

אוניברסיטת בן גוריון
הפקולטה למדעי הטבע
המחלקה לפיזיקה

שם הניסוי

דו"ח מעבדה 5

מאת:

סול אמארה

מדריך המעבדה:

נמרוד שרף

07/01/2021

תוכן עניינים

1. מטרת הניסוי :	2
2. רקע תיאורטי :	2
3. ניסוי : מדידת אופיין השפורפרת	4
3.1. מהלך הניסוי :	4
3.2. תוצאות הניסוי :	5
3.3. עיבוד התוצאות :	6
3.4. דיון בתוצאות ומסקנות :	6
4. ניסוי : מדידת מתח העצירה וקבוע פלאנק	7
4.1. מהלך הניסוי :	7
4.2. תוצאות הניסוי :	7
4.3. עיבוד התוצאות :	7
4.4. דיון בתוצאות ומסקנות :	9
7. סיכום ומסקנות כלליות :	10
8. ביבליוגרפיה	10
9. נספחים	11

1. מטרת הניסוי :

* להכיר את תופעת האפקט הפוטואלקטרי
* למדוד את קבוע פלאנק

2. רקע תיאורטי :

בניסוי זה נתמקד בתופעה הנקראת האפקט הפוטואלקטרי. תופעה זו מתייחסת לעובדה כי בעבר היו תופעות מסוימות שלא היה ניתן להסביר עם הגישה של הסתכלות על אור כגל אלקטרומגנטי. דוגמא לתופעה כזו היא העובדה שאור הפוגע במתכת יכול לגרום לפליטת אלקטרונים ממנה. איינשטיין הסביר את התופעות על ידי נתינת תכונת הדואליות לאור, המסבירה כי אלומת אור יכולה להתנהג לעיתים כגל ולעיתים כחלקיק הנקרא פוטון. על מנת להבין את התנהגות האור נגדיר מספר מונחים בהם נשתמש במעבדה זו :

תדירות סף : פליטת אלקטרונים מהמתכת בה פוגע האור תקרה רק כאשר תדירות האור גדולה ממספר מסוים. מספר זה הינו תדירות הסף והוא משתנה בהתאם לחומר בו האור פוגע. כאשר תדירות האור גדולה מתדירות הסף תתרחש פליטה של אלקטרונים.

תדירות הסף מחושבת על ידי הנוסחה : $\nu_0 = \frac{\phi}{h}$ כאשר ϕ זוהי פונקציית העבודה ו h קבוע פלאנק. פונקציית העבודה היא האנרגיה שמעליה ישתחררו אלקטרונים מהמתכת.

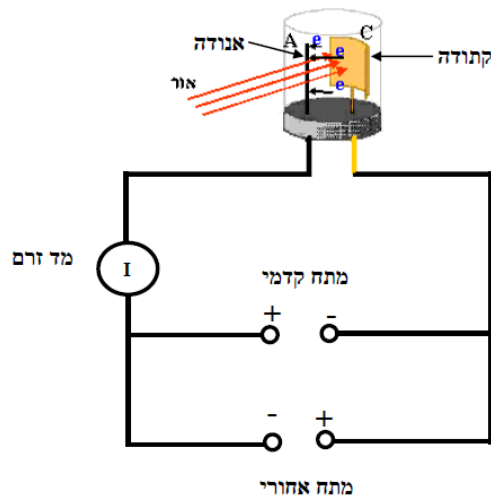
נשים לב כי במערכת בה נשתמש בניסוי זה, האנרגיה שהאלקטרונים מקבלים הינה האנרגיה של פוטון אחד ולכן ניתן להסיק כי אנרגיה של פוטון צריכה להיות גדולה מפונקציית העבודה כלומר :

$$h\nu > \phi$$

זמן תגובה : זמן תגובה הינו הזמן העובר מרגע פגיעת האור על המתכת עד שזורם זרם במעגל.

מתח עצירה: מתח עצירה זה המתח הדרוש על מנת לעצור את האלקטרונים הנפלטים מהקתודה. מתח זה תלוי בתדירות ולא בעוצמת האור. על מנת למדוד אותו נשנשה את המתח במעגל עד להתאפסות הזרם.

בניסוי זה נרצה למדוד ערכים אלו, וללמוד את מאפייני האור. לשם כך, נשתמש בתא פוטואלקטרי המכיל בתוכו קתודה ואנודה ונסגור מעגל חשמלי ביניהן. באמצעות נורה נקריין אלומת אור לעבר הקתודה, האור יגרום לפליטת אלקטרונים מהקתודה ולכן יתחיל לזרום זרם חשמלי במעגל (זרם חשמלי הינו תנועה של אלקטרונים). נמדוד את הזרם והמתח במעגל ונשתמש בערכים אלו ובנוסחאות המופיעות בהמשך על מנת לחשב את הערכים שנרצה. כמו כן, ניתן להוסיף למערכת מסננים שיאפשרו מעבר של אורכי גל מסוימים. התמונה הבאה מציגה את מערכת הניסוי:



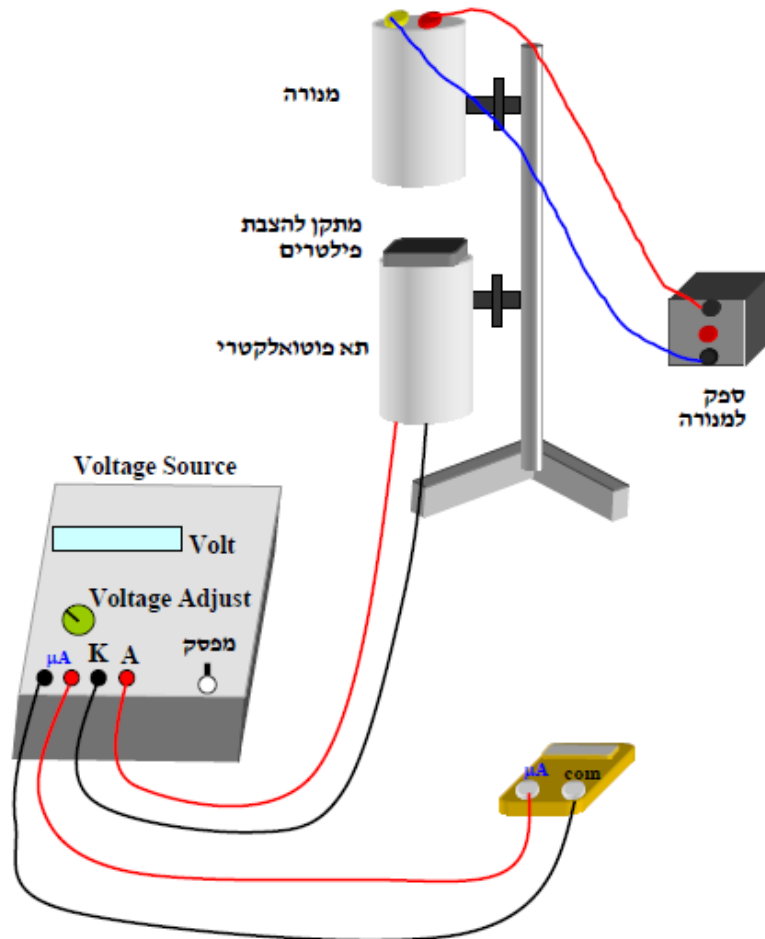
ריכוז הנוסחאות בהן נשתמש במעבדה זו:

$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	קבוע פלנק
(1) $E = hv = \frac{hc}{\lambda}$	אנרגיה של פוטון
(2) $v_0 = \frac{\phi}{h}$ $hv \geq \phi$	תדירות סף
(3) $K_{max} = hv - \phi = \frac{hc}{\lambda} - \phi$	אנרגיה קינטית מקסימלית
(4) $eV_0 = hv - \phi = \frac{hc}{\lambda} - \phi$	מתח עצירה
(5) $\frac{ \bar{x} - x }{\bar{x}}$	סטייה יחסית הערך שהתקבל - x הערך הספרותי - \bar{x}
(6) $\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta z\right)^2}$	הערכת השגיאה בגדלים בלתי תלויים

3. ניסוי: מדידת אופיין השפורפרת

3.1. מהלך הניסוי:

נבנה את המעגל המתואר באיור הבא:



לאחר מכן נכוון את הספק ל0 ונדליק את המנורה.
נקח את המסנן האדום, בעל אורך הגל המקסימלי ונכניס אותו למקומו. נשנה את ההספק בטווח
8V-(-3) בקפיצות של 1V, ונרשום את ערכי הזרם הנמדדים. נחזור על הפעולה עבור כל אחד
מהמסננים ונציג את התוצאות בטבלה.

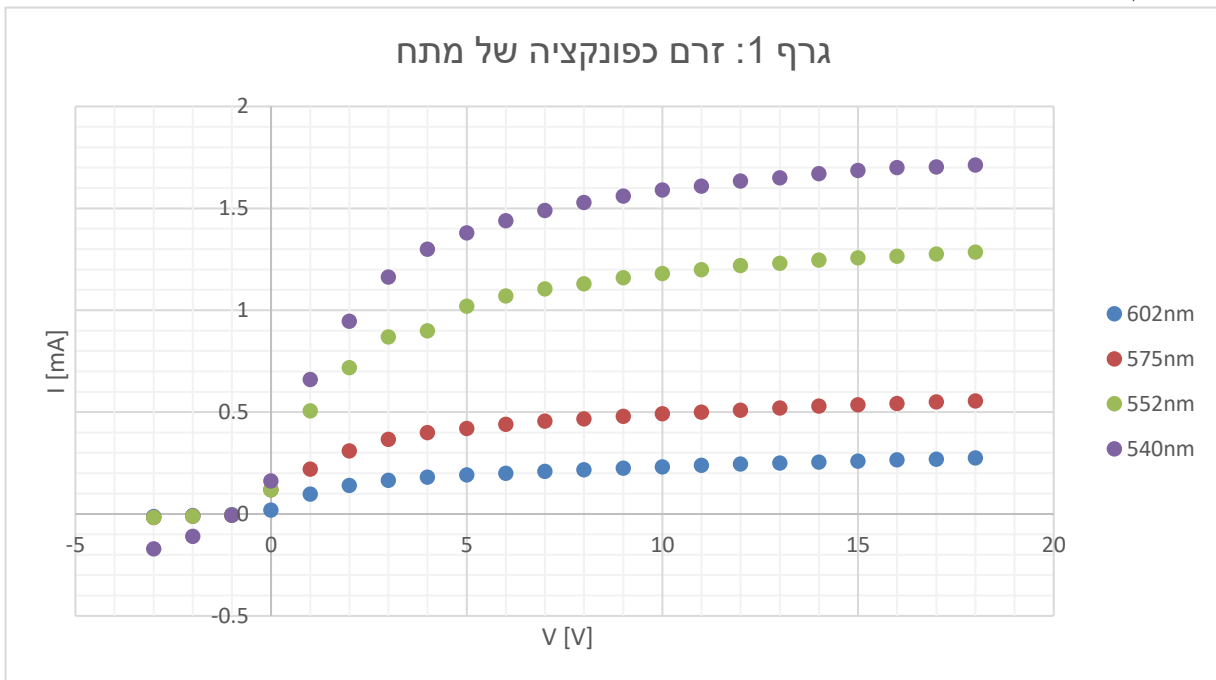
3.2. תוצאות הניסוי:

התוצאות שנמדדו בניסוי זה הם:

אורך הגל של כל מסנן והזרם הנמדד כתלות במתח המופעל				מתח הספק V(V)
540nm I±0.01 (mA)	552nm I±0.01 (mA)	575nm I±0.01 (mA)	602nm I±0.01 (mA)	
-0.17	-0.016	-0.016	-0.012	-3
-0.11	-0.011	-0.011	-0.007	-2
-0.006	-0.006	-0.006	-0.003	-1
0.162	0.118	0.12	0.019	0
0.66	0.507	0.22	0.098	1
0.946	0.718	0.31	0.141	2
1.163	0.87	0.366	0.166	3
1.3	0.96	0.4	0.181	4
1.38	1.02	0.42	0.192	5
1.44	1.07	0.44	0.2	6
1.49	1.105	0.456	0.21	7
1.53	1.135	0.468	0.218	8
1.56	1.16	0.48	0.225	9
1.59	1.18	0.492	0.232	10
1.61	1.2	0.5	0.239	11
1.635	1.22	0.51	0.246	12
1.65	1.23	0.52	0.251	13
1.67	1.247	0.53	0.255	14
1.686	1.257	0.536	0.26	15
1.7	1.266	0.543	0.266	16
1.703	1.276	0.55	0.27	17
1.713	1.285	0.556	0.276	18

3.3. עיבוד התוצאות:

נבנה גרף של הזרם כתלות במתח עבור כל אחד מהמסננים:



ניתן לראות כי עבור כל אחד מהגרפים של המסננים ישנה אסימפטוטה אופקית כלומר החל מנקודה מסוימת, הזרם מגיע לרוויה כלומר למרות שהמתח עולה לא קיים שינוי משמעותי בזרם. זרם הינו זרם הרוויה וניתן לראות כי ככל שאורך הגל גדל זרם הרוויה קטן.

3.4. דיון בתוצאות ומסקנות:

כפי שמוצג בתדריך המעבדה וברקע התיאורטי בניסוי זה, קיימת כמות סף של אלקטרונים חופשיים התלויה בתכונות החומר שיכולה להפלט בפרק זמן מסוים ולכן כאשר יש פליטה מקסימלית של האלקטרונים המגיעים לאנודה, הזרם במעגל יגיע לזרם רוויה והגרף נהיה יציב. (האלקטרונים מגיעים למהירות המקסימלית בהם הם יכולים לעבור במעגל). כלומר, למרות שהמתח גדל, הזרם במעגל מתייצב ואיננו ממשיך לעלות. בשל כך, ניתן לראות כי הגרף מציג תופעה זו בבירור ותואם את הרקע התיאורטי. כמו כן, מגרף 1 שקיבלנו בניסוי זה, ניתן להסיק כי ככל שאורך הגל גדל זרם הרוויה קטן ולכן נסיק כי קיים יחס הפוך בין ערכים אלו. יחס זה תואם לנוסחה (3): $K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - \phi$ מפני שככל שאורך הגל גדל, האנרגיה הקינטית קטנה. אנרגיה זו נמצאת ביחס ישר למהירות החלקיקים ולכן הזרם קטן.

4. ניסוי: מדידת מתח העצירה וקבוע פלאנק

4.1. מהלך הניסוי:

על מנת למצוא את מתח העצירה, נשנה את המתח בטווח $V(-3)$ – 0 בקפיצות של $0.1V$. עבור כל שינוי מתח, נחכה חצי דקה עד להתייצבות הזרם ונחפש את המתח בו הזרם מתאפס, מתח זה הוא מתח העצירה ונרשום אותו בטבלה. נחזור על ניסוי זה עבור כל אחד מהמסננים.

4.2. תוצאות הניסוי:

מתח עצירה $V_0(V) \pm 0.01$	$\lambda(nm)$ - אורך גל של המסננים
-0.442	540
-0.412	552
-0.331	575
-0.235	602

4.3. עיבוד התוצאות:

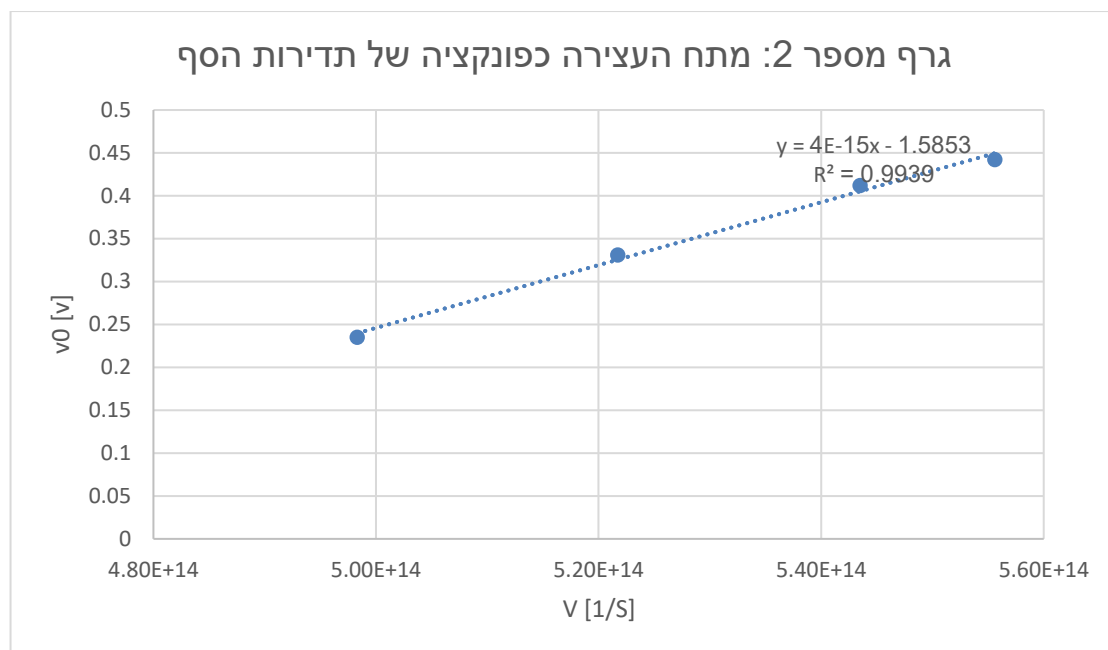
על מנת לבנות גרף של תדירות הסף כתלות במתח העצירה בהתאם לנוסחה (4):

$$ev_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi$$

נחשב את תדירות הסף על ידי הנוסחה: $\frac{c}{\lambda}$, נזכור כי מהירות האור הינה $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

כמו כן, נשים לב כי הקשר בין nm ל m הוא: $1nm = 10^{-9}m$

אורך גל של המסננים (nm)	תדירות הסף $v = \frac{c}{\lambda}$
540	$v_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{540 \cdot 10^{-9}} = 5.556 \cdot 10^{14} \frac{1}{s}$
552	$v_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{552 \cdot 10^{-9}} = 5.435 \cdot 10^{14} \frac{1}{s}$
575	$v_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{575 \cdot 10^{-9}} = 5.217 \cdot 10^{14} \frac{1}{s}$
602	$v_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{602 \cdot 10^{-9}} = 4.983 \cdot 10^{14} \frac{1}{s}$



								SUMMARY OUTPUT
								Regression Statistics
							0.997427513	Multiple R
							0.994861643	R Square
							0.992292465	Adjusted R Square
							0.008140601	Standard Error
							4	Observations
								ANOVA
				Significance F	F	MS	SS	df
				0.002572487	387.22949	0.025661461	0.025661461	1 Regression
						6.62694E-05	0.000132539	2 Residual
							0.025794	3 Total
Upper 95.0%	Lower 95.0%	Upper 95%	Lower 95%	P-value	t Stat	Standard Error	Coefficients	
-1.143053925	-1.982415462	-1.143053925	-1.982415462	0.003873167	-16.02147442	0.097540005	-1.562734694	Intercept
4.40953E-15	2.82721E-15	4.40953E-15	2.82721E-15	0.002572487	19.67814753	1.83877E-16	3.61837E-15	X Variable 1

ניתן לראות מגרף מספר 2 כי משוואת הגרף הינה: $y = 3.6184 \cdot 10^{-15} \cdot x - 1.5853$ וכי השגיאה בשיפוע הינה $1.839 \cdot 10^{-16}$.

נסתכל על נוסחה (4): $ev_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi$, $v_0 = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{\phi}{e}$. ניתן לראות כי במשוואה זו

המייצגת את משוואת הגרף, ערך השיפוע הינו $\frac{h}{e}$ כך ש h הינו קבוע פלאנק. נחשב את קבוע פלאנק לערך הספרותי:

נוכח כי מטען אלקטרון הינו: $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$

$$\frac{h}{e} = 3.6184 \cdot 10^{-15}, h = 3.6184 \cdot 10^{-15} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 5.7894 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

נחשב את השגיאה בקבוע פלאנק:

$$\Delta h = e \cdot \Delta m = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1.839 \cdot 10^{-16} = 2.94 \cdot 10^{-35}$$

לסיכום, בהתחשב בספרות משמעותיות נקבל כי : $h = 5.8 \cdot 10^{-34} \pm 0.3 \cdot 10^{-34} J \cdot s$

כמו כן, על פי הנוסחה של הגרף ניתן להסיק כי נקודת החיתוך עם ציר הא מייצגת את $\frac{\phi}{e}$.
בהתאם לכך, נמצא את פונקציית העבודה של הקתודה :

$$\frac{\phi}{e} = 1.5853, \quad \phi = 1.5853 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 2.5365 \cdot 10^{-19} eV$$

על מנת לחשב את השגיאה בפונקציית העבודה נשתמש בנוסחה (4) :

$$v_0 = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{\phi}{e}, \quad \frac{\phi}{e} = \frac{hc}{e\lambda} - v_0, \quad \phi = \frac{hc}{\lambda} - ev_0$$

ומכך ניתן להסיק כי השגיאה בפונקציית העבודה נתונה על ידי הנוסחה :

$$\Delta\left(\frac{\phi}{e}\right) = \frac{c}{\lambda} \cdot \Delta\left(\frac{h}{e}\right) - v_0$$

נציב את אחת הנקודות הנמצאות על הגרף ונקבל :

$$\Delta\left(\frac{\phi}{e}\right) = 5.556 \cdot 10^{14} \cdot 1.839 \cdot 10^{-16} - 0.442 = -0.34$$

$$\Delta\phi = -0.36 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 0.576 \cdot 10^{-19}$$

לסיכום נקבל כי פונקציית העבודה של הקתודה הינה :

$$\phi = 2.5 \cdot 10^{-19} \pm 0.6 \cdot 10^{-19} eV$$

4.4. דיון בתוצאות ומסקנות:

נשווה את הערך שקיבלנו לקבוע פלנק על פי הספרות : $h = 6.63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$
על מנת לחשב את הסטייה היחסית נשתמש בנוסחה (5) :

$$\frac{|6.63 \cdot 10^{-34} - 5.8 \cdot 10^{-34}|}{6.63 \cdot 10^{-34}} \cdot 100\% = 12.51\%$$

קיבלנו כי אחוז הסטייה בין הערך שחישבנו לערך הספרותי הינו 13%. אחוז זה נמוך מ-15% ולכן נסיק כי החישוב של קבוע פלנק באמצעות ניסוי זה הינו מדויק ומהימן. על מנת להגיע לתוצאות מדויקות יותר ניתן לחזור על כל ניסוי מספר פעמים ולוודא כי המתח הנמדד כאשר הזרם במעגל מתאפס זהה בין החזרות. כמו כן, ניתן להשתמש במכשירי מדידה בעלי שגיאת מדידה נמוכה יותר התאפשר קבלת תוצאה מדויקת יותר.

כמו כן, מהגרף ניתן לראות כי : $R^2 = 0.9939$ וקרבתו של ערך זה ל-1, מייצגת את מהימנות התוצאות ומכך ניתן להסיק גם כי תוצאות הניסוי יחסית מדויקים.

7. סיכום ומסקנות כלליות:

במעבדה זו הכרתי את נושא האפקט הפוטואלקטרי ולמדתי על תכונות האור. בניסוי הראשון מדדתי את המתח והזרם במערכת הניסוי שהרכבנו עבור מסננים בעלי אורכי גל שונים. ראיתי כי שינוי אורך הגל משפיע על הזרם הנמדד. כמו כן ראיתי כי החל מזרם מסוים, לא תהיה השפעה על הגדלת המתח במעגל. תופעה זו נובעת מכך שלכל חומר יש כמות אלקטרונים חופשיים מסוימת התלויה בסוג החומר שיכולה להפלט בפרק זמן מסוים, ולכן כאשר יש פליטה מקסימלית של האלקטרונים המגיעים לאנודה, הזרם במעגל יגיע לזרם רוויה והגרף נהיה יציב. בניסוי השני מדדנו את מתח העצירה, מתח זה דרוש על מנת לבלום את האלקטרונים שנפלטו מהקתודה. מתח זה מתקבל כאשר הזרם במעגל מתאפס. באמצעות הנתונים שמדדנו חישבנו את הערכים הבאים:

$$h = 5.8 \cdot 10^{-34} \pm 0.3 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

סטייה מהערך הספרותי: 13%.

$$\phi = 2.5 \cdot 10^{-19} \pm 0.6 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$$

ראינו כי ניתן לחשב את פונקציית העבודה וקבוע פלנק באמצעות הניסוי וכי הערכים שקיבלנו הינם מדויקים.

8. ביבליוגרפיה

1. תדריך מעבדה – אוניברסיטת בן גוריון

שאלות הכנה - מעבדה 5, אפקט פוטואלקטרי

1. מהי האנרגיה של פוטון באורך גל 600nm ביחידות של eV (אלקטרון וולט)?

מהירות האור: $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, מטען האלקטרון: $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

נשים לב כי הקשר בין nm ל m הוא: $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$, בהתאם לכך נחשב את אורך הגל:
 $\lambda = 600\text{nm} = 600 \cdot 10^{-9}\text{m} = 6 \cdot 10^{-7}\text{m}$

כעת נשתמש בנוסחה (1) על מנת לחשב את האנרגיה של הפוטון:

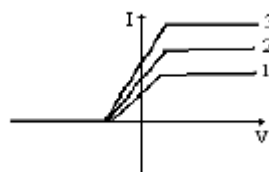
$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 3.315 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

על מנת לחשב את האנרגיה ביחידות של אלקטרון וולט נכפיל את הערך שחישבנו במטען של אלקטרון יחיד:

$$E = 3.315 \cdot 10^{-19} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 5.304 \cdot 10^{-38} \text{eV}$$

לכן, האנרגיה של הפוטון היא $E = 5.304 \cdot 10^{-38} \text{eV}$

2. בניסוי האפקט הפוטואלקטרי התקבלו האופיינים הבאים של הזרם כתלות במתח V הסבר מה קבוע ומה משתנה מאופיין לאופיין



מהגרפים ניתן לראות כי מתח העצירה (נקודת החיתוך עם ציר הא, בו הזרם מתאפס) איננו משתנה וזהה בארבעת הגרפים ולכן בהתאם לרקע התאורטי נסיק כי אורך הגל זהה בארבעת המדידות. כמו כן, ניתן לראות כי זרם הרוויה (הנקודה בה הגרף מגיע לערך זרם קבוע שאיננו משתנה עם הגדלת המתח) משתנה ולכן נסיק כי עוצמת האור משתנה בין הגרפים.

3. בניסוי פוטואלקטרי התקבל מתח עצירה של 0.15 וולט עבור תא פוטואלקטרי שהקתודה עשויה מחומר אשר פונקציית העבודה שלה שווה 4eV . מהי תדירות הסף של האור הפוגע?
 נשתמש בנוסחה (4):

$$eV_0 = h\nu - \phi, \quad \nu = \frac{eV_0 + \phi}{h} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot (0.15 + 4)}{6.63 \cdot 10^{-34}} = 1 \cdot 10^{-15} \frac{1}{\text{s}}$$

תדירות הסף הינה: $\nu = 1 \cdot 10^{-15} \frac{1}{\text{s}}$

4. קבע האם המשפטים הבאים נכונים, נמק:

* הגדלת פונקציית העבודה מקטינה את זרם הרוויה

לא נכון, זרם הרוויה תלוי בכמות המקסימלית של האלקטרונים היכולים לצאת מהמתכת עבור פרק זמן מסויים ולהגיע לאנודה ולכן איננו תלוי בפונקציית העבודה שהוא האנרגיה התחלתית ממנו יתחילו להיפלט אלקטרונים.

* הגדלת עוצמת האור מגדילה את זרם הרוויה

לא נכון, זרם הרוויה תלוי רק בסוג החומר ולא בעוצמת האור הפוגע.

* תדירות הסף תלויה בעוצמת האור הפוגע

לא נכון, תדירות הסף תלויה בתכונות החומר ואיננה תלויה בעוצמת האור הפוגע. כמו כן,

בתדריך המעבדה נתונה הנוסחה: $v_0 = \frac{\phi}{h}$, וכיוון שפונקציית העבודה איננה תלויה

בעוצמת האור ניתן להסיק כי תדירות הסף גם איננה תלויה בעוצמת האור.

* תדירות הסף תלויה בפונקציית העבודה

נכון, בתדריך המעבדה נתונה הנוסחה הבאה: $v_0 = \frac{\phi}{h}$ ממנה ניתן לראות קשר זה.