

A 54 Photoeffekt



Karlsruher Institut für Technologie
Institut Physikalische Chemie

Praktikum: PCA

testiert am: 15.03.2017

Betreuer: Peter Plüsser

Ziel:

Durch Bestimmung der Austrittsarbeit und der ~~Plancks~~ Planckschen Konstante von verschiedenen ~~Metall~~ Metalloberflächen, soll deren Material bestimmt werden.

Grundlagen:

Bestrahit man Metalloberflächen, so können Elektronen emittiert werden. Dies nennt man Photo- oder photoelektrischer Effekt. Aus Beobachtungen kann man schließen, dass

die Elektronen durch Kollision mit einem Teilchen (Photon) herausgeschlagen werden. Dieses Teilchen muss eine dafür ausreichende kinetische Energie besitzen, ~~aus~~ dem

Energieerhaltungssatz folgt: $E_{\text{kin,max}} = \frac{1}{2} m v^2 = h\nu - \phi$

h : Plancksches Wirkungsquantum ; ν : Frequenz der Strahlung ; Energie des Photons

ϕ : Austrittsarbeit \rightarrow charakteristisch für jedes Metall, Energie die nötig ist um ein Elektron zu entfernen

Da die Photonenenergie von der Wellenlänge λ abhängig ist, folgt $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

Erst wenn $h\nu > \phi$ kann ein Photoeffekt auftreten.

Im Versuch wird $E_{\text{kin,max}}$ bestimmt. Dazu werden Photoelektronen

über ein Feld der Gitterelektrode geleitet. Dieses hat ein

Potential, welches die Photoelektronen bremst, bis sie das

Feld bei einem ausreichenden Potential nicht mehr überqueren können.

Bei $U = U_{\text{max}}$ gilt: $E_{\text{kin,max}} = eU_{\text{max}}$ (e-Elektronenladung)

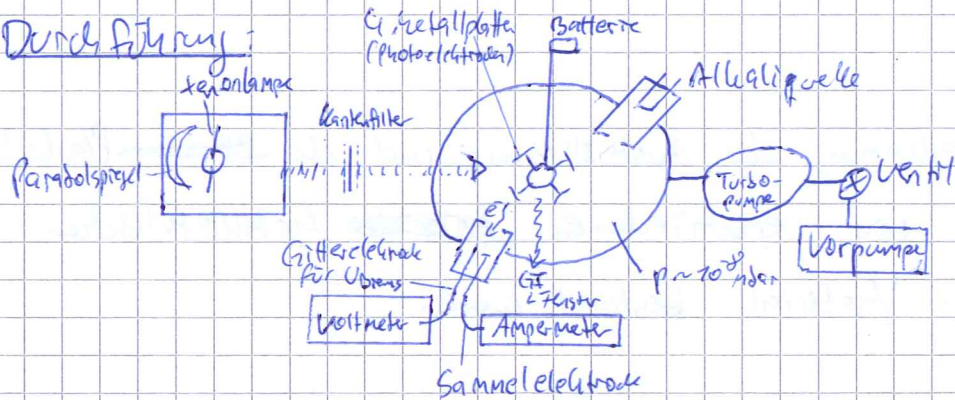
Für die Auswertung gilt: $\frac{E_{\text{kin}}}{e} = U_{\text{Brems,max}} - U_{\text{Batt}} + \Delta U_{\text{Syst}}$ + beobachteter systematischer Fehler

ΔU_{Syst} wird mit einer Messung einer bekannten ↳ Spannung des Batteriepacks

Metallplatte bestimmt.

Quellen: - Atkins, Physikalische Chemie, 5. Aufl., WILEY-VCH, Weinheim 2013, S.270f.
- Versuchsbeschreibung

Durchführung:



Zuerst wird die Spannung des Batteriepols U_{Batt} gemessen. Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass vor Einsetzen der Filter jeweils der Photoelektronenstrom null ist.

