

Die Planck-Konstante und der Photoeffekt

Ziel des Experiments

Das Ziel dieses Experiments besteht in der Feststellung der Planck-Konstante durch die Benutzung des Photoeffekts.

Die Theorie des Experiments

Neben der Hohlraumstrahlung gibt es noch eine Reihe anderer Erscheinungen, die mit Hilfe der Wellenvorstellung der Strahlung nicht verständlich sind, die aber durch die Quantentheorie ohne weiteres gedeutet und verstanden werden können.

Zu diesen Erscheinungen gehört der lichtelektrische Effekt. Er besteht darin, dass Metalloberflächen, bei Bestrahlung mit kurzwelligem Lichte, Elektronen abgeben, die das Metall mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit bzw. kinetischen Energie verlassen. Voraussetzung für die Auslösung des lichtelektrischen Effektes ist, daß das Licht eine genügend kurze Wellenlänge hat. Die Wellenlänge, bei welcher der lichtelektrische Effekt gerade einsetzt, bezeichnet man als die Grenzwellenlänge. Sie ist für die einzelnen Metalle sehr verschieden und hängt auch von deren Reinheitsgrad und der Beschaffenheit der Metalloberfläche ab. Ein Metall zeigt den lichtelektrischen Effekt bei allen Wellenlängen, die kleiner als die Grenzwellenlänge sind.

Der lichtelektrische Effekt zeigt nun zwei wichtige Eigenschaften, die von Lenard entdeckt worden sind (1902):

1. Die Anzahl der beim lichtelektrischen Effekt ausgelösten Elektronen ist der Intensität des auffallenden Lichtes proportional.
2. Die Geschwindigkeit bzw. die Energie der ausgelösten Elektronen ist von der Intensität des auffallenden Lichtes unabhängig und hängt nur von der Frequenz des Lichtes ab.

Bei geringer Lichtintensität werden nur wenige Elektronen ausgelöst, doch ist die Geschwindigkeit dieser Elektronen nicht anders als bei den Elektronen, die bei intensiver Bestrahlung mit Licht gleicher Frequenz ausgelöst werden; ändert man dagegen die Art des Lichtes, so ändert sich auch die Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen.

Diese Eigenschaften des lichtelektrischen Effektes lassen sich durch das Wellenmodell des Lichtes nicht verständlich machen. Es handelt sich bei diesem Vorgang um eine Umwandlung von Strahlungsenergie in Bewegungsenergie der Elektronen, die in der Weise erfolgt, dass von der Strahlungsenergie zunächst ein Teil dazu verwendet wird, um das Elektron aus der Metalloberfläche herauszulösen, und dass der verbleibende Rest dem Elektron als Bewegungsenergie mitgegeben wird. Aus der Wellenvorstellung des Lichtes müssten wir schließen, dass die aus dem Metall ausgelösten Elektronen um so weniger Energie erhalten, je geringer die Intensität des Lichtes ist, ebenso wie vom Winde abgerissene Blätter mit um so weniger Energie fortgetragen werden, je schwächer der Wind ist. Beim lichtelektrischen Effekt können aber die stärksten Lichtintensitäten keine schnelleren Elektronen erzeugen als schwaches Licht der gleichen Wellenlänge. Man könnte diese Erscheinung vom Standpunkt der Wellenvorstellung nur verstehen, wenn die einzelnen Elektronen vor ihrem Austritt erst so lange Energie aus der Lichtwelle sammeln, bis ein gewisser Betrag erreicht ist. Das Experiment zeigt aber, dass auch bei sehr geringen Lichtintensitäten sofort bei Beginn der Belichtung Elektronen ausgelöst werden, wenn die Wellenlänge des Lichtes kürzer als die Grenzwellenlänge ist. Damit sind wir zu dem zwingenden Erkenntnis gekommen, dass der lichtelektrische Effekt mit der Wellenvorstellung des Lichtes nicht in Einklang zu bringen ist. Dagegen gelang Einstein eine Erklärung des lichtelektrischen Effektes durch Einführung des Quantenmodells des Lichtes (1905).

