ניסוי פרנק-הרץ

תאריך הניסוי: 31/05/2026

מדריך: ד"ר אנטולי גולדמן

מעבדה 4מח 114037 – מעבדה 331, מסלול 1

דן קצוב-פייגין
323002915
dan.k@campus.technion.ac.il

יובל הירשמן
322644295
yuval-h@campus.technion.ac.il

דו"ח זה נכתב ב-Typst, שפה לכתיבת מסמכים.

מדידת אנרגיית עירור ופוטנציאל יינון של אטומי כספית בניסוי פרנק-הרץ

תוכן עניינים

1 מבוא 3
1.1 רקע תיאורטי 3
1.2 מערכת הניסוי 3
2 מהלך הניסוי 4
2.1 מדידת אנרגיית העירור של אטום כספית 4
2.2 מדידת אנרגית יינון 5
3 תוצאות וניתוח 5
3.1 ניתוח עקומות אופיין והפרש הפוטנציאלים בין השיאים 5
3.2 ניתוח עקומת יינון וקביעת פוטנציאל היינון 6
4 דיון ומסקנות 6

1 מבוא

1.1 רקע תיאורטי

לפי מודל האטום של בוהר, אלקטרונים באטום יכולים להימצא ברמות אנרגיה שונות ובדידות. באמצעות השקעת אנרגיה בכמות מתאימה, ניתן להעלות אלקטרון מרמת אנרגייה מסוימת לרמה גבוהה יותר. דרך אחת לעשות זאת היא לשגר אלקטרונים במהירות גבוהה אל אטום, ועקב התנגשות אי-אלסטית, להעביר את האנרגיה מהאלקטרון המשוגר אל האלקטרון באטום. **ניסוי פרנק-הרץ** (Franck–Hertz) שהוצג לראשונה בשנת 1914 משתמש בשיטה זו ומוכיח למעשה שרמות האנרגיה שלאלקטרון אין רמת אנרגיה רציפה, אלא רמות אנרגיה בדידות.

לכל יסוד יש סט רמות עירור משלו. כאשר אלקטרון בעל אנרגיה קינטית נמוכה מאנרגיית העירור לרמה הראשונה של אטום מסוים מתנגש באטום, ההתנגשות תהיה אלסטית בקירוב.[1] כאשר לאלקטרון תהיה אנרגיה קינטית גדולה מרמת העירור הראשונה, ההתנגשות בינו לבין האטום תהיה לא-אלסטית וחלק מהאנרגיה ינוצל עבור עירור אלקטרון באטום.

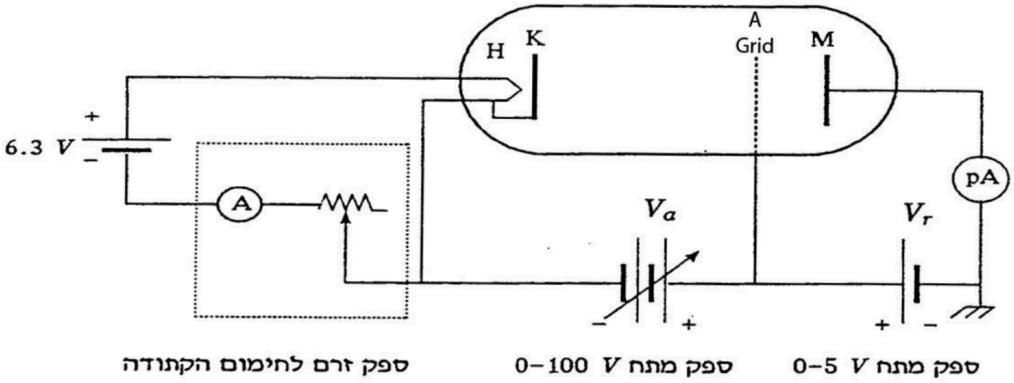
אם האנרגיה הקינטית של האלקטרון גדולה מספיק, הוא יוכל ליינן את האטום. בתהליך הזה אלקטרון באטום לא עולה ברמת אנרגיה, אלא מתנתק לחלוטין מהאטום.

