

חוקרים: האפקט הפוטואלקטרי

מטרות הפעילות

- להכיר את ניסוי מיליקן לחקירת האפקט הפוטואלקטרי.
- לבחון את המודל של איינשטיין להסבר האפקט הפוטואלקטרי.

מושגים מתוכנית הלימודים

פוטון, קרינה וחומר, האפקט הפוטואלקטרי, תא מיליקן, זרם רוויה, מתח עצירה, נוסחת איינשטיין

מיומנויות

שאלת שאלות, עיבוד נתונים, ניתוח נתונים והסקת מסקנות, הבניית ידע, השערת השערות

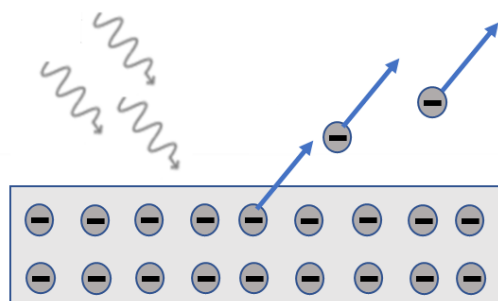
מה עושים?

מבוא – הכרת הפוטון

· צפו בסרטון המבוא שמתאר את הפוטון ותכונותיו: <https://bit.ly/2lyB0dx>

רקע מדעי לפעילות

האפקט הפוטואלקטרי: תופעה שבה אלקטרונים נעקרים מפניה של מתכת על ידי קרינה אלקטרומגנטית שפוגעת במתכת (תרשים א').



תרשים א' – האפקט הפוטואלקטרי

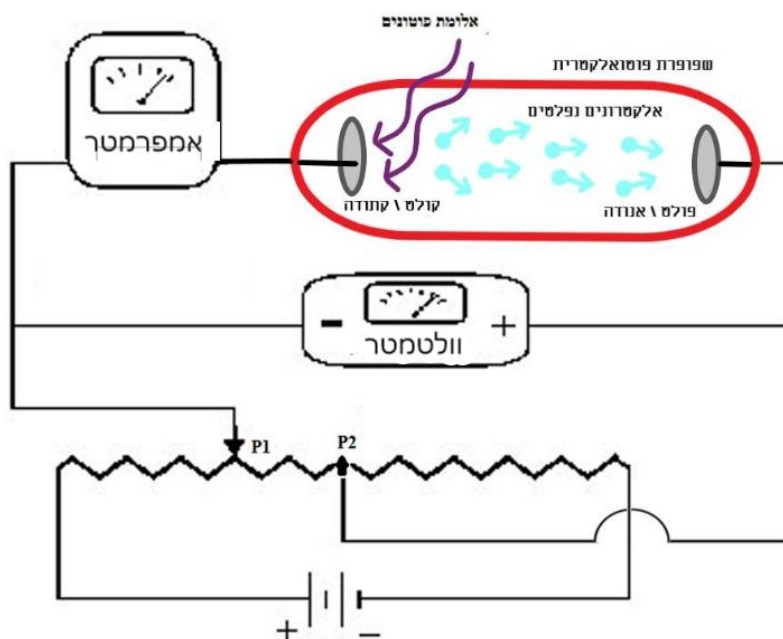
משוואת איינשטיין מקשרת בין אנרגיית הפוטון שפוגע במתכת – E_{ph} – ובין אנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרון שנעקר מהמתכת – $E_{k,max}$:

$$E_{ph} = B + E_{k,max}$$

כאשר: $E_{ph} = hf$ – קבוע פלאנק, f – תדירות האור הפוגע במתכת, B – פונקציית העבודה של המתכת.

מערכת הניסוי של מיליקן

אפשר לחקור את האפקט הפוטואלקטרי באמצעות שפופרת מרוקנת מאוויר ובתוכה שתי אלקטרודות: האחת מכונה "פולט" (או "קתודה"), והשנייה מכונה "קולט" (או "אנודה"). הקתודה עשויה מתכת עם פונקציית עבודה המאפשרת עקירת אלקטרונים כשמכוונים לכיוונה קרינה אלקטרומגנטית (בתחום האור הנראה או העל-סגול).



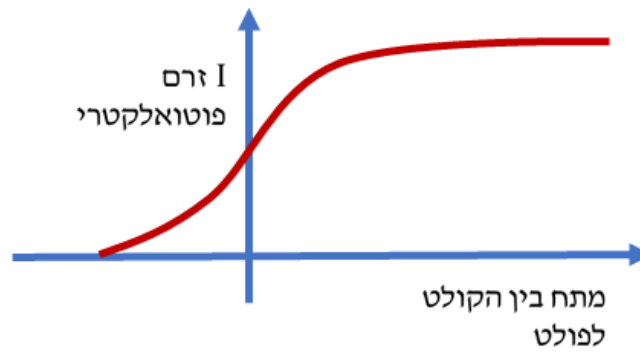
תרשים ב' – מערכת הניסוי

תרשים ב' מתאר את מערכת הניסוי. האלקטרונים, שנפלטים מהקתודה בגלל האפקט, עשויים להיקלט באנודה. את זרם האלקטרונים שנקלט באנודה מודד אמפרמטר. בנוסף לכך, אפשר לשלוט על המתח בין האנודה לקתודה על ידי הזזת נקודות המגע של הפוטנציומטר (המתח יכול להיות חיובי, שלילי או אפס).

כדי לבנות אופיין של השפופרת הפוטואלקטרית משנים את המתח בין האנודה לקתודה.

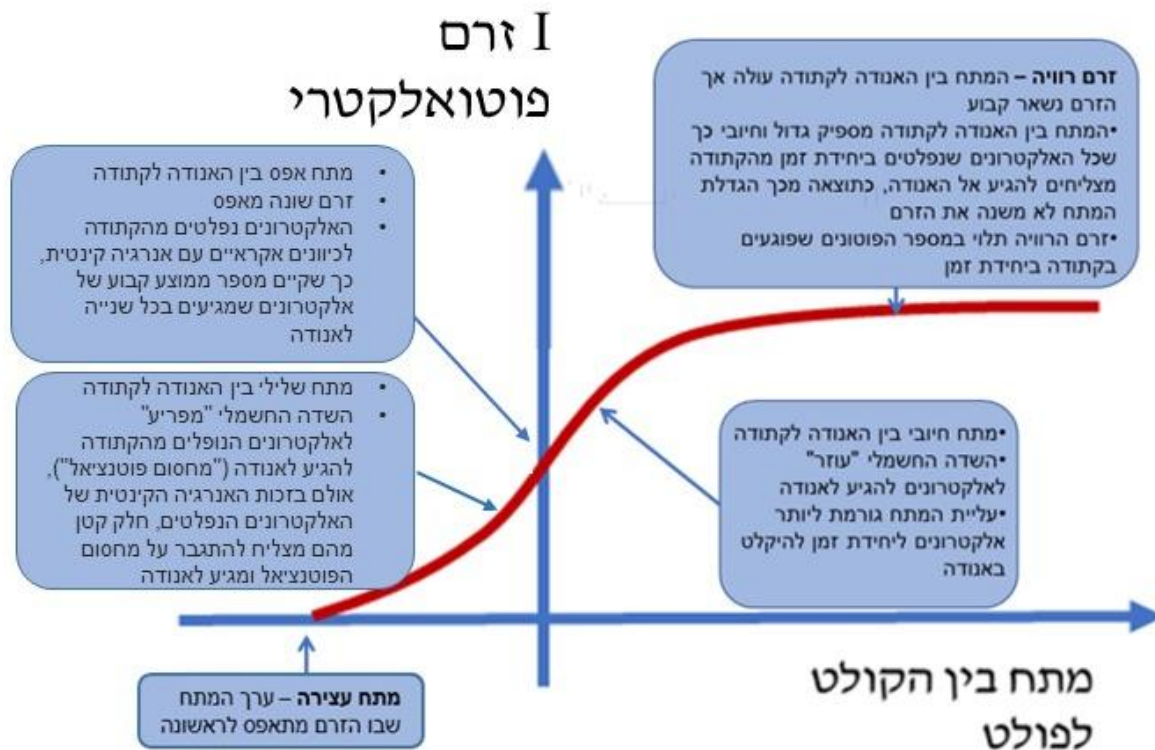
$$V = V_{\text{anode}} - V_{\text{cathode}} \text{ :הקתודה:}$$

קובעים בכל פעם מתח אחר בין הקתודה לאנודה ורושמים את ערך הזרם הפוטואלקטרי שמראה האמפרמטר. תרשים ג' מתאר את האופיין של השפופרת הפוטואלקטרית.



תרשים ג' – אופיין השפופרת הפוטואלקטרית

סיכום מבנה האופיין בתרשים ד':

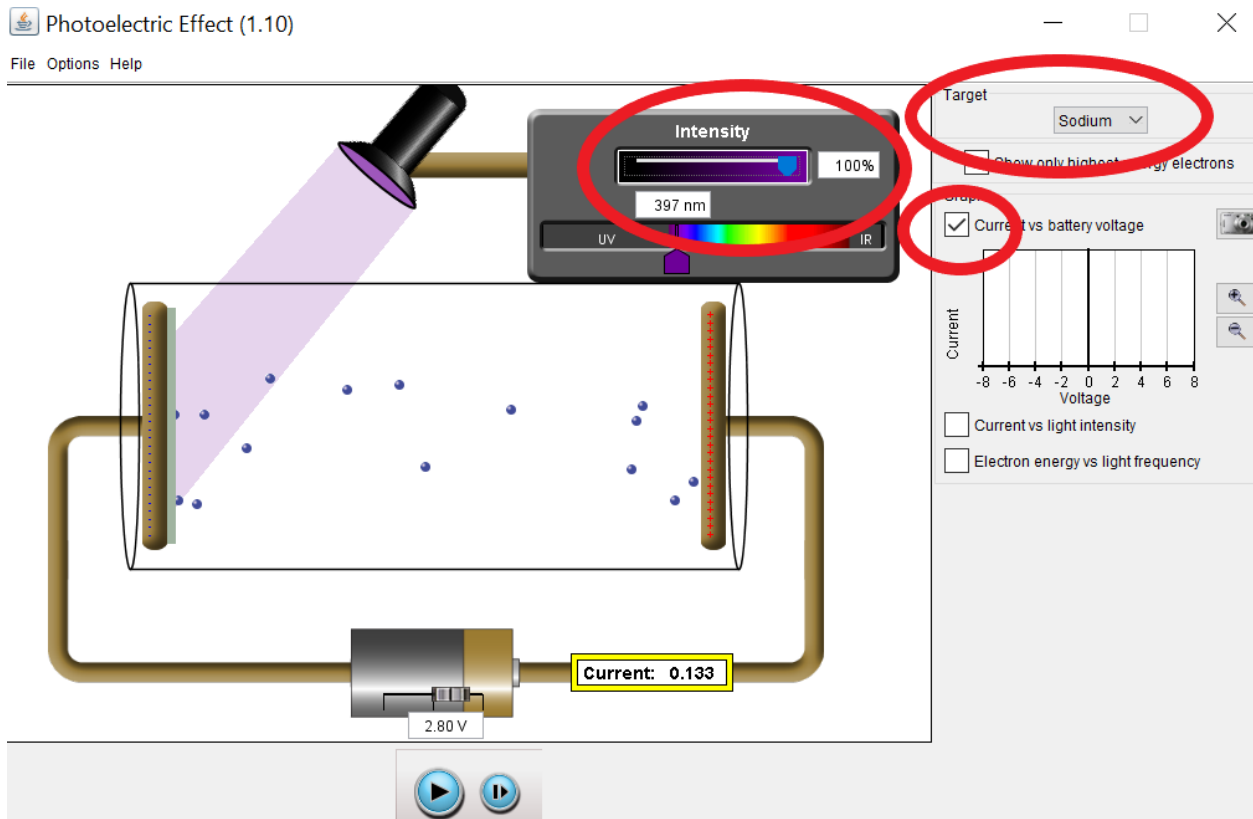


תרשים ד' – מבנה האופיין

שלב א' – חקירת הקשר בין המתח העוצר לתדירות האור הפוגע בקתודה

(1) הכנת הסימולציה (תרשים ה'):

- הפעילו את הסימולציה לחקירת האפקט הפוטואלקטרי
- כוונו את עוצמת ההארה (Intensity) על הערך המקסימלי (100%).
- בעבור מתכת המטרה (Target) בחרו באופציה sodium (נתון).
- סמנו, בעזרת העכבר, את המשבצת current vs battery voltage (יופיע הגרף המתאים).



תרשים ה' – הכנת הסימולציה

(2) שרטוט גרף מתח העצירה כתלות בתדירות הפוטונים הפוגעים בקתודה:

- בעזרת העכבר (או על ידי הקלדה בחלון המתאים), בחרו באורך גל של 150nm ושנו בצורה רציפה את המתח בין האנודה לקתודה. בחלון הגרף current vs battery voltage יופיע האופיין של השפופרת (מומלץ להיעזר בכפתור זכוכית המגדלת בצידו הימני של הגרף כדי להגדיל או להקטין את התמונה).
- קבעו את מתח העצירה בעזרת נקודת החיתוך של הגרף עם ציר המתח. בעזרת העכבר (או על ידי הקלדה בחלון המתאים), הציבו את הסימולציה על ערכו של מתח העצירה שמצאתם.

מה קורה לאלקטרונים שנפלטים מהקתודה במצב זה?

מהו הקשר בין האנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרונים הנפלטים מהקתודה ובין מתח העצירה?

חזרו על התהליך בעבור אורכי הגל הרשומים בטבלה הבאה. לכל אורך גל רשמו את מתח העצירה המתאים.

אורך גל [nm]	מתח עצירה (ערך מוחלט) [V]	תדירות [Hz]
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		

- בעזרת הקשר $\lambda = \frac{c}{f}$ (c – מהירות האור, f – תדירות הפוטונים, λ – אורך הגל), מלאו את העמודה השמאלית של הטבלה.
- שרטטו גרף של מתח העצירה כתלות בתדירות הפוטונים הפוגעים בקתודה (אפשר להיעזר בתוכנת אקסל או לשרטט את הגרף לפי קנה מידה מתאים).
- הוסיפו לגרף קו מגמה מתאים.
- בעזרת נוסחת איינשטיין, פתחו את הקשר בין מתח העצירה לתדירות. הראו שמדובר בקו ליניארי.
- בעזרת קו המגמה של הגרף, מצאו את ערכו של קבוע פלאנק ואת פונקציית העבודה של הנתרן.
- ודאו שהערכים שחישבתם אכן תואמים את ערכי הספרות.

שלב ב' – חקירת ההשפעה של עוצמת האור על האלקטרונים שנעקרים מהמתכת

· בעבור אורך גל של 150nm ונתרן כמתכת המטרה, השלימו את הטבלה הבאה:

עוצמת האור (באחוזים)	זרם הרוויה [A]	מתח עצירה [V]
100%		
75%		
50%		
25%		

- האם שינויים בעוצמת האור משנים את זרם הרוויה? מדוע?
- האם שינויים בעוצמת האור משנים את מתח העצירה? מדוע?

- שרטטו על אותה מערכת צירים אופיינים של השפופרת הפוטואלקטרית (הזרם הפוטואלקטרי כתלות במתח בין האנודה לקתודה), בעבור עוצמת אור חזקה ועוצמת אור חלשה יותר.

שלב ג' – חקירת ההשפעה של פונקציית העבודה על האלקטרונים שנעקרים מהמתכת

- עבור אורך גל של 150nm ועוצמת הארה מקסימלית, השלימו את הטבלה הבאה:

סוג המתכת	זרם הרוויה [A]	מתח עצירה [V]
נתרן (Sodium)		
אבץ (Zinc)		
נחושת (Copper)		
פלטיניום (Platinum)		
סידן (Calcium)		

- האם שינויים בעוצמת האור משנים את זרם הרוויה? מדוע?
- האם שינויים בעוצמת האור משנים את מתח העצירה? מדוע?
- למי פונקציית עבודה גבוהה יותר, לנתרן או לפלטיניום? הסבירו.

סיכום

ענו על השאלה שבקישור הבא:

http://meyda.education.gov.il/sheeloney_bagrut/2013/6/HEB/36541.pdf

(שאלה 3, שאלון בגרות פיזיקה – קרינה וחומר, קיץ תשע"ג)