a) Äußerer Photoeffekt

Gemäß Einstein treffen beim lichtelektrischen Effekt Lichtquanten auf das Metall und es kommt zu einer Wechselwirkung zwischen diesen Lichtquanten und den Elektronen in dem Metall, wobei jedes Lichtquant seine Energie an ein einziges Elektron abgibt, da Energiequanten gemäß Planck nicht in noch kleinere Energiebeträge zerlegt werden können. Wenn die Energie $h\nu$ des Lichtquants genügend groß ist, so kann diese Energie auf ein Elektron übertragen werden, der mit der Geschwindigkeit v aus dem Metall austreten wird. Es gilt die Gleichung:

$$h\nu = A + \frac{1}{2}m_e v^2 \quad (1)$$

wobei das zweite Glied der rechten Seite die kinetische Energie des Elektrons darstellt. Die Auslösearbeit A dient dazu, die Energie, mit der die Elektronen im Metall rückgehalten werden, zu überwinden.

Die kinetische Energie des ausgelösten Elektrons ist daher

$$E_k = h\nu - A \quad (2)$$

Die Gesetze des lichtelektrischen Effektes ergeben sich jetzt ohne Schwierigkeiten:

1. Das Quant muss eine Energie haben, die mindestens zur Verrichtung der Auslösearbeit ausreicht, d. h. das Licht muss eine genügend kleine Wellenlänge haben.

2. Jedes Quant löst ein Elektron aus, so daß die Zahl der ausgelösten Elektronen gleich der Zahl der auftreffenden Lichtquanten ist; sie ist also der Lichtintensität proportional.

3. Da die kinetische Energie der abgetrennten Elektronen gleich der Differenz aus der Energie der Lichtquanten und der Austrittsarbeit ist, hängt sie nur von der Energie des Lichtquants, d. h. von der Wellenlänge des Lichtes, ab; die Zahl der Lichtquanten ist für die Energie der abgetrennten Elektronen bedeutungslos.

Der lichtelektrische Effekt ermöglicht auch eine experimentelle Bestimmung des Planck - Wirkungsquantums h . Man verwendet hierzu eine Photozelle, die man mit Licht verschiedener Frequenzen bestrahlt. Die kinetische Energie der ausgelösten Elektronen kann man bestimmen, indem man ein Gegenfeld anlegt, das gerade ausreicht, um die Elektronen abzubremesen, so daß sie die Anode nicht mehr erreichen können. Wenn sich für dieses Gegenfeld bei den eingestrahnten Lichtfrequenzen ν_1 und ν_2 , die Spannungen U_1 und U_2 ergeben, so ist

$$eU_1 = h\nu_1 - A \text{ und } eU_2 = h\nu_2 - A \quad (3)$$

$$e(U_1 - U_2) = h(\nu_1 - \nu_2) \quad (4)$$

$$\frac{h}{e} = \frac{U_1 - U_2}{\nu_1 - \nu_2} \quad (5)$$

Auf diese Weise hat Millikan, durch Messungen mit Licht verschiedener Frequenzen, das Planck - Wirkungsquantum experimentell ermittelt.

Die Experimentelle Vorrichtung

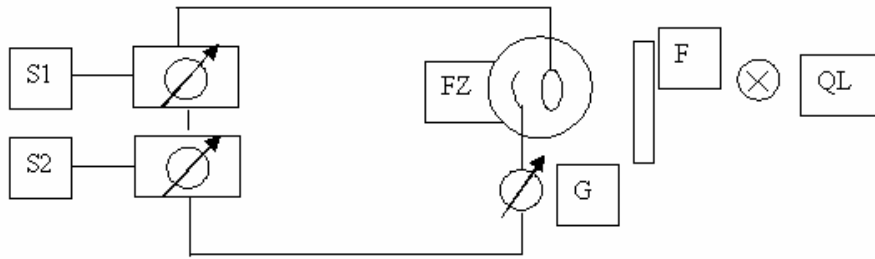


Fig.1 Die experimentelle Vorrichtung

Die experimentelle Vorrichtung, deren Entwurf in Fig.1 dargestellt wird, enthält:

- Eine Lampe (QL) die Quecksilberdämpfe enthält und als Strahlungsquelle benutzt ist.
- Eine photoelektrische Zelle (FZ) mit Vakuum, die in einem dunklen Kasten gelegt ist; so wird sie nicht durch andere Strahlungen als die gewünschten, beeinflusst.
- 3 "einfarbige" Filter (F), die das von der Lampe (QL) ausgestrahltes Licht mit bestimmten Wellenlängestrahungen (λ) vorwählt - angegeben in der experimentellen Datentabelle.
- Ein stabilisierter Spannungsversorger (S1), mit dessen Hilfe die Schwärzungsspannung ausgeglichen wird.
- Ein variabler Spannungsversorger (S2), der das bremsende Potential auf der Anode der photoelektrischen Zelle (FZ) speichert.
- Ein Galvanometer für die Messung der Bremsspannung der Photoelektronen.

Die Arbeitsweise

1. Man bringt die Lampe (QL) und die Spannungsversorger (S1), (S2) am 220 V Wechselstromnetz an.

2. Obgleich die photoelektrische Zelle mit schwarzem Papier umfasset wird, erscheint ein elektrischer Strom (Schwärzungsstrom) im Galvanometer also eine Spannung. Diese muss mit Hilfe des stabilisierten Spannungsversorgers (S1) ausgeglichen werden. Man richtet die Spannung an den Spannungsversorger (S1) so ein, dass das Galvanometer auf das Null stimmt.

3. Man hebt die Kappe des Kastens, der die photoelektrische Zelle enthält, leicht auf, und man legt den A Filter in dem Weg des ausgestrahlten Lichts. Man entfernt das schwarze Papier, das die Fotozelle schützt, und setzt die Kappe zurück.

4. VORSICHT! Das Licht, das durch die Quecksilberlampe ausgestrahlt ist, darf nicht direkt auf die Zelle, sondern nur durch einen Filter fallen.

5. Man verwendet den Spannungsversorger (S2) für die Erhaltung einer veränderlichen Bremsespannung U_B auf der Zelle. Für jeden Wert der Bremsespannung zeigt der Galvanometer eine Spannung U_G an, die zur Intensität des Photostroms proportional ist.

6. Man wiederholt die Messungen für die anderen zwei Filter.

7. Die Spannungen U_G werden in eine Tabelle eingesetzt, wie folgt:

U_B (V) Filter	0.25	0.50	0.75	...
A				
B				
C				

Die Bearbeitung der Experimentaldaten

1. Man zeichnet auf Millimeterpapier die drei Spannungen U_G als Funktion der Bremsespannung U_B für jeden Filter. Die drei für jeden Filter gezeichneten Punkte bestimmen eine Gerade.

2. Man extrapoliert die drei Geraden, bis sie die Ordinate durchschneiden, und so erhalten wir die Bremsespannungen U_{B_0} für den Galvanometernullstrom.

3. Die experimentellen Daten werden in Tabelle eingesetzt:

Filter	λ (Å)	$\nu \cdot 10^{14}$ (Hz)	U_{B_0} (V)
A. Blau	4360	6,88	
B. Grün	5460	5,49	
C. Gelb	5770	5,20	

4. Man stellt auf Millimeterpapier die Bremsespannungen U_{B_0} , als Funktion der Frequenz, der Strahlung dar. Man erhält eine Gerade.

5. Man berechnet die Steigung der Gerade, $\frac{\Delta U}{\Delta \nu}$ und gleicht sie mit h/e aus, wie in Gleichung (5). So erhalten wir die Planck-Konstante. ($e = 1,610^{-19} C$)

Der Wert der Laborarbeit und seiner Anwendungen

Die wichtigsten Anwendungen des photoelektrischen Effektes sind: photoelektrische Zellen, photoelektrische Lautsprecherempfänger, Foto – Kopierer u.a.. In einer theoretischen Weise leitet der photoelektrische Effekt, zusammen mit anderem Phänomen, zu Ausarbeitung der Quantentheorie des Lichtes.

Fragen

1. Was verstehen Sie durch Grenzwellenlänge?
2. Worin besteht der photoelektrische Effekt?
3. Welche ist die Maßeinheit der Planck-Konstante?
4. Drücken Sie die Ausziehungsarbeit A aus der Gleichung (1) in eV aus.