Um das Experiment zu beginnen wird die Vorkumpfpumpe eingeschaltet. 20 Minuten später folgt die Turbomolekularpumpe und 2 Minuten später wird das Trennventil geöffnet.

Man schaltet die Spannungsversorgung der Lichtquelle ein & 2 Minuten später zündet man die Entladung an der Xenonlampe. Zuerst wird die Kupfer Gitterelektrode bestrahlt. Mit dem Picoamperemeter misst man den ^{maximalen} Photostrom. Dieser wird durch drehen der Photoelektrode ermittelt. Nun erhöht man Überspannung mit dem Labview-Programm. Dieses ~~misst~~ ^{misst} außerdem die Stromstärke. Diese Prozedur wird mit allen Kontakfiltern & Photoelektroden wiederholt.

Im zweiten Versuchsteil wird die Xenonlampe aus und die Stromquelle der Alkaliquelle an geschaltet werden. Der Heizstrom wird innerhalb von 20 Minuten auf 6A erhöht und ca. 15 min bei 6A gelassen. Man schaltet nun die Stromversorgung aus und lässt die Kathoden 2 min ruhen. Dann wird die Kathode durch Drehung vor den UV Strahl gestellt. Nun wird mit allen Filtern die beschichtete Elektrode gemessen.

Zum Abschluss wird die Lichtquelle ausgeschaltet und das Ventil geschlossen. Dann wird die Turbomolekularpumpe und dann die Vorkumpfpumpe ausgemacht.

Quelle: - Versuchsskript

Auswertung

Die abgelesenen Bremsspannungen $U_{\text{Brems,max}}$ der jeweiligen Proben mit versch. Filtern sind in Tabelle 1 aufgelistet. Dabei betrug die Unsicherheit

$$\Delta U_{\text{Brems,max}} = \pm 0,5 \text{ V}$$

Die Werte bei einer Wellenlänge von 200nm sind die Bremsspannungen ohne Filter, da bei dieser Wellenlänge die höchste Intensität der Xe-Lampe ist.

Um die Bremsspannungen gegen die Frequenz aufzutragen, muss zunächst $\Delta \nu$

berechnet werden: $\nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \Delta \nu = \left| \frac{c}{\lambda^2} \right| \Delta \lambda$ nach der Größtfehlerabschätzung

Diese Werte sind ebenfalls in Tabelle 1 aufgeführt, wobei $\Delta \lambda = 20 \text{ nm}$ angenommen wurde. Graphen 1-4 zeigen die linearen Regression dieser Werte, womit dann das Plancksche Wirkungsquantum h und die Austrittsarbeit der unbekannteren Metalloberflächen bestimmt werden können.

Zunächst muss aber der baubedingte systematische Fehler der Anlage ΔU_{Syst}

bestimmt werden: $\Delta U_{\text{Syst}} = \frac{E_{\text{kin}}}{e} - U_{\text{Brems,max}} + U_{\text{Batt}}$

wobei $U_{\text{Batt}} = 27,8 \text{ V}$ gemessen wurde und $E_{\text{kin}} = h\nu - \phi$ ist

Metall A ist bekannt: Kupfer $\phi_{\text{Lit,Cu}} = 5,1 \text{ eV} = 8,17 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (*)

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 = 200 \text{ nm} &\Rightarrow \Delta U_{\text{Syst}1} = \frac{h\nu_1 - \phi}{e} + U_{\text{Batt}} - U_{\text{Brems,max}} = 2,904 \text{ V} \\ \lambda_2 = 280 \text{ nm} &\Rightarrow \Delta U_{\text{Syst}2} = 1,332 \text{ V} \\ \lambda_3 = 320 \text{ nm} &\Rightarrow \Delta U_{\text{Syst}3} = 0,978 \text{ V} \\ \lambda_4 = 345 \text{ nm} &\Rightarrow \Delta U_{\text{Syst}4} = 0,797 \text{ V} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Mittelwert} \\ \Delta U_{\text{Syst}} = 1,502 \text{ V}$$

$$\text{Der Fehler des Mittelwerts } \overline{\Delta U_{\text{Syst}}} = \Delta(\Delta U_{\text{Syst}}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta U_{\text{Syst}i} - \overline{\Delta U_{\text{Syst}}})^2} = 0,48$$

wobei $n=4$ Messungen

Berechnung des Planckschen Wirkungsquantums h : $\tan(\alpha) = \frac{h}{e} \hat{=} m$ als Steigung des linearen Fits