1.2 מערכת הניסוי

בסיס המערכת עבור שני חלקי הניסוי מורכב מהרכיבים הבאים:

- **שפורפרת פרנק-הרץ:** שפורפרת זכוכית המכילה אדים של החומר הנבדק - כספית (Hg), השפורפרת יושבת בתוך תנור המאפשר לשלוט בטמפרטורה ובכך לקבוע את לחץ אדי הכספית בשפורפרת.
- **קתודה (K) וגוף חימום (H):** גוף החימום מקבל זרם ומחמם את הקתודה, בצורה זו הוא גורם לה לפלוט אלקטרונים אל השפורפרת.
- **אנודה מסריג (A):** אלקטרודה בצורת סריג שהאלקטרונים מואצים לעברה, בזכות צורת הסריג האלקטרונים עוברים דרכה וממשיכים הלאה.
- **אלקטרודה מאספת (M):** אלקטרודה הנמצאת בקצה השפופרת. אליה מגיעים החלקיקים הטעונים והיא מחוברת לפיקואמפרמטר.

1.2.1 תצורה א': מערכת למדידת אנרגיית ערעור של כספית

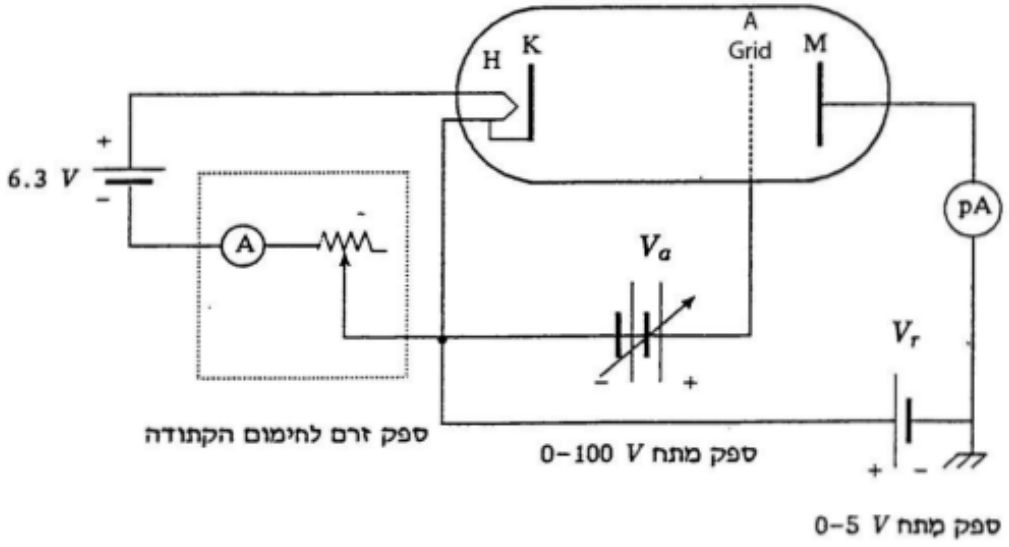


איור 1: מערכת א': מתח ההאצה V_a $[V]$ מחובר בין הקתודה לאנודה ומעניק לאלקטרונים אנרגיה קינטית. מתח העצירה V_r $[V]$ מחובר בין האנודה לאלקטרודה המאספת (M).

[1] מסת האלקטרון קטנה ממסת האטום בכפי 10^{-5}, לכן האלקטרון יישאר כמעט עם אותה אנרגיה שהייתה לו לפני ההתנגשות.

1.2.2 תצורה ב': מערכת למדידת מתח היינון של כספית

בשלב זה של הניסוי אנו משנים את מתח העצירה ומחברים אותו בין האלקטרודה המאספת לבין הקתודה, כך שהאלקטרודה המאספת לעולם תהיה בפוטנציאל נמוך יותר מנקודת המוצא של האלקטרונים, ללא תלות במתח ההאצה.



איור 2: מערכת ב': מתח ההאצה V_a מחובר בין הקטודה לאנודה ומעניק לאלקטרונים אנרגיה קינטית. מתח העצירה V_r מחובר בין הקתודה לאלקטרודה המאספת M כך שהיא נמצאת בפוטנציאל הנמוך ביותר.

