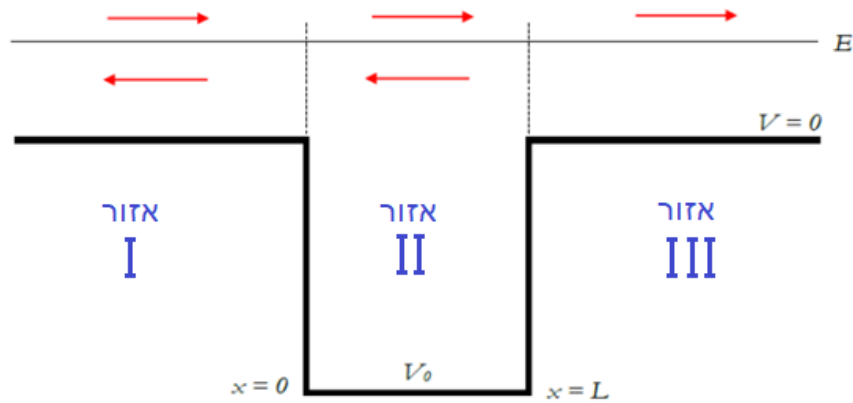


אפקט רמזאוור טאונסד (Ramsauer – Townsend)

כאשר אלקטרון עובר באזור המכיל מולקולות גז ישנה הסתברות מסוימת לכך שהוא יתנגש במולקולות הגז ויפוזר, הסתברות זאת מושפעת מצפיפות המולקולות וגודלן וממהירות האלקטרון, נוהגים לאפיין הסתברות זו באמצעות הפרמטר "חחד הפעולה להתנגשות". באפקט רמזאוור טאונסד מראים שהסתברות להתנגשות תלויה גם באנרגיה של האלקטרונים וקיימת אנרגיה שבה הסיכוי להתנגשות מינימאלי.

כדי להסביר אפקט מפתיע זה אנו נדרשים להנחות של מכניקה קוונטית בדבר האופי הגלי של האלקטרון ולא ניתן להסבירו רק באמצעות המכניקה הקלאסית שמתייחסת לאלקטרון בתור חלקיק.

פיזור מבור פוטנציאל



איור 1: מעבר חלקיק בבור פוטנציאל

לצורך הבנת האפקט נניח שכאשר אלקטרון חולף על פני אטום הוא מגיע לאזור בעל פוטנציאל שונה מ-0, לצורך ההפשטה נדמה את העניין לבור פוטנציאל חד מימדי (איור 1) (כמובן שבמצואות מדובר בבעיה בעלת 3 מימדים שמצריכות משוואות מסובכות יותר והפיתרון יהיה שונה במקצת).

נניח שעובי הבור הוא L , עומק הבור הוא $E = -V_0$ (מחוץ לבור $E = 0_0$). לפי השערת דה ברויי

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

כאשר k מספר הגל, h קבוע פלנק, p ,

v , m התנע המסה והמהירות של האלקטרון.

כאשר גל עובר מתווך לתווך חלק מהגל מוחזר, החיצים האדומים באיור 1 משקפים את הגלים המתקדמים והמוחזרים בכל אזור כתוצאה מהתנגשות בדפנות הבור. הביטוי לגל בכל אחד משלושת האזורים נתון ע"י :

$$(1) \quad \begin{aligned} \Psi_{I(x)} &= A_0 e^{ik_1 x} + A e^{-ik_1 x} \\ \Psi_{II(x)} &= B e^{ik_2 x} + C e^{-ik_2 x} \\ \Psi_{III(x)} &= D e^{ik_1 x} \end{aligned}$$

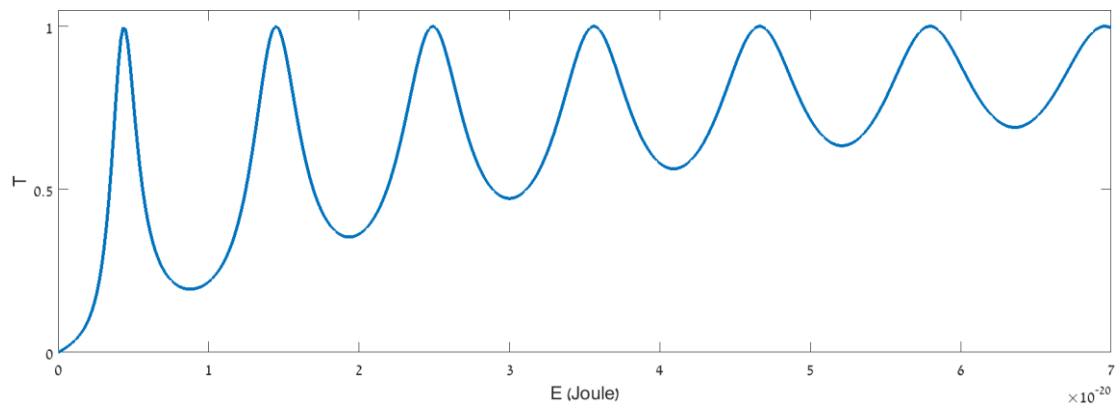
כאשר $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$ הוא מספר הגל באזור הראשון והשלישי (מחוץ לבור),

