

PRAKTIKUM 4

ATOME, MOLEKÜLE, KONDENSIERTE MATERIE

Versuch 401: Elektronische Übergänge in Atomen

Gruppe A202

PARTH GADHAVI NOEMI RUPPERT ARIEH THILL

Versuchsdurchführung: 12. / 13. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Der Photoeffekt	2
2.1. Grundlagen	2
2.1.1. Photoeffekt	2
2.1.2. Funktionsweise einer Photozelle	2
2.2. Aufbau	3
2.3. Durchführung	4
2.3.1. Energiebilanz der Photoelektronen	4
2.4. Abschätzung des Plankschen Wirkungsquantum und der Austrittsarbeit	4
2.4.1. Bestimmung der Grenzspannung U_0	4
2.4.2. Bestimmung von Plankschen Wirkungsquantum h	4
2.4.3. Bestimmung der Austrittsarbeit W_A	4
2.4.4. Vergleich der $\lambda =$ Kennlinie für unterschiedliche Intensitäten	4
3. Die Balmer-Serie	5
3.1. Grundlagen	5
3.1.1. Bohrsche Atommodell	5
3.1.2. Balmer-Serie	5
3.1.3. Quantenmechanische Betrachtung der Balmer-Serie	5
3.1.4. Isotopieaufspaltung	5
3.1.5. Natürliche Linienbreite und Linienverbreiterungen	5
3.1.6. Reflexionsgitter	5
3.2. Aufbau	6
3.3. Durchführung	6
3.4. Bestimmung der Gitterkonstanten	6
3.5. Bestimmung der Balmerlinien	6
3.5.1. Bestimmung der Isotopieaufspaltung	6
3.5.2. Bestimmung der Rydberg-Konstante und des Plankschen Wirkungsquantum	6
3.6. Weitergehende Überlegungen	6
3.6.1. Möglicher Ursprung der anderen auftretenden Spektrallinien	6
3.6.2. Doppler-Verbreiterung	6
3.6.3. Auflösungsvermögen des Gitters	6
4. Fazit	7
5. Formeln: To be deleted at the end	8
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	12
A. Anhang	13

1. Einleitung

Ein zentraler Versuch zur Bestätigung des Zusammenhangs zwischen der Quantelung von Energien und Emissions -und Absorptionslinien ist die Untersuchung des Photoeffekts. Die Spektroskopie ermöglicht die Untersuchung des Atomaufbaus, insbesondere durch die Analyse von Spektrallinien, welche einen Ausdruck der Quantelung von Energie sind und in direktem Zusammenhang mit Lichtfrequenzen stehen.

Im ersten Versuchsteil beobachtet man die Energieabhängigkeit des Photoeffekts und es werden das Planksche Wirkungsquantum, sowie die Austrittsarbeit abgeschätzt.

Im zweiten Versuchsteil wird durch Ausmessung der Balmer-Linien das Planksche Wirkungsquantum erneut bestimmt und mit dem Ergebnis aus dem ersten Versuchsteil verglichen.

2. Der Photoeffekt

2.1. Grundlagen

2.1.1. Photoeffekt

Der Photoeffekt tritt bei Ionisierung von Atomen durch Lichteinstrahlung, wobei die Energie der Valenzelektronen so weit ansteigt, dass sie das Potential des Atoms verlassen können. Dies geschieht nur, wenn das Licht eine Mindestenergie erreicht, die der Tiefe des Elektronenpotentials entspricht. Die Energie des Lichts E hängt mit ihrer Frequenz ν durch die Beziehung $E = \nu h$ zusammen, wobei h das Plancksche Wirkungsquantum darstellt.

2.1.2. Funktionsweise einer Photozelle

Aufbau Eine Photozelle besteht aus einer Ringanode und einer Kathode, welche mit Licht beleuchtet wird. Die Anode und die Kathode bestehen aus unterschiedlichen Materialien.

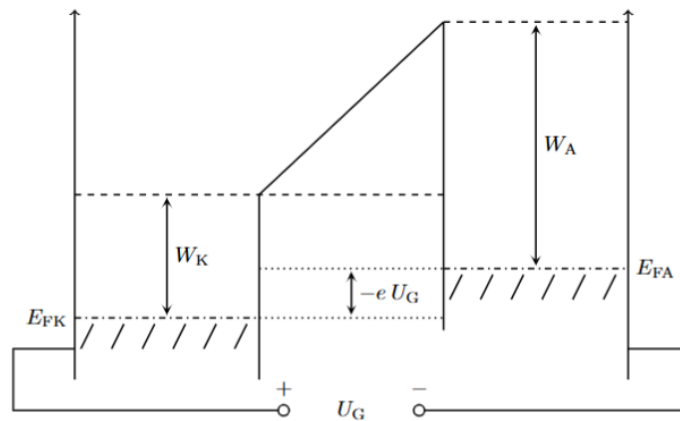
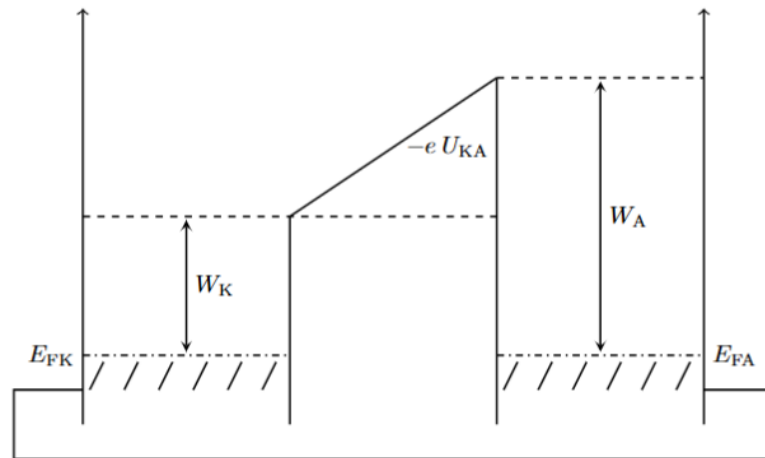
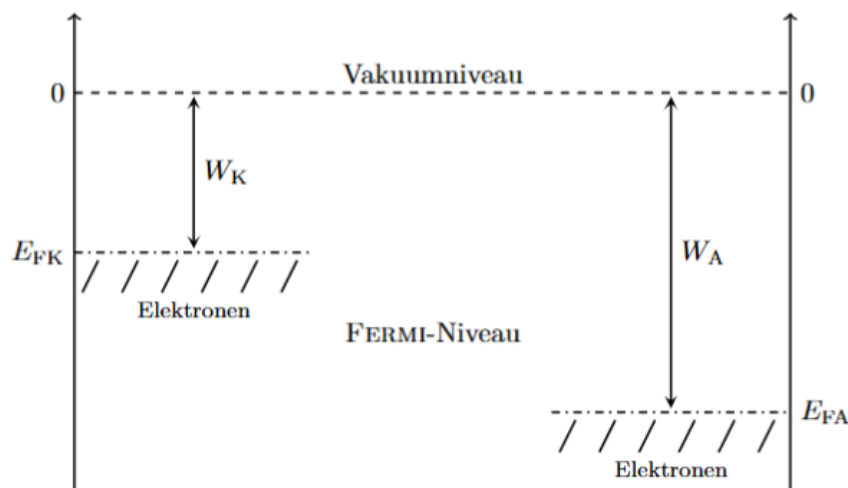


Abbildung 2.1.: Kontaktpotential $-eU_{KA}$ [1]

Abbildung 2.2.: Potential dass von der Gegenspannung $-eU_G$ induziert wird[1]Abbildung 2.3.: Fermi-niveaus von Kathode und Anode mit Austrittsarbeit W_A [1]

Wirkung Das Anodenmaterial weist eine höhere Austrittsarbeit auf als das Kathodenmaterial, wodurch beim Kontakt eine Potentialdifferenz zwischen ihren Fermi-niveaus entsteht. Diese Differenz verstärkt sich, wenn eine zusätzliche Gegenspannung zwischen Anode und Kathode angelegt wird.

Die durch das Licht herausgelösten Elektronen gewinnen entsprechend seiner Energie kinetische Energie und bewegen sich zur Anode, wodurch ein messbarer Strom entsteht. Die angelegte Gegenspannung verlangsamt die Elektronen und wird schrittweise erhöht, bis kein Photostrom mehr nachweisbar ist – also die Elektronen aus dem Anodenmaterial nicht mehr die Anode erreichen.

2.2. Aufbau

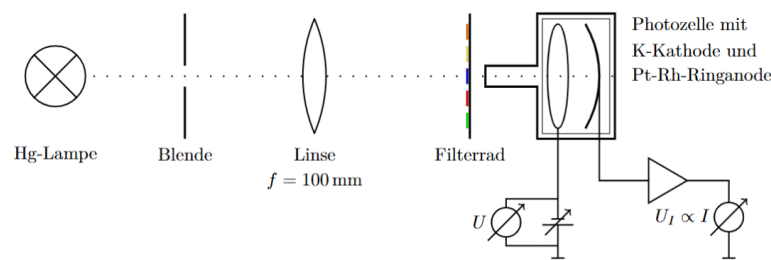


Abbildung 2.4.: Aufbau für die Messung des Photoeffektes [1]

Links ist die Hg-Lampe zu sehen, in der Mitte Optik-Elemente zum Fokussieren und Filtern des Lichtes und rechts ist die Photozelle mit Gegenspannung und Strommessung.

2.3. Durchführung

Die Quecksilber-Spektrallampe und die Photozelle werden gemäß Abbildung 2.4 gegenüberliegend auf dem Reiter angeordnet. Eine Irisblende vor der Lampe ermöglicht die Regulierung der Lichtintensität. Eine Linse mit einer Brennweite von $f=100$ mm wird in diesem Abstand vor die Blende positioniert, sodass sie das Licht parallel auf den nachfolgenden Interferenzfilter mit fünf Filtern sowie eine zusätzliche Blende lenkt.

Eine Abschirmvorrichtung mit einem röhrenförmigen Element verhindert Streulicht. Ein Lichtfleck wird gezielt auf die Kathode projiziert, ohne, dass die Anode beleuchtet wird. Der Anodenstrom wird über einen Messverstärker erfasst, während eine zum Strom proportionale Spannung mit einem Digitalmultimeter (DMM) gemessen wird. Die Gegenspannung stammt aus einem 12V-Gleichspannungsnetzteil, wobei der negative Pol mit der Anode verbunden ist, um die Elektronen abzubremesen. Diese Spannung wird mit einem weiteren DMM gemessen.

2.3.1. Energiebilanz der Photoelektronen

Laut der Abbildung der Fermi-niveaus 2.3 gilt für die Energiebilanz:

$$E = h\nu = W_K + eU_{KA} + eU_{G,0} = W_K + W_A - W_K + eU_{G,0} = W_A + eU_{G,0} \quad (2.1)$$

Aus der Frequenz des Lichtes können schließlich die Austrittsarbeit der Anode W_A und das Planck'sche Wirkungsquantum h bestimmt werden:

$$eU_{G,0} = h\nu - W_A \quad (2.2)$$

2.4. Abschätzung des Plankschen Wirkungsquantum und der Austrittsarbeit

2.4.1. Bestimmung der Grenzspannung U_0

2.4.2. Bestimmung von Plankschen Wirkungsquantum h

2.4.3. Bestimmung der Austrittsarbeit W_A

2.4.4. Vergleich der $\lambda =$ Kennlinie für unterschiedliche Intensitäten

3. Die Balmer-Serie

3.1. Grundlagen

3.1.1. Bohrsche Atommodell

Im Bohrschen Atommodell bewegen sich die Elektronen auf bestimmten Kreisbahnen. Diese Kreisbahnen sind ein ganzzahliges Vielfaches der De Broglie Wellenlänge. Wegen dem Kräftegleichgewichts zwischen Coulombkraft und Zentripetalkraft ergeben sich für die Radien der Kreisbahnen der Elektronen:

$$r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi \mu Z e^2} = \frac{n^2}{Z} a_0 \quad (3.1)$$

Wobei h das Plancksche Wirkungsquantum, μ die reduzierte Masse des Elektrons, Z die Ladungsmenge, e die Elementarladung, $n \in \mathbf{N}$, a_0 der Bohrsche Radius ist.

3.1.2. Balmer-Serie

Elektronen können ihre Bahn wechseln, indem sie Energie in Form elektromagnetischer Wellen mit der Frequenz ν absorbieren oder emittieren, wobei ihre Energie durch $E = h\nu$ bestimmt wird. Die Lichtfrequenz während der Anregung oder Abregung eines Elektrons von einem Energieniveau zu einem Niveau folgt dem Zusammenhang:

$$\nu = R_\infty c Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (3.2)$$

Dadurch wird die Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen mit Quantenzahlen n und m gegeben. Wobei R_∞ der Rydberg-Konstante entspricht.

Für ein Wasserstoffatom gilt $Z = 1$ und mit $n = 2$ und $m > 2$ und man erhält die Balmer-Serie an Frequenzen die beobachtet werden und welche im sichtbaren Bereich sind.

3.1.3. Quantenmechanische Betrachtung der Balmer-Serie

3.1.4. Isotopieaufspaltung

Ein Isotop von Wasserstoff ist Deuterium: sein Kern besteht aus einem Proton und einem extra Neutron. Bei der Rydberg-Konstante muss dies berücksichtigt werden. Daraus folgt eine Verschiebung der Energie des emittierten Lichtstrahls. Bei diesen Kernen weist sich der relative Massenunterschied besonders groß auf, wodurch die Verschiebung besonders deutlich sichtbar ist.