2 מהלך הניסוי

2.1 מדידת אנרגיית העירור של אטום כספית

ראשית, העלינו את טמפרטורת השפופרת ל-$170^{\circ}\mathrm{C}$. המטרה בכך היא להביא לכמות גדולה של אדי כספית, כך שיהיו התנגשויות רבות בין האלקטרונים הנפלטים מהקתודה לאטומי הכספית. כאמור, כל התנגשות כזו תהיה אלסטית אם אנרגיית האלקטרון נמוכה מאנרגיית העירור, ואחרת יתרחש עירור.

בחלק זה קבענו את מתח העצירה להיות $1.5\mathrm{V}$. כאשר מתח ההאצה קטן אך גדול ממתח העצירה, האלקטרון יקבל אנרגיה קינטית נמוכה, יבצע התנגשויות אלסטיות בלבד, יתגבר על מתח העצירה, יגיע לאלקטרודה המאספת, ויימדד זרם בפיקואמפרמטר. נסמן V_e המתח כך ש-V_e כפול מטען האלקטרון יהיה שווה לאנרגיית העירור הראשונה של אטום הכספית. כאשר $V_a = V_e$, חלק מהאלקטרונים יבצעו התנגשויות אי-אלסטיות ויאבדו את כל האנרגיה הקינטית שלהם ממש כשיגיעו לאנודה. מתח העצירה לא יאפשר להם להגיע לפיקואמפרמטר, לכן נראה ירידה בזרם הנמדד. אם נגדיל את מתח ההאצה, חלק מהאלקטרונים יגיעו לאנרגיית רמת העירור מוקדם יותר, כך שאחרי התנגשות אי-אלסטית הם יצברו שוב מספיק אנרגיה בשביל להתגבר על מתח העצירה, ויצליחו להגיע לאלקטרודה המאספת ושוב נראה עלייה בזרם. כלומר, כל שיא בגרף הזרם-מתח האצה יהיה בכפולה שלמה של V_e. מכך ניתן למצוא את V_e. בתוכנה שהשתמשנו בה הגדרנו עבור V_a מתח התחלה, מתח סיום, ומדרגות קפיצה. בכך קיבלנו מספר רב של מדידות זרם-מתח.

2.1.1 מתח המגע

פונקציית עבודה של חומר היא האנרגיה המינימלית הדרושה כדי לגרום לשחרור אלקטרון מחומר. נסמן את פונקציות העבודה של האנודה והקתודה ב-ϕ_A וב-ϕ_K בהתאמה. נגדיר את מתח המגע להיות $\phi_A - \phi_K$. נוכל למצוא את מתח המגע לפי הנוסחה הבאה:

$$eV_a = E_{\text{kin}} + e(\phi_A - \phi_K) \tag{1}$$

כאשר e הוא מטען האלקטרון [C] ו-E_{kin} היא האנרגיה הקינטית שיש לו [eV]. כאמור, השיא הראשון בגרף זרם-מתח יתקבל כאשר $E_{\text{kin}} = eV_a$, לכן נוכל לחלץ ממנו את מתח המגע:

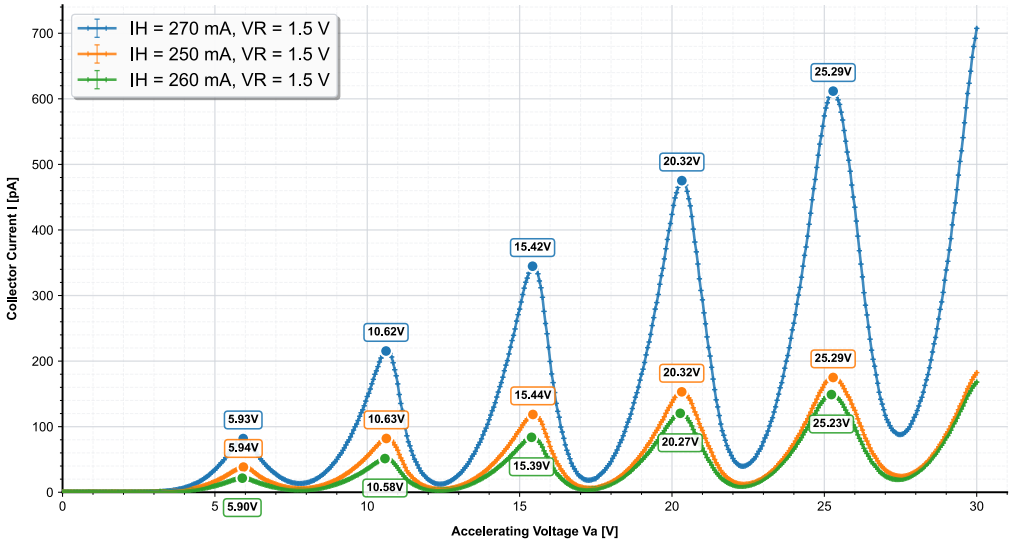
$$eV_{\text{first peak}} = eV_a + e(\phi_A - \phi_K) \Rightarrow \phi_A - \phi_K = V_{\text{firs peak}} - V_a \tag{2}$$

