

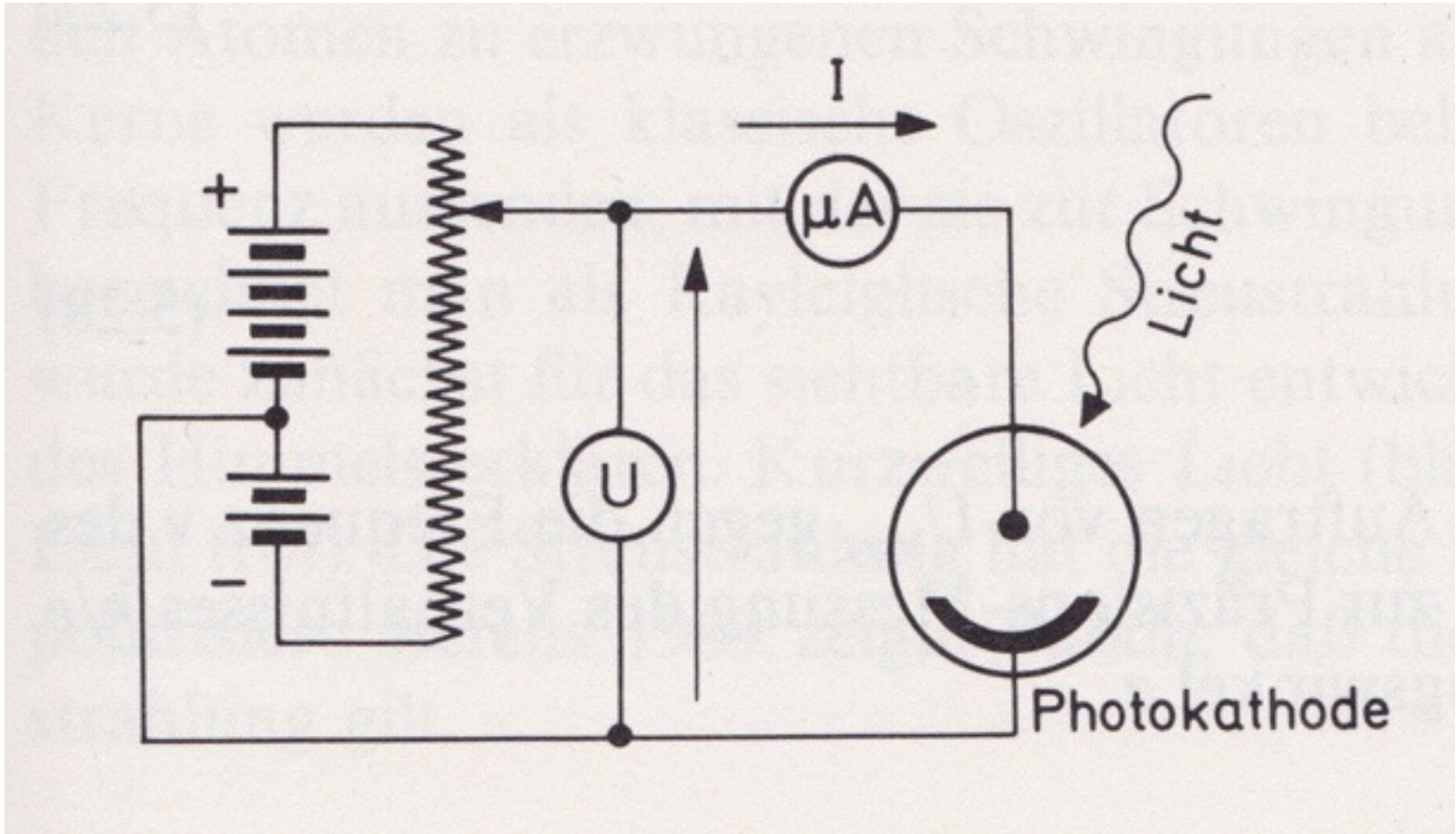
Der photoelektrische Effekt



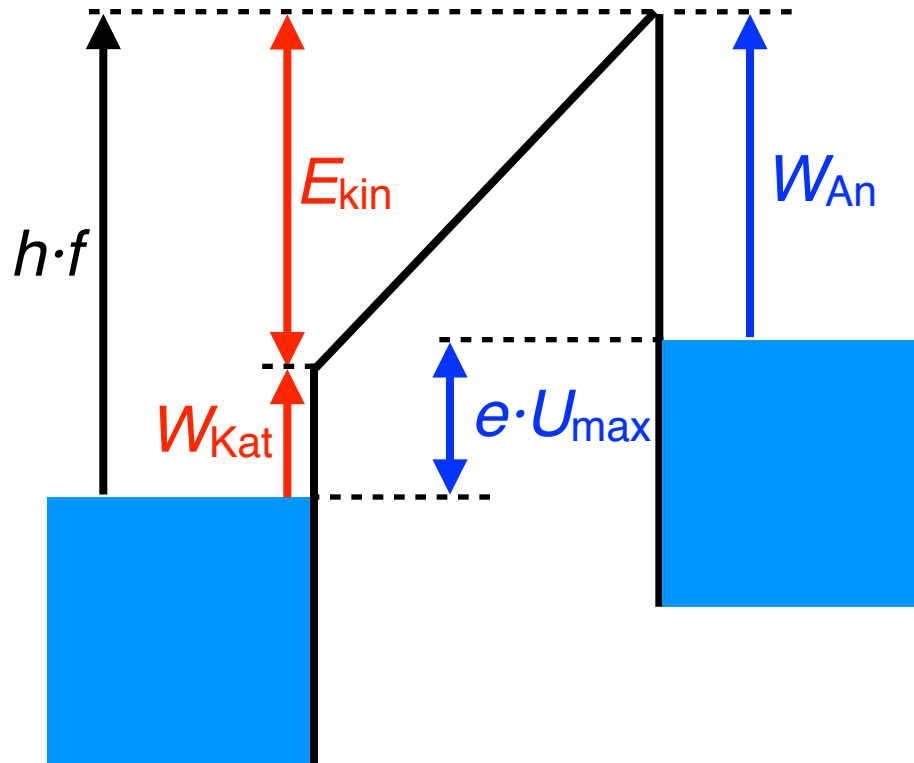
www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

