

Protokoll zum
physikalischen Anfängerpraktikum
h-Bestimmung mittels Photoeffekt

Jan Korger (561543), Physik Diplom, 2. Fachsemester
Thomas Lauermann (547863), Physik Diplom, 2. Fachsemester

durchgeführt am 07.06.2004

1 Einleitung

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entdeckten Heinrich Hertz und Wilhelm Hallwachs die Tatsache, dass negativ geladene Metallplatten bei Bestrahlung mit Licht ihre Ladung abgeben. Sie machten dabei die Beobachtung, dass dieses nur mit Licht einer Mindestfrequenz – jedoch unabhängig der Intensität – möglich war, was sich mit der klassischen Optik nicht mehr erklären ließ. Eine schlüssige Erklärung wurde erst 1905 durch Albert Einstein vorgestellt. Er schlug vor, Licht als Strom masseloser Teilchen mit diskreter Energie, genannt Photonen oder Lichtquanten, zu beschreiben. Ist nun die Energie eines solchen Teilchens groß genug, um die Elektronen aus dem Metallgitter zu lösen, lässt sich die Entladung beobachten.

Man stellt fest, dass die Energie dieser Photonen unabhängig von der Lichtintensität und proportional der Frequenz ist:

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

Die Proportionalitätskonstante h nennt man Planck'sches Wirkungsquantum. Ziel unseres Versuches ist, diese Konstante zu bestimmen.

2 Theorie

2.1 Photoemission

Bestrahlt man eine sogenannte Photokathode mit Licht einer bestimmten Wellenlänge λ absorbieren die Elektronen in der Kathode die Energie hf der einfallenden Photonen. Ist diese groß genug, um die metallspezifische Ablösearbeit zu überwinden, so verlassen sie das Metall, was zu einer positiven Aufladung führt. Nach dem Verlassen der Kathode haben die Elektronen eine kinetische Restenergie, die maximal der Energie der Photonen abzüglich der aufgewendeten Ablösearbeit entspricht:

$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - W_A \quad (2)$$

Ziel des Versuches ist es, diese kinetische Energie in Abhängigkeit der Frequenz zu bestimmen und daraus auf den Proportionalitätsfaktor h zu schließen.

2.2 Gegenspannungsmethode

Da die kinetische Energie der Elektronen nach dem Verlassen der Kathode schwer zu ermitteln ist, bestimmt man diese Energie durch Anlegen einer geeigneten Gegenspannung zwischen Anode und Kathode, so dass Elektronen im entgegengesetzt gerichteten elektrischen Feld Arbeit verrichten müssen (Energie verlieren). Man wählt die Spannung so, dass die energiereichsten Elektronen die Anode gerade nicht mehr erreichen, ihre ganze Energie im E-Feld verlieren.

Dadurch ergibt sich für die Energie der schnellsten Elektronen die einfache Formel:

$$E_{\text{kin}} = U_{\text{gegen}} \cdot e \quad (3)$$

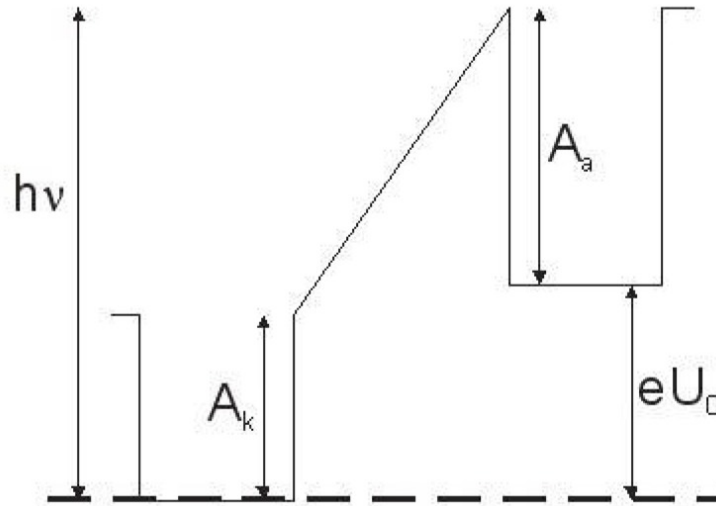
Um diese Spannung zu ermitteln misst man den Strom zwischen Anode und Kathode und erhöht die Gegenspannung so lange, bis der Strom gerade 0 wird.

