

1. Theorie

Lässt man Licht auf eine Fotokathode auffallen, werden im Kathodenmaterial gebundene Elektronen aus der Kathode herausgeschlagen. Die Erklärung dieses Prozesses lieferte A. Einstein im Jahr 1905 und erhielt dafür 1921 den Physik-Nobelpreis. Danach verhält sich das Licht wie ein „Geschosshagel“ von elementaren Teilchen (Photonen genannt), die mit den Elektronen der Kathode wechselwirken – und zwar so, dass jedes wechselwirkende Photon seine Energie auf genau ein Elektron überträgt. Die Energie des Photons ist proportional zur Frequenz f des Lichts und gegeben durch hf , wobei h die Plancksche Konstante bezeichnet. Die Energie hf wird zum Teil dazu verwandt, die Austrittsarbeit W_K aufzubringen, mit der das Elektron im Kathodenmaterial gebunden ist. Den Rest erhält das Elektron als kinetische Energie W_{kin} . Die Energiebilanz lautet also

$$(1) \quad hf = W_K + W_{kin} .$$

Das heißt, eine Messung der kinetischen Energie oder der Geschwindigkeit der Elektronen für verschiedene Frequenzen des Lichts ergäbe einen linearen Zusammenhang zwischen W_{kin} und f , den man zur Bestimmung von h benutzen könnte. W_{kin} als Funktion von f aufgetragen ist eine Gerade mit der Steigung h und dem Achsenabschnitt $-W_K$. Im Experiment ist die physikalische Situation allerdings komplizierter. Einen Einblick in die Tücken des Experiments bietet z. B. die Anleitung zum Versuch „Fotoeffekt“ des physikalischen Anfängerpraktikums der Universität Heidelberg¹.

Das Problem ist die Messung von W_{kin} . In der Vakuum-Fotozelle steht der Fotokathode eine (ringförmige) Anode gegenüber, die selbst nicht belichtet wird. Die vom Licht in der Kathode ausgelösten Elektronen treffen die Anode und laden diese negativ auf, und zwar so lange, bis das elektrische Feld zwischen Kathode und Anode eine weitere Aufladung verhindert. Jetzt erreichen auch die schnellsten aus der Kathode austretenden Elektronen die Anode nicht mehr. Die kinetische Energie dieser Elektronen ist vollständig in potenzielle Energie umgewandelt worden. Das heißt, W_{kin} ist gleich der Potentialdifferenz U zwischen den beiden Elektroden multipliziert mit der Elementarladung e . Das Problem der Messung von W_{kin} verlagert sich damit auf das Problem, die Spannung U zwischen Kathode und Anode zu messen, – dazu sind tiefer greifende Überlegungen nötig.

In der Regel misst man die Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode mit einem geeigneten Spannungsmesser. Das Messgerät verbindet Kathode und Anode in einem Stromkreis, in dem verschiedene Metalle (Kathode, Anode und Messleitungen) in Kontakt miteinander kommen. Das führt zu einem neuen Problem: Die unterschiedlichen Elektronen-Austrittsarbeiten der Metalle erzeugen Kontaktspannungen, die zur Spannung U hinzutreten. Durch Messleitungen verursachte Kontaktspannungen entstehen am Anfang und Ende der Leitung und heben sich wegen der (hoffentlich) paarweise gleichen Metalle gegenseitig auf. Es bleibt die Kontaktspannung $U_{kontakt}$ zwischen Kathode und Anode der Fotozelle. Sie ist gleich der Differenz der Austrittspotenziale von Kathoden- und Anodenmaterial. Im vorliegenden Fall ist die Austrittsarbeit des Anodenmaterials größer als die des Kathodenmaterials. Dadurch fließen über das Messgerät Elektronen von der Kathode auf die Anode und heben deren Potenzial auch ohne Vorhandensein von Fotoelektronen um den Betrag $eU_{kontakt}$ an (Anhang). Es gilt also

$$(2) \quad eU_{kontakt} = W_A - W_K ,$$

wobei W_A die Austrittsarbeit des Anodenmaterials ist. Dieses Potenzial stellt sich den Fotoelektronen zusätzlich zum „selbstgemachten“ Potenzial eU in den Weg. Das heißt, ihre kinetische Energie wird auf dem Weg zur Anode durch die Summe beider Potenziale aufgezehrt:

$$(3) \quad W_{kin} = eU + eU_{kontakt}.$$

Gleichung (1) wird damit zu

$$(4) \quad \begin{aligned} hf &= W_K + eU + eU_{kontakt} \\ &= W_K + eU + (W_A - W_K) \\ &= eU + W_A \end{aligned}$$

Im Experiment wird, wie schon gesagt, die Spannung U in Abhängigkeit von der Frequenz f gemessen und zur Auswertung eU als Funktion von f aufgetragen. Gleichung (4) zeigt, dass die Messpunkte auch bei Berücksichtigung der Kontaktspannung auf einer Geraden mit der Steigung h liegen. Allerdings hat diese Gerade den Achsenabschnitt $-W_A$, im Gegensatz zu Gl. (1), in der dieser Abschnitt $-W_K$ ist.

Dass in Gl. (4) die Austrittsarbeit der *Anode* – und nicht die der Kathode – erscheint, entspricht nicht der intuitiven Vorstellung. Die Austrittsarbeit W_K der Kathode bestimmt jedoch, ab welcher Frequenz f überhaupt erst Fotoelektronen ausgelöst werden. Soll mit dem Experiment nur die Plancksche Konstante gemessen werden, kommt es auf den Achsenabschnitt der Geraden (f, eU) nicht an. Insofern kann man vertreten, wenn der Lehrer im Unterricht von Gl. (1) ausgeht und dort $W_{kin} = eU$ setzt, also schreibt

$$(5) \quad hf = W_K + eU$$

Er muss dann allerdings darauf hinweisen, dass die Austrittsarbeit der Kathode durch das Kontaktpotenzial zwischen Kathode und Anode der Fotozelle verändert wird. Im Übrigen wird das Experiment auch deswegen vorgeführt, weil es zeigt, dass die Spannung U nicht von der Intensität, sondern von der Frequenz des Lichts abhängt. Bei dieser Demonstration spielen Austrittsarbeiten und Kontaktpotenziale keine Rolle.

2. Messmethoden: Gegenfeld- und Auflademethode

Es gibt im Wesentlichen zwei Methoden, die Spannung U zu messen. Sie werden üblicherweise als *Gegenfeld-* und *Auflademethode* bezeichnet. Eine Spannung entsteht, wenn Ladungen getrennt werden. Im Fall der Fotozelle ist die Ladungsmenge, die durch den Fotoeffekt getrennt wird, verschwindend klein. Die zwischen Kathode und Anode entstandene Spannung kann man daher nur mit einem Gerät messen, das einen sehr großen Eingangswiderstand hat. Jedenfalls darf die Ladungsmenge nicht schneller abfließen als durch den Fotoeffekt nachgeliefert wird. Der Eingangswiderstand sollte von der Größenordnung $10 \text{ T}\Omega$ ($1 \text{ T}\Omega = 10^{12} \Omega$) sein.

Die *Gegenfeldmethode* kommt ohne ein Messgerät mit derart hohem Eingangswiderstand aus, erfordert aber die Messung des Fotostroms, das heißt des Stroms der Elektronen, die aus der Kathode herausgeschlagen werden und zur Anode fliegen. Dazu verbindet man Anode und Kathode der Fotozelle über einen mäßig großen Widerstand (etwa $1 \text{ M}\Omega$), so dass die beiden Elektroden praktisch kurzgeschlossen sind. Der Spannungsabfall über diesem Widerstand ist proportional zur Stärke des Fotostroms. Die am Widerstand auftretende Spannung wird verstärkt und angezeigt. Wegen der niederohmigen Verbindung von Kathode und Anode lädt sich die Anode jetzt nicht

mehr „von selbst“ auf die Spannung U auf, die den Fotostrom zum Erliegen bringt. Deshalb legt man die Anode durch eine externe Spannungsquelle „künstlich“ auf das Potenzial eU , das den Fotostrom zu Null macht (Minuspol der Spannungsquelle an die Anode, so dass die Fotoelektronen gegen diese anlaufen müssen). In der Praxis regelt man die Gegenspannung so lange hoch, bis kein Fotostrom mehr fließt. Im Übrigen stellt man fest, dass der Fotostrom beim Hochregeln der Gegenspannung nicht auf Null zurückgeht, sondern ein Minimum durchläuft und danach wieder ansteigt. Der Wiederanstieg rührt zum Teil daher, dass sich Kathodenmaterial an der Anode niederschlägt. Dadurch werden auch aus ihr (der Anode) Fotoelektronen herausgeschlagen – durch Streulicht, das in die Fotozelle eindringt. Restlos verstanden ist das Verhalten des Fotostroms jenseits des Minimums m. E. jedoch nicht. Das macht die exakte Bestimmung der Spannung U in Gl. (4) schwierig. In der Regel betrachtet man die Spannung im Minimum des Fotostroms als gute Näherung. Eine schematische Skizze der Messapparatur, die nach der Gegenfeldmethode arbeitet, zeigt Abbildung 1.