1. Das Experiment und der Fehler
2. Ursprung und Fortpflanzung des Fehlers
3. „Und die Moral der Geschichte’ “

1. Das Experiment und der Fehler



$$U = U_{\text{max}} \rightarrow I = 0$$



$$h \cdot f = W_{\text{Kat}} + E_{\text{kin}}$$

Einstein-Gleichung

~~$$E_{\text{kin}} = eU_{\text{max}}$$~~

$$h \cdot f = W_{\text{An}} + eU_{\text{max}}$$

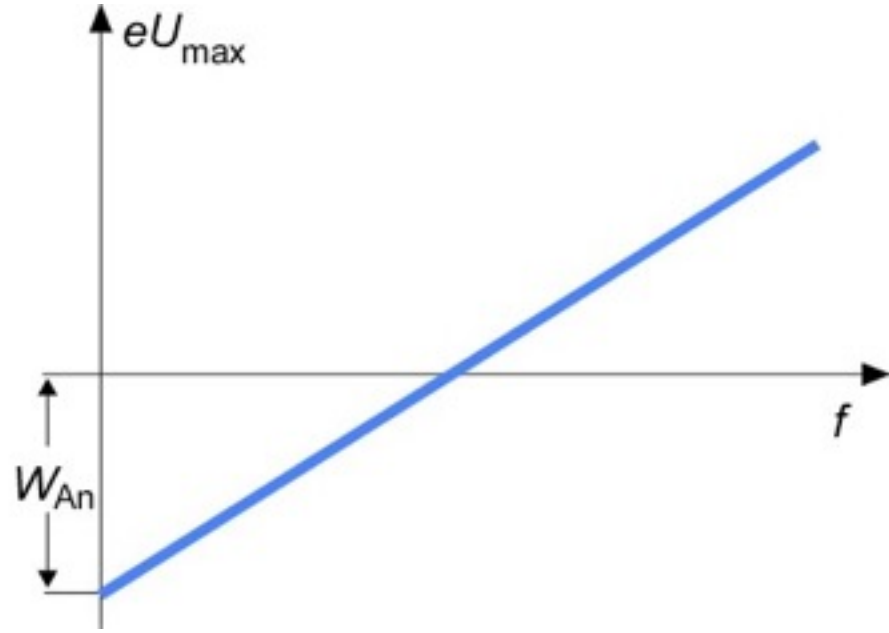
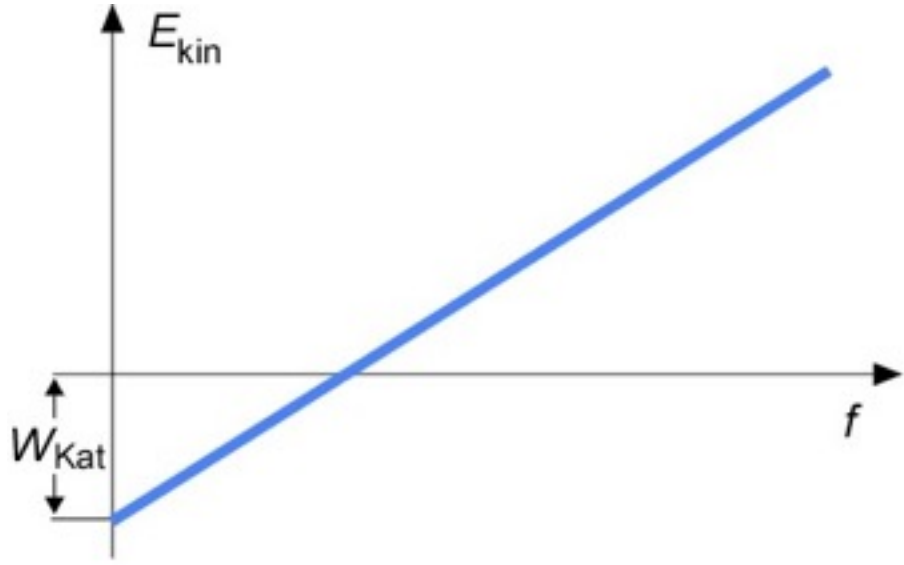
$$h \cdot f = W_{\text{An}} + eU_{\text{max}}$$

$$h \cdot f = W_{\text{An}} - W_{\text{Kat}} + W_{\text{Kat}} + eU_{\text{max}}$$

$$W_{\text{An}} - W_{\text{Kat}} = \text{Kontaktspannung } U_{\text{K}}$$

$$h \cdot f = W_{\text{Kat}} + U_{\text{K}} + eU_{\text{max}}$$

~~$$h \cdot f = W_{\text{Kat}} + eU_{\text{max}}$$~~



wachs, 1888). Allgemein löst hinreichend kurzwelliges Licht aus Metalloberflächen negative Ladungsträger (Elektronen) aus.

Gerthsen

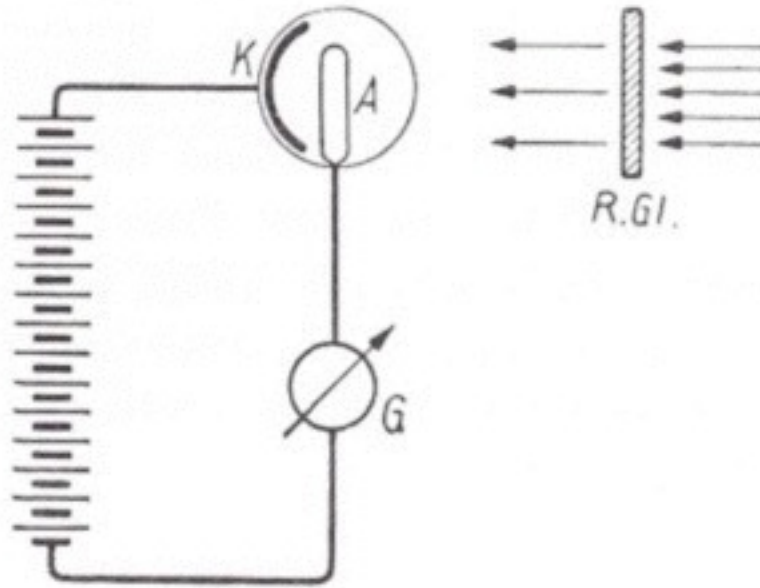


Abb. 8.6. Photozelle. Sie dient hier zur Messung der Absorption des einfallenden Lichtes durch ein Rauchglas *R.Gl.* Das Verhältnis der durchtretenden zur auffallenden Intensität ist gleich dem Verhältnis der Galvanometerausschläge mit und ohne Rauchglas