2.3 Ablösearbeit

Als Ablösearbeit der Kathode bezeichnet man die Energie, die notwendig ist, um überhaupt Elektronen aus der Kathode herauslösen zu können. In unserem Versuch spielt, anders als oft vermutet, die Ablösearbeit der Kathode keine Rolle, da mit einer Gegenspannung gearbeitet wird. Man beobachtet tatsächlich die Ablösearbeit der Anode.

Mathematisch lässt sich das wie folgt begründen.

$$\begin{aligned}
 U(f) \cdot e &= E_{\text{kin}} - U_{\text{Kontakt}} \cdot e \\
 &= (h \cdot f - W_{A,\text{Kathode}}) - (W_{A,\text{Anode}} - W_{A,\text{Kathode}}) \\
 &= h \cdot f - W_{A,\text{Anode}}
 \end{aligned}$$



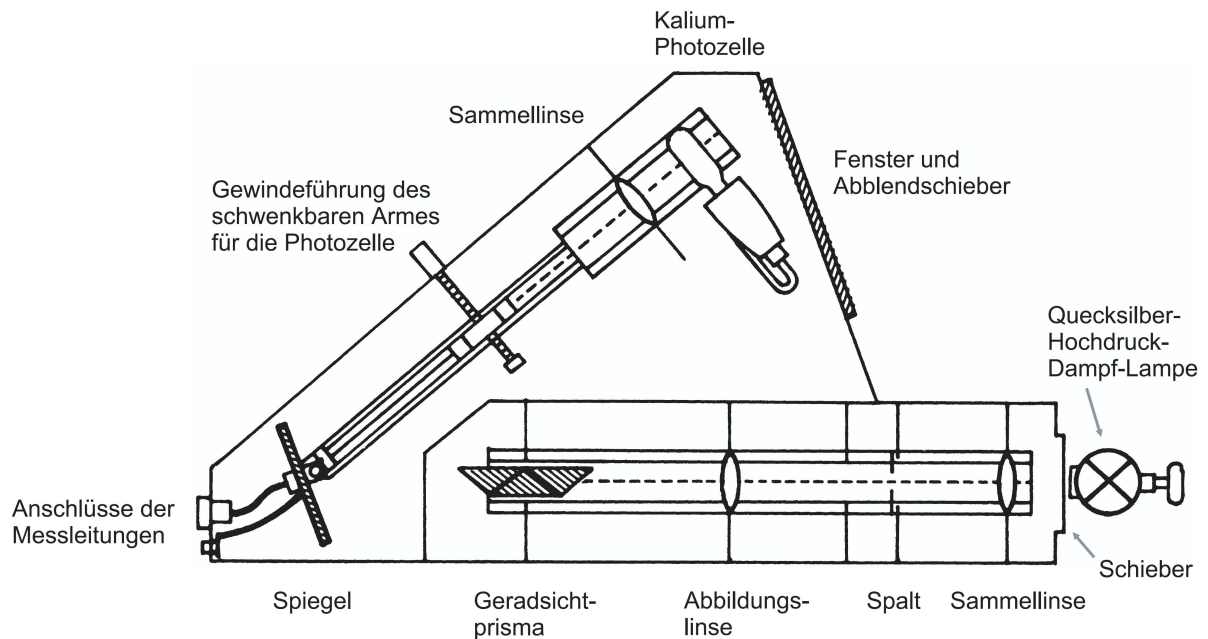
An diesem Bild sieht man, dass die Elektronen Arbeit gegen die Gegenspannung und das Anoden-Potential leisten müssen.

3 Experiment

3.1 Durchführung

Wir leiteten das Licht einer Hg-Hochdruckdampfampe durch ein Geradsichtprisma, um es in seine 5 Spektrallinien zu zerlegen. Mit Hilfe eines Spaltes und Linsen wurde jeweils eine der Spektrallinien auf die Photozelle fokussiert (Vergleiche Abbildung).

