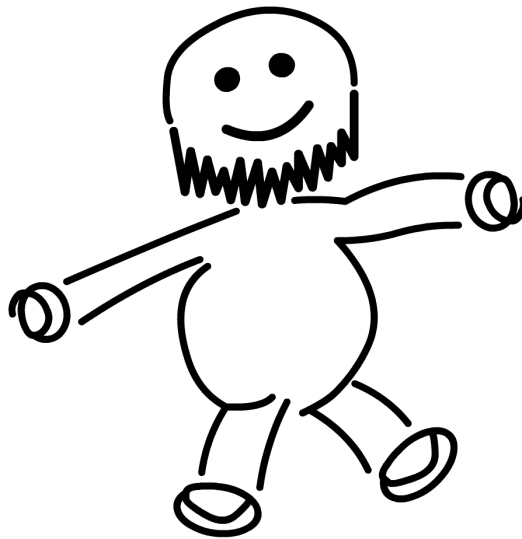


Demonstrationspraktikum für Lehramtskandidaten

Versuch Q1

Äußerer Photoeffekt

Sommersemester 2006



Name:	Daniel Scholz
Mitarbeiter:	Steffen Ravekes
E-Mail:	daniel@mehr-davon.de
Gruppe:	4
Durchgeführt am:	27. Juni 2006
Protokoll abgeben:	4. Juli 2006
Protokoll verbessert:	–

Testiert: _____

1 Einleitung

Dieser Versuch ist als eine Einführung in die Quantenmechanik zu verstehen. Der zentrale Anlass ist die Untersuchung des Photoeffektes. Dabei werden die Begriffe der Austrittsarbeit und der Planck Konstanten benötigt.

Der Hallwachseffekt verdeutlicht den Schülern sehr schön, dass Licht als Energieträger ausreicht, um Elektronen aus ihrer metallischen Bindung zu lösen.

2 Theorie

2.1 Der Hallwachseffekt

Bestrahlt man eine gegen ihre Umgebung negativ aufgeladene isolierte Metallplatte mit hochenergetischem Licht, so stellt man fest, dass die Ladung auf der Platte abnimmt (Hallwachs 1895).

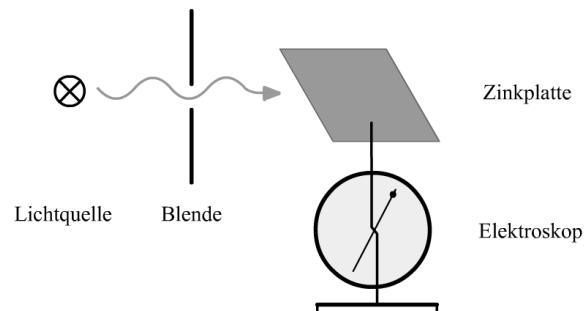


Abbildung 1: Aufbau zum Nachweis des Hallwachseffektes.

Die Metallplatte muss vor dem Versuch abgeschmirgelt werden, da sonst die Oxydschicht den Effekt verhindern könnte. Bei dem Versuch, dies mit einer positiv geladenen Platte auch zu erreichen, erkannte Hallwachs, dass dies nicht möglich ist. Heute wissen wir, dass nur die Elektronen aus dem Material herausgelöst werden können.

Es müssen also Elektronen die Platte verlassen. Diese durch Licht induzierte Elektronenemission kann quantitativ mit einer Photozelle gemessen werden, die wir unter Abschnitt 2.3 noch ausführlich besprechen werden.

2.2 Einstein Gleichung

Quantitative Messungen zum Hallwachseffekt lieferten folgende Ergebnisse:

- (1) Die kinetische Energie $\frac{1}{2}mv^2$ der Photoelektronen ist nur von der Frequenz ν des Lichtes, nicht aber von der Intensität abhängig.
- (2) Die Zahl der Photoelektronen ist proportional zur Lichtintensität.
- (3) Zwischen Lichteinfall und Elektronenaustritt ist keine Verzögerung zu messen.

Diese experimentellen Ergebnisse konnte Einstein 1905 auch theoretisch nachweisen: Jedes absorbierte Photon gibt seine Energie $h \cdot \nu$ vollständig an ein Photoelektron ab. Für die maximale kinetische Energie des Photoelektrons folgt dann nach dem Energiesatz die **Einstein Gleichung**

$$E_{\text{kin}}^{\text{max}} = h \cdot \nu - W.$$

Dabei ist W die **Austrittsarbeit** des Kathodenmaterials, h die Planck Konstante und ν wie üblich die Frequenz. Die Austrittsarbeit W ist diejenige Energie, die man aufwenden muss, um das Elektron gegen die Kräfte, die es im Metall binden, aus dem Metall ins Vakuum zu bringen.

2.3 Die Photozelle

Die Photozelle besteht aus einer Kathode und einer Anode. Hierbei ist die Kathode aus einem Metall, welches eine möglichst geringe Austrittsarbeit hat. Lässt man nun Licht in die Photozelle einfallen, so löst das Licht, wenn es denn eine genügend hohe Frequenz hat, Elektronen aus der Kathode, welche dann auch zum Teil zur Anode gelangen und in dieser dann eine Spannung in Bezug zur Kathode erzeugen. Hierbei muss, um eine charakteristische Spannung zu erhalten, die Anode an einem großen Widerstand (Messverstärker) liegen, damit die gesammelten Elektronen in der Anode nicht schnell abfließen können. Wenn sich eine Spannung aufgebaut hat und die ausgelösten Elektronen in Richtung der Anode fliegen, müssen sie gegen die negative Spannung der Anode Arbeit verrichten. Daraus ergibt sich eine Sättigungsspannung, die genau dann erreicht ist, wenn die benötigte elektrische Energie der *Gegenspannung* gleich der kinetischen Energie der Elektronen ist.

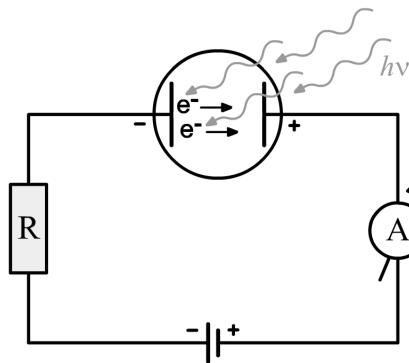


Abbildung 2: Aufbau einer Photozelle mit Gegenspannung.

Durch die Beschleunigung in der Photozelle bei einer Spannung von U haben die Photoelektronen eine maximale kinetische Energie von $E_{\text{kin}}^{\text{max}} = e \cdot U$. Zusammen mit der Einstein Gleichung folgt

$$-e \cdot U = h \cdot \nu - W.$$

Trägt man daher $-e \cdot U$ gegen die Photonenenergie $h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$ auf, so erhält man aus der Steigung der Geraden $U(\nu)$ die Planck Konstante h und aus dem Achsenabschnitt die Austrittsarbeit W . Ziel wird es sein, genau diese beiden Größen experimentell zu messen.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Elektroskop und Hallwachseffekt

Zunächst wird der Hallwachseffekt mit einer Metallplatte auf einem Elektroskop zum einen in Abhängigkeit von den Ladungsträgern auf dem Elektroskop nachvollzogen und anschließend in Abhängigkeit vom Abstand und vom Blendendurchmesser beobachtet. Der Aufbau hierzu ist Abbildung 1 zu entnehmen.

3.2 Bestimmung von Planck Konstanten und Austrittsarbeit

Im zweiten Versuchsabschnitt wird Licht mit drei speziellen Frequenzen jeweils mittels eines Frequenzfilters erstellt und durch eine Blende auf eine Photozelle gestrahlt. Anschließend wird die Spannung an der Photozelle für jede der drei Frequenzen gemessen. Der Aufbau hierzu ist Abbildung 3 zu entnehmen.

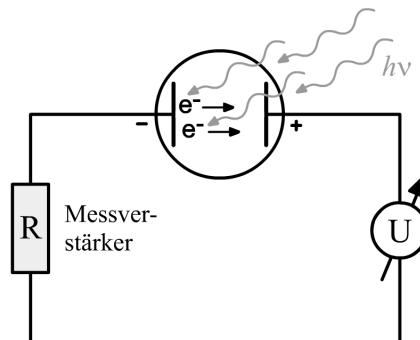


Abbildung 3: Aufbau einer Photozelle.

4 Auswertung

4.1 Elektroskop und Hallwachseffekt

Zunächst haben wir mittels Hardplastikstab und Wollschal bzw. Katzenfell Ladungen auf das Elektroskop gebracht. Diesen Vorgang haben wir mehrmals wiederholt, um einen ausreichend großen Zeigerausschlag zu erhalten. Hierbei war bereits die Zinkplatte mit dem Elektroskop verbunden.

Nun haben wir mit einer Quecksilberdampfampe UV-Licht auf die Zinkplatte geben und konnten beobachten, dass die zuvor konstante Ladung abnimmt. Damit konnten wir den Hallwachseffekt nachweisen.

Es war auch zu beobachten, dass die Ladung auf der Zinkplatte entsprechend langsamer abnimmt, wenn wir die Lichtquelle weiter von ihr entfernen. Dieser Effekt kann auch durch das Verändern des Blendendurchmessers erzielt werden, jeweils wurde die Intensität der Lichtstrahlen verändert.

4.2 Bestimmung von Planck Konstanten und Austrittsarbeit

Ausgehend von der Einstein Gleichung

$$e \cdot U = h \cdot \nu - W$$

wollen wir nun die Planck Konstante h und die Austrittsarbeit W des Photokathodenmaterials bestimmen. Es gilt

$$U = \frac{h}{e} \cdot \nu - \frac{W}{e}. \quad (1)$$

Wir haben für drei verschiedene Werte von ν die Spannung U gemessen.

Wellenlänge λ in nm	Frequenz ν in Hz	gemessene Spannung U in V
435	$6.89 \cdot 10^{14}$	$0.93 V$
546	$5.49 \cdot 10^{14}$	$0.3 V$
576	$5.20 \cdot 10^{14}$	$0.1 V$

Tabelle 1: Die drei Wellenlängen bzw. Frequenzen und gemessene Spannung.

