

Technische Universität Dresden  
Fachrichtung Physik

Doz. Dr. G. Försterling  
bearbeitet 03/ 2004

Physikalisches Praktikum

Versuch: HB

# HB

## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	2
2	Allgemeine Grundlagen	2
3	Versuchsdurchführung	3
4	Fragen	3

## 1 Aufgabenstellung

Bestimmung des PLANCKschen Wirkungsquantums und der Ablösearbeit für das Anodenmaterial einer Photozelle mit Hilfe des äußeren lichtelektrischen Effekts.

## 2 Allgemeine Grundlagen

Träger der Stromleitung in Metallen sind frei bewegliche Elektronen (Elektronengas) im Gitter der positiv geladenen Atomrümpfe. Die Wechselwirkung zwischen den Gitterionen und dem Elektronengas ist in erster Näherung zu vernachlässigen. Erst wenn ein Elektron aus dem Gitterverband herausgelöst werden soll, treten rückwirkende Kräfte auf. Sie können mit der Annahme einer "Spiegel-

ladung" symmetrisch zur Metalloberfläche (Ebene bei  $x = 0$ ) beschrieben werden ( $F \sim x^{-2}$ ). Daraus leitet sich das Potentialtopfmodell für die freien Elektronen des Metalls ab (vgl. Abb. 1).

Im inneren des Metalls haben die frei beweglichen Elektronen eine kinetische Energie  $E_{k,i}$ , die einen bestimmten Betrag, die FERMI-Energie  $E_F$  nicht überschreiten kann. Damit ist die Beweglichkeit der Elektronen im inneren des Metalls eingeschränkt.

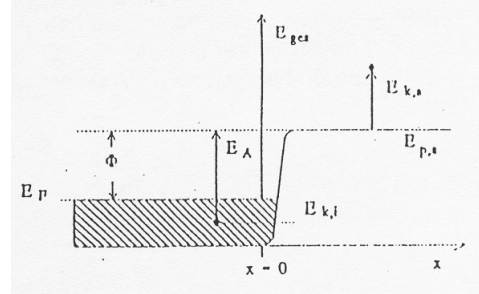


Abb. 1 Potentialtopfmodell der freien Elektronen im Metall

Soll ein Elektron aus dem Metall herausgelöst werden, so muss es nach Abb. 1 mindestens eine Energie  $E_A$  aufnehmen (z.B. durch Erhitzen des Metalls oder Bestrahlen seiner Oberfläche mit Licht), damit es den Rand des Potentialtopfes bei  $E_{p,a}$  erreichen kann. Für Leitungselektronen mit der Energie  $E_{k,i} = E_F$  hat diese Energie einen materialcharakteristischen Wert

$$E_A(E_{k,i} = E_F) = \Phi \quad (1)$$

die Austrittsarbeit  $\Phi$  oder mit  $\Phi/e = \phi$  die Austrittsspannung  $\phi$  (vgl. Tabelle 1).

Wird einem Elektron die Energie  $E > E_A$  zugeführt und verliert es auf dem Weg zur Metalloberfläche keine Energie (z.B. durch Wechselwirkung mit anderen Leitungselektronen oder den Atomrümpfen des Metallgitters), dann hat es im Außenraum die kinetische Energie

$$E_{k,a} = m_e \frac{v_a^2}{2} = E - E_A \quad (2)$$

Bestrahlt man die Metalloberfläche mit Photonen (Frequenz  $\nu$ ) der Energie

$$E = h \cdot \nu \quad (3)$$

( $h$ - PLANCKsches Wirkungsquantum), so werden aus der Metalloberfläche ( $10^{-9}m \dots 10^{-8}m$ ) Elektronen ausgelöst ("äußerer lichtelektrischer Effekt", W. Hallwach 1888). Die Geschwindigkeitsverteilung  $f(v_a)$  der Elektronen im Außenraum wird durch die Anregungswahrscheinlichkeit der Leitungselektronen durch die Photonen und die Wechselwirkung der Elektronen im Inneren des Metalls nur wenig gegenüber der Verteilung  $f(v_i)$  verändert (wenn man von der Anregung mit hochintensiver Strahlung, wie z.B. LASER-Licht, absieht). Man kann also davon ausgehen, dass auch im Außenraum eine obere Grenze der kinetischen Energie  $E_{a,max}$  entsprechend

$$E_{a,max} = m_e \frac{v_{a,max}^2}{2} = h \cdot \nu - \Phi \quad (4)$$

existiert.

### 3 Versuchsdurchführung

Die Bestimmung der maximalen kinetischen Energie  $E_{a,max}$  der durch Licht der Frequenz  $\nu$  aus der Metalloberfläche ausgelösten Elektronen erfolgt mit Hilfe einer Photozelle nach der "Bremsfeldmethode" (vgl. Abb. 2).

Das monochromatische Licht der Energie  $E > \Phi$  trifft auf die Oberfläche der Photokathode K und löst durch Photoelektronen mit einer Geschwindigkeitsverteilung  $f(v_a)$  aus. Die Photoelektronen verlassen die Metalloberfläche der Photokathode in alle Richtungen gleichverteilt. Im Vakuum der Photozelle verlieren sie keine Energie und so kann ein Teil der Photoelektronen zur Anode gelangen; es fließt ein Photostrom  $I_{Ph}$ . Legt man eine zunehmende Spannung so gerichtet zwischen Anode und Kathode