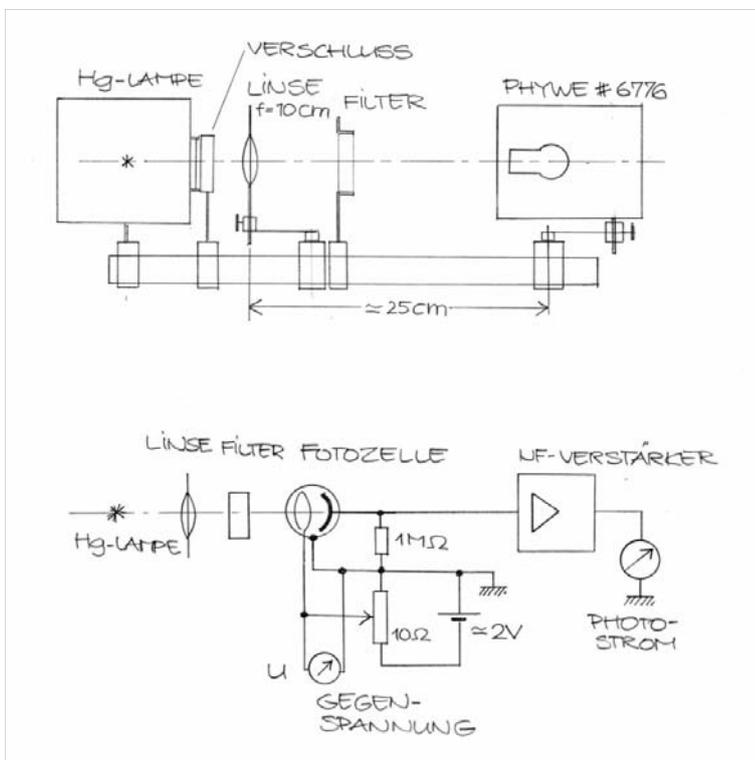


Abbildung 1 Messanordnung Gegenfeldmethode

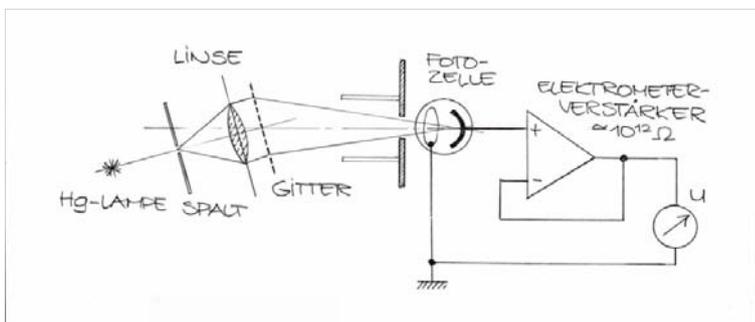


Abbildung 2 Messanordnung Auflademethode. Trennung der Linien des Quecksilbers durch ein optisches Gitter. Die Fotozelle wird um die Achse der Optik

geschwenkt, so dass sie vom Licht nur einer Spektrallinie getroffen wird. Schematische Skizze, nicht maßstäblich und winkelrichtig

Die *Auflademethode* setzt (Gleichspannungs-)Verstärker mit Eingangswiderständen im Bereich von 10 TΩ voraus. Es sind Operationsverstärker, die als Spannungsfolger geschaltet sind. Eine gängige Bezeichnung für sie ist *Elektrometerverstärker*. Mit diesen lässt sich die Spannung U , auf die sich die Anode bis zum Verschwinden des Fotostroms auflädt, direkt oder durch Spannungskompensation messen. Eine Prinzipskizze der Messanordnung (direkte Messung) zeigt Abbildung 2.