Die Apparatur wurde lichtdicht verschlossen. Nach Kalibrieren des Strommessers wurde der Beleuchtungsspalt geöffnet und mit einem Amperemeter mit Messverstärker der Photostrom gemessen und die Gegenspannung von einer Batterie mit Spannungsteiler so weit hochgefahren bis der Strom gerade Null wurde. Der angezeigte Wert für die Gegenspannung wurde notiert, die Gegenspannung heruntergefahren und die Messung zweimal wiederholt.



Schematischer Aufbau der verwendeten Apparatur.

3.2 Messdaten

Spektrallinie	Wellenlänge in nm	Frequenz in THz	Gegenspannung in V		
			1. Mess	2. Mess	3. Mess
gelb	578	519	0.377	0.378	0.374
grün	546	549	0.457	0.454	0.456
türkis	493	608	0.575	0.530	0.519
blau	436	688	0.809	0.820	0.825
violett	405	741	0.921	0.918	0.924

Bei der Auswertung vernachlässigen wir die Werte für die türkisfarbene Spektrallinie, da hier der Photostrom so gering war, dass wir annehmen müssen, dass die Messung hier nicht hinreichend exakt ist.

3.3 Auswertung

Auf Grund theoretischer Überlegungen erwarten wir einen linearen Zusammenhang zwischen U und f . Wir bestimmen deshalb eine Ausgleichsgerade der Form:

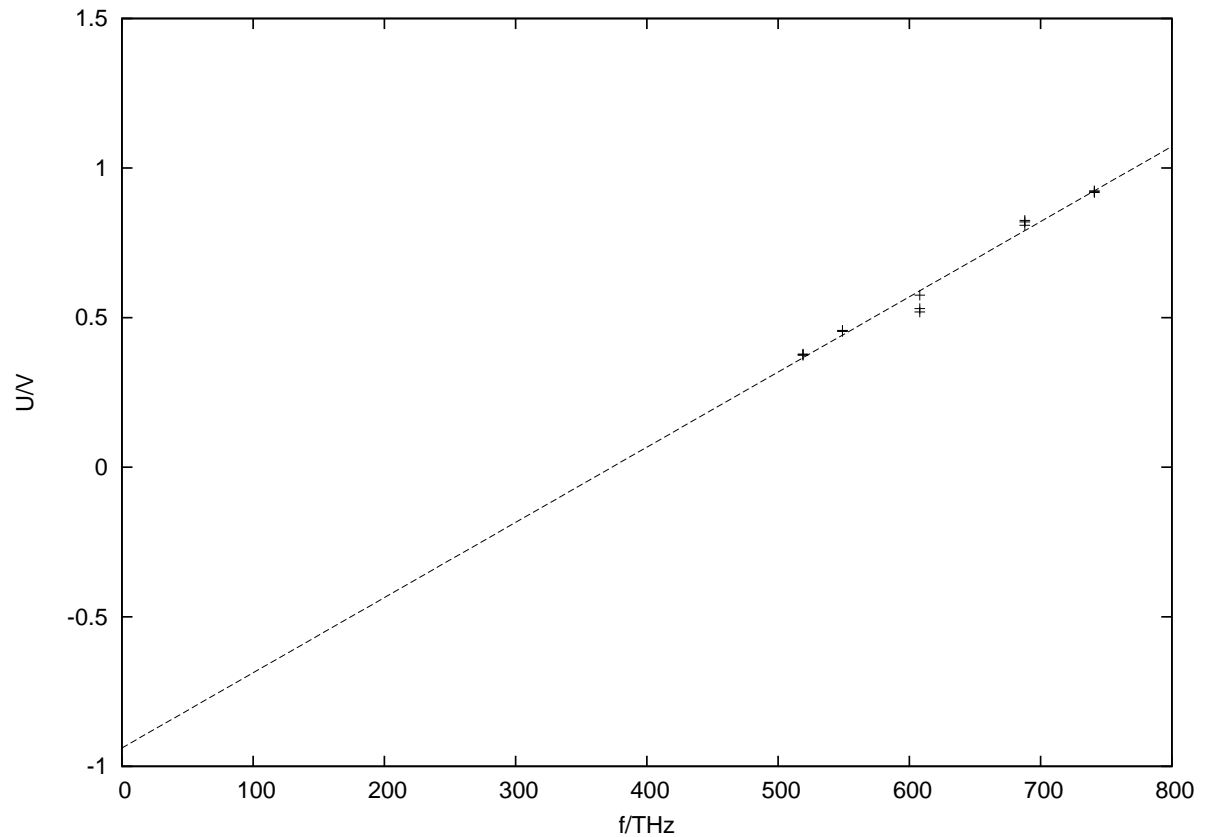
$$y = ax + b \quad (4)$$

mit der Geradensteigung

$$a = \frac{N \cdot (\sum x_i y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{N \cdot (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} = 0.00251384 \frac{\text{V}}{\text{THz}} \pm 3.768\% \quad (5)$$