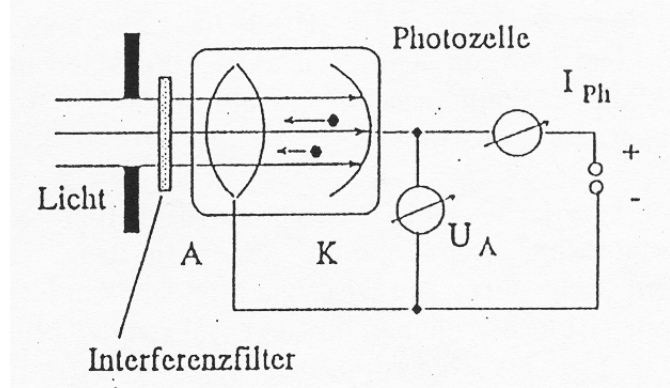


Abb 2. Bremsfeldmethode

an, dass die Bewegung dieser Elektronen durch das Feld gebremst wird (Gegenfeld), so erreichen bei einer Spannung  $U_A$  entsprechend ihrer Geschwindigkeitsverteilung  $f(v_a)$  immer weniger Photoelektronen die Anode, der Photostrom nimmt mit der Bremsspannung ab.

$$I_{Ph} = I_{Ph}(U_A) \quad (5)$$

Schließlich erreichen bei der Gegenspannung  $U_A^0$  (Grenzspannung) nur noch die Photoelektronen mit der Geschwindigkeit  $v_{a,max}$  die Anode. Für diese Elektronen gilt dann

$$U_A^0 = m_e \frac{v_{a,max}^2}{2 \cdot e} = -\frac{h \cdot \nu - \Phi}{e} = -\frac{h}{e} \cdot \nu - \varphi_K \quad (6)$$

( $\Phi_K$  – Ablösearbeit,  $\varphi_K$  – Ablösespannung des Kathodenmaterials.)

Bestimmt man diese Grenzspannung aus den experimentell ermittelten Abhängigkeiten des Photostroms von der Bremsspannung entsprechend Gleichung (5) für Licht verschiedener Frequenzen, so kann man aus dem Anstieg der Funktion in Gleichung (6) bei bekannter Elementarladung  $e$  die Größe des PLANCKSchen Wirkungsquantums  $h$  bestimmen.

Um möglichst wenig Elektronen zusätzlich aus dem Anodenmaterial auszulösen, bildet man die Anode als Ring aus, der möglichst nicht vom Licht getroffen wird und man wählt ein Material mit möglichst hoher Ablösespannung. Im Gegensatz zum Kathodenmaterial, das eine möglichst niedrige Ablösespannung haben soll. Das monochromatische Licht wird durch Interferenzfilter aus dem Licht einer Hg- Dampf- Hochdrucklampe herausgefiltert. Auf einem Filterwechsler stehen Filter für verschiedene Wellenlängen zur Verfügung.

Zur Messung des sehr kleinen Photostroms (Größenordnung  $10^{-9} A$ ) wird ein Meßverstärker verwendet. Die Versuchsanordnung und die Schaltung zur Einstellung der Bremsspannung und Messung des Photostroms sind in Abbildung (3) dargestellt.

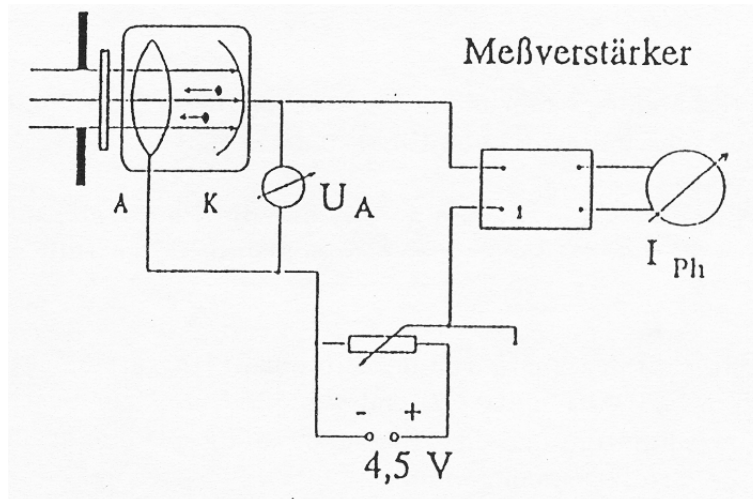


Abbildung 3: Schema der Versuchsanordnung

Metall	$\phi/V$
Wolfram	4,53
Molybdän	4,43
Silber	4,05
Kupfer	4,39
Cs- Film auf W	1,36
BaO- Paste	0,99

Tabelle 1: Ablösespannungen für verschiedene Metalle (nach GERTHSEN "Physik")

## 4 Fragen

1. Was ist der äußere lichtelektrische Effekt? Worin bestand die Schwierigkeit seiner Erklärung mit den Mitteln der klassischen Physik? Welche fundamentale Aussage der Quantentheorie führt zur Klärung des Sachverhalts
2. Welche Energie- (Geschwindigkeits-) Verteilung haben die Leitungselektronen im Metall bei  $T = 0K$ ? Wie wird sie durch die Temperatur beeinflusst? Welche Energieänderung liegt bei Raumtemperatur vor?
3. Erklären Sie andere experimentelle Methoden zur Messung der Energie (Geschwindigkeit) von Elektronen?
4. Welche Anforderungen müssen an das auf die Photozelle auftreffende Lichtbündel (außer Monochromasie) gestellt werden?
5. Machen sie sich das Verfahren der "linearen Regression" klar. ("Einführung..." Abschnitt 4.2) und wenden Sie es zur Bestimmung des Wirkungsquantum und der Ablösespannung aus den graphisch ermittelten Grenzspannungen an!
6. Erklären Sie die Wirkungsweise des Interferenzfilters!  
Welche anderen Möglichkeiten zur Erzeugung von monochromatischem Licht gibt es? Welche Kriterien könnte man für die "Güte der Monochromasie" angeben?
7. Wodurch könnte das experimentelle Ergebnis der Ablösearbeit beeinflusst werden?