

האפקט הפוטואלקטרי

מיני-פרויקט – מדריך למורה

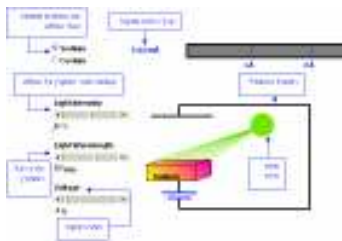
מומלץ לבצע את המיני-פרויקט בכיתה במקביל להוראת נושא המודל הדואלי של האור.

הכנה והמלצות לקראת ביצוע המיני-פרויקט:



(א) לתת לתלמידים לקרוא באופן עצמאי, כחומר רקע לפני הפעילות, את הפרק העוסק במודל הדואלי של האור ובעיקר את הנושאים הדנים באפקט הפוטואלקטרי.

הספר המומלץ: [קרינה וחומר](#) – כרך ב' – מודלים של האור, עדי רוזן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, 2009. (פרק ח' עוסק במודל הדואלי של האור).



(ב) לתת לתלמידים כעבודת-בית [דף עבודה המקושר להדמיה](#) (חובר על-ידי זהורית קאפח).

המורה יבקש מן התלמידים לעבוד עם ההדמיה בבית באופן עצמאי. התלמידים יגישו למורה את דף העבודה עם התשובות לפני תחילת ביצוע המיני-פרויקט.

המורה יבדוק את תשובות התלמידים. מומלץ להקדיש שני שיעורים לדיון בתשובות התלמידים והצעות לתיקונים על-ידי המורה.

(ג) בנוסף, לתת לתלמידים כעבודת-בית לפתור שאלות עם אופי ניסויי בנושא האפקט הפוטואלקטרי שהופיעו בבחינות הבגרות:

1. [שאלה מס. 4 בגרות תש"ע \(2010\)](#)
2. [שאלה מס. 4 בגרות תשס"ז \(2007\)](#)
3. [שאלה מס. 4 בגרות תשס"ו \(2006\)](#)

מומלץ כי המורה יבדוק את הפתרונות לשאלות הנ"ל יחד עם תלמידי הכיתה לאחר שתלמידיו פתרו אותן בבית.

ביצוע המיני-פרויקט כולל את השלבים הבאים:

- (1) הזמנה לחקר:
 - א. ביצוע תצפית.
 - ב. שאלת שאלות.
- (2) מימוש החקר:
 - א. ניסוח שתי שאלות חקר.
 - ב. העלאת השערה לכל אחת משתי שאלות החקר.
 - ג. תכנון ניסויים לבדיקת שאלות החקר.
 - ד. ביצוע ניסויים.
 - ה. עיבוד הממצאים והסקת המסקנות.
 - ו. ניבויים.
- (3) שיתוף בחקר: ההצגות של התלמידים במליאה.
- (4) כתיבת דו"ח קבוצתי על הפעילות כולל כל שלבי הפעילות ורפלקציה.

הצרות על מדידת הזרם באמצעות הניסוי בהלמנה לחקר:

- במעגל המופיע בתרשים בהזמנה לחקר, צפויים להתקבל זרמים נמוכים מסדר גודל של ננו-אמפרים (nA). קשה למדוד זרמים אלה בצורה ישירה, לכן אנו מציעים להעביר אותם דרך נגד שהתנגדותו גדולה מאוד ($10M\Omega = 10^7\Omega$) ואז למדוד את המתח הנופל עליו (ביחידות mV). למשל, אם מד-המתח מראה: 50mV, לפי חוק אוהם ($V = R \cdot I$), הזרם במעגל השפופרת הפוטואלקטרית הוא:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{50mV}{10M\Omega} = \frac{50 \times 10^{-3}}{10 \times 10^6} = 5 \times 10^{-9} A = 5nA$$

- כאשר אור (פוטונים) פוגע בקתודה הנמצאת בשפופרת פוטואלקטרית, נעקרים ממנה אלקטרונים. בהיעדר שדה חשמלי, האלקטרונים הנפלטים מן הקתודה ינועו בכיוונים אקראיים. חלק קטן מהם יגיע לאנודה ויתרום לזרם נמוך מאוד במעגל השפופרת הפוטואלקטרית.
- כאשר מפעילים מתח מאיץ בין קצוות השפופרת הפוטואלקטרית נוצר שדה חשמלי בין האנודה והקתודה המפעיל כוח חשמלי שכיוונו מהקתודה אל האנודה. עם הגדלת מתח ההאצה, יותר ויותר אלקטרונים יגיעו לאנודה והזרם ילך ויגדל. קיים מתח האצה מסוים עבורו, הגדלת המתח לא תגרום להגדלת הזרם (זרם רוויה). מתח זה מתקבל כאשר כל האלקטרונים שנפלטו בפרק זמן מסוים מגיעים לאנודה. גם ערכי זרם הרוויה הם נמוכים והם נמדדים בננו-אמפרים.
- לחילופין, כאשר מפעילים בין קצוות השפופרת מתח בקוטביות הפוכה למתח המאיץ, יעכב השדה החשמלי שיווצר אלקטרונים הנעים אל האנודה. הגדלה הדרגתית של המתח הזה תקטין את הזרם בשפופרת עד לאיפוסו. המתח הנדרש לאיפוס הזרם בפעם הראשונה הוא מתח העצירה. הגדלת המתח המעכב מעבר למתח העצירה לא תשנה את קריאת הזרם שתשאר אפס.
- ניתן להשתמש במקום הנגד של $10M\Omega$ ומד המתח במגבר זרם.

אלוה חקר שהתאמרים יכולים לנסח:

1. מחליפים את המתכת ממנה עשויה הקתודה במתכת אחרת בעלת פונקציית עבודה גדולה יותר?
2. כיצד משתנה הגרף המתאר את הזרם כפונקציה של המתח המופעל על שפופרת פוטואלקטרית, כאשר מגדילים את הספק מנורת הלהט.
3. כיצד משתנה הגרף המתאר את הזרם כפונקציה של המתח המופעל על שפופרת פוטואלקטרית, כאשר מגדילים את המרחק של מקור האור מן השפופרת.
4. כיצד משתנה הגרף המתאר את הזרם כפונקציה של המתח המופעל על שפופרת פוטואלקטרית, כאשר מקטינים את מרחק מקור האור מן השפופרת.
5. כיצד משתנה הגרף המתאר את הזרם כפונקציה של המתח המופעל על שפופרת פוטואלקטרית, כאשר מקרינים על השפופרת אור בצבע סגול במקום אור בצבע אדום.
6. כיצד משתנה הגרף המתאר את מתח העצירה כפונקציה של אורך-הגל של האור הפוגע בקתודה, כאשר מחליפים את המתכת ממנה עשויה הקתודה במתכת אחרת בעלת פונקציית עבודה קטנה יותר.
7. כיצד משתנה הגרף המתאר את האנרגיה הקינטית המקסימאלית של האלקטרונים הנפלטים מן הקתודה כפונקציה של תדירות האור הפוגע בקתודה, כאשר מחליפים את המתכת ממנה עשויה הקתודה במתכת אחרת בעלת פונקציית עבודה קטנה יותר.
8. כיצד משתנה מתח הסף להדלקת דיודה פולטת אור (LED) בצבע האור הנפלט ממנה ובתדירות שלה.
9. כיצד משתנה הגרף המתאר את הזרם כפונקציה של המתח המופעל על קצוות תא פוטו-וולטאי, כאשר מחליפים את מקור האור המונכרומטי הפולט אור אדום באחר הפולט אור ירוק.
10. כיצד משתנה הגרף המתאר את הזרם כפונקציה של המתח המופעל על קצוות דיודה פולטת אור (LED) הפולטת אור בצבע אדום אם היא מוחלפת באחרת הפולטת אור בצבע ירוק.

האפקט הפוטואלקטרי

(מיני-פרויקט)

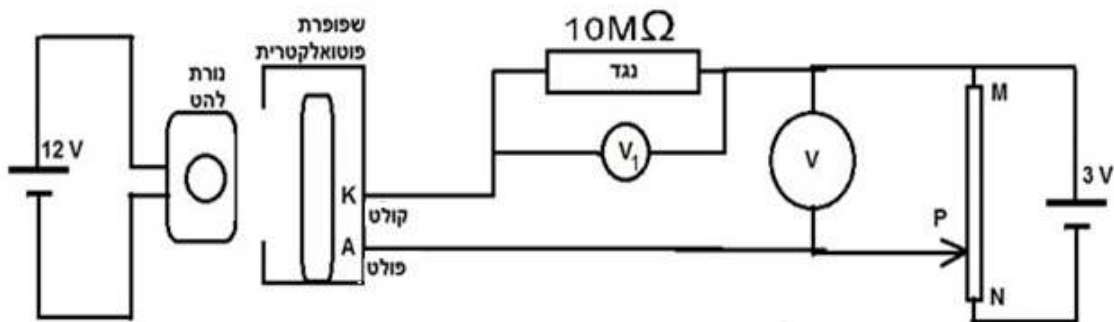


הזמנה לחקר

לרשותכם: שני מולטי-מטרים דיגיטליים (היכולים לשמש הן כמדי מתח והן כמדי זרם), ספק מתח ישר 12 וולט, מקור אור, שפופרת פוטואלקטרית, מסננים צבעוניים, נגד משתנה, שתי סוללות של 1.5 וולט כל אחת, בית סוללות, נגד בעל התנגדות של $10M\Omega$, חוטים מוליכים לחיבור מעגל חשמלי.