2.2 מדידת אנרגית יינון

בחלק זה מצאנו את כמות האנרגיה הדרושה כדי ליינן אטום כספית. ראשית, הורדנו את טמפרטורת הגז לכ-100°C. בכך הקטנו את כמות ההתנגשויות בין האלקטרונים לאטומי הכספית ובכך יותר אלקטרונים יכלו להגיע לאנרגיה הדרושה ליינון. בנוסף, הגדרנו את מתח העצירה להיות 1V. ניתן לראות באיור 2 כי כעת האלקטרודה המאספת בפוטניצאל נמוך מהקתודה, לכן אלקטרונים שנפלטים מהקתודה לא יגיעו אליה. אולם, יונים חיוביים (אטומי כספית שיוננו) כן יגיעו ל-M ויגנבו ממנה אלקטרונים חופשיים. בשביל לאזן את מטען האלקטרודה המאספת יווצר זרם. לכן, כל עוד מתח ההאצה לא מעניק לאלקטרונים הנפלטים מהקתודה אנרגיה מספקת בשביל ליינן, נראה זרם אפס. לאחר מכן, נראה מתח עולה מונוטונית – הן משום שיותר אלקטרונים יצליחו ליינן, והן משום שכל אלקטרון יצליח ליינן יותר פעמים.

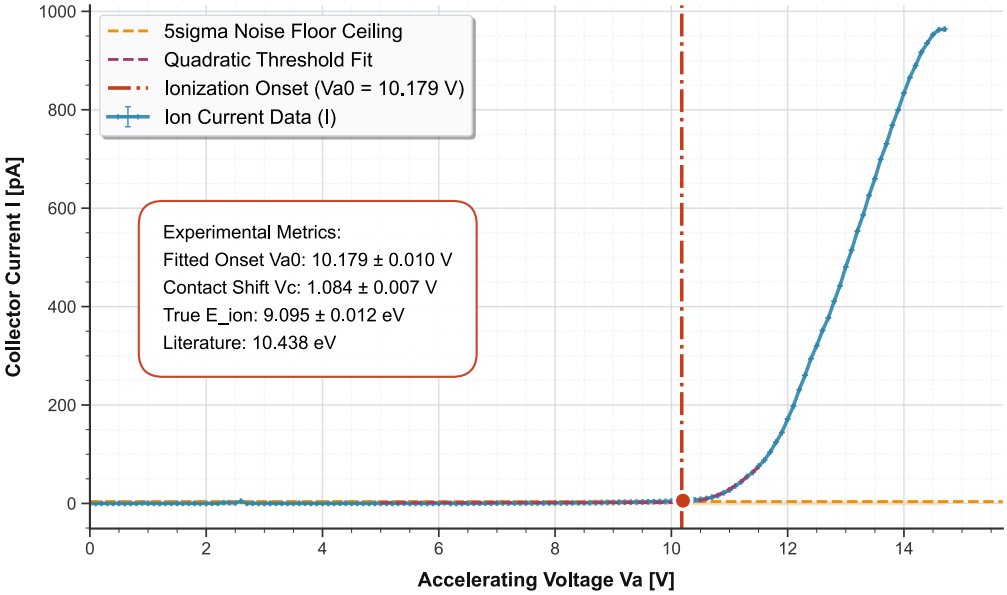
3 תוצאות וניתוח

3.1 ניתוח עקומות אופיין והפרש הפוטנציאלים בין השיאים



איור 3:

3.2 ניתוח עקומת יינון וקביעת פוטנציאל היינון



איור 4:

4 דיון ומסקנות