

Habt ihr schon gewusst - 434 ... Photoeffekt ... Kontaktspannung

Die Anregung zu diesem Arbeitsauftrag in der Kursstufe kam von Prof. Dr. Herrmann auf der MNU 2011 in Mainz.

... die uns bekannte Einsteinsche Photoeffekt-Gleichung

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

ist leider falsch ... so eigenartig das klingen mag ... auch wenn es in vielen Physikbüchern steht. Ein Referat auf der MNU-2011 in Mainz von Prof. Dr. Herrmann zeigt diesen erstaunlichen Fehler. Ich habe versucht, diesen Hintergrund als Arbeitsblatt so zu formulieren, dass er für sehr gute Physikschüler in der Kursstufe greifbar wird ... evtl. anspruchsvoll ... siehe Arbeitsauftrag nächste Seite.

Hierbei empfehle ich die „offenen Arbeitsaufträge“ wirklich nur „sehr guten Schülerteams“ zu geben ...

Da die typische Schulformel schlicht falsch ist, muss man sich eine didaktische Alternative überlegen. Beginnt man die Quantenphysik mit diesem Einstiegsexperiment – wie ich das als Referendar gelernt habe -, hat man folgende Probleme:

1. Das Experiment ist anspruchsvoll ... und gelingt abhängig von der Ausstattung der Physiksammlung nicht immer überzeugend.
2. Die Standardschulformel ist schlicht falsch ... soll man den Einstieg in eine neue Thematik mit einem physikalischen Fehler beginnen?
3. Die Möglichkeit, die korrekte Formel einzuführen, bedingt die Diskussion von Kontaktspannungen ... wie didaktisch sinnvoll ist das an dieser Stelle.
4. Eventuell beschränkt man sich auf die Diskussion der Energiebilanz bei der Photon-Elektron-Wechselwirkung ... und geht nicht genau darauf ein, was das Spannungsmessgerät nun tatsächlich genau misst.
5. ODER man beginnt die Quantenphysik mit alternativen Experimenten, die nicht diesen „fachlichen Pferdefuß“ haben.

Meine Erfahrung: Der Photoeffekt ist ein schönes Experiment am Ende der Quantenphysik ... aus zwei Gründen:

1. Es ist ein Abithema – zumindest bisher ... und
2. als Lernzielkontrolle ist es ein ideales Thema ...

und in einer Teamarbeit stoßen die Schülerinnen und Schüler (wenn sie z.B. in Wikipedia nachsehen) automatisch auf die korrekte Formel, wundern sich, dass die „vermeintlich falsche Austrittsarbeit“ in der Wikipedia-Darstellung auftritt und können sich damit auseinandersetzen.

Für solch einen Unterrichtsgang habe ich die folgenden Arbeitsblätter formuliert.

Die Lösung/Herleitung ist eine **didaktische Reduktion**

... hoffentlich noch „fachwissenschaftlich korrekt genug“ ☺

Arbeitsauftrag - Photoeffekt

Bild aus:

http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Versuch_zum_Fotoeffekt.png&filetimestamp=20051110180625

einfügen

üblich **Schulbuchdarstellung**

- Die Elektronen-Energieniveaus sind bis zu einer bestimmten Energiehöhe aufgefüllt – die Energie des höchsten Energieniveaus nennt man „Fermi-Energie“
- Um das Elektron aus dem Kathodenmaterial auszulösen benötigt man die Energie – hier mit W_{Kat} bezeichnet – das ist die Energiedifferenz zwischen dem höchsten Fermi-niveau und dem Energieniveau eines „freien Elektrons“.
- Das Photon hat bei der Wechselwirkung an das Elektron die Energie $h \cdot f$ übertragen. Ist $h \cdot f$ größer als die benötigte „Austrittsenergie“ (Austrittsarbeit, Ablösearbeit, Ablöseenergie), dann hat das Elektron nach der WW noch die überschüssige Energie als kinetische E_{Kin}
- Diese Energiebilanzbetrachtung liefert die Einstein-Gleichung: **$h \cdot f = W_{\text{Kat}} + E_{\text{Kin}}$**
- Die Elektronen können nicht mehr gegen die Anode anlaufen, wenn sich zwischen Anode und Kathode eine Spannung U_{max} aufgebaut hat ... also
- **$E_{\text{kin}} = e \cdot U_{\text{max}}$** ... oder

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

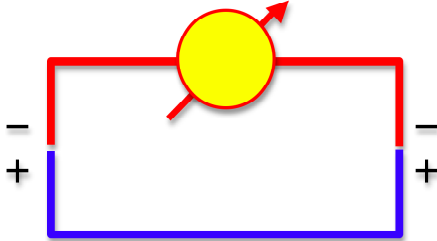
- Bei dieser Argumentation wird aber die Austrittsarbeit W_{Anode} des Elektrons aus der Anode nicht berücksichtigt.
- Und es wird nicht berücksichtigt, dass in einem geschlossenen Stromkreis **Kontaktspannungen** auftreten.

Arbeitsauftrag A *sehr offen*

1. Zeige, dass die übliche Schulformel: **$h \cdot f = W_{\text{Kat}} + e \cdot U_{\text{max}}$** falsch ist.
2. Wie lautet die korrekte Formulierung?
3. Welchen experimentellen Ausgang müsste man erwarten, wenn man „nichts von der Quantphysik“ weiß und dieses Experiment auf dem Hintergrund der „klassischen Physik“ diskutiert?

Arbeitsauftrag C *geführt ...*

1. Diskutieren Sie folgende Aspekte mit Ihrem Team und überprüfen Sie experimentell die formulierten Aussagen!



Verbindet man zwei Leiter aus verschiedenen Metallen (z.B. Kupferkabel und Konstantankabel) zu einem geschlossenen Stromkreis, dann wissen wir, dass an den beiden Kontaktstellen jeweils eine Kontaktspannung entsteht.

Diese Kontaktspannung ergibt sich aus den unterschiedlichen „Austrittsenergien“ (notwendige Energie, um das Elektron aus dem Kristallgitter zu lösen) der beiden unterschiedlichen Metalle. Die Kontaktspannung entspricht der Energiedifferenz dieser „Austrittsenergien“ der beiden Metalle pro Ladungseinheit.

Trennt man nun das Laborkabel in der Mitte auf und baut ein Spannungs-Messgerät ein, dessen Kabel nur aus der Metallsorte besteht, aus der die beiden Anschlussleitungen sind, dann haben wir immer noch zwei Kontaktspannungen an den Kontaktstellen des Kupferkabels mit dem Konstantankabel – ABER das Spannungs-Messgerät zeigt leider nichts an, denn die beiden Kontaktspannungen sind gegeneinander geschaltet.

2. Recherchieren Sie, unter welchen experimentellen Randbedingungen die Kontaktspannung an einer der beiden Kontaktstellen größer oder kleiner werden kann ¹

Wir gehen von folgenden Randbedingungen aus:

- Ein Photon überträgt die Energie $h \cdot f$ auf ein Elektron.
 - Das Elektron verliert beim Austritt aus der Kathode die Energie W_{Kat}
 - Die restliche Energie, nach dem Austritt aus der Kathode, liegt als kinetische Energie E_{kin} des Elektrons vor. Es gilt also: $h \cdot f = W_{\text{Kat}} + E_{\text{kin}}$
 - Die Kontaktspannung zwischen dem Anoden- und dem Kathoden-Material ist $U_{\text{Kon}} \dots$ Diese Kontaktspannung U_{Kon} ergibt sich als Differenz der Austrittsenergien („Austrittsarbeit“) der Anode und der Kathode: $e \cdot U_{\text{Kon}} = W_{\text{Anode}} - W_{\text{Kat}}$
 - Die Elektronen können die Anode so lange aufladen, bis die maximale Spannung zwischen Anode und Kathode den Wert U_{AK} annimmt. Wenn $E_{\text{kin}} = e \cdot U_{\text{AK}}$ ist, können die Elektronen die Anode nicht mehr erreichen.
 - Das Messgerät zeigt in einem normalen Stromkreis aus zwei unterschiedlichen Kabeln keine Spannung (siehe oben). Wenn man aber nun die rechte Kontaktstelle in der obigen Schaltskizze durch einen „Vakuumkontakt einer Photozelle“ ersetzt, Anode oben, Kathode unten, dann zeigt das Messgerät nach einer Anlaufzeit eine maximale Spannung U_{Mess} an ... $U_{\text{Mess}} = U_{\text{AK}} - U_{\text{Kon}}$
3. Zeigen Sie die Gültigkeit der folgenden Gleichung: $h \cdot f = W_{\text{Anode}} + e \cdot U_{\text{Mess}}$

Arbeitsauftrag D *Herausforderung ... maximal differenziert ...*

Interpretieren Sie das nebenstehende Bild, das die Verhältnisse beim „Photoeffekt“ in einer „Photozelle“ darstellt.

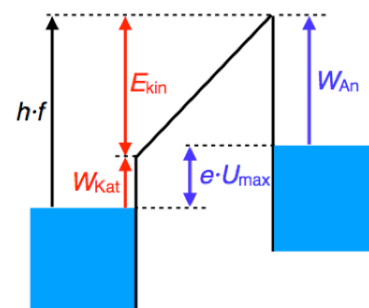


Bild aus dem Referat von Prof. Dr. Hermann / MNU-2011 Mainz

¹ ... da die Kontaktspannung eine Funktion der Temperatur ist, ergibt sich eine Thermospannung, wenn man durch Erhitzen oder Abkühlen dafür sorgt, dass sich die beiden Kontaktstellen auf unterschiedlichem Temperaturniveau befinden.

Lösung zum Arbeitsauftrag C

- $h \cdot f = W_{\text{Kat}} + E_{\text{kin}}$ mit $E_{\text{kin}} = e \cdot U_{\text{AK}}$ ergibt sich
- $h \cdot f = W_{\text{Kat}} + e \cdot U_{\text{AK}}$ mit $U_{\text{Mess}} = U_{\text{AK}} - U_{\text{Kon}}$ oder $U_{\text{AK}} = U_{\text{Mess}} + U_{\text{Kon}}$
- $h \cdot f = W_{\text{Kat}} + e \cdot (U_{\text{Mess}} + U_{\text{Kon}})$ oder $h \cdot f = W_{\text{Kat}} + e \cdot U_{\text{Mess}} + e \cdot U_{\text{Kon}}$ mit $e \cdot U_{\text{Kon}} = W_{\text{Anode}} - W_{\text{Kat}}$
- $h \cdot f = W_{\text{Kat}} + e \cdot U_{\text{Mess}} + W_{\text{Anode}} - W_{\text{Kat}}$ oder $h \cdot f = W_{\text{Anode}} + e \cdot U_{\text{Mess}}$

... erstaunliches zur Austrittsenergie („Austrittsarbeit“) aus Metallen ...

Eigentlich müsste man erwarten, dass man bei der Vermessung von verschiedenen Metallen immer die gleiche Austrittsenergie („Austrittsarbeit“) findet. Dem ist leider nicht so, die folgende Tabelle zeigt die Austrittsenergien („Austrittsarbeiten“) verschiedener Metalle ... aus dem Hochschulbuch Tipler, Paus und aus einer Formelsammlung des Paetec-Verlages. Besonders eigenartig sind die Werte im Hochschulbuch „Paus“, in dem auf unterschiedlichen Seiten ganz unterschiedliche Werte vermerkt sind.

	Metall	Tipler	Paetec Formel-Sammlung	Paus
CS	Cäsium auf Wolframoxid		0,001 eV	
Ba	Barium auf Wolfram		0,3 eV	
Cs	Cäsium rein		1,94 eV	2,14 eV ; 1,94 eV
K	Kalium	2,10 eV		2,30 eV
Na	Natrium	2,30 eV		2,75 eV
Ba	Barium		2,52 eV	
Ca	Calcium	3,20 eV		2,87 eV
Mn	Mangan	3,80 eV		
Ca	Cadmium		4,04 eV	4,22 eV
Cu	Kupfer	4,10 eV		4,65 eV; 4,48 eV
Bi	Wismut			4,22 eV
Pb	Blei			4,25 eV
Al	Aluminium		4,20 eV	4,28 eV
Zr	Zink		4,27 eV	4,27 eV; 4,33 eV
Sn	Zinn			4,42 eV
W	Wolfram		4,54 eV	4,55 eV; 4,53 eV
Fe	Eisen			4,63 eV; 4,60 eV
Ag	Silber	4,70 eV		4,26 eV
Au	Gold	4,80 eV		5,10 eV
Ni	Nickel	5,20 eV		5,15 eV; 4,91 eV
Pt	Platin		5,36 eV	4,65 eV; 5,63 eV
Se	Selen			5,90 eV