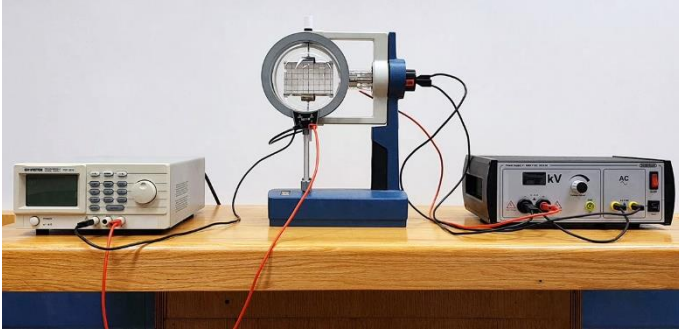




## היחס $e/m$ בין מטען האלקטרון למסתו

### רשימת הציוד

- נורה  $e/m$  וסלילי הלמהולץ
- ספק למתח גבוה עד 6000 V
- ספק מתח נמוך PSP2010
- 6 תילים ארוכים ותיל אחד קצר



### מטרות הניסוי

- לקבוע את היחס  $e/m$  בין מטען האלקטרון למסתו- קבוע פיסיקלי של הטבע.
- לחקור את תנועת אלקטרונים בשדות אלקטרומגנטיים.

### רקע תיאורטי - היסטורי

בשדה חשמלי אחיד תנועת מטענים היא תנועה מואצת בקו ישר או במסלול פרבולי; כיוון הכוח החשמלי מקביל או אנטי-מקביל לכיוון השדה החשמלי. בשדה מגנטי אחיד תנועת מטענים היא תנועה מעגלית או בורגית; כיוון הכוח המגנטי מאונך למהירות החלקיק ולכיוון השדה המגנטי.

בשנת 1897 הראה הפיזיקאי האנגלי J.J. Thomson (1856-1940) שקיימים חלקיקים - האלקטרונים - המשותפים לכל האטומים, ולכולם בדיוק אותו יחס  $e/m$  בין מטען למסה. תומסון קיבל את פרס נובל על עבודתו ב-1906.

בשנת 1909 הצליח הפיזיקאי האמריקאי Robert A. Millikan (1868-1953) להראות שכל האלקטרונים נושאים מטענים זהים בני  $1.6022 \cdot 10^{-19} \text{C}$ . זהו המטען החשמלי היסודי בטבע, שאינו ניתן לחלוקה. על תגלית זו קיבל מיליקן פרס נובל ב-1923.

### הכנה- הרחבה:

A. Franklin, *Are There Really Electrons? Experiment and Reality*, - (לא טכני)

*Physics Today*, October 1997, p. 26.

סרט בספריית חמד"ע- *The Millikan Experiment* מסדרת *Mechanical Universe*.

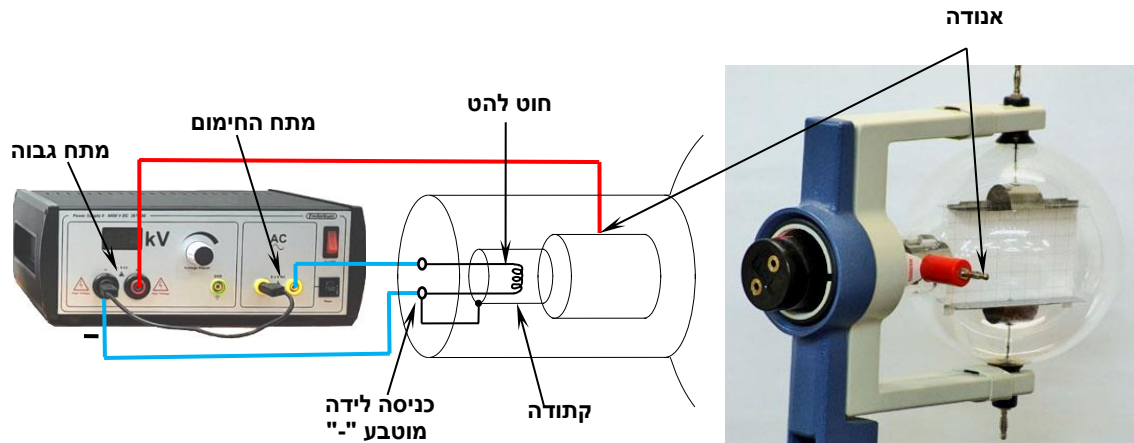
### שאלות הכנה

1. הגדר את המושגים הבאים וציין מהן יחידותיהם:
  - עוצמת השדה החשמלי,
  - פוטנציאל, מתח,
2. כיצד נוצר שדה מגנטי?
3. הוכח שצורת מסלול תנועתם של חלקיקים טעונים בשדה חשמלי אחיד היא קו ישר או פרבולה.
4. הוכח שצורת מסלול תנועתם של חלקיקים טעונים בשדה מגנטי אחיד היא מעגל או עקומה בורגית.
5. מהו האפקט התרמוני? (העזר בספריה)