3. Messungen

3.1 Gegenfeldmethode

Es wurde die in Abbildung 1 skizzierte Messanordnung benutzt. Sie entspricht einer Apparatur der Lehrmittelindustrie (Phywe Nr. 6776) mit einer Quecksilberdampfampe (Hg-Lampe, Phywe Nr. 8147, Höchstdrucklampe HBO 200) als Lichtquelle. Gemessen wurde bei den Frequenzen 519, 556 und 682 THz, die den Quecksilberlinien bei 578 (gelb), 540 (grün) und 440 nm (blau) entsprechen. Diese Linien lassen sich durch Interferenzfilter (Phywe Nr. 8461) aus dem Spektrum herausfiltern. Da die Hg-Lampe mit Netz-Wechselstrom (50 Hz) betrieben wurde, war die Intensität des Lichts mit 100 Hz moduliert. Dem entsprechend enthielt auch der Fotostrom einen Wechselstromanteil.

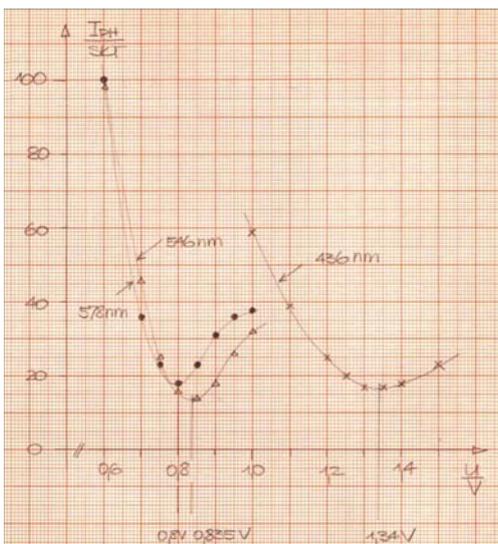


Abbildung 3 Fotoeffekt, Gegenfeldmethode. Fotostrom in Abhängigkeit von der Gegenspannung. Die Spannungen im Minimum des Fotostroms entsprechen dem Potenzial, gegen das Elektronen mit maximaler Energie gerade nicht mehr anlaufen können.

Der wurde in einem *NF*-Verstärker (Phywe Nr. 7540) verstärkt und angezeigt. Laut Herstellerangabe wird durch die Wechselstromverstärkung der Streulichteinfluss unterdrückt, so dass der Versuch in einem nicht abgedunkelten Raum vorgeführt werden kann.

Abbildung 3 zeigt Fotostromkurven, die in der beschriebenen Anordnung gemessen wurden. Der Fotostrom zeigt Minima bei $U = 0,80$ V (578 nm), $0,835$ V (540 nm) und $1,34$ V (440 nm). Diese Spannungen sind in Abbildung 4, wie in der Versuchsanleitung der Fa. Phywe beschrieben, als Funktion der Frequenz f aufgetragen. Die Messpunkte sollten gemäß Gl. (4) auf der Geraden

$$(6) \quad U = \frac{h}{e} f - W_A$$

liegen. Eine nach der Methode der kleinsten Quadrate angepasste Ausgleichsgerade ergibt als

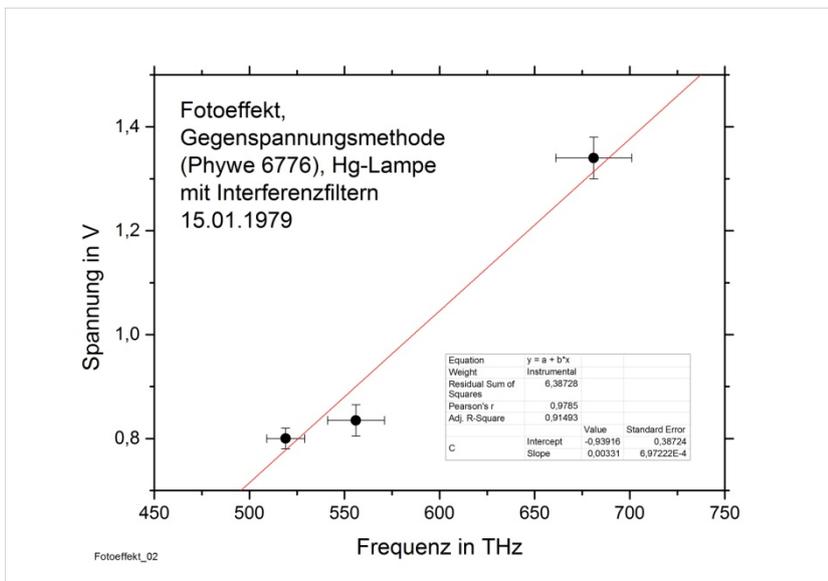


Abbildung 4 Fotoeffekt, Messungen nach der Gegenfeldmethode. Aufgetragen ist die Spannung im Minimum des Fotostroms in Abhängigkeit von der Frequenz des einfallenden Lichts

