



המרכז הארצי למורי הפיזיקה

שם הניסוי: האפקט הפוטואלקטרי

ניסוי מספר 3620

רמה א'

תיאור הניסוי

בניסוי זה נחקר את המודל של איינשטיין להסבר התופעה הפוטואלקטרית. נחבר מעגל חשמלי שבו שפופרת פוטואלקטרית ומקור מתח המאפשר לעצור את האלקטרונים הנפלטים ממנה. נקריין על מתכת(הפולט) אור באורכי גל שונים ונמדוד את מתח העצירה הדרוש לאיפוס זרם האלקטרונים הנפלטים ממנה. מכאן נסיק על תלות האנרגיה הקינטית המכסימאלית של האלקטרונים הנפלטים בתדירות האור הפוגע בהם. ממצאי הניסוי נחשב את קבוע פלנק ואת פונקציית העבודה של המתכת ממנה נפלטו האלקטרונים.

מטרת הניסוי

מציאת הקשר בין המתח העוצר לבין תדירות האור הפוגע במתכת.

מה משנים?

משנים את תדירות הגל הפוגע במתכת ע"י הוספת מסנני אור

מה מודדים בצורה ישירה?

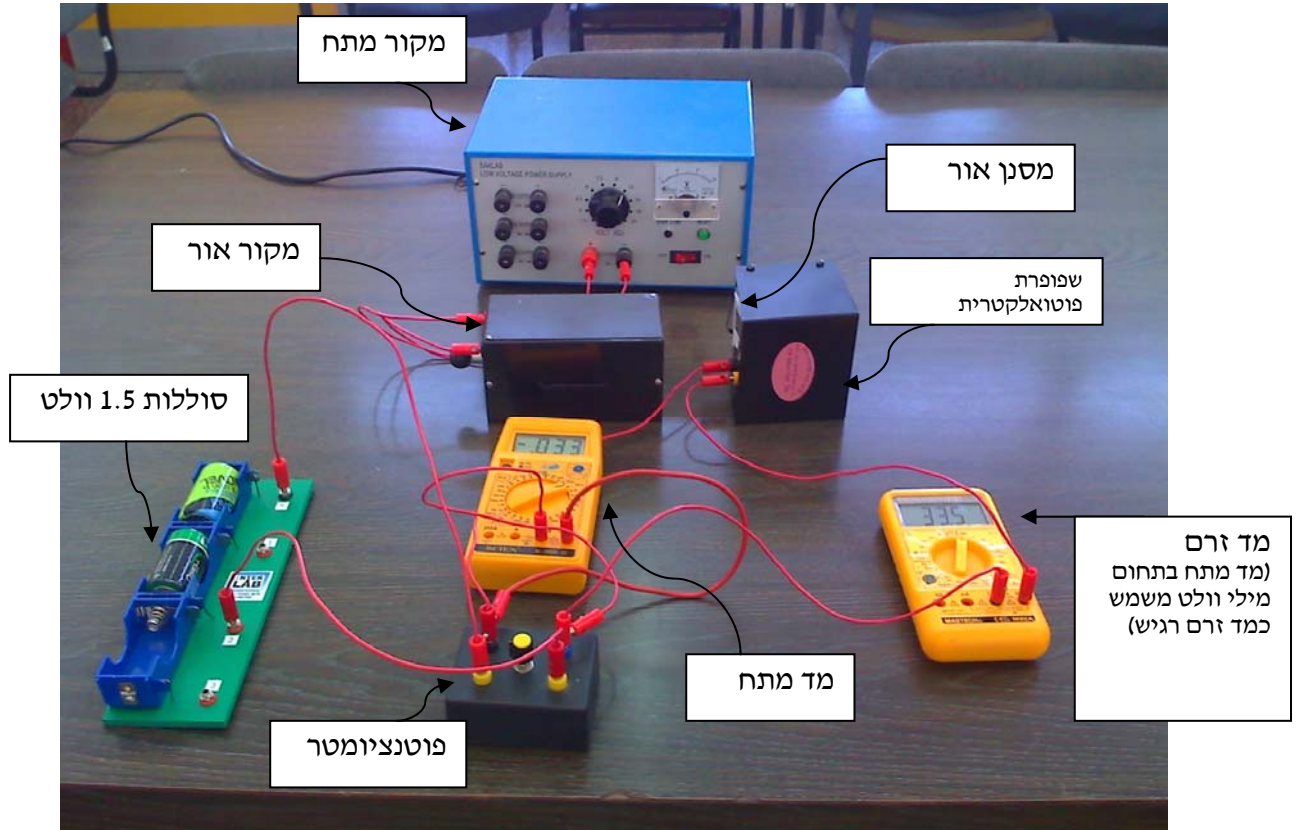
מודדים באופן ישיר את המתח הנמוך ביותר שגורם להתאפסות הזרם. מתח זה נקרא מתח העצירה.

מה מחשבים?

משרטטים גרף של מתח העצירה כתלות בתדירות האור הפוגע ובעזרת הגרף מחשבים את קבוע פלנק ואת פונקציית העבודה של המתכת הפולטת של השפופרת הפוטואלקטרית.


המרכז הארצי למורי הפיזיקה

צילום המערכת



הערה: בצילום המערכת מחוברות 2 סוללות של 1.5 וולט אך מומלץ לבצע את הניסוי עם סוללה אחת בלבד.

פירוט חלקי המערכת והמלצות טכניות

טכניות	תמונת הרכיב	הרכיב
מקור מתח ישר DC מחברים אותו ליציאה עם ערך מתח של 12 וולט		מקור מתח

המרכז הארצי למורי הפיזיקה

<p>מקור אור אותו מחברים לספק המתח 12V DC</p>		<p>מקור אור</p>
<p>שפופרת ריק שיש בתוכה שתי אלקטרודות מתכתיות. האחת נקראת פולט(הקתודה) והשניה נקראת קולט (האנודה). אם מקרינים את הפולט באור מעל לתדירות מסויימת, נפלטים ממנה אלקטרונים ונעים לכיוון הקולט.</p>		<p>שפופרת פוטואלקטרית</p>
<p>מסננים העבירים אור באורכי גל שונים. על כל מסנן רשום אורך הגל המינימלי של האור שיכול לעבור דרכו או התדר המקסימלי של האור שיכול לעבור דרכו.</p>		<p>מסננים של אור</p>
<p>רב מודד דיגיטלי. יכול לשמש כמד זרם או כמד מתח (יש לו גם אופציות מדידה אחרות). אחת היציאות צריכה להיות על ה COMON והשנייה על היציאה המתאימה לגודל הפיזיקאלי שאותו רוצים למדוד ובתחום</p>		<p>רב מודד</p>

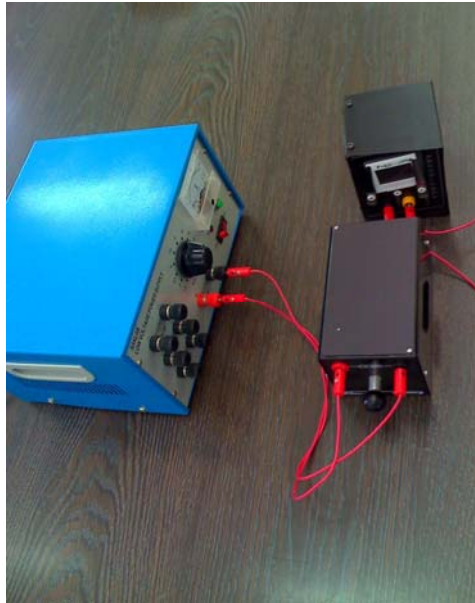
המרכז הארצי למורי הפיזיקה

המדידה הרצוי.		
נגד משתנה בחיבור פוטנציומטרי. כאשר מחברים אותו במקביל למקור מתח קבוע הופכים את הפוטנציומטר למקור מתח משתנה ורציף.		פוטנציומטר
מתקן שמאפשר להשתמש בסוללות ולחבר אותן בקלות.		בית סוללות
		תיילים מוליכים

המרכז הארצי למורי הפיזיקה

הוראות להרכבת המערכת

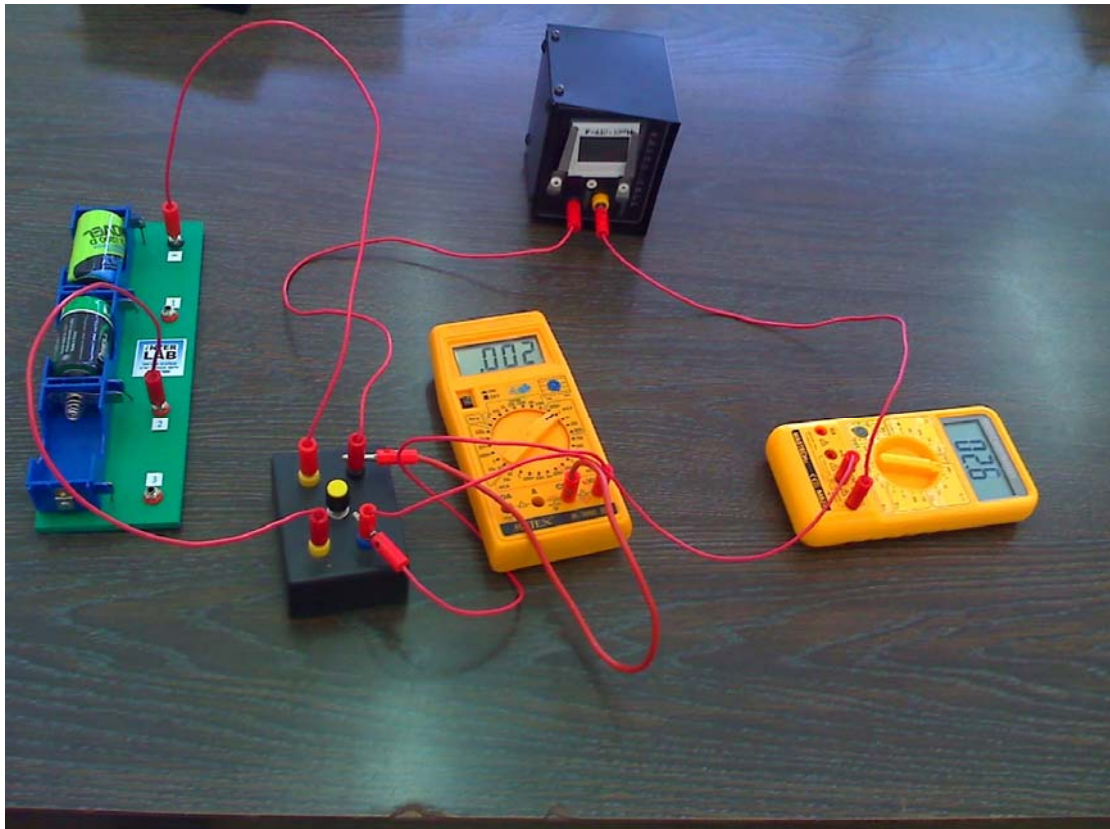
- א. לחבר את מקור האור ע"י תיילים ליציאה של מקור המתח ולכוון את מקור המתח ל 12 וולט.
- ב. להפעיל את מקור המתח ולוודא שמקור האור מאיר, אחר כך לכבות את מקור המתח. להצמיד את השפופרת הפוטואלקטרית אל מקור האור.



- ג. להכניס לבית הסוללות סוללה טרייה של 1.5 וולט ולחבר את בית הסוללות לפוטנציומטר.
- ד. לחבר את שתי היציאות האחרות של הפוטנציומטר אל הרב מודד: כניסה אחת היא של ה"וולט" והכניסה השנייה היא של ה common (השחור). בעזרת המחוג של הרב מודד להגדיר אותו כמד מתח ישר. לסובב את הכפתור של הפוטנציומטר ולעקוב אחרי קריאת הוולטמטר: המתח חייב להשתנות מאפס עד 1.5 וולט אם זה לא משתנה אז יש בעיה בחיבורים וצריך לבדוק את אופן החיבור מחדש.
- ה. לחבר תיל לאחת היציאות של הפוטנציומטר המחוברות לרב המודד. את הקצה האחר של התיל לחבר לרב מודד. את היציאה האחרת של הרב מודד לחבר ליציאה של השפופרת הפוטואלקטרית.
- ו. אם ברשותך רב מודד רגיש מאוד שיכול למדוד זרמים בתחום המיקרואמפר יש לכייל את המכשיר לתחום זרם ישר בתחום המיקרו.
- ז. אם אין ברשותך מד זרם רגיש, כייל את הרב מודד לתחום המתח הישר ובתחום מדידה של מיליוולט.
- ח. את היציאה השנייה של השפופרת הפוטואלקטרית לחבר ליציאה השנייה של הפוטנציומטר.

המרכז הארצי למורי הפיזיקה

- ט. כדי לבדוק אם אין תקלה במערכת הניסויית, יש לכוון את הפוטנציומטר למתח אפס, לכסות את פתח קופסת התא כך שלא יכנס אור לתא ואז לחשוף לרגע את התא ולראות שמד הזרם מגיב.
- י. צריך לוודא שהמתח הוא מתח עוצר – כלומר שאם המתח גדל, הזרם במעגל קטן. המעגל החשמלי מתואר בתמונה.



- יא. לשים על השפופרת אחד המסננים. להתחיל מהמסנן האדום עם התדירות הנמוכה ביותר. להצמיד את מקור האור אל השפופרת הפוטואלקטרית להפעיל את המערכת ולבדוק את הערכים שמודדים מד הזרם ומד המתח. לשוב את כפתור הפוטנציומטר עד שהזרם במעגל ירד לאפס בפעם הראשונה. במצב הזה, הקריאה של הוולטמטר היא המתח העוצר.
- יב. לרשום בטבלה את תדירות המסנן בעמודת התדירויות ואת המתח העוצר, בעמודה אחרת.
- יג. להחליף את מסנן האור במסנן אחר (בתדירות יותר גבוהה) ולחזור על ביצוע הניסוי. יש לחזור על הניסוי עם כל המסננים. מומלץ לסדר את המסננים לפי סדר עולה של התדירות.

המרכז הארצי למורי הפיזיקה

רמה ב'

הפיזיקה עליה מתבסס הניסוי

האפקט הפוטואלקטרי – אפקט פיזיקלי בו נפלטים אלקטרונים מפני מתכת כאשר פוגעת בה קרינה אלקטרומגנטית. לאפקט הייתה חשיבות גדולה בהתפתחות הפיזיקה המודרנית וגיבוש תורת הקוונטים, בהבנת האופי החלקיקי של האור, ובגיבוש מושג הפוטון. במערכת של האפקט הפוטואלקטרי, האור הפוגע בפולט גורם לפליטת אלקטרונים, אלו נפלטים עם אנרגיה קינטית מסוימת וכך מגיעים אל הקולט וזורם זרם במעגל. אם מפעילים מתח מאיץ (הקולט חיובי ביחס לפולט), המתח יאיץ את האלקטרונים לכוון הקולט והזרם במעגל יגדל. אם מפעילים מתח הפוך או מתח עוצר (הקולט שלילי ביחס לפולט), המתח יתנגד לזרימת האלקטרונים לכוון הקולט והזרם במעגל יקטן. האור הוא דואלי ויש לו תכונות הן של גל והן של חלקיק. חלקיק האור נקרא בשם פוטון. אנרגיית הפוטון E פרופורציונית לתדר f של גל האור:

$$E = h f$$

כאשר קבוע הפרופורציה h נקרא קבוע פלנק, ערכו הוא $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. פליטת האלקטרונים מתרחשת במתכת נתונה אך ורק אם תדירות הגל גדולה מתדירות סף אופיינית למתכת, ואילו בתדרים נמוכים מתדירות הסף לא מתרחשת פליטה כלל אפילו אם נגדיל את עוצמת המקור.

לאלקטרונים הנפלטים ישנה אנרגיה קינטית אשר יכולה להיות גדולה מאד, ולכן אם המתח המעכב יהיה גדול עדיין יזרום זרם קטן במעגל. בפועל, לכל תדר ישנו מתח מעכב אשר עוצר את האלקטרונים לחלוטין ללא תלות בעוצמת האור, מתח זה נקרא "מתח העצירה". האנרגיה הקינטית המקסימלית של אלקטרון הנפלט מהקתודה, לפי נוסחת איינשטיין, היא:

$$E_{kmax} = hf - B$$

B נקראת פונקצית העבודה או אנרגיית הקשר (של האלקטרון במתכת הפולט). אם נשים מתח עוצר V, רק אלקטרונים שלהם אנרגיה קינטית $eV < E_k$ יגיעו לקולט. לכן אם המתח העוצר גדול מהאנרגיה הקינטית המקסימלית של אלקטרון, לא יהיה אלקטרון שיוכל להתגבר על המתח העוצר ולא יהיה זרם כלל.

מתח העצירה V_0 מוגדר ע"י: $eV_0 = hf - B$.

$$V_0 = h/e \cdot f - B/e$$



המרכז הארצי למורי הפיזיקה

מדידה, עיבוד התוצאות וניתוח

- א. לסרטט גרף של המתח העוצר כפונקציה של תדירות האור תדירות האור היא מסדר גודל של 10^{14} הרץ ולכן ציר התדירות יהיה בכפולות של ערך זה.
- ב. לחשב את שיפוע הגרף להשוות לקבוע פלנק ביחידות אלקטרון וולט כפול שניה. ניתן להכפיל ערך זה במטען האלקטרון ולקבל את קבוע פלנק ביחידות של ג'ול כפול שניה.
- ג. להמשיך את הגרף עד שהוא חותך את ציר המתח. נקודת החיתוך עם ציר המתח מייצגת את פונקציית העבודה של הפולט ביחידות אלקטרון וולט.
- ד. נקודת החיתוך של הגרף עם ציר התדירות מייצגת את תדירות הסף.

המלצות דידקטיות

- א. בתחילת כל מדידה, מסובבים את הפוטנציומטר עד שמד הזרם מראה אפס ואז ורושמים את קריאת מד המתח. לפני שרושמים את ערך המדידה של מתח העצירה יש להמתין כחצי דקה כדי שהמערכת תתיצב.
- ב יש לבצע את המדידה לכל מסנן ארבע פעמים ולקחת את ממוצע המדידות כדי למזער את הסטיות של המערכת ולהקטין את השגיאה היחסית.
- ג. מומלץ לבצע את הניסוי בחדר חשוך למניעת כניסת אור לשפופרת הפוטואלקטרית.