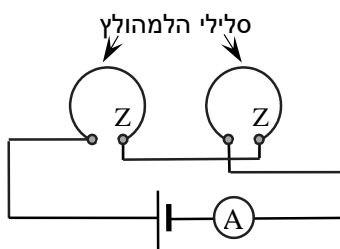
## הכנת המערכת לניסוי

**אזהרה:** בניסוי זה תשתמש בספק מתח גבוה שדורש זהירות יתרה. יש לנתק את הספק לפני כל שינוי בחיבורי המערכת.

1. וודא שהספק למתח גבוה כבוי וכוון את המתח הגבוה ל-0.
2. חבר את ההדק השלילי של ספק המתח הגבוה לקתודה של הנורה (כניסה בבסיס הנורה לידה מוטבע "-" ) ולאחד ההדקים של יציאת מתח החימום (תרשים 1).
3. חבר את ההדק השני של יציאת מתח החימום לכניסה השנייה בבסיס הנורה.
4. חבר את האנודה להדק החיובי של אותו הספק.

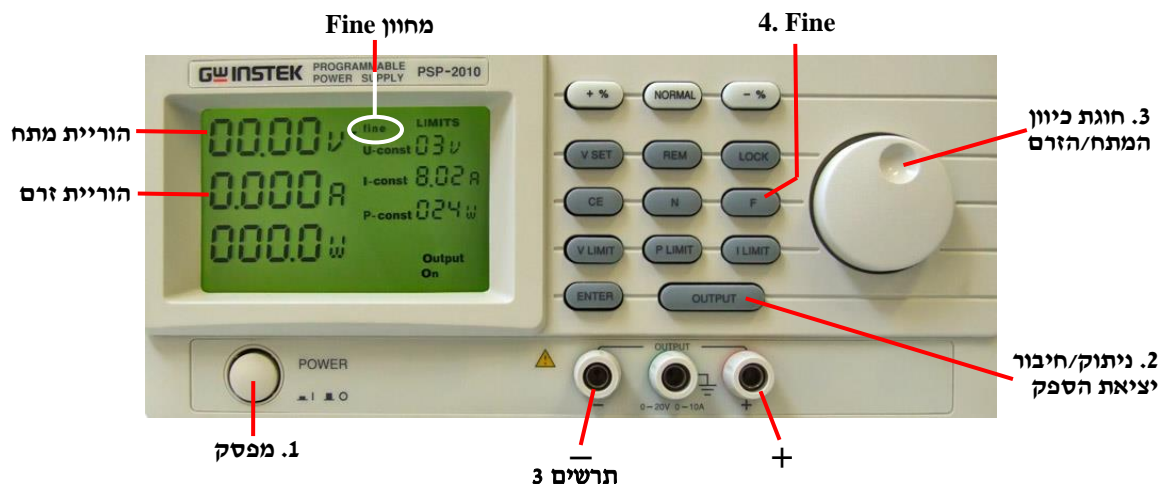


תרשים 1



תרשים 2

5. חבר את סלילי הלמהולץ לספק מתח נמוך (תרשים 2).
6. הפעל את ספק המתח הנמוך (כפתור 1) וכוון אותו למתח 0 באמצעות סיבוב החוגה (3) נגד כיוון השעון.
7. שינוי המתח בספק אינו רציף, וכך גם סיבוב החוגה 3 שמתבצע בקפיצות. כל קפיצת החוגה גורמת לשינוי קבוע במתח היציאה של ספק המתח. לחץ על כפתור 4 (Fine) לקביעת קפיצות מתח קטנות.



## עיקרון הניסוי

רדיוס העקמומיות של מסלול חלקיקים טעונים בתוך שדה מגנטי תלוי במטענם הסגולי ( $q/m$ ), במהירות תנועתו בתוך השדה ובעוצמת השדה המגנטי. בניסוי זה נשנה את מהירות האלקטרונים בעזרת המתח המאיץ ונשנה בהתאם את עוצמת השדה המגנטי - בעזרת שינוי הזרם בסלילי הלמהולץ, כך שרדיוס העקמומיות של מסלול האלקטרונים יישאר קבוע.

את עוצמת השדה המגנטי במרחב שבין הטבעות ניתן לחשב בעזרת הנוסחה  $B = KI$ . הערך המספרי של מקדם  $K$  מודפס על אחת הטבעות המסופקות בערכת הניסוי.

בכל המדידות משנים את המתח המאפיין ואת עוצמת הזרם בסלילים, כך שאלומת האלקטרונים תעבור דרך אותה נקודה ששיעוריה  $(x,y)$ . את רדיוס המסלול ניתן לחשב לפי הביטוי:

$$r = (x^2 + y^2)/2y$$

## ביצוע הניסוי

1. הפעל את ספק מתח הגבוה והמתן כדקה לחימום הקתודה.
2. