

2. Physik- Klausur im Leistungskurs 13.1

Aufgabe 1: Das Bohr'sche Atommodell (50 Punkte)

a) Vorgaben:

Bohr, Niels Henrik David

dänischer Physiker, * Kopenhagen 1885, † ebenda 1962; Professor in Kopenhagen (1943–45 in den USA, emigriert); wandte 1913 die Quantenhypothese (Max Planck 1900, Albert Einstein ab 1905) auf das Atommodell Ernest Rutherford's an und schuf das **Bohr'sche Atommodell**, das erstmals so genannte Quantenbedingungen enthielt. 1918 führte Bohr das Korrespondenzprinzip ein. Auf der Basis seines von A. Sommerfeld erweiterten Atommodells konnte er 1921 das Periodensystem der chemischen Elemente theoretisch erklären. 1922 erhielt er den Nobelpreis für Physik.

überarbeitet aus: © 2003 Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG

b) Arbeitsaufträge:

1.1 Stelle die Bohr'schen Postulate in Wort und als physikalische Formeln dar und erläutere die resultierenden Widersprüche zur klassischen Physik. (10P)

1.2 Leite kommentiert aus den Gesetzen der klassischen Mechanik und Elektrostatik unter Berücksichtigung der Bohr'schen Postulate die Formel zur Berechnung der Energie in wasserstoffartigen Atomen her und berechne dabei E_{Ryd} aus Naturkonstanten: (10P)

$$E_n = E_{\text{Ryd}} \cdot (Z)^2 \cdot \left(\frac{1}{n^2} \right) \quad \text{mit der Rydberg- Energie } E_{\text{Ryd}} = 13,6 \text{ eV}$$

1.3 Erläutere den Ausdruck „effektive Kernladung“ am konkreten Beispiel der Ionisation der K-Schale in schweren Atomen („Gesetz von Moseley“). Zeige, dass die Ionisationsenergie dieser Schale für Kupfer knapp 10,7keV beträgt. (8P)

1.4 Skizziere die ersten drei „Serien“ im Wasserstoffatom und berechne für diese jeweils den möglichen Energiebereich. (12P)

1.5 Neben den Spektrallinien ist der berühmte Versuch von Franck und Hertz eine weitere Bestätigung für das Bohr'sche Atommodell. Erläutere den Aufbau anhand einer Skizze des Versuchsaufbaus und beschreibe das Versuchsergebnis. (10P)

Aufgabe 2: Licht als Teilchen - der Welle-Teilchen-Dualismus (50 Punkte):**a) Vorgaben:****Photoeffekt:**

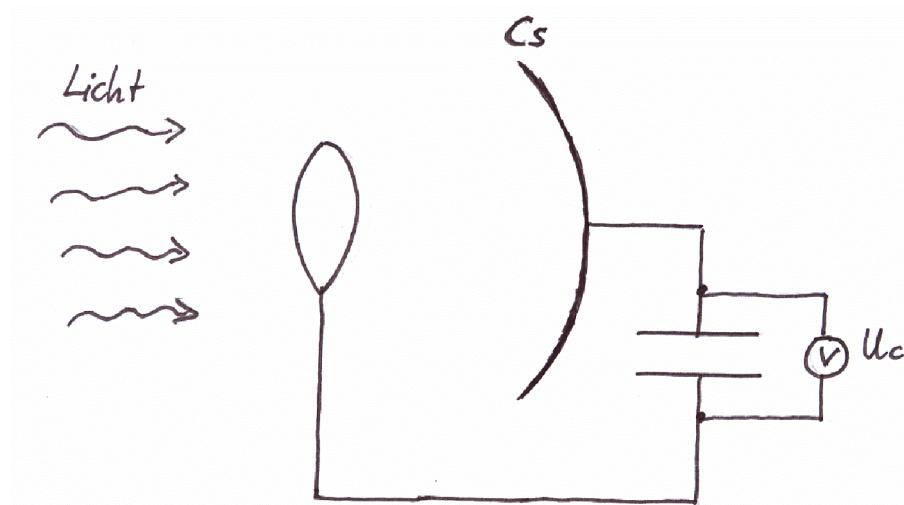
(lichtelektrischer Effekt, photoelektrischer Effekt), quantenmechanischer Vorgang, bei dem Elektronen durch Lichtabsorption aus ihrem Bindungszustand gelöst und für den elektrischen Ladungstransport verfügbar werden; im weiteren Sinn jede Art der Wechselwirkung von Photonen (Lichtquanten) mit Materie, bei der die Photonen ihre gesamte Energie abgeben; z. B. wird beim **atomaren Photoeffekt (Photoionisation)** ein Licht-, Röntgen- oder Gammaquant durch die Elektronenhülle eines freien Atoms vollständig absorbiert, wobei die Photonenenergie auf ein Elektron übergeht, das die Atomhülle verlässt.

