



Physikalisches Praktikum II

Bachelor Physikalische Technik: Lasertechnik
Prof. Dr. H.-Ch. Mertins, MSc. M. Gilbert

A02 Photoeffekt

(Pr_PhII_A02_Photoeffekt_7, 24.10.2015)

Name	Matr. Nr.	Gruppe	Team
1.			
2.			
Protokoll ist ok	<input type="radio"/>	Datum	Abtestat
Folgende Korrekturen nötig	<input type="radio"/>		

Hinweis

Lesen Sie die Versuchsanleitung (inkl. Versuchsdurchführung & Auswertung!) gründlich durch und machen sich mit den Begrifflichkeiten vertraut. Die Teilnahme am Praktikum erfordert das erfolgreiche Beantworten der Zulassungsfragen am Versuchstag (siehe Anleitung) oder alternativ eine kurze Vorstellung eines Themengebietes an der Tafel.

1. Ziel

Der Photoeffekt behandelt die Wechselwirkung von Licht mit Festkörpern. Er war der erste Effekt, der den Teilchencharakter des Lichtes (Photonen) messbar machte. Einstein gab 1905 die quantenmechanische Deutung und bekam dafür 1921 den Nobelpreis. Auf diesem Effekt basieren heute die wichtigsten Messmethoden zur Bestimmung der elektronischen Struktur von Festkörpern, Oberflächen, Halbleiterkontakten oder Molekülen.

In diesem Praktikum sollen Sie diesen Effekt sowie die entsprechenden Messtechniken kennenlernen.

2 Theorie**2.1 Quantenmechanische Deutung**

Beleuchtet man eine Metalloberfläche mit Licht ausreichend hoher Energie (kurzer Wellenlänge), so treten freie Elektronen aus dem Metall aus, die eine bestimmte kinetische Energie E_{kin} besitzen. Die entscheidenden Beobachtungen, welche durch das Wellenmodell des Lichtes *nicht* erklärt werden konnten, sind folgende:

- das Licht muss eine Mindestfrequenz f_{min} besitzen um Elektronen auszulösen
- E_{kin} der Elektronen steigt linear mit der Frequenz f des Lichtes: $E_{\text{kin}} \sim (f - f_{\text{min}})$
- E_{kin} der Elektronen hängt *nicht* von der Lichtintensität ab

Zur Deutung benutzte Einstein die 1900 von Max Planck formulierte Quantenhypothese:

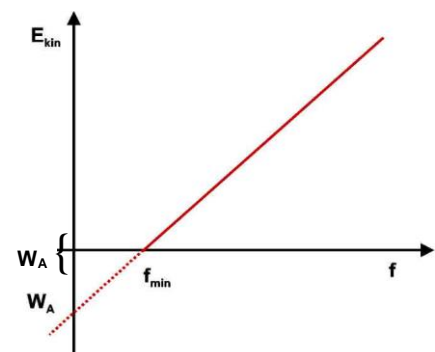
„Monochromatisches Licht der Frequenz f tritt bei Absorptions- und Emissionsvorgängen nur in Energiequanten der Größe $E = hf$ auf (h : Plancksches Wirkungsquantum)“

Licht wird nun nicht als Welle, sondern als Teilchen (Photon) beschrieben, wobei seine Energie $E = hf$ von der Frequenz abhängt. Trifft das Photon auf die Metalloberfläche, so kann es nach der Quantenhypothese seine Energie nur als ganzes Paket (Quantum) abgeben, oder gar nicht. Eine teilweise Abgabe ist nicht möglich. Ein im Metall gebundenes Elektron nimmt diese Energie auf und kann aus dem Material „herausgerissen“ werden. Dazu ist die „Austrittsarbeit“ W_A nötig. Die restliche Photonenenergie wird dem Elektron als kinetische Energie übertragen. Damit lautet die Energiebilanz:

$$(1) \quad E_{\text{kin}} = hf - W_A$$

Elektronen können ausgelöst werden wenn $E_{\text{kin}} \geq 0$; Es muß gelten

$$(2) \quad hf \geq W_A = hf_{\text{min}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}$$



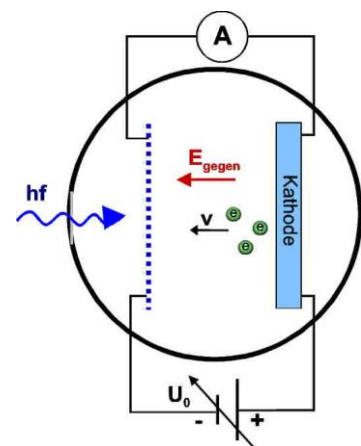
Damit ist Punkt a) der Beobachtung erklärt. Die Deutung von Beobachtung b) folgt aus Gleichung 1. Beobachtung c) ist eine direkte Folge des Teilchencharakters des Lichtes im Photoeffekt (Planck's Quantenhypothese). Würde Licht hier wie eine Welle wirken, so müsste mit wachsender Intensität durch das wirkende elektrische Feld die Elektronen zu immer stärkeren Schwingungen angeregt werden, bis sie „abreißen“. Dies wird aber nicht beobachtet. Mit wachsender Intensität wächst nur die Zahl der freien Elektronen (sofern $hf \geq hf_{\min}$), nicht aber die Energie der Elektronen. Im Teilchenmodell ist die Lichtintensität durch den Phonenstrom gegeben, genauer durch (Photonenenergie \times Photonenzahl) pro Zeit und beleuchteter Fläche.

Die Energie W_A ist nötig um ein Elektron aus dem Material herauszulösen. Dies sind meist äußere Elektronen, die an der chemischen Bindung der Atome im Festkörper beteiligt sind. Da die Bindung des Festkörpers materialspezifisch ist, gilt dies auch für W_A . Typische Werte sind, mit $\lambda_{\max} = c/f_{\min}$:

Metall	W_A/eV	λ_{\max} /nm	
Caesium	1,94	639	rot
Kalium	2,25	551	gelb
Wolfram	4,57	271	UV

2.2 Messverfahren

Ziel der Messung ist die Bestimmung einer Naturkonstanten, des Planckschen Wirkungsquantums h . Hierzu muss die kinetische Energie der Elektronen als Funktion der Lichtfrequenz (Wellenlänge) ermittelt werden. Als Lichtquelle nutzen wir die Spektrallinien einer Cd-Hg-Lampe (siehe Praktikum Atomspektren). Die Lichtfrequenz (Wellenlänge) wird mittels Monochromator eingestellt. Der experimentelle Aufbau besteht aus einer evakuierten Röhre, die eine mit Kalium beschichtete Photokathode besitzt. Aus dieser werden die Elektronen durch Bestrahlung ausgelöst. Sie bewegen sich auf ein gegenüber liegendes Metallgitter zu und können über ein Ampere-meter zur Katode zurück fließen. Der Strom ergibt die Zahl der ausgelösten Elektronen. Wichtiger ist aber für uns die kinetische Energie dieser Elektronen, welche über die Gegenfeldmethode gemessen wird. Dazu wird eine regelbare Spannung U_0 zwischen Gitter und Katode, mit negativem Potenzial am Gitter, angelegt. Damit können nur solche Elektronen das Gegenfeld überwinden und das Gitter erreichen, deren kinetische Energie größer als die potenzielle Energie eU_0 ist. Zur Messung der kinetischen Energie regeln wir daher die Gegenspannung U_0 so weit hoch, bis der Strom erlischt. Genau dann gilt



$$(3) \quad E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = eU_0$$

Diese „Nullmessung“ führen wir für verschiedene Frequenzen durch, so dass wir daraus die Gerade aus Gl. 1 auftragen und h sowie W_A bestimmen können.