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow h_1 = m_1 \cdot e &= 7,434 \text{ V} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1,2006 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ h_2 = m_2 \cdot e &= 7,531 \text{ V} \cdot e = 1,216 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ h_3 = m_3 \cdot e &= 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ Vs} \cdot e = 2,243 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ h_4 = m_4 \cdot e &= 1,012 \cdot 10^{-15} \text{ Vs} \cdot e = 1,621 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Mittelwert} \\ \bar{h} = 1,57 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

wobei $m_1 - m_4$ aus den Graphen 1-4 sind.

Der Fehler auf h ist gegeben durch den maximalen Fehler $\Delta h_i = 1,042 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$$\Rightarrow h = (1,57 \pm 1,042) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Berechnung der Austrittsarbeiten Φ : $\frac{\Phi}{e} = b - U_{\text{Batt}} + \Delta U_{\text{sys}}$
 \hookrightarrow y-Achsenabschnitt des jeweiligen lin. Fits

Metall B: $\Phi_B = 24,07 \text{ V} - 27,8 \text{ V} + 1,502 \text{ V} = -2,23 \text{ V}$

Metall C: $\Phi_C = 23,6 \text{ V} - 27,8 \text{ V} + 1,502 \text{ V} = -2,7 \text{ V}$

Metall D: $\Phi_D = 24,12 \text{ V} - 27,8 \text{ V} + 1,502 \text{ V} = -2,18 \text{ V}$

Metall A: $\Phi_A = \Phi_{\text{Cu}} = 5,1 \text{ V}$

} wobei mit dem Betrag weiter gerechnet wird

Berechnung des Photostroms $I(\Phi) = a \cdot \exp\left(\frac{h\nu - \Phi}{b}\right)$

$$I(\Phi_{\text{Cu}}) = \exp(h \cdot \nu_{\text{ohne Filter}} - \Phi_{\text{Cu}}) = 0,0061 \text{ A}$$

$$I(\Phi_B) = \exp(h \cdot \nu_{\text{ohne Filter}} - \Phi_B) = 0,1077 \text{ A}$$

$$I(\Phi_C) = \exp(h \cdot \nu_{\text{ohne Filter}} - \Phi_C) = 0,0674 \text{ A}$$

$$I(\Phi_D) = \exp(h \cdot \nu_{\text{ohne Filter}} - \Phi_D) = 0,113 \text{ A}$$

} $I(\Phi)$ ist in Graph 5 gegen Φ aufgetragen
 \Rightarrow exponentieller Zusammenhang erkennbar

\Rightarrow Mit steigender Austrittsarbeit nimmt der Photostrom ab.

Fehler auf Φ und $I(\Phi)$:

$$\Delta \Phi = \left| \frac{\partial \Phi}{\partial b} \right| \Delta b + \left| \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta U_{\text{sys}}} \right| \Delta(\Delta U_{\text{sys}}) = \Delta b + \Delta(\Delta U_{\text{sys}})$$

$$\Rightarrow \Delta \Phi_B = 0,54 \text{ V}, \quad \Delta \Phi_C = 0,48 \text{ V}, \quad \Delta \Phi_D = 0,72 \text{ V}$$

$$\Delta I(\Phi) = \left| \frac{\partial I}{\partial \Phi} \right| \Delta \Phi + \left| \frac{\partial I}{\partial \nu} \right| \Delta \nu = h \cdot \nu \cdot I(\Phi) \Delta \nu + \Phi \cdot I(\Phi) \Delta \Phi$$

$$\Rightarrow \Delta I_B = 0,13 \text{ A}, \quad \Delta I_C = 0,09 \text{ A}, \quad \Delta I_D = 0,18 \text{ A}$$

Fehlerrechnung Bestimmung des Fehlers der linearen Regression $y = ax + b$

$$\Delta U_{\text{brenn,max}} = 0,5 \text{ V}, \quad \Delta \lambda = 20 \text{ nm}, \quad \text{Konfidenz } K = 0,95 \Rightarrow \alpha = 1 - K = 0,05$$

$$\Phi(x_A) = 1 - \frac{\alpha}{4} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} = 0,9875 \Rightarrow x_A \approx 2,2$$

$$\sigma \stackrel{!}{=} \Delta U_{\text{brenn,max}} = 0,5, \quad \text{Mittelwert von } \bar{a}_{\text{origin}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i,\text{origin}} = 9,8 \cdot 10^{-16}, \quad n=4$$

$$\Rightarrow \text{Standardabweichung } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} = 3,05 \cdot 10^{-16} \Rightarrow \Delta a_{\text{origin}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 1,53 \cdot 10^{-16}$$

$$\Rightarrow \Delta a = \frac{\Delta a_{\text{origin}} \cdot x_A \cdot \sigma}{s} = 0,55$$

$$\text{analog für } \Delta b = \frac{\Delta b_{\text{origin}} \cdot x_A \cdot \sigma}{s} = 0,55$$

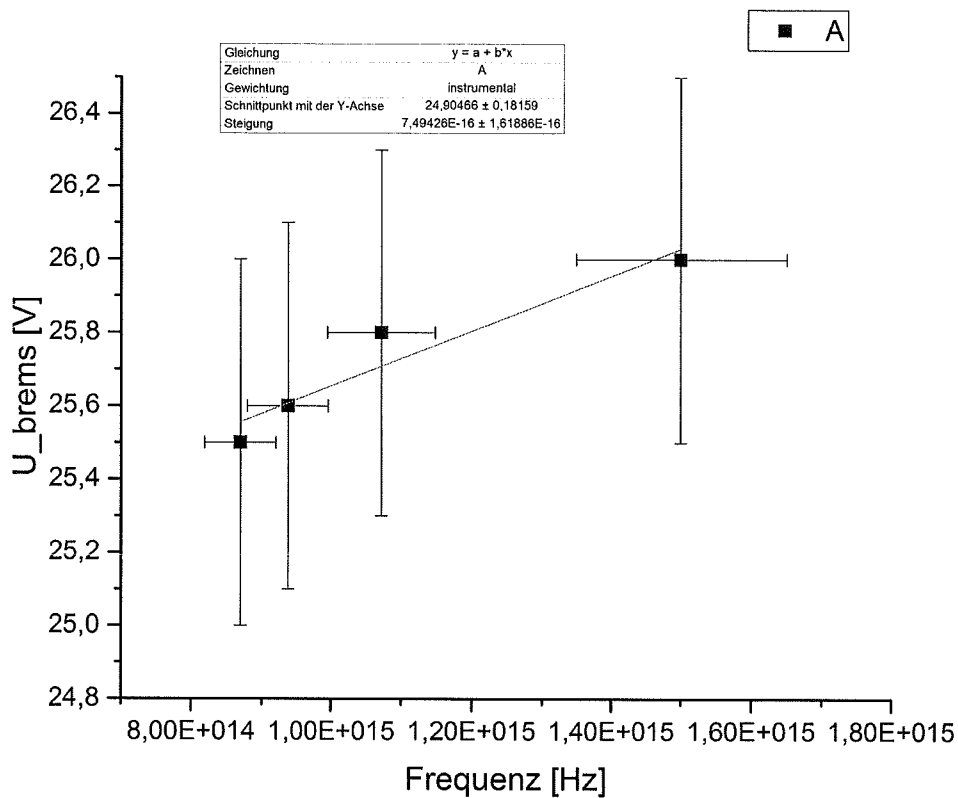
$$\text{wobei } \bar{b}_{\text{origin}} = 24,173, \quad s = 0,541, \quad \Rightarrow \Delta b_{\text{origin}} = 0,27$$

Literaturquellen: • CRC Handbook of Chemistry and Physics, 83th Edition, 2009

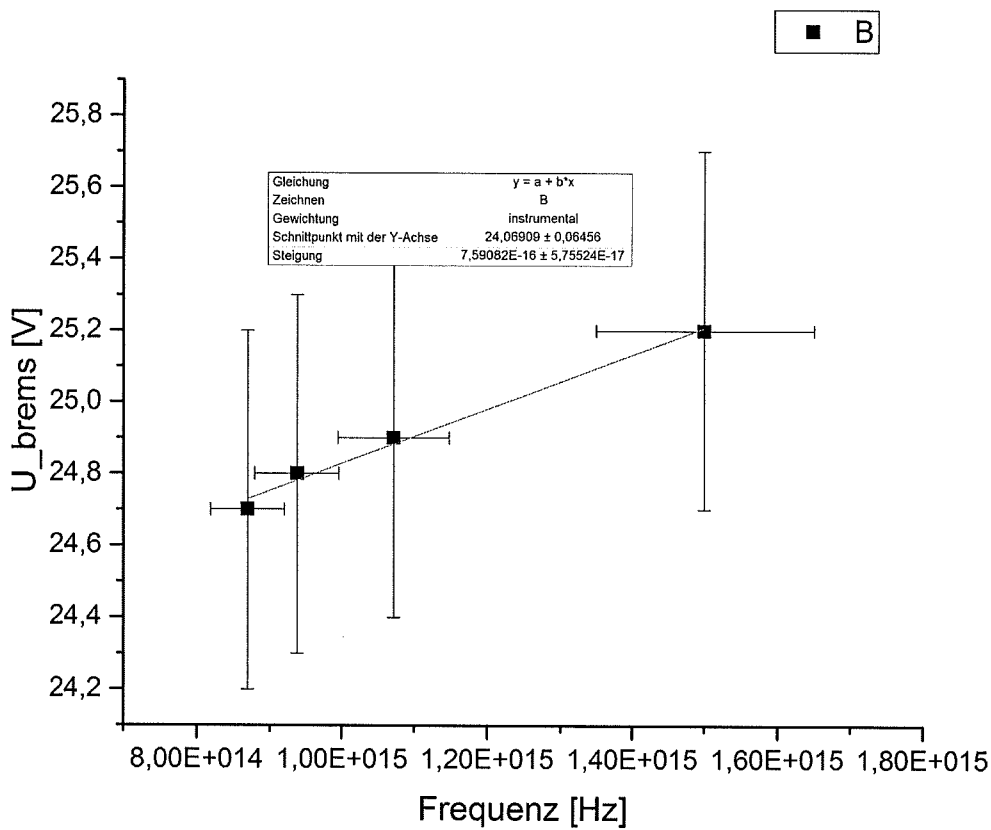
(1): S. 12-114

• Versuchsbeschreibung

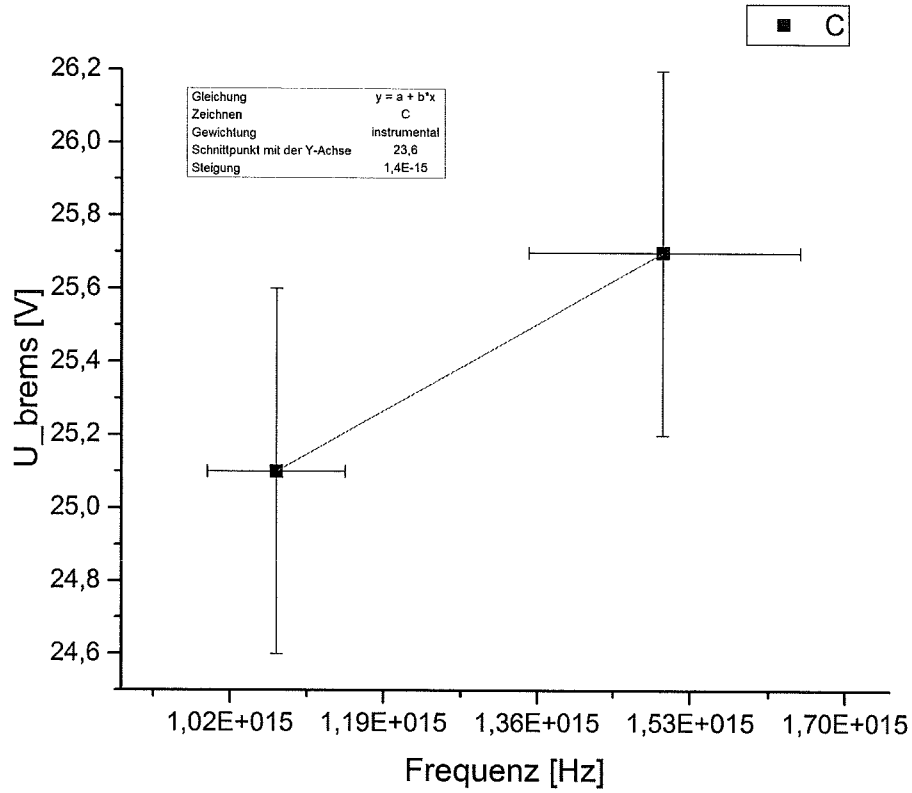
Graph 1



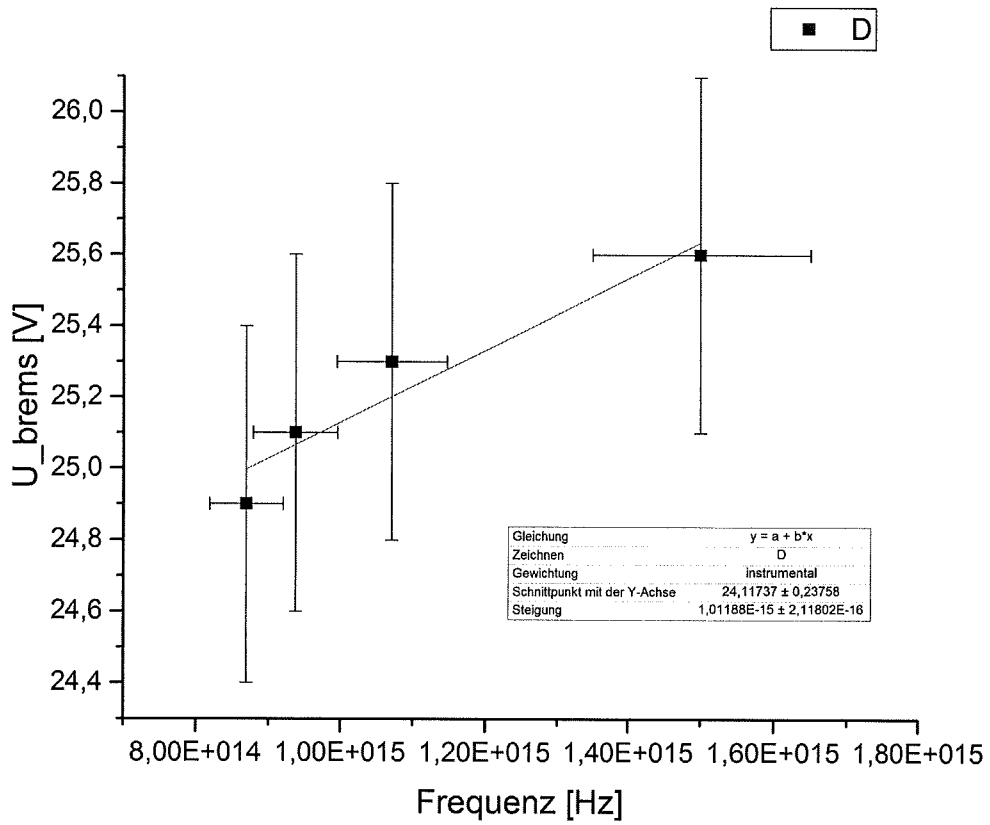
Graph 2



Graph 3