3.1.5. Natürliche Linienbreite und Linienverbreiterungen

3.1.6. Reflexionsgitter

Funktionsweise

Auflösevermögen

3.2. Aufbau

3.3. Durchführung

3.4. Bestimmung der Gitterkonstanten

3.5. Bestimmung der Balmerlinien

3.5.1. Bestimmung der Isotopieaufspaltung

Ermittlung des Peakschwerpunktes

Ermittlung der Halbwertsbreite

3.5.2. Bestimmung der Rydberg-Konstante und des Plankschen Wirkungsquantum

Rydberg-Konstante

Planksche Wirkungsquantum

3.6. Weitergehende Überlegungen

3.6.1. Möglicher Ursprung der anderen auftretenden Spektrallinien

3.6.2. Doppler-Verbreitung

3.6.3. Auflösungsvermögen des Gitters

4. Fazit

5. Formeln: To be deleted at the end

Spannungsteiler

$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{\text{ges}} \quad (5.1)$$

mit U als Spannung am Widerstand R_2 , R_1 und R_2 als Widerstände und U_{ges} als Gesamtspannung.

Energieerhaltung

$$h f = E_{\text{kin}} + W_A, \quad E_{\text{kin}} = e U_G \quad (5.2)$$

mit h dem Planckschen Wirkungsquantum, f der Photonfrequenz, e der Elementarladung, U_G der Gegenspannung und W_A der Austrittsarbeit.

Fehlerfortpflanzung I

$$\Delta(\sqrt{I - I_0}) = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{2\sqrt{I - I_0}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0}{2\sqrt{I - I_0}}\right)^2}. \quad (5.3)$$

Beugungsgitter

$$g(\sin \theta_m + \sin \beta) = m \lambda \quad \Rightarrow \quad g = \frac{m \lambda}{\sin \theta_m + \sin \beta} \quad (5.4)$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \beta} \Delta \beta\right)^2}. \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial g}{\partial \theta_m} = \frac{m \lambda \cos \theta_m}{(\sin \theta_m + \sin \beta)^2}, \quad \frac{\partial g}{\partial \beta} = \frac{m \lambda \cos \beta}{(\sin \theta_m + \sin \beta)^2}. \quad (5.6)$$

Mittelwert der Gitterkonstante

$$\bar{g} = \frac{\sum_{i=1}^N (g_i / \Delta g_i)}{\sum_{i=1}^N (1 / \Delta g_i)}, \quad \Delta \bar{g} = \sqrt{\frac{N}{\sum_{i=1}^N 1 / (\Delta g_i)^2}}. \quad (5.7)$$

Isotopenverhältnis

$$\lambda = g(\sin \theta_m + \sin \beta), \quad \frac{\partial \lambda}{\partial \beta} = g \cos \beta, \quad \Delta \beta \approx \frac{d}{f}. \quad (5.8)$$

Fehlerfortpflanzung II

$$\Delta \lambda = \sqrt{\left(\frac{\lambda}{g} \Delta g\right)^2 + \left(g \cos \alpha \Delta \alpha\right)^2 + \left(g \cos \beta \Delta \beta\right)^2}. \quad (5.9)$$

$$\Delta(\Delta \lambda) = \sqrt{\left(\frac{d \cos \beta}{f} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{-d \sin \beta}{f g} \Delta \beta\right)^2 + \left(\frac{g \cos \beta}{f} \Delta d\right)^2}. \quad (5.10)$$

Balmer-Formel

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (5.11)$$

$$R_H = \frac{1/\lambda}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)}, \quad \Delta R_H = \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)}. \quad (5.12)$$

Plancksches Wirkungsquantum

$$h = \left(\frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 c R_H} \right)^{1/3}, \quad \Delta h = \frac{1}{3} \left(\frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 c} \right)^{1/3} R_H^{-4/3} \Delta R_H. \quad (5.13)$$

Literatur

- [1] *Physikalisches Praktikum Teil IV:*
Atome, Moleküle, Festkörper. 15. Apr. 2025. Uni Bonn.

Abbildungsverzeichnis

2.1. Kontaktpotential $-eU_{KA}$ [1]	2
2.2. Potential dass von der Gegenspannung $-eU_G$ induziert wird[1]	3
2.3. Fermi-niveaus von Kathode und Anode mit Austrittsarbeit W_A [1]	3
2.4. Aufbau für die Messung des Photoeffektes [1]	4

Tabellenverzeichnis

A. Anhang