2.3 Anwendung

Bei dem Photoeffekt werden die Elektronen aus dem Material herausgelöst, sind also frei beweglich und können im Vakuum beschleunigt werden. Dies wird u.a. in Elektronenkanonen (z.B. im Fernseher) angewendet. Bei einem Photomultiplier wird durch Hintereinanderschalten mehrerer Kathoden Verstärkung erzielt. Ein einzelnes Photon kann somit eine Lawine von Elektronen auslösen. Damit ist es möglich einzelne Photonen zu messen, d.h. zu zählen (Photon counting).

Fragen Zulassung

- Was ist der Photoeffekt?
- Was ist die Austrittsarbeit?
- Skizzieren Sie den experimentellen Aufbau zum Photoeffekt!
- Wie ist eine Spektrallampe aufgebaut?

3. Durchführung

- 3.1 Notieren Sie die Spektrallinien der Cd-Hg Spektrallampe (s. Zettel beim Versuchsaufbau!). Fertigen Sie für den Monochromator eine einfache Kalibrierkurve an. Dazu nehmen Sie eine Tabelle zur Ermittlung der eingestellten Wellenlängen aus der Drehposition des Stellrades auf. Hinweis: Die Skalierung des Stellrades geht von 0-200. Überlegen Sie sich eine sinnvolle Einteilung.
- 3.2 Machen Sie sich mit der Messmethode vertraut. Beleuchten Sie die Kathode mit blauem Licht und messen Sie den Strom ohne Gegenfeld ($U_0 = 0$). Regeln Sie U_0 langsam hoch, bis der Strom auf $I = 0$ absinkt.

Für die exakte Messung reicht es nicht, nur eine einzige Gegenspannung U_0 bei einer definierten Frequenz (Spektrallinie, also Lichtfarbe) zu messen, da eine Spannung $U \gg U_0$ ebenfalls $I = 0$ ergeben würde. Vielmehr müssen pro Frequenz mehrere $I(U)$ -Werte aufgenommen werden. Aus den Nullstellen der so aufgenommenen Messkurven, ergeben sich die wirklichen Gegenspannungen U_0 .

- 3.3 Setzen Sie die Gegenspannung auf $U_0 = 0$. Stellen Sie am Monochromator die (schwache) rote Spektrallinie ein. Verstellen Sie den Monochromator langsam hin zu blau, den kleineren Wellenlängen (größeren Energien). Achten Sie dabei auf den Strom. Steigt dieser an, so haben Sie eine der intensiven Spektrallinien der Lampe „gefunden“. Optimieren Sie diese Monochromatorposition, indem Sie den Strom maximieren. Notieren Sie die Wellenlänge λ der Linie.
- 3.4 Nehmen Sie für diese Wellenlänge 5 Werte der $I(U_0)$ -Kurve auf. Beginnen Sie mit $U_0 = 0$ und regeln Sie die Spannung hoch, bis $I = 0$ ist. Nehmen Sie zusätzlich noch zwei Wertepaare für $I < 0$ auf.
Regeln Sie anschließend die Gegenspannung auf $U_0 = 0$ zurück.
- 3.5 Vermessen Sie die anderen 7 Wellenlängen der Cd-Hg-Lampe, indem Sie für diese Spektrallinien - vorgehen wie wie in 3.3 & 3.4.

4. Auswertung

- 4.1 Bestimmen Sie für die Messreihen $I(U_0)$ die jeweiligen Nullstellen mit Hilfe der Ausgleichsparabel $I(U_0) = A_0 + A_1U_0 + A_2U_0^2$.
- 4.2 Berechnen Sie aus den Daten (Gegenspannungen an den Nullstellen) die Energie E_{kin} und stellen Sie $E_{\text{kin}}(f)$ graphisch dar (in Einheiten von eV). Tragen Sie die Fehlerbalken ein.
- 4.3 Bestimmen Sie aus der Geraden f_{min} , W_A und das Plancksche Wirkungsquantum h . Machen Sie die Fehlerrechnung und vergleichen Sie mit Literaturwerten.