und dem y-Achsenabschnitt:

$$b = \frac{(\sum x_i^2) (\sum y_i) - (\sum x_i) (\sum x_i y_i)}{N \cdot (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} = -0.938631 \text{ V} \pm 6.323\% \quad (6)$$



Die Grafik zeigt die gemessenen Spannungswerte in Abhängigkeit der Frequenz inklusive der oben bestimmten Ausgleichsgeraden.

Aus der Geradensteigung a ermittelt man nun die Proportionalitätskonstante h wie folgt:

$$h = e \cdot a = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2.51384 \cdot 10^{-15} \text{ V/Hz} \approx 4.028 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (7)$$

Die statistische Unsicherheit von 3.77% bleibt erhalten, da e sehr genau bekannt ist.

3.4 Fehlerdiskussion

Der Literaturwert von h beträgt $6.6260755 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$. Der von uns ermittelte Wert weicht hiervon um 39% ab. Dieser Fehler ergibt sich aus einer Reihe von systematischen Fehlerquellen:

- Strommessung: Da bei sehr geringen Strömen gemessen wurde, hängt die Genauigkeit entscheidend von der Kalibrierung des Messverstärkers und der Abschirmung gegen störende äußere Einflüsse ab.
- Es ist anzunehmen, dass sich mit der Zeit auf der Anode ein Kaliumbelag gebildet hat. Dies beeinflusst den Photostrom. Dieser Effekt lässt sich durch gelegentliches Ausheizen der Anode minimieren.
- Die optischen Flächen sind nicht sauber, so dass auch bei der Messung der niederfrequenten Spektrallinien hochfrequentes Streulicht auf die Photozelle trifft, was zu einer flacheren Geradensteigung führt.
- Die Messung hängt auch von der Qualität der Photozelle ab, da sich Kriechströme selten vollständig vermeiden lassen.

4 Fragen

4.1 Erklären Sie, welche Rolle bei den in diesem Versuch durchgeführten Messungen mit einer Photozelle die Austrittsarbeiten der Kathode und der Anode jeweils spielen.

Wie schon im Theorieteil erwähnt spielt in unserem Versuch nur die Austrittsarbeit der Anode eine Rolle.

4.2 Welche Bedeutung hat der Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden im $U(f)$ -Diagramm?

Multipliziert man den U -Achsenabschnitt mit e , so erhält man die Ablösearbeit der Anode, die sich nicht ohne weiteres theoretisch bestimmen lässt.

4.3 Nennen Sie andere Methoden zur Bestimmung der Planck'schen Konstanten h

Grundsätzlich sind alle Methoden geeignet, bei der die Quantisierung des Lichtes eine Rolle spielt: Dazu zählt, zum Beispiel, der Compton-Effekt, mit dem sich der Impuls eines Photons bestimmen lässt oder man misst die Wellenlänge von Photonen die aus Emissionsvorgängen mit bekannter Energiedifferenz resultieren. Ebenfalls kann man h mit Hilfe des Röntgenbremsspektrums ermitteln, indem man die kleinste Wellenlänge mit der Energie der eingestrahlten Elektronen vergleicht, quasi als Umkehrung des Fotoeffektes.

4.4 Haben alle durch Photoeffekt aus einem Metall herausgelösten Elektronen die gleiche kinetische Energie?

Nein, da bei einem Stoßvorgang zwischen Elektron und Photon nicht zwangsläufig die gesamte Energie des Photons auf das Elektron übertragen wird.

4.5 Wie groß ist der Impuls eines Photons?

Definiert man den Impuls als Energie pro Geschwindigkeit, so erhält man für das Photon:

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (8)$$