufgabe 4) (8 Punkte) *Lies erst die gesamte Aufgabe, bevor du mit den Antworten beginnst!*

Mit Hilfe der Schrödinger-Gleichung $\boldsymbol{\psi_{(x)}'' = -C \cdot (E - E_{pot(x)}) \cdot \psi_{(x)}}$ kann man mögliche Verläufe der Wellenfunktionen eines Elektrons innerhalb eines Kraftfeldes, z.B. in der Nähe eines Atomkernes, ermitteln, indem man aus sinnvoll erscheinenden Startwerten für Ψ, Ψ', und E numerisch den weiteren Verlauf der Funktion berechnet.

2 a) Die meisten so ermittelten Wellenfunktionen sind physikalisch unsinnig. Erläutere diese Aussage!

Für die meisten Energiewerte ergibt die Rechnung, dass die Ψ- Funktion für große x-Werte unendlich groß wird. 1
Das macht physikalisch keinen Sinn, da dann die Antreffwahrscheinlichkeit dort unendlich groß wäre, wo das Elektron gar nicht sein kann. 1

6 b) Drei der physikalisch sinnvollen Wellenfunktionen in einem Wasserstoffatom haben folgende Energieeigenwerte:

$W_1 = -13{,}5466$ eV, $W_2 = -3{,}38958$ eV, $W_3 = -1{,}50680$ eV

Erläutere mit Hilfe dieser Angaben, warum angeregte Wasserstoffatome keine kontinuierlichen Spektren, sondern <u>Linien</u>spektren aussenden und berechne für eine dieser Linien die Wellenlänge.

Wenn das angeregte Atom Licht emittiert, geht ein Elektron von einem höheren in einen tieferen Energiezustand über 1 und ein Quant mit der Energie $\Delta E = h \cdot f$ wird ausgesandt.
Da im Atom nur ganz bestimmte Energiewerte E_1, E_2 …. möglich sind, kann es auch nur ganz bestimmte Energiedifferenzen zwischen diesen Energieeigenwerten geben. Da diese Differenzen der Energie der ausgesandten Quanten entspricht, haben die Quanten nur ganz bestimmte Wellenlängen. 1
Es entsteht also kein kontinuierliches Spektrum, sondern ein Spektrum, das nur ganz bestimmte Wellenlängen enthält, also ein Linienspektrum.

Rechnung:

$\Delta E = h \cdot f$ 1 $= h \cdot c / \lambda$ 1
$\Rightarrow \lambda = h \cdot c / \Delta E = h \cdot c / \Delta U \cdot e$ 1

Mögliche Ergebnisse:
$\lambda_{2\to 1} = 122$ nm 1
$\lambda_{3\to 1} = 103$ nm
$\lambda_{3\to 2} = 657$ nm

Pmax =	45

60-u	60-o	%-u	%-o	P-u	-	P-o	Note
0	10,5	0	0,175	0,0	-	7,9	0
11	14,5	0,18	0,242	7,9	-	10,9	1
15	18,5	0,24	0,308	10,9	-	13,9	2
19	22,5	0,31	0,375	13,9	-	16,9	3
23	26,5	0,38	0,442	16,9	-	19,9	4
27	29,5	0,44	0,492	19,9	-	22,1	5
30	32,5	0,49	0,542	22,1	-	24,4	6
33	35,5	0,54	0,592	24,4	-	26,6	7
36	38,5	0,59	0,642	26,6	-	28,9	8
39	41,5	0,64	0,692	28,9	-	31,1	9
42	44,5	0,69	0,742	31,1	-	33,4	10
45	47,5	0,74	0,792	33,4	-	35,6	11
48	50,5	0,79	0,842	35,6	-	37,9	12
51	53,5	0,84	0,892	37,9	-	40,1	13
54	56,5	0,89	0,942	40,1	-	42,4	14
57	60	0,94	1	42,4	-	45,0	15