Steigung $h/e = (3,31 \pm 0,70) \cdot 10^{-15}$ Vs und damit $h = (5,30 \pm 1,12) \cdot 10^{-34}$ Js. Dieser Wert ist in der Tat auch bei Berücksichtigung der Fehlergrenzen verschieden vom Literaturwert $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js. Tabelle 1 zeigt weitere mit Hilfe der Gegenspannungsmethode gemessenen Werte von h . Die Fehler

Tabelle 1 Messungen nach der Gegenfeldmethode, mit Phywe-Fotozelle (Nr. 6776), Hg-Lampe und Interferenzfiltern 578 ± 12 nm, 540 ± 15 nm und 440 ± 13 nm (519 ± 10 THz, 556 ± 15 THz und 681 ± 20 THz).

Nr.	Datum	h / Js
1	04.12.1978	$(5,60 \pm 0,90) \cdot 10^{-34}$
2	15.01.1979	$(5,30 \pm 1,12) \cdot 10^{-34}$
3	24.04.1979	$(6,10 \pm 0,35) \cdot 10^{-34}$
4	19.10.1979	$(5,12 \pm 1,44) \cdot 10^{-34}$
5	20.11.1981	$(5,82 \pm 0,91) \cdot 10^{-34}$
	Mittelwert	$(5,93 \pm 0,81) \cdot 10^{-34}$

wurden nach den üblichen Methoden der Fehlerrechnung (siehe z. B. Walcher²) aus der Streuung der Messpunkte um die Ausgleichsgerade gewonnen. Im ungünstigsten Fall ergab sich ein Fehler von 28 % (Messung 19.10.1979). Die Werte selbst sind alle systematisch kleiner als der Literaturwert ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Js). Erklären kann ich diese Abweichung nicht.

3.2 Auflademethode

Auch bei den Versuchen, die von der Auflademethode Gebrauch machten, wurde eine Quecksilberdampf Lampe als Lichtquelle benutzt. Sie beleuchtete einen Spalt, der mit Hilfe einer Sammellinse auf die Fotozelle abgebildet wurde. Das Hg-Spektrum wurde mit Hilfe eines optischen Gitters oder mit einem Geradsichtprisma in seine Linien zerlegt – die Fotozelle entsprechend seitlich versetzt, so dass sie immer nur vom Licht einer einzigen Linie getroffen wurde (Abbildung 2). Als Fotozelle diente ein Gerät der Fa. Neva (Nr. 6791-1088), in dessen Gehäuse sich außer der Zelle auch der Elektrometerverstärker befand. Vor der kreisförmigen Öffnung, hinter der sich die

Fotозelle befand, war ein etwa 6 cm langes Rohr angebracht, um seitlich einfallendes Streulicht zu unterdrücken. Da die Kathode der Zelle aus Kalium besteht, dessen Austrittsarbeit $W_K = 2,26 \text{ eV}$ beträgt, erwartet man Fotoelektronen erst oberhalb einer Frequenz $f_g = W_K/h = 2,26 \text{ eV}/4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} = 545 \text{ THz}$. Dem entsprechen Wellenlängen kleiner als 550 nm, so dass nur die Quecksilberlinien bei 546 nm (grün), 492 nm (cyan), 435 nm (blau), 404 nm (violett) und 365 nm (nahes UV) zur Messung herangezogen wurden. Das Ergebnis einer der vier Messungen zeigt Tabelle 2. Es wurde in einem abgedunkelten Raum ausgeführt.

Tabelle 2 Ergebnis der Messung vom 19.01.2004 (Auflademethode). Hg-Lampe, Spektrum mit Beugungsgitter zerlegt. Abgedunkelter Raum.

Linie	λ / nm	f / THz	U / V
grün	546	549	0,43 ± 0,02
blaugrün	492	610	0,60 ± 0,02
blau	435	688	0,90 ± 0,02
violett	404	739	1,01 ± 0,03
UV	365	822	1,34 ± 0,03

Die Spannungen, auf die sich die Kathode gegenüber der Anode auflädt (rechte Spalte in Tabelle 2), sind in Abbildung 5 als Funktion der Frequenz aufgetragen. An die Messpunkte wurde eine Gerade nach der Methode der kleinsten Quadrate angepasst. Sie ergab als Steigung $h/e = (3,32 \pm 0,14) \cdot 10^{-15} \text{ Vs}$ und damit $h = (5,31 \pm 0,22) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, also wiederum eine signifikante Abweichung vom

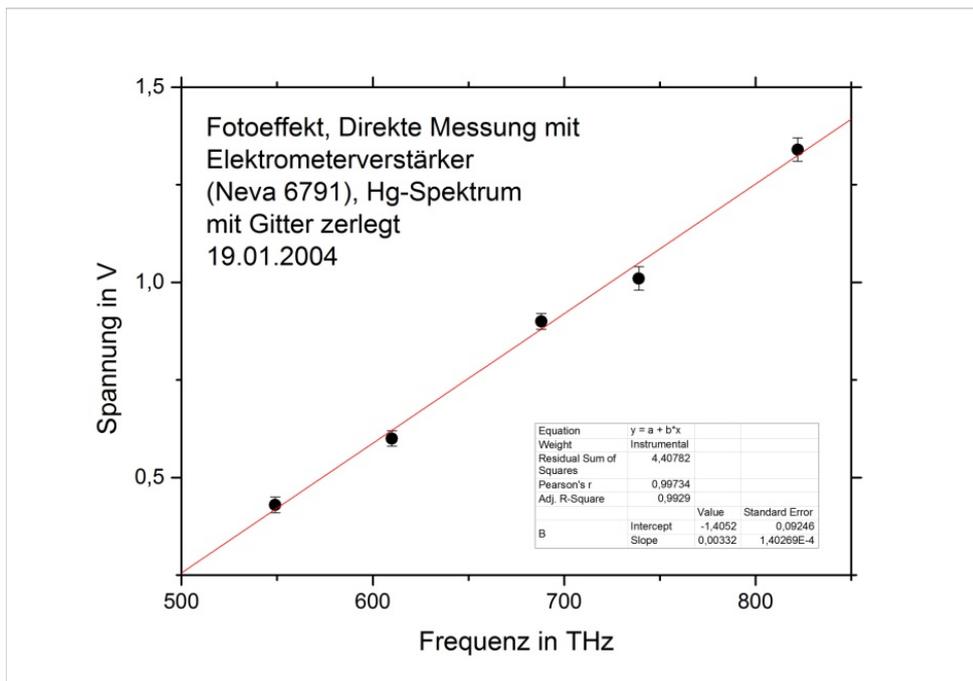


Abbildung 5 Fotoeffekt, Messung nach der Auflademethode. Aufgetragen ist die Spannung, auf die sich die Fotoanode auflädt, in Abhängigkeit von der Frequenz des einfallenden Lichts. Daten aus Tabelle 2.

Literaturwert $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$. Die Ergebnisse aller vier Messungen nach der Auflademethode sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Auch hier wurden die Fehler aus der Streuung der Messpunkte um die Ausgleichsgerade gewonnen. Diese Streuung war etwas geringer als im Fall der Gegenfeldmethode, der maximale Fehler (7 % bei der Messung vom 19.02.1994) ist

Tabelle 3 Messungen nach der Auflademethode. Neva-Fotozelle (Nr. 6791-1088), Hg-Lampe, Linien mit optischem Gitter oder (Amici-) Prisma getrennt und auf Fotozelle fokussiert. Abschirmung gegen Streulicht.

Nr.	Datum	h / Js
1	18.09.1993	$(4,32 \pm 0,21) \cdot 10^{-34}$
2	19.02.1994	$(4,78 \pm 0,35) \cdot 10^{-34}$
3	19.01.2004	$(5,31 \pm 0,22) \cdot 10^{-34}$
4	29.04.2004	$(5,79 \pm 0,16) \cdot 10^{-34}$
	Mittelwert	$(5,05 \pm 0,73) \cdot 10^{-34}$

dem entsprechend kleiner. Die Messwerte selbst weichen alle, wie im Fall der Gegenfeldmethode, vom Literaturwert nach unten ab. Auch hier fehlt mir eine Erklärung.

4. Diskussion der Ergebnisse

Aus den Tabellen 1 und 3 geht hervor, dass sich die einzelnen Messungen (Gegenfeld- wie auch Auflademethode) über einen Zeitraum von mehreren Jahren erstreckten. Die Messanordnungen wurden jeweils neu aufgebaut und justiert. Damit war auch eine gewisse Variation der verwendeten Bauteile und Messtechniken verbunden – die Zerlegung des Hg-Spektrums beispielsweise wurde einmal mit einem Prisma, das andere Mal mit einem optischen Gitter vorgenommen. Insofern ist es bemerkenswert, dass sich die Einzelwerte in beiden Tabellen (nur) um maximal 14 % von den jeweiligen Mittelwerten (letzte Zeile in Tabelle 1 bzw. Tabelle 3) unterscheiden.

Die Fehlermarge von $\pm 14\%$ kann man als Abschätzung für die Genauigkeit der hier gemessenen Größe h betrachten. Das heißt, die Plancksche Konstante wurde in den vorliegenden Messungen zu $h = (5,93 \pm 0,81) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (Gegenfeldmethode) bzw. $h = (5,05 \pm 0,73) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (Auflademethode) bestimmt. Beide Werte weichen vom Literaturwert signifikant nach unten ab.

Beruhigend ist, dass auch andere Messungen zu ähnlichen Ergebnissen führen – nachzulesen beispielsweise in Musterprotokollen von Versuchen des physikalischen Praktikums an der TU Karlsruhe. Eins dieser Protokolle (Eisenhardt und Koppenhöfer³) nennt als Messwerte $h/e = 2,81 \cdot 10^{-15} \text{ Vs}$ (Auflademethode), $2,42 \cdot 10^{-15} \text{ Vs}$ (Auflademethode mit Spannungskompensation) und $2,45 \cdot 10^{-15} \text{ Vs}$ (Gegenfeldmethode). Eine Abschätzung der Genauigkeit fehlt, da in der Versuchsaufgabenstellung eine Fehlerrechnung nicht verlangt wurde. Die entsprechenden Werte von h sind $4,50 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $3,87 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ bzw. $3,92 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, und weichen damit auch vom Literaturwert nach unten ab.

Im Fall der Gegenfeldmethode lässt sich die Fotostromkurve theoretisch berechnen (siehe z. B.⁴). Danach ist der Fotostrom eine quadratische Funktion der Gegenspannung, wenn man voraussetzt, dass es keine Leitungselektronen oberhalb der Fermikante des Kathodenmaterials gibt – das ist nur am absoluten Nullpunkt der Fall. Die Fotostrom-Kurve hängt aber auch von der Geometrie der Elektroden in der Fotozelle ab⁵. Kritisch ist der Verlauf der Kurve in der Nähe ihrer Nullstelle. Da es bei Temperaturen oberhalb des absoluten Nullpunkts Elektronen mit größerer Energie als der Fermi-Energie gibt, verschwindet der Fotostrom nicht abrupt, sondern nähert sich dem Wert Null asymptotisch. Zur Bestimmung des Gegenspannungswertes, bei dem der Fotostrom verschwindet, wird daher vorgeschlagen, die Quadratwurzel aus dem Wert des Stroms (abzüglich Untergrund) als Funktion der Gegenspannung aufzutragen und auf den Wert Null zu extrapolieren. Hübel⁴ erhält mit Hilfe dieses Verfahrens $h = 3,4 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$ ($= 5,44 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$), erreicht den Literaturwert aber ebenso wenig⁶ wie die hier gemessenen Werte.

In den Versuchsanleitungen der Lehrmittelhersteller werden Werte genannt, die dem Literaturwert auch nur näher kommen, ihn aber nicht reproduzieren – beispielsweise $h = 6,2 \cdot 10^{-34}$ Js (Phywe⁷) und $h = 6,1 \cdot 10^{-34}$ Js (Leybold⁸).

Ich fasse (resigniert) zusammen: Alle mir bekannten Schulphysik- und Praktikumsexperimente zum Photoeffekt liefern einen zu kleinen Wert der Planckschen Konstanten.

Anhang: Kontaktspannung und Gegenfeldmethode

Verbindet man zwei Metalle mit unterschiedlicher Austrittsarbeit elektrisch miteinander, fließen Elektronen von dem Material mit geringerer Austrittsarbeit zu dem anderen über, und zwar so lange, bis die Fermikanten (die höchsten besetzten Energieniveaus) auf gleicher Höhe liegen. Das Material mit der kleineren Austrittsarbeit wird dabei positiv, das andere negativ aufgeladen (Abbildungen a und b). Die dieser Ladungstrennung entsprechende Potentialdifferenz heißt

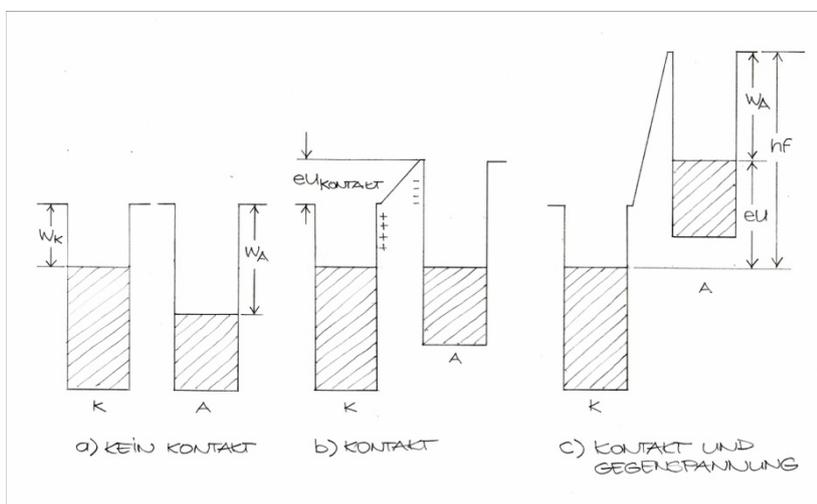


Abbildung Energieschema der Metalle von Kathode (K) und Anode (A). (a) ohne Kontakt, (b) in Kontakt miteinander, (c) in Kontakt miteinander und mit angelegter Gegenspannung U

Kontaktpotenzial W_{kontakt} . Das durch e (Elementarladung) dividierte Kontaktpotenzial wird dem entsprechend Kontaktspannung U_{kontakt} genannt. In unserem Fall ist die Austrittsarbeit der Anode W_A größer als die der Kathode W_K , so dass gilt

$$W_{\text{kontakt}} = W_A - W_K = eU_{\text{kontakt}}$$

Die Anode der Fotozelle ist somit gegenüber der Kathode negativ geladen. Für die Elektronen in der Kathode hat sie auch ohne Gegenspannung ein um eU_{kontakt} höheres Potenzial. Legt man nun an die Anode, wie bei der Gegenfeldmethode, eine gegenüber der Kathode negative Spannung U , erhöht sich dieses Potenzial um zusätzlich eU . Das heißt, die Fotoelektronen müssen auf ihrem Weg zur Anode gegen einen Potenzialberg der Höhe $e(U_{\text{kontakt}} + U) = W_A - W_K + eU$ anlaufen (Abbildung c). Setzt man diesen Term gleich der kinetischen Energie der schnellsten Elektronen, folgt, dass der Achsenabschnitt der Geraden (f, eU) die Austrittsarbeit W_A der Anode (nicht die der Kathode) ist.

Die Austrittsarbeit aus einer Metalloberfläche ist eine für das jeweilige Material charakteristische Größe. Sie hängt aber auch von der Orientierung der Oberflächenkristalle und von der generellen Beschaffenheit der Oberfläche (Verunreinigungen durch Oxidation und, im Fall der Fotozelle, durch Restgasatome) ab. Deshalb eignet sich der Fotoeffekt nicht zur Bestimmung von Austrittsarbeiten (reiner) Elemente.

Anmerkungen und Literatur

¹ Versuch *Fotoeffekt*, physikalisches Anfängerpraktikums der Universität Heidelberg, www.physi.uni/heidelberg.de/Einrichtungen/AP/Elearning/.../35_Fotoeffekt.pdf

² Walcher, W.: Praktikum der Physik. Teubner Verlag

³ KIT, Musterprotokolle, in www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/.../musterprotokolle.

⁴ Hübel, H. H., in <http://www.forphys.de/Website/qm/schulversuche/fotschul.html>

⁵ Versuch *Fotoeffekt*, Anfängerpraktikum Heidelberg, siehe¹

⁶ in einer Fußnote weist Hübel⁴ darauf auf hin, dass Messungen vorliegen, die den Literaturwert reproduzieren, eine Quellenangabe nennt er nicht.

⁷ Versuchsbeschreibung Fotoeffekt, Phywe, 1962 (?)

⁸ Leybold Didactic (LD) Handblätter Physik. P6.1.4.3