Gerthsen

Abb. 8.6. Photozelle. Sie dient hier zur Messung der Absorption des einfallenden Lichtes durch ein Rauchglas *R.Gl.* Das Verhältnis der durchtretenden zur auffallenden Intensität ist gleich dem Verhältnis der Galvanometerausschläge mit und ohne Rauchglas

Hierbei treten die negativen Ladungen mit einer gewissen kinetischen Energie E aus dem Metall aus. Man kann sie messen durch die Gegenspannung $-U$, gegen die die Ladungen gerade noch anlaufen können (Abb. 8.6). Unter der Annahme, daß die Ladungsträger (Elektronen) eine Elementarladung $-e$ tragen, kann man setzen

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = e U.$$

Es zeigt sich, daß die Elektronen um so energiereicher werden, je höher die Frequenz des auslösenden Lichtes ist.

Gerthsen

Abb. 8.6. Photozelle. Sie dient hier zur Messung der Absorption des einfallenden Lichtes durch ein Rauchglas R.Gl. Das Verhältnis der durchtretenden zur auffallenden Intensität ist gleich dem Verhältnis der Galvanometerausschläge mit und ohne Rauchglas

Hierbei treten die negativen Ladungen mit einer gewissen kinetischen Energie E aus dem Metall aus. Man kann sie messen durch die Gegenspannung $-U$, gegen die die Ladungen gerade noch anlaufen können (Abb. 8.6). Unter der Annahme, daß die Ladungsträger (Elektronen) eine Elementarladung $-e$ tragen, kann man setzen

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = e U.$$

Es zeigt sich, daß die Elektronen um so energiereicher werden, je höher die Frequenz des auslösenden Lichtes ist.

2. Ursprung und Fortpflanzung der Fehler

6. *Über einen
die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes
betreffenden heuristischen Gesichtspunkt;
von A. Einstein.*

Zwischen den theoretischen Vorstellungen, welche sich die Physiker über die Gase und andere ponderable Körper gebildet haben, und der Maxwell'schen Theorie der elektromagnetischen Prozesse im sogenannten leeren Raume besteht ein tiefgreifender formaler Unterschied. Während wir uns

Einstein, Annalen der Physik 322, 1905, S. 132-148

$$h \cdot f = W_{\text{Kat}} + E_{\text{kin}}$$

A DIRECT PHOTOELECTRIC DETERMINATION OF
PLANCK'S " h ."

BY R. A. MILLIKAN.

I. INTRODUCTORY.

QUANTUM theory was not originally developed for the sake of interpreting photoelectric phenomena. It was solely a theory as to the mechanism of absorption and emission of electromagnetic waves by resonators of atomic or subatomic dimensions. It had nothing whatever to say about the energy of an escaping electron or about the conditions under which such an electron could make its escape, and up to this day the form of the theory developed by its author has not been able to account satisfactorily for the photoelectric facts presented herewith. We are confronted, however, by the astonishing situation that these facts were correctly and exactly predicted nine years ago by a form of quantum theory which has now been pretty generally abandoned.

It was in 1905 that Einstein² made the first coupling of photo effects and with any form of quantum theory by bringing forward the bold, not

Millikan, Phys. Rev. VII, 1916, S. 355-388

This hypothesis may well be called reckless first because an electromagnetic disturbance which remains localized in space seems a violation of

Über den normalen Photoeffekt*.

Von P. Lukirsky und S. Priležaev in Leningrad.

Mit 17 Abbildungen. (Eingegangen am 15. April 1928.)

Es ist der normale photoelektrische Effekt bei den Metallen Al, Zn, Sn, Ni, Ag, Cd, Pb, Cu, Pt untersucht worden. Die Metalle wurden mit einzelnen Linien des Quecksilberbogens $\lambda = 2302 \text{ \AA}$, 2400 \AA , 2537 \AA , 2653 \AA , 2802 \AA , 2967 \AA , 3022 \AA und 3130 \AA bestrahlt. Nach der Methode des sphärischen Kondensators wurde die Geschwindigkeitsverteilung der aus dem Metall herausfliegenden Elektronen untersucht; hierbei wurden die nötigen Korrekturen auf den sogenannten Rückstrom gemacht. Die Bestimmung der maximalen Elektronengeschwindigkeiten hat erlaubt, die Plancksche Konstante h zu ermitteln; sie wurde zu $h = 6,539$, $6,542$, $6,540$, $6,556$, $6,536$, $6,546 \cdot 10^{-27}$, im Mittel $6,543 \cdot 10^{-27}$ Erg. sec bestimmt, ein Wert, welcher dem aus optischen Versuchen gefundenen Wert $6,545 \cdot 10^{-27}$ Erg. sec sehr nahe kommt. Aus den Maximalgeschwindigkeiten konnten außerdem für die

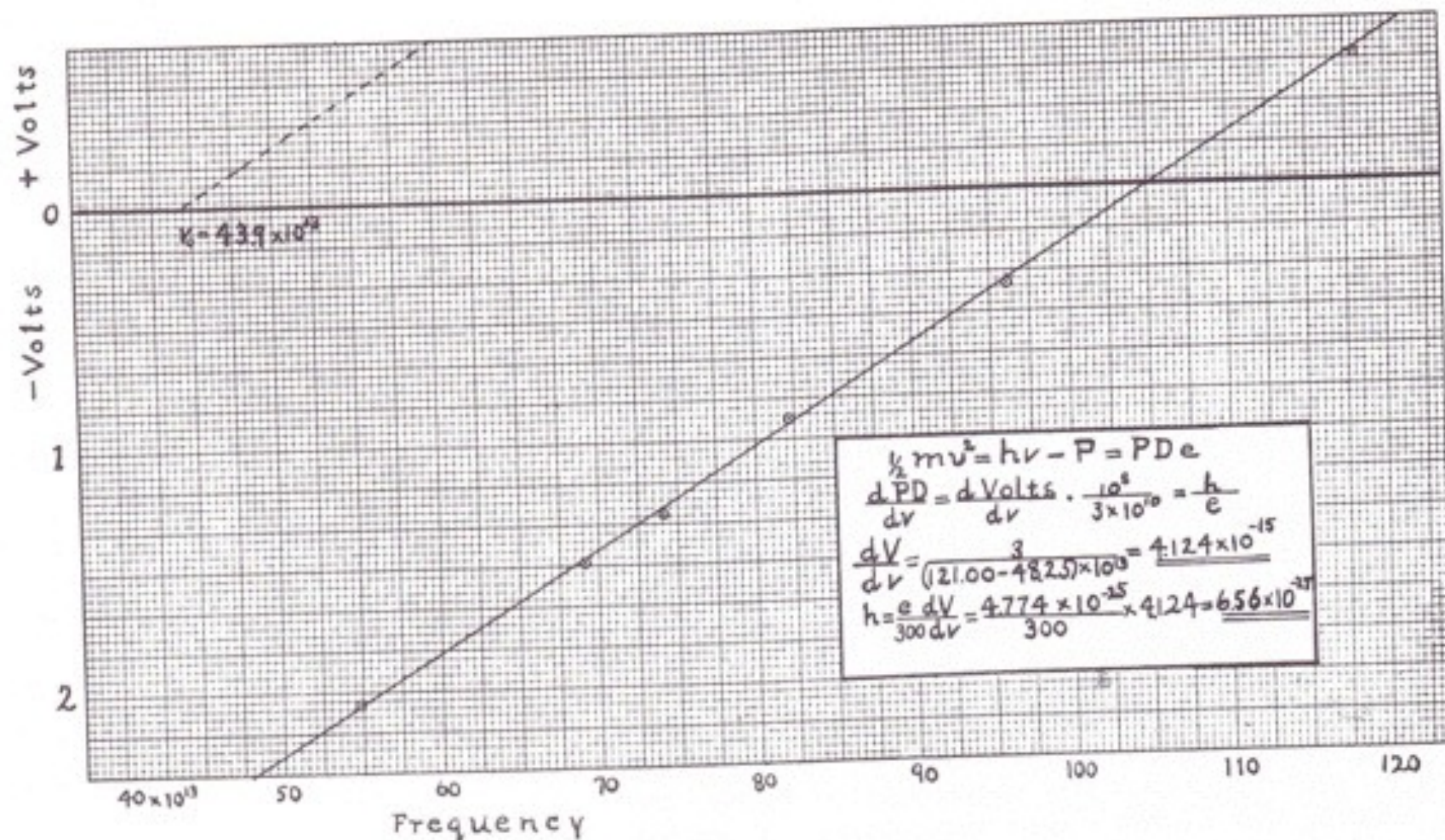


Fig. 44B A graph taken from Millikan's paper [R. A. Millikan, *Physical Review* 7, 355 (1916)] showing the linear relation between the critical retarding potential V_0 and the frequency of the light, for a photosensitive surface of sodium. As we see, Millikan presented his computation of Planck's constant on the basis of his curve on the graph. (Courtesy of The Physical Review.)

ν will thus be a straight line, as shown in Fig. 44B taken from Millikan's paper. From the slope of this line we can find the constant h/e , and from its intercept with the V_0 -axis we can find the material constant W/e .

This is a conceptually simple and clear-cut experiment, but to obtain accurate and reproducible results considerable care is required.

ght
atic
i in
d is
ail-
in-
g a
ims
re a
nal
l be
ges.
i of
by
ch.
also

Photoelectric effect, a common fundamental error

A N JAMES

Oliver Lodge Laboratory, University of Liverpool

The results of experiments on the photoelectric effect commonly form the basis of the introduction of quantum phenomena in the teaching of physics

nd-
ing

interesting historical associations but also because the photoelectric experiments demonstrate the pro-

James, Physics Education 8, 1973, S. 382-384

Concerning a widespread error in the description of the photoelectric effect

J. Rudnick* and D. S. Tannhauser

Department of Physics, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel

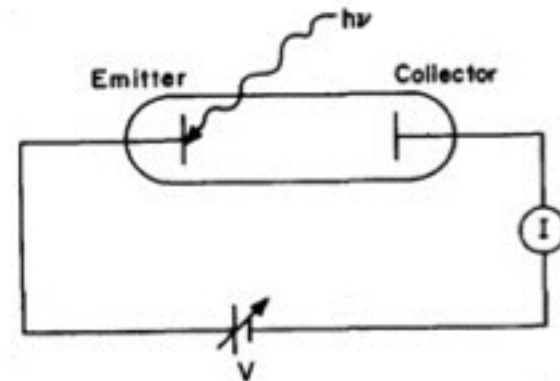
(Received 28 June 1974; revised 25 July 1974)

The purpose of this note is to draw attention to a widespread error appearing in elementary physics textbooks. The error is connected with descriptions of Millikan's experiments on the photoelectric effect. The experiment is a classical one illustrated schematically in Fig. 1.

Light with a frequency ν is incident on the emitter (the emitter and collector are both metals, but are not necessarily the same kind of metal). Photoemitted electrons are picked up by the collector and detected as current by the ammeter. It is found that for every frequency that can stimulate a photocurrent with no applied back-voltage from the battery in the circuit, there exists a back-voltage just sufficient to cause the photocurrent to cease. This is called the stopping potential, V . Plotting eV vs ν (Fig. 2), one obtains a straight line described by the relation

$$eV = h\nu - \phi_e \quad (1)$$

We have checked several elementary physics textbooks of recent vintage²⁻⁸ in which the experiment is discussed; in all of them it is incorrectly claimed that ϕ in Eq. (1) equals the work function, ϕ_e , of the emitter, and therefore that ϕ_e can be directly measured by the setup of Fig. 1. The common argument is basically that, since an elec-



Rudnick und Tannhauser, American Journal of Physics 44, 1976, S. 796-798

„Die Austrittsarbeit beim Photoeffekt“

*J. Strnad, Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 1980,
S. 343-344*

milq

Münchener
Internetprojekt zur
Lehrerfortbildung in
Quantenmechanik



1. Photonen

[1.0 Übersicht](#)

[1.1 Der Photoeffekt: Licht
lost Elektronen aus
Metallflächen](#)

[1.2 Deutung des
Photoeffekts mit Photonen](#)

[1.3 Experimentelle
Überprüfung der
Energiebilanz und
Bestimmung des
Wirkungsquantums](#)

[1.4 Impuls von Photonen](#)

[1.5 Selbstkontrolle](#)

[1.6 Zusammenfassung](#)

[1.7 Fragebogen](#)



Bestimmung der Austrittsarbeit aus der Metalloberfläche

Wertet man die Versuchsergebnisse der Photozelle aus, so wird man auf den ersten Blick vermuten, dass die Energie der Elektronen um den Betrag der Austrittsarbeit W_K der Kathode verringert sein müsste. Es stellt sich aber heraus, dass dem nicht so ist: Die Elektronen haben insgesamt eine Sperrspannung zu überwinden, die sich aus mindestens zwei Teilen zusammensetzt. Zum einen muss die oben genannte Austrittsarbeit W_K und zum anderen die Kontaktspannungen der Metalle im Stromkreis überwunden werden. Zwischen dem Anodenmaterial und dem Kathodenmaterial tritt aber eine Kontaktspannung auf, die der Differenz von $(W_A - W_K)$ entspricht. Setzt man die beiden Anteile der Sperrspannung zusammen, so wird W_K eliminiert und es bleibt ein Term, der durch die Austrittsarbeit W_A der Anode bestimmt ist:

$$U_{(\text{Sperr})} = W_A/e$$

Durch weitere Metallübergänge im Stromkreis können zusätzliche Beiträge hinzukommen. Der Grund, weshalb dieser Unterschied zwischen W_A und W_K häufig nicht bemerkt wird, liegt darin, dass abdampfendes Kathodenmaterial die Anode verunreinigt hat und sich die Austrittsarbeit der beiden Metalle stark angenähert hat.

Beschränkt man sich experimentell auf die Bestimmung von h , so ist der genaue Wert unbedeutend, da er als konstanter Anteil bei der Differenzbildung eliminiert wird.

Soll experimentell tatsächlich die Austrittsarbeit bestimmt werden, finden Sie genaueres unter: Strnad, J.: Die Austrittsarbeit beim Photoeffekt in: Praxis der Naturwissenschaften-Physik 11/ 1980, S. 343f.

Zurück zur Seite [Experimentelle Überprüfung der Energiebilanz und Bestimmung der Planckschen Konstanten](#).



die schnellsten Elektronen die Anode gerade nicht mehr erreichen. Der (relativ) einfach messbare Photostrom wird für diesen Wert U_{\max} dann gerade null. $U_{\max} \cdot e$ entspricht bis auf einen konstanten Summanden der kinetischen Energie E_{kin} . Die Konstante kommt daher, dass natürlich nicht nur die Kathode, sondern auch die Anode eine Austrittsarbeit hat. Da die beiden Elektroden über das Messgerät verbunden sind, muss auch noch die Kontaktspannung berücksichtigt werden, so dass schließlich gilt:

$$\begin{aligned}
 U_{\max}(\nu) \cdot e &= E_{\text{kin}} - U_{\text{Kontakt}} \cdot e \\
 &= (h \cdot \nu - W_{\text{A,Kathode}}) - (W_{\text{A,Anode}} - W_{\text{A,Kathode}}) \\
 &= \underline{h \cdot \nu - W_{\text{A,Anode}}} \quad .
 \end{aligned}
 \tag{5.1.2}$$

Die Austrittsarbeit der Kathode spielt für den Wert der Gegenspannung also tatsächlich keine Rolle. Ihre Größe entscheidet aber natürlich trotzdem darüber, ob *überhaupt* Photoelektronen emittiert werden können und wie hoch deren kinetische Energie ist².

Erklärung [\[Bearbeiten\]](#)

Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass die Elektronen bei einer angelegten Gegenspannung von U_0 zur Kathode beschleunigt werden. Wenn man zwei verschiedene Metalle in Kontakt bringt, kommt es zusätzlich zu einer Kontaktspannung U_K .

$$U_K = \frac{W_A - W_K}{e}$$

Dabei ist W_A die Ablösearbeit des Anodenmaterials und W_K die Ablösearbeit des Kathodenmaterials. In der Abbildung sind die Energiezustände, dass die Niveaus der Valenzbänder beider Metalle unterschiedlich hoch liegen und sich ausgleichen. Elektronen fließen von der Kathode zur Anode (i. d. R. $W_A > W_K$), bis sich der Niveauunterschied ausgeglichen hat. Die kinetische Energie der Elektronen in **Elektronenvolt** also gleich der Spannung $U_0 + U_K$ – die durch die Gegenspannung $U_0 + U_K$ gerade soweit abgebremst, dass sie die Auffangelektrode nicht erreichen können:

$$E_{\text{kin}} = e(U_0 + U_K) = eU_0 + W_A - W_K$$

Trägt man die Ergebnisse aus der 2. Beobachtung in einem Energie-Frequenz-Diagramm auf, so ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie der Elektronen und der Frequenz des Lichts.

Zeile 72:

==== Erklärung ====

Elektronen in
 bsp;die Elektronen
 t abgebremst, dass

Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass die Elektronen bei einer angelegten Gegenspannung von U_0 nur die Spannung U_0 durchlaufen müssen. Wenn man zwei verschiedene Metalle in Kontakt bringt, kommt es zusätzlich zu einer Kontaktspannung

$$+ \quad U_K = \frac{W_A - W_K}{e}$$

+

Dabei ist W_A die Ablösearbeit des Anodenmaterials und W_K die Ablösearbeit des Kathodenmaterials. Die Kontaktspannung kommt dadurch zustande, dass die Niveaus der Valenzbänder beider Metalle unterschiedlich hoch liegen und sich bei Kontakt ausgleichen. Somit wandern solange Elektronen von der Kathode zur Anode bis sich der Niveauunterschied ausgeglichen hat. Bei Kompensation des Stromes zu Null ist die kinetische Energie der Elektronen in [[Elektronenvolt]] also gleich der Spannung $U_0 + U_K$ - - die Elektronen werden durch das Feld der Spannung $U_0 + U_K$ gerade soweit abgebremst, dass sie die Auffangelektrode nicht erreichen können:

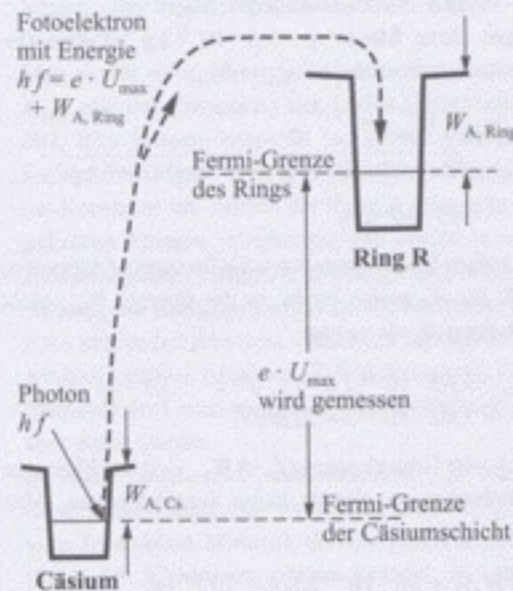
+

$$+ \quad E_{\text{kin}} = e(U_0 + U_K) = eU_0 + W_A - W_K$$

Ereignisse, für die $t = 0$ ist zwar räumlich getrennt gleichzeitig stattfinden, falls sie sind (siehe g)). Z. B. in verschiedenen Häusern gleichzeitig gezündet werden, zur Zeit t können aber in *keinem* Haus einander stehen, da sich die Lichtgeschwindigkeit c nicht übersteigen lassen, was längs der x -Achse spricht von *entfernter*

... auch die grünen Bereiche ... als „entfernte Gegenwart“. Wir müssen auch bedenken, also die Relativität der Zeit $t' = \beta t/c$ beachten. Unsere Beobachtung ist das Bild gezeichnet mit $v/c = \beta$ fliegenden S' -Raum. Übernimmt z. B. ... dann zeigt uns in $x \neq 0$... $t' = k \cdot x$ entfernte U' -Uhr ... ebene S' -Zeit $t' = 0$ an. S' ... sich in *entfernter Gegenwart*. Da unsere S -Beobachter $\Delta t'/k$ registrieren, so folgt $\Delta t'/k$. Da stets $\beta < 1$ ist, gilt diese *entfernte Gegenwart* ... reiche $|x|/c < |t|$ um die ... Beträgen gerechnet). Man ... Punkt im Bild einen mit ... er finden, der dort Neujahr ... außerhalb von „Vergangenheit“ ihnen aus können uns ... Jahrereignis NJ erreichen, ... ine senden. Dort besteht ... die Möglichkeit einer kau-

werden. Dies ist die wesentliche Aussage Einsteins. Mit Fotozellen misst man aber nicht W_{max} , sondern die maximale Gegenspannung U_{max} , die zu $I_{phot} = 0$ führt. Es gilt $e \cdot U_{max} = h \cdot f - W_{A, Ring}$. $W_{A, Ring}$ ist die Ablösearbeit am nicht bestrahlten Ring. Warum der Unterschied zwischen $W_{A, Ring}$ und $W_{A, Cs}$ meist unbeachtet bleibt, diskutierten wir schon 1979 im Lehrerheft zu Ausgabe A Seite 19 (Schroedel 86159). Das Folgende ist nicht für den Unterricht gedacht, da Kenntnisse aus der Festkörperphysik benutzt werden, die den Photoeffekt nicht betreffen:



B1: Fotoelektronen aus Cs haben den Ring R aufgeladen. Zwischen deren Fermienergien misst man U_{max} , nicht zwischen den Oberflächen. Aufgetragen ist die Elektronenenergie.

Die lichtempfindliche Schicht der Fotozelle besteht z. B. aus Cäsium (Cs). Ihr steht der unbeleuchtete Ring R gegenüber. Diese Metalle werden im vereinfachten Bändermodell von B1 als Potenzialtöpfe dargestellt. Jeder Topf ist mit einem Elektronensee bis zur Fermienergie gefüllt (Lehrbuch Seite 315). Zwischen beiden Fermienergien liegt die gemessene Spannung U_{max} . In den Kabeln zum Messinstrument berühren sich nur solche „Seen“, da Leitungselektronen keine Metalloberfläche verlassen. Beim Austritt von Fotoelektronen ins

höchstens die kinetische Energie:

$$W_{max} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}^2 = h \cdot f - W_{A, Cs} \quad (1)$$

W_{max} kann man durch Ablenkung in einem B -Feld direkt bestimmen, ohne Ring R. Bei Photozellen müssen aber die Photoelektronen zunächst den isolierten Ring R negativ aufladen. Dazu fliegen sie bildlich gesprochen längs der in B1 strichpunktierten Bahn aus dem Vakuum über den Topfrand von R (beim Absinken auf die dortige Fermienergie nimmt die innere Energie von R zu). Die gemessene Spannung zwischen den Fermienergien in Ring und Cs-Metall steigt auf das Maximum U_{max} , was auf die Quantisierung der Lichtenergie hinweist. Da aber U_{max} zwischen den Fermienergien, nicht zwischen den Oberflächen gemessen wird, gilt nach B1:

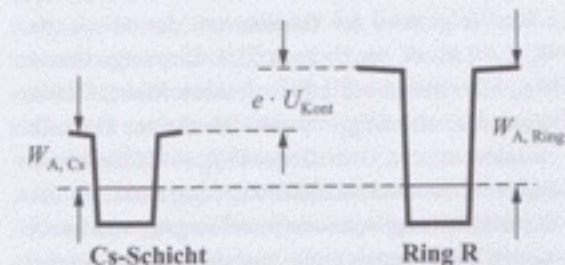
$$h \cdot f = e \cdot U_{max} + W_{A, Ring} \quad (2)$$

Für U_{max} spielt danach die Ablösearbeit $W_{A, Cs}$ an der Cs-Schicht keine Rolle, wohl aber für die Maximalenergie W_{max} im Vakuum nach Gl. 1. Um die für den Photoeffekt entscheidende Größe W_{max} zu erhalten, setzt man Gl. 2 in Gl. 1 ein:

$$W_{max} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}^2 = h \cdot f - W_{A, Cs} = e \cdot U_{max} + (W_{A, Ring} - W_{A, Cs}). \quad (3)$$

Die in Gl. 3 auftretende Differenz $W_{A, Ring} - W_{A, Cs}$ gibt die in diesem Zusammenhang wichtige *Kontaktspannung* $U_{Kont} = (W_{A, Ring} - W_{A, Cs})/e$ zwischen den Oberflächen von Ring R und Cs-Schicht. Statt Gl. 3 gilt:

$$h \cdot f - W_{A, Cs} = e \cdot (U_{max} + U_{Kont}). \quad (4)$$



B2: Zwischen Cs-Schicht und Ring wird hier $U = 0$ gemessen.

Ereignisse, für die $t = 0$ ist zwar räumlich getrennt gleichzeitig stattfinden, falls sie sind (siehe g)). Z. B. in verschiedenen Häusern gleichzeitig gerichtet werden zur

die können einander mit Licht durch den Raum an spr

uch d... use als... t. Wi... n, als... = $L \cdot \beta / c$... die d... $v/c = \beta$... ngabe

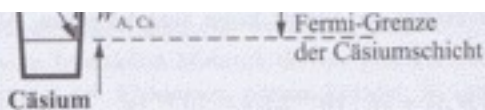
, dan... = $k \cdot \dots$ ebene... sich i... Da u

$\Delta t' / k$ registrieren, so folgt β/c . Da stets $\beta < 1$ ist, gilt diese entfernte Gegenwart (reiche $|x|/c < |t|$ um die Beträgen gerechnet). Man Punkt im Bild einen mit er finden, der dort Neujahr außerhalb von „Vergangen ihnen aus können uns hrereignis NJ erreichen, ine senden. Dort besteht die Möglichkeit einer kau-

werden. Dies ist die wesentliche Aussage Einsteins. Mit Fotozellen misst man aber nicht W_{\max} , sondern die maximale Gegenspannung U_{\max} , die zu $I_{\text{phot}} = 0$ führt. Es gilt $e \cdot U_{\max} = h \cdot f - W_{A,\text{Ring}}$. $W_{A,\text{Ring}}$ ist die Ablösearbeit am nicht bestrahlten Ring. Warum der Unterschied zwischen $W_{A,\text{Ring}}$ und $W_{A,\text{Cs}}$ meist unbeachtet bleibt, diskutierten wir schon 1979 im

höchstens die kinetische Energie: $W_{\max} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\max}^2 = h \cdot f - W_{A,\text{Cs}}$ (1). W_{\max} kann man durch Ablenkung in einem B-Feld direkt bestimmen, ohne Ring R. Bei Photozellen müssen aber die Photoelektronen zunächst den isolierten Ring R negativ aufladen. Dazu fliegen sie bildlich gespro-

Mit Fotozellen misst man aber nicht W_{\max} , sondern die maximale Gegenspannung U_{\max} , die zu $I_{\text{Phot}} = 0$ führt. Es gilt $e \cdot U_{\max} = h \cdot f - W_{A,\text{Ring}}$.

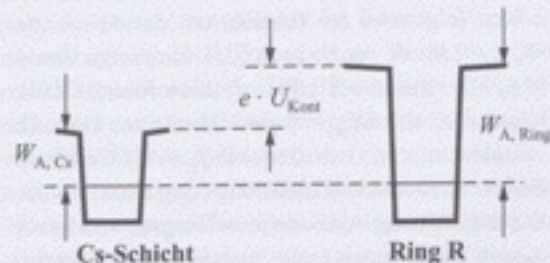


B1: Photoelektronen aus Cs haben den Ring R aufgeladen. Zwischen deren Fermienergien misst man U_{\max} , nicht zwischen den Oberflächen. Aufgetragen ist die Elektronenenergie.

Die lichtempfindliche Schicht der Fotozelle besteht z. B. aus Cäsium (Cs). Ihr steht der unbeleuchtete Ring R gegenüber. Diese Metalle werden im vereinfachten Bändermodell von B1 als Potenzialtöpfe dargestellt. Jeder Topf ist mit einem Elektronensee bis zur Fermienergie gefüllt (Lehrbuch Seite 315). Zwischen beiden Fermienergien liegt die gemessene Spannung U_{\max} . In den Kabeln zum Messinstrument berühren sich nur solche „Seen“, da Leitungselektronen keine Metalloberfläche verlassen. Beim Austritt von Photoelektronen ins

Die in Gl. 3 auftretende Differenz $W_{A,\text{Ring}} - W_{A,\text{Cs}}$ gibt die in diesem Zusammenhang wichtige Kontaktspannung $U_{\text{Kont}} = (W_{A,\text{Ring}} - W_{A,\text{Cs}})/e$ zwischen den Oberflächen von Ring R und Cs-Schicht. Statt Gl. 3 gilt:

$$hf - W_{A,\text{Cs}} = e \cdot (U_{\max} + U_{\text{Kont}}). \quad (4)$$



B2: Zwischen Cs-Schicht und Ring wird hier $U = 0$ gemessen.

1. Die Originalarbeiten sind schwer zu verstehen.
2. Die falsche Interpretation ist plausibel.
3. Spätere Zeitschriftenartikel können nichts mehr ausrichten, sie kommen im falschen Augenblick.
4. Trotz der falschen Interpretation kommt der richtige Wert heraus – durch einen unglücklichen Umstand.

Der Höchstwert der kinetischen Energie hängt linear von der Frequenz ν des Lichtes ab. Es gilt¹

$$\underline{W_{\text{kin}}} = eU = \text{const}(\nu - \nu_g). \quad (14.2)$$

Die Konstante bestimmt die *Neigung* der Geraden in Abb. 14.5. Diese Neigung ist für alle Metalle die gleiche. Verschiedene Metalle ergeben verschiedene Werte der Grenzfrequenzen ν_g ², die

¹ So hat A. Einstein, 1905 Lenards „bahnbrechende Arbeit“ gedeutet, obwohl Lenard die Abhängigkeit von der Lichtfrequenz gar nicht untersucht hatte!

² Als Grenzfrequenz des K wird in diesem Schauversuch $\nu_g = 4,42 \cdot 10^{14}$ /sec gemessen: dieser Wert ist noch durch die Voltaspannung zwischen Ni und K (Elektrizitätslehre, 26. §9) verfälscht. Die Ausschal-

der Lichtfrequenz gar nicht untersucht hatte!

² Als Grenzfrequenz des K wird in diesem Schauversuch $\nu_g = 4,42 \cdot 10^{14}/\text{sec}$ gemessen: dieser Wert ist noch durch die Voltaspannung zwischen Ni und K (Elektrizitätslehre, 26. §9) verfälscht. Die Ausschaltung dieses Fehlers ist hier belanglos. (Man kann z. B. beide Elektroden aus gleichem Metall wählen und die Anode vor reflektiertem Licht schützen.) Ni wird erst bei Frequenzen $> 1,1 \cdot 10^{15}/\text{sec}$ empfindlich. Es wurden aber im Schauversuch keine Frequenzen $> 9 \cdot 10^{14}/\text{sec}$ benutzt. Folglich konnte auch reflektiertes Licht keine störenden Elektronen an der Nickelnetzanode auslösen.

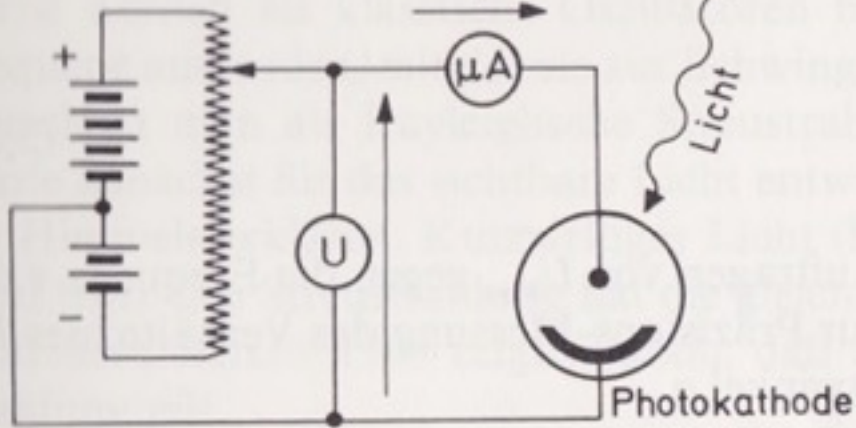


Abb. 5.6. Der Photoeffekt. *Oben*: ein negativ aufgeladenes Elektrometer wird bei Belichtung der Elektrode entladen, ein positiv aufgeladenes nicht. *Unten*: Anordnung zur quantitativen Messung des Photoeffektes (Spannung U , Strom A)

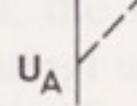


Abb. 5.7. Zum Photoeffekt: a) Links oben: Photoeffekt als Funktion der Frequenz ν des Lichtes. Unterhalb der Grenzfrequenz ν_0 kein Photoeffekt, oberhalb davon Photoeffekt. b) Rechts oben: Photoeffekt als Funktion der Spannung U . Positive Werte der Spannung U bedeuten, dass die belichtete Elektrode die Kathode ist. Die größte Spannung, die die Photoelektronen noch anlaufen können, wenn die Anode ist, ist U_{Max} . Der Sättigungsstrom I_s ist eine Funktion der Lichtintensität P . c) Links unten: Maximale Photoeffektspannung U_{Max} als Funktion der Lichtfrequenz ν , Messung des Photoeffektes. Die Austrittsarbeit U_A als Steigung und Achsenabschnitt (5.28). Übrigens sind bei der Gegenfeld-Methode die Spannungen von Kathode und von Anode, zu berücksichtigen. d) Rechts unten: Sättigungsstrom I_s als Funktion der Lichtintensität P mit der Lichtintensität

eingestrahlt Lichtes abhängigen Wert U_{Max} überschreitet, fließt kein Photoeffektstrom mehr. Die emittierten Elektronen haben nicht mehr die genügende Energie, um gegen die Bremsspannung anzulaufen. Es gilt $e \cdot U_{\text{Max}} = mv^2/2$ für die Geschwindigkeit der Photoelektronen. Wird dieses maximale Bremspotential U_{Max} gegen die Frequenz des eingestrahlt Lichtes aufgetragen, so ergibt sich eine Gerade (Abb. 5.7c).

Licht
Photokathode
iv aufgelade-
er Elektrode
nten: Anord-
Photoeffektes

Abb. 5.7. Zum Photoeffekt: a) Links oben: Photostrom I als Funktion der Frequenz ν des Lichtes. Unterhalb der Grenzfrequenz ν_{Grenz} gibt es keinen Photostrom. b) Rechts oben: Photostrom I als Funktion der angelegten Spannung U . Positive Werte der Spannung U bedeuten hier, daß die belichtete Elektrode die Kathode ist. Die größte negative Spannung, gegen die die Photoelektronen noch anlaufen können, wenn die belichtete Elektrode Anode ist, ist U_{Max} . Der Sättigungsstrom I_s ist eine Funktion der Lichtintensität P . c) Links unten: Maximale Bremsspannung U_{Max} als Funktion der Lichtfrequenz ν , Messung des Verhältnisses h/e und der Austrittsarbeit U_A als Steigung und Achsenabschnitt der Geraden nach Gl. (5.28). Übrigens sind bei der Gegenfeld-Methode beide Austrittsarbeiten, von Kathode und von Anode, zu berücksichtigen. d) Rechts unten: Sättigungsstrom I_s als Funktion der Lichtintensität P . Die Stromstärke steigt mit der Lichtintensität

Wert U_{Max} überschreitet, fließt kein Photostrom mehr.
nicht mehr die genügende Energie, um gegen die
lt $e \cdot U_{\text{Max}} = mv^2/2$ für die Geschwindigkeit der Photo-
Bremspotential U_{Max} gegen die Frequenz des einge-
rgibt sich eine Gerade (Abb. 5.7c).

Haken - Wolf

1. Die Originalarbeiten sind schwer zu verstehen.
2. Die falsche Interpretation ist plausibel.
3. Spätere Zeitschriftenartikel können nichts mehr ausrichten, sie kommen im falschen Augenblick.
4. Trotz der falschen Interpretation kommt der richtige Wert heraus – durch einen unglücklichen Umstand.
5. Auch Autoren, die den Fehler kennen, ziehen es vor, ihn nicht publik zu machen. Harmoniebedürfnis?

3. Die Moral

1. Der Fehler ist den meisten Autoren und Lesern nicht aufgefallen. Man muss damit rechnen, dass es noch (viele) andere Fehler gibt.

2. Die Lehre der Physik ist stark ritualisiert.

Die Wissenschaft sie ist und bleibt,
was einer ab vom anderen schreibt,
und dennoch ist, ganz unbestritten,
sie immer weiter fortgeschritten.

Ende