ו $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} = \frac{\sqrt{2m(E+V_0)}}{\hbar}$ הוא מספר הגל בתוך הבור. כעת בעזרת דרישה לשמור על רציפות

הגל ונגזרת הגל במעברים בין האזורים השונים ($x=0, L$) ניתן לקבל את המקדמים של הביטויים (A,B,C,D) ומתקבל שהביטוי למקדם ההעברה ניתן ע"י :

$$(2) \quad T = \left(\frac{D}{A} \right)^2 = \left[\frac{4k_1 k_2}{[(k_2 + k_1)^2 e^{-ik_2 L} - (k_2 - k_1)^2 e^{ik_2 L}] e^{ik_1 L}} \right]^2$$

ובמקרה בו $k_2 L = n\pi$ (n – מספר שלם כלשהו) הביטוי מצטמצם ומתקבל ש $T = 1$, איור 2 מראה תלות אופיינית של מקדם ההעברה באנרגיית החלקיק :



איור 2: מקדם העברה כתלות באנרגיית החלקיק

כלומר עבור אנרגיות שעבורם $k_2 L = n\pi$ החלקיק "שקוף" מבחינת החלקיק.

נכתוב את התנאי בצורה הבאה : $L = \frac{n\lambda_2}{2}$, כלומר רוחב הבור שווה מספר שלם של חצאי אורכי

גל . תנאי זהה לתנאי להיוצרות גלים עומדים כך שניתן להקביל תופעה זו לתופעה של העברת אורך גל סלקטיבית באמצעות שכבות דקות.

במידה ואטום בעל רדיוס R היה יכול להיחשב כריבוע בעל רוחב $L=2R$, היינו מצפים למינימום

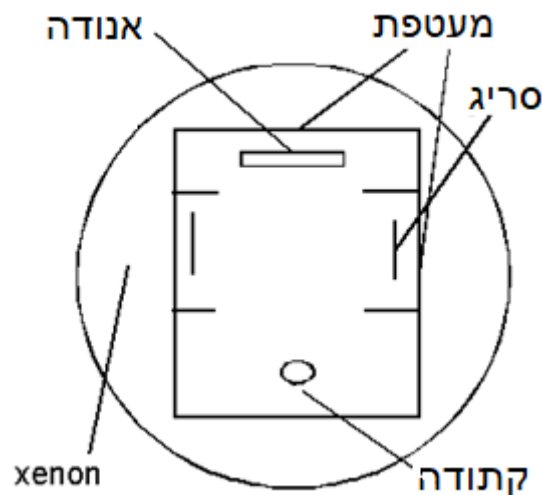
בערך חתך הפעולה עבור $\lambda_2 = 4R$ ועבור אנרגיית אלקטרון של $\frac{h^2}{32mR^2}$. עבור $R \approx 1\text{\AA}$

אנרגיית האלקטרון שווה בערך 10eV . בניסוי זה נצפה מינימום עבור ערך של $\approx 1\text{eV}$. מודל מדויק יותר מצריך פיתוח מתמאטי מלא ב-3 מימדים (ובמקרה זה מופיע גם מינימום בודד).

מבנה מערכת הניסוי

המערכת הניסיונית מבוססת על שפופרת הממולאת בגז האציל קסנון (Xe_{54}), אלקטרונים שנפלטים מקתודה מחוממת מואצים בעזרת מתח שמופעל על ה-Grid ונעים לקראת האנודה, באזור המכיל גז קסנון, ליצירת זרם אנודי. חלק ניכר מהאלקטרונים לא מגיעים לאנודה אלא נאספים במהלך הדרך ע"י המעטפת – לוח מתכת שממוקם מסביב לציר שמוליך מהקתודה לאנודה.

אלקטרונים נאספים ע"י המעטפת לא רק עקב פיזור מאטומי קסנון אלה גם עקב המבנה הגאומטרי של השפופרת שגורם לחלק מסוים מהאלקטרונים לפגוע במעטפת לפני שהם מגיעים לאנודה.



איור 3 : סכמה של שפופרת הניסוי

נגדיר את היחס שבין מספר האלקטרונים שהגיעו לאנודה לבין מספר האלקטרונים הכללי שנפלט

$$r = \frac{I_a}{I_s + I_a} \text{ כאשר } I_a \text{ הוא הזרם האנודי ו } I_s \text{ הוא הזרם}$$

הנאסף מהמעטפת.

$$\text{מכיוון ש } I_s \gg I_a \text{ אפשר לפשט ולהגדיר } r = \frac{I_a}{I_s} \text{ . כאשר אטומי הקסנון לא נוכחים באזור}$$

$$\text{המעבר של האלקטרונים נגדיר בצורה דומה } r^* = \frac{I_a^*}{I_s^*} \text{ .}$$

היחס r/r^* הוא בעצם הסיכוי של האלקטרון לא לעבור פיזור ע"י אטומי הגז , כלומר

$$r/r^* = 1 - P \text{ , ומכאן מתקבל ש :}$$

$$(3) \quad P = 1 - \frac{I_a I_s^*}{I_a^* I_s}$$

P יכול להיות מבוטא גם במונחים של המרחק בין הסריג לאנודה (L) והמרחק החופשי הממוצע

של האלקטרונים (λ) בצורה הבאה :

$$(4) \quad P = 1 - e^{-l/\lambda}$$

ומכאן גם מתקבל :

$$(5) \quad \lambda = -l / \log(1 - P)$$

מהלך הניסוי

- הפעילו את התוכנה היעודית בשפת LABVIEW ובחרו בלשונית "זרם אנודי", הפעילו את ספק המתח בערך של כ 3.5V לצורך חימום הקתודה.
- לאחר שמדידת הזרם האנודי מתיצבת עיברו ללשונית "זרם אנודי וזרם מעטפת כתלות במתח האצה ."
- כעת בצעו מדידה של הזרם האנודי וזרם המעטפת כתלות במתח ההאצה בטמפרטורת החדר בטווח מתחי האצה של 0 עד 5V .
- כעת יש לחזור על המדידה אך ללא נוכחות אטומי הגז. לצורך כך בקשו מהמדריך להוסיף חנקן נוזלי למערכת, החנקן יקפיא את הגז ויגרום לו להצטבר בתחתית השפופרת, המתנינו עד שהמערכת תתיצב וחיזרו על המדידה.

עיבוד תוצאות

- הציגו גרף של $-P_{(v)}$ הסיכוי לפיזור כתלות במתח ההאצה ומיצאו את המתח עבורו P מינימאלי.

נספח - פיזור מבור פוטנציאל חד מימדי

נניח מצב שבו חלקיק בעל אנרגיה כוללת E (ביחס לרמת הפוטנציאל אפס באזור I) נתקל ב"בור" פוטנציאל בעומק V_0 ובעובי L. אנו מניחים שהחזרה חלקית והעברה תתרחש בשני הקצוות של הבור. באזור I ו II למספר הגל ישנו אותו ערך $k_1 = \sqrt{2mE/\hbar}$ (ביטוי זה מבוסס על השערת דה

ברויי ולפיה $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ ומכאן ש $k^2 = \frac{2mE}{\hbar} \Rightarrow k = \frac{mv}{\hbar}$). באזור II ישנו מספר גל

$$k_2 = \sqrt{2m(E+V_0)}/\hbar$$

לצורך תיאור הגלים המתקדמים והמוחזרים בכל איזור נרשום את הביטויים הבאים :

$$\begin{aligned} \Psi_{I(x)} &= A_0 e^{ik_1 x} + A e^{-ik_1 x} \\ \Psi_{II(x)} &= B e^{ik_2 x} + C e^{-ik_2 x} \\ \Psi_{III(x)} &= D e^{ik_1 x} \end{aligned} \quad (2.1)$$

קעת נדרוש שבמעברים בין התווכים השונים ($x=0,L$) תשמר הרציפות של פונקצית הגל וגם הרציפות של נגזרת פונקצית הגל, לצורך כך מתקבל :

$$\begin{aligned} A_0 + A &= B + C \\ ik_1 A_0 - ik_1 A &= ik_2 B - ik_2 C \\ B e^{ik_2 L} + C e^{-ik_2 L} &= D e^{ik_1 L} \\ ik_2 B e^{ik_2 L} - ik_2 C e^{-ik_2 L} &= ik_1 D e^{ik_1 L} \end{aligned} \quad (2.2)$$

קיבלנו ארבע משוואות עם 5 משתנים, מה שמאפשר לנו לבטא את היחס של A, B, C, D כפונקציה של A_0 . לעינינו נמצא את D/A_0 שמבטא את היחס בין האמפליטודה היוצאת לאמפליטודה

$$T = \left(\frac{D}{A_0} \right)^2$$

הנכנסת, ומקדם ההעברה יהיה

מצמד המשוואות הראשונות של 2.2 מתקבל :

$$2k_1 A_0 = (k_2 + k_1)B - (k_2 - k_1)C \quad (2.3)$$

ומצמד המשוואות השני נמצא את B ו C כפונקציה של D :

$$\begin{aligned} B &= \frac{k_2 - k_1}{2k_2} D e^{ik_1 L} e^{-ik_2 L} \\ C &= \frac{k_2 + k_1}{2k_2} D e^{ik_1 L} e^{ik_2 L} \end{aligned} \quad (2.4)$$

הכנסת הביטויים מנוסחה 2.4 לנוסחה 2.3 תוביל לביטוי הבא :

$$(2.5) \quad T = \left(\frac{D}{A} \right)^2 = \left[\frac{4k_1 k_2}{[(k_2 + k_1)^2 e^{-ik_2 L} - (k_2 - k_1)^2 e^{ik_2 L}] e^{ik_1 L}} \right]^2$$

עבור $k_2 L = n\pi$

במקרה בו n זוגי : $e^{ik_2 L} = e^{-ik_2 L} = 1$

ובמקרה בו n אי-זוגי : $e^{ik_2 L} = e^{-ik_2 L} = -1$

ולכן משוואה (2.5) מצטמצמת לביטוי :

$$T = 1$$