Dies können wir nun auftragen und erwarten einen linearen Zusammenhang. Führen wir dazu eine lineare Regression durch, so können wir aus dem y -Achsenabschnitt W/e die Austrittsarbeit W und aus der Steigung h/e die Planck Konstante h bestimmen.

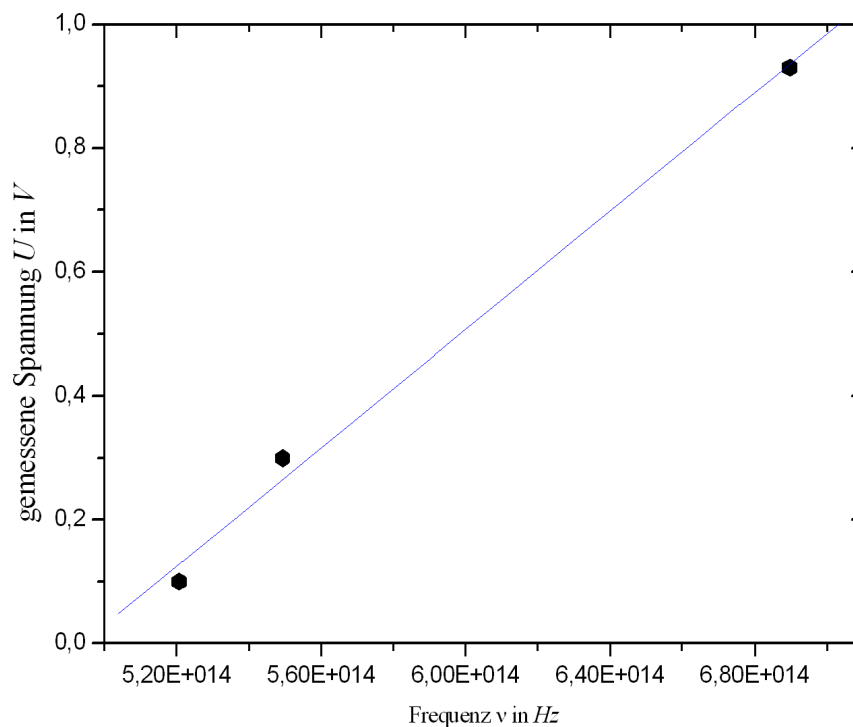


Abbildung 4: Zur Bestimmung von h und W .

Wir erhalten einen y -Achsenabschnitt von $b = -2.362 \pm 0.209$, somit ergibt sich nach Gleichung (1) die Austrittsarbeit

$$W = - (2.362 \pm 0.209) eV.$$

Als Steigung erhielten wir $m = (4.781 \pm 0.354) \cdot 10^{-15}$. Diesen Wert müssen wir nach Gleichung (1) mit der Elementarladung $e = 1.602 \cdot 10^{-19} C$ multiplizieren, um die Planck Konstante h zu erhalten. Wir erhielten den Wert

$$(7.610 \pm 0.865) \cdot 10^{-34} Js.$$

Der Literaturwert¹ liegt bei

$$6.626 \cdot 10^{-34} Js.$$

5 Diskussion und didaktische Einordnung

Insgesamt ist dies ein schöner Versuch gewesen, der jedoch nicht ganz einfach zu justieren ist. Etwas Erfahrung ist nötig, um mit den Schulgeräten richtig umgehen zu können. So musste die Photozelle etwas gedreht werden, um bessere Ergebnisse zu erzielen, so etwas konnten wir natürlich nicht wissen. Mit dem experimentellen Ergebnis der Planck Konstanten sind wir daher trotz einer Abweichung von ca. 16 % recht zufrieden.

Der zweite Versuchsteil kann auch wie in Abbildung 2 dargestellt mittels Gegenspannung vorgeführt werden, jedoch ist der Aufbau hierzu recht kompliziert und für die Schule daher vielleicht etwas zu aufwendig.

5.1 Didaktische Einordnung

Der Ladungsbegriff sowie Ladungen auf einem Elektroskop werden bereits in der Sekundarstufe I eingeführt. Hier sind auch die Experimente mit Elektroskop sowie Stab und Katzenfell wieder zu finden. Der Photoeffekt wird natürlich erst in der Oberstufe gelehrt und auch dort vor allem im Leistungskurs.

Im gesamten Versuch wird jedoch sehr schön deutlich, dass Licht – als Photonen betrachtet – Elektronen aus Metallen herauslösen kann. Dies zeigt deutlich den Grundeffekt dieses Unterrichtsthemas und ist in diesem Zusammenhang sehr wichtig. Aufbauend auf den Erkenntnissen des Hallwachseffektes schließt sich mit der Photozelle eine recht einfache Messung der Planck Konstanten an, die auf jeden Fall auch in der Schule gut durchführbar ist.

¹ Nach W. Demtröder: Experimentalphysik 2. Springer Verlag Berlin, 3. Auflage, 2004