ביצוע תצפית

חברו את המעגל החשמלי כמתואר בתרשים הבא:



- במעגל המתואר, צפויים להתקבל זרמים נמוכים מסדר גודל של ננו-אמפרים. קשה למדוד זרמים אלה בצורה ישירה, לכן בחרנו להעביר אותם דרך נגד שהתנגדותו גדולה ($10M\Omega$) ואז למדוד את המתח הנופל עליו. בחרו בתחום מדידה במילי-וולטים עבור מד-המתח V_1 .
- במעגל, הקתודה (הפולט) מחוברת להדק השלילי של מקור המתח, והאנודה (הקולט) מחוברת להדק החיובי של המקור המתח.
- כבו את האור בחדר המעבדה וסגרו את הווילונות.
- הציבו את מקור האור במרחק 5 ס"מ מהשפופרת הפוטואלקטרית, והדליקו אותו.
- הציבו את המגע הנייד P על הקצה M של הפוטנציומטר.
- רשמו את קריאת מד-המתח V: $V = \underline{\hspace{2cm}}$.
- רשמו את קריאת מד-המתח V_1 : $V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$. וחשבו את עוצמת הזרם במעגל: $I = \underline{\hspace{2cm}}$.
- כסו את פתח השפופרת הפוטואלקטרית. מהי קריאת מד-המתח V_1 : $V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$.
- הסירו את הכסוי מעל פתח השפופרת, והרחיקו את מקור האור מן השפופרת הפוטואלקטרית וצפו בקריאת מד-המתח V_1 .
- הציבו את מקור האור במרחק 5 ס"מ משפופרת הפוטואלקטרית.
- הציבו את המגע הנייד P על הקצה M והזיזו אותו בהדרגה לכיוון הקצה N, בכל פעם מדדו את המתח הנופל על השפופרת הפוטואלקטרית ואת הזרם במעגל. הפסיקו את המדידות כאשר הזרם מפסיק לגדול.
- הפכו את קוטביות השפופרת הפוטואלקטרית (חברו את הקתודה להדק חיובי של המקור). הציבו את המגע הנייד P על הקצה M והזיזו אותו בהדרגה לכיוון הקצה N, בכל פעם מדדו את המתח הנופל על השפופרת הפוטואלקטרית ואת הזרם במעגל. הפסיקו את המדידות בפעם הראשונה שבה הזרם מתאפס.
- תארו את התופעה בה צפיתם בשני אופנים שונים (מילולי, תרשים, גרף, טבלה וכדומה).

שאלת שאלות

נסחו לפחות 5 שאלות רלוונטיות ומגוונות שמתעוררות בעקבות התצפית שביצעתם.



מימוש החקר

1. א. שאלת החקר

בחרו בשתי שאלות חקר שאתם מעוניינים לחקור. הציגו כל אחת מהן, במידת האפשר כקשר בין שני משתנים.

ב. העלאת השערה

נסחו בצורה בהירה השערה לגבי כל אחת משתי שאלות החקר שבחרתם. נמקו השערתכם תוך שימוש במושגים ובעקרונות בפיזיקה.

2. א. תכנון ניסוי לבדיקת שאלות החקר

עבור כל אחת משתי שאלות החקר:

1. תארו בקצרה את מהלך הניסוי והסבירו כיצד באמצעותו ניתן לענות על שאלת החקר.
2. ציינו את: הגורם/הגורמים הקבועים, המשתנה התלוי והמשתנה הבלתי תלוי בניסוי.
3. ציינו את הערך המקסימאלי, הערך המינימאלי ואת מרווחי הדגימה הרצויים למשתנה הבלתי תלוי, הסבירו.
4. פרטו את כל שלבי הניסוי.

*קבלו אישור המורה לתכנון הניסויים שהצעתם.
אם נחוצו ציוד נוסף הצבירו לאחר קבלת האישור רשימה מפורטת ללבוש/אביזרים.*

ב. ביצוע הניסוי

בצעו את הניסויים שהצעתם כפי שאושרו על ידי המורה.

3. עיבוד הממצאים והסקת מסקנות

- הציגו את תוצאות המדידות של שני הניסויים לפחות בשני אופנים שונים (טבלה, גרף, תרשים, נוסחה וכדומה).
- הסיקו מסקנות המתייחסות לקשר שבין תוצאות הניסויים ובין שאלות החקר. האם השערתכם עבור כל אחת משתי שאלות החקר היו נכונות? אם לא, מהי לדעתכם הסיבה לחוסר ההתאמה?
- ציינו את הקשר שבין המסקנות שהסקתם ובין עקרונות ומושגים בפיזיקה.

4. מה יקרה אם...

הציעו שני שינויים שניתן לבצע במערכת הניסוי וקבעו מה יהיו תוצאות השינויים. נמקו קביעתכם על סמך מסקנותיכם או התיאוריה.

שיתוף החקר

5. דיווח ודיון

הציגו לפני תלמידי הכיתה את הפעילות שביצעתם בעזרת מצגת, פוסטר, דגם וכדו'. התייחסו בהצגתכם גם לקשיים איתם נאלצתם להתמודד במהלך הפעילות.

מה למדנו?

- הכינו דיווח בכתב, הכולל את כל שלבי הפעילות ואת הרקע המדעי המתאים.
- ציינו שני דברים אותם למדתם בתחום התוכן ושני דברים אותם למדתם בתחום החקר. התייחסו גם להצגות שהציגו חבריכם.

צ ב ו ד ה נ צ י מ ה !