Einstein:

Einstein entwickelte um 1905 die spezielle, 1915 die allgemeine Relativitätstheorie, die die moderne Physik auf neue Grundlagen stellten. Seine Erklärung des äußeren Photoeffekts (1905; 1921 Nobelpreis für Physik) mithilfe der Lichtquantenhypothese trug zur Anerkennung der Quantentheorie bei, obwohl Einstein die statistische Interpretation der Quantenmechanik nie akzeptierte.

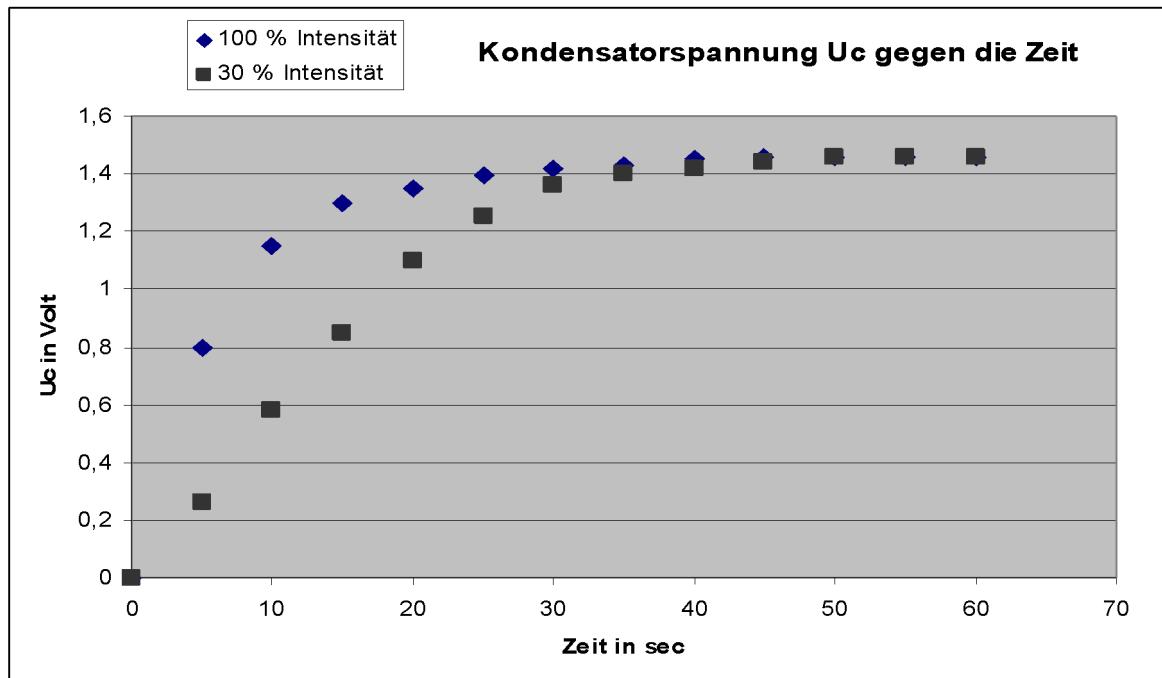
© 2003 Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG

Abb. 1: Schematischer Aufbau „Photozelle“



Bei Untersuchungen an einer mit Caesium bedampften Photozelle ergaben sich bei Beleuchtung mit monochromatischem violetten Licht folgende Kondensatorspannungen U_C in Abhängigkeit von der Beleuchtungszeit t und der Beleuchtungsintensität I :

Abb. 2: Kondensatorspannung als Funktion der Beleuchtungszeit



b) Arbeitsaufträge:

- 2.1 Führt man dieselbe Messung mit dunkelrotem Licht durch, so kann man keine Spannung messen. Interpretiere dieses Verhalten und die Abbildung 2 und zeige dabei die Widersprüche zum klassischen Wellenbild des Lichtes auf. Formuliere die Lichtquantenhypothese. (15P)
- 2.2 In einer Umkehrung des Lichtelektrischen Effektes kann man anhand der Wellenlängen von LED sehr schön das Plancksche Wirkungsquantum h bestimmen. Dabei werden für verschiedene LED jeweils die Wellenlängen bestimmt (deren Fehler ist vernachlässigbar klein!) und die extrapolierte Leuchtspannung U_{LED} , bei welcher das Leuchten deutlich einsetzt. Hierbei beträgt der experimentelle Fehler $\Delta U_{LED} \approx \pm 0,1V$.
Bestimme aus folgenden Messwerten graphisch (!!!) $h \pm \Delta h$ und vergleiche den Wert mit dem Literaturwert. (20P)

Lambda in nm	435	470	515	555	635	680
U in V	2,8	2,7	2,5	2,1	2,0	1,7

- 2.3 Nenne und erläutere noch einen weiteren experimentellen „Beweis“ für die Lichtquantenhypothese, welcher auch den Impuls der ruhemassenlosen Photonen eindeutig nachweist. (15P)

Musterlösung für 2. LK-Klausur 13.1 vom 17.11.09

1.1/
(Kürzform)

1. $L = n \hbar$, nur diskrete Bahnen mit gegenüberliegenden Bahndrehimpulsen, dort schallimpf frei

2. $\Delta E = E_2 - E_1 = h f$, Übergänge nur zwischen erlaubten Bahnen, jeweils ≤ 1 Photon

Widersprüche: diskrete diskrete Bahnen, beliebige kontinuierliche Übergänge, wie schallimpf frei

1.2/ siehe Matzler / Mitschrift

1.3/ z^* : Gesamtladung z reduziert durch Hülle atome auf eine effektive Kernladung
 $z^* = 1, \dots, (z-1), z$

\downarrow \rightarrow Wanenstoffartig
 \rightarrow Restelektron K-Schale
 \rightarrow relevant für Brüderdestruktur

\Rightarrow Würfel: $E_{\text{ion}} = 13,6 \text{ eV} \cdot z^* \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2$
 \rightarrow K-Schale
 mit $z^* = 29-1 = 28$

$\Rightarrow E_{\text{ion}} = 13,6 \text{ eV} \cdot 28^2 = 10,66 \text{ keV}$

1.4/

Diagramm der Energieniveaus:

mit $E_{\text{ion}} = 13,6 \text{ eV} \cdot 28^2 = 10,66 \text{ keV}$

1. Serie: Übergänge auf $n=1$
 $\Rightarrow \Delta E_{\text{max}} = 13,6 \text{ eV} \left(\frac{1}{1^2}\right)$
 $\Delta E_{\text{min}} = 13,6 \text{ eV} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = 10,2 \text{ eV}$
 $\Rightarrow \lambda_{\text{min}} = \frac{91,23 \text{ nm}}{121,64 \text{ nm}} \quad \text{Rest analog}$
 $\lambda_{\text{max}} = 121,64 \text{ nm}$

1.5/ S. Metzler

Wesentlich: "Ergebnisse" immer bei $E = n \cdot 4.9 \text{ eV}$, wiederum diskrete Energien

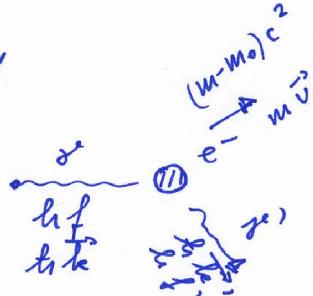
2.1/
(Wirs/gra)

Interpretation: Langwelliges Licht löst keine

Elektronen aus plattestrahlenden
Langwelligestrahlen, kurzwelliges Licht
löst je nach Intensität zuerst mehr
oder weniger Elektronen aus, aber immer
mit begrenzter Energie. Wellenbild:
Energie ($\sim Uc^2$) verteilt immer weiter an,
kein Grenzwert für Uc . Außerdem:
jedes λ sollte identischen Effekt zeigen.
Zurück: Erklärtung: Photonen

2.3/

Compton-Effekt



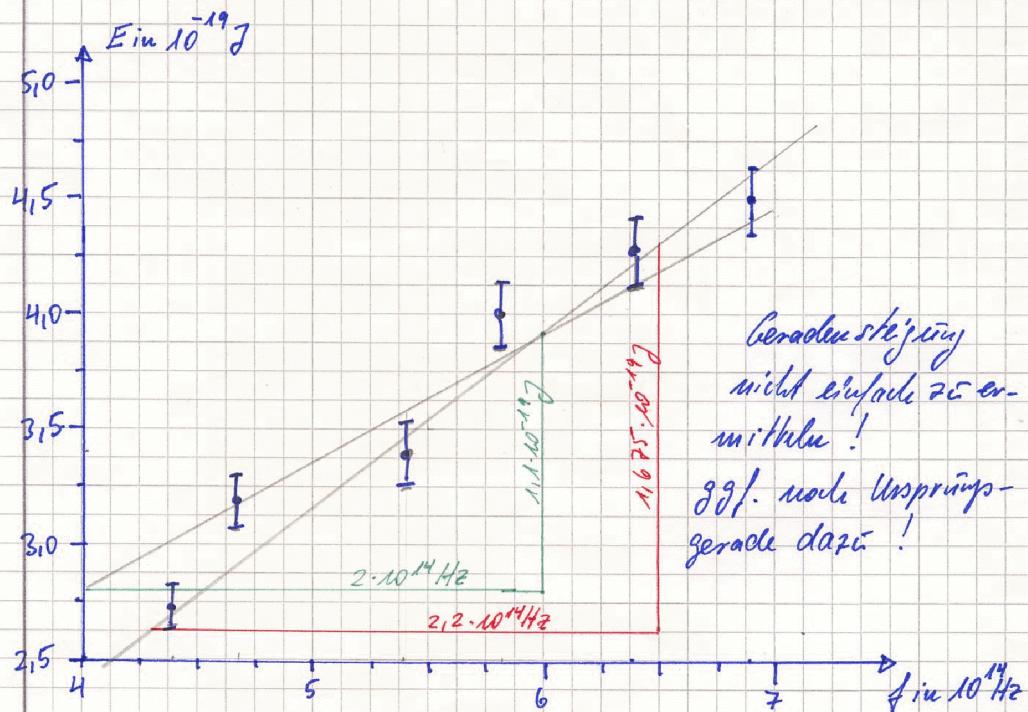
perfekt beschreiben

durch zentrales elastischen Stoß unter Beachtung
sicherung der Erhaltungssätze

$$h̄f = h̄f' + E_{\text{kin}, e^-}$$

$$\vec{k}_f = \vec{k}_f' + \vec{m}_e \vec{v}_e$$

2.2/	$\lambda [\mu\text{m}]$	$U [\text{V}]$	$f [10^{14} \text{Hz}]$	$E [10^{-19} \text{J}]$
	$\Delta U = \pm 0,1 \text{V}$		$\Delta f = \pm 0,16 \cdot 10^{14} \text{Hz}$	$\Delta E = \pm 0,16 \cdot 10^{-19} \text{J}$
	435	2,8	6,897	$4,486 \approx 4,5$
	470	2,7	6,383	$4,325 \approx 4,3$
	515	2,5	5,825	$4,005 = 4,0$
	555	2,1	5,405	$3,364 \approx 3,4$
	635	2,0	4,724	$3,204 \approx 3,2$
	680	1,7	4,412	$2,723 \approx 2,7$



$$h_{\min} = \frac{1,1 \cdot 10^{-19} \text{J}}{2 \cdot 10^{14} \text{Hz}} = 5,5 \cdot 10^{-34} \text{J} \quad \left. \right\} h = 6,55$$

$$h_{\max} = \frac{1,675 \cdot 10^{-19} \text{J}}{2,2 \cdot 10^{14} \text{Hz}} = 7,6 \cdot 10^{-34} \text{J} \quad \cdot 10^{-34} \text{J}$$

$$\boxed{h = (6,6 \pm 1) \cdot 10^{-34} \text{J}}$$

$$\Delta h = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{J}$$

SOL

-3-