Graph 4



Graph 5

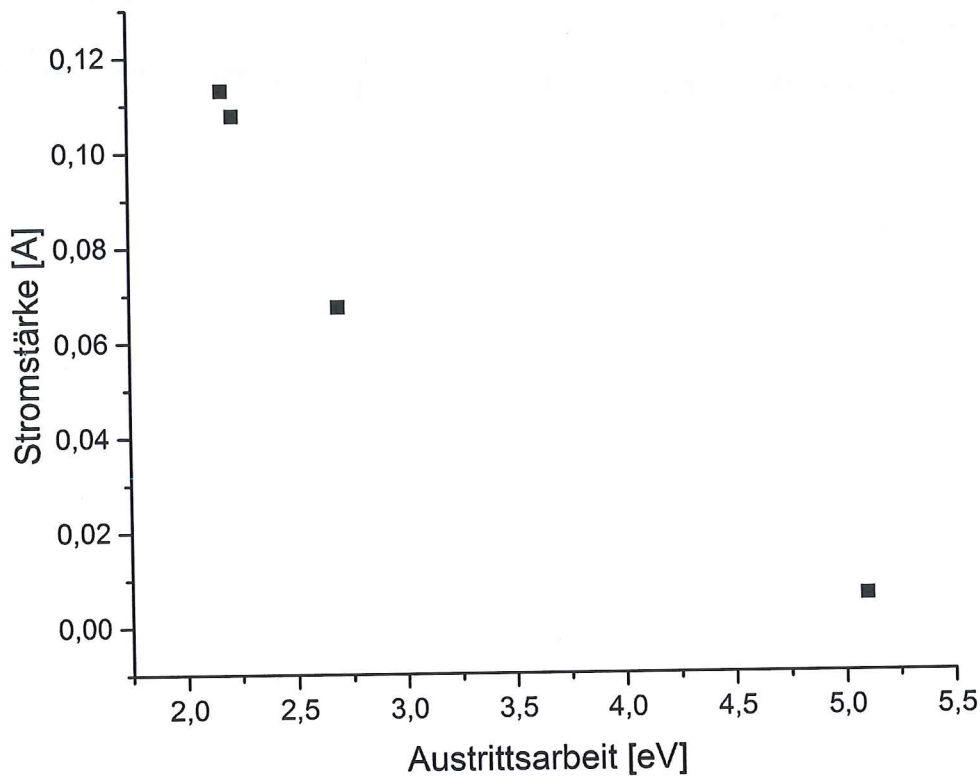


Tabelle 1

Wellenlänge	U _{brems} in V				Frequenz ν in Hz	$\Delta\nu$ in Hz
	Probe A	Probe B	Probe C	Probe D		
200nm	26	25,2	25,7	25,6	1,5E+15	1,5E+14
280nm	25,8	24,9	25,1	25,3	1,07143E+15	7,65306E+13
320nm	25,6	24,8		25,1	9,375E+14	5,85938E+13
345nm	25,5	24,7		24,9	8,69565E+14	5,04096E+13

Abschließender Vergleich mit Literaturwerten ⁽¹⁾

Metall B : $1,69\text{eV} \leq \phi_B \leq 2,73\text{eV} \Rightarrow$ infragekommene Metalle : - Ba (2,5eV)
 - Na (2,36eV)
 - Rb (2,261eV)

Metall C : $2,22\text{eV} \leq \phi_C \leq 3,18\text{eV} \Rightarrow$ infragekommene Metalle : - Ca (2,67eV)
 - Ce (2,9eV)
 - Li (2,93eV)

Metall D : $1,46\text{eV} \leq \phi_D \leq 2,9\text{eV} \Rightarrow$ mögliche Metalle : - Ba (2,5eV)
 - Cs (1,95eV)
 - Na (2,28eV)
 - Rb (2,261eV)

Fehlerdiskussion

Durch das ungenaue Ablesen von $U_{\text{brenn,max}}$ sind alle daraus berechneten Werte fehlerbehaftet. Deshalb können die Austrittsarbeiten auch so stark von der tatsächlichen Austrittsarbeit der jeweiligen Metalloberfläche abweichen.

Gleiches gilt für die Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums, da die Steigungen doch relativ unterschiedlich waren und somit der experimentelle Wert um 2396 vom Literaturwert abweicht.

Material	kein Filter	370nm	480nm	345nm
		1. Filter ✓	2. Filter	3. Filter
(Cu) 1 (330°)	330°	328	✓	✓
2 (246°)	240°	228 ⁰⁰ * 240	✓	✓
3 (150°)	150°	150	✓	
4 (65°)	65°	66°	✓	✓
#				

* Offset $-5,2 \cdot 10^{-13}$

Offset $-5,18 \cdot 10^{-13}$

27,8 ✓

Per Resi

Zusatzfragen

1.) Die Austrittsarbeit gibt die Energie an, die mindestens aufgebracht werden muss um ein Elektron aus einem Festkörper zu lösen. Es wird nicht zwischen verschiedenen Energieniveaus der Elektronen unterschieden. Die Austrittsarbeit ist ~~aber~~ abhängig vom chemischen Potential, also von der Art des Festkörpers.

2.) Bei der Thermoemission wird die Austrittsarbeit nicht von kinetischer Energie erbracht, sondern von Erwärmen. Die Richardson-Dushman-Gleichung erlaubt eine Betrachtung der Stromdichte J der Elektronen die aus dem Metall bei hohen Temperaturen austreten.

$$J = \frac{4\pi m_e}{h^3} (k_B T)^2 e^{-\frac{\phi}{k_B T}}$$

In unserem Versuch, könnte dies einen Einfluss auf die Ergebnisse haben, da die Xenonlampe sehr heiß wird.

3.) Jellium-Modell

Das Jellium Modell ist ein Modell für Oberflächenphysik und Clusterphysik. Dabei werden in einem Metall nur die Valenzelektronen betrachtet und nicht die restlichen. Die positiven Ladungen der Atome wird als konstante positive Hintergrundladung betrachtet, die an der Oberfläche endet. Die Ladungsdichte der Elektronen ragt über die ionenstarke hinaus, wodurch ein Oberflächendipol erzeugt wird, der die Austrittsarbeit senkt.

4.) Solarzellen bestehen aus Halbleitern. Durch den Photoeffekt werden auf der Oberfläche Elektronen frei. Diese können durch die unterschiedlich dotierten Halbleitern (erzeugen Asymmetrie) in einen Stromfluss überführt werden.

Quellen:

- Atkins, Physikalische Chemie, WILEY-VCH, 5. Aufl. Weinheim 20-13
S. 270; 505
- Saul Dushman; Electron Emission from metals as a function of
Temperatur, Phys. Rev. band 21 Nr. 6 1923

in den
Beilagen
mit zur
Verfügun
stehen, hat
ich dazu nichts
gefunden

- web.physik.uni-rostock.de/clu/lehre/lehre/physik/jellium-modelle.pdf
(11.3.2017, 12:55 Uhr)
- www.uni-um.de/fileadmin/wessite_uni_um/nawi_inst.251/lehre/SS_10/blaetter.pdf
(11.3.2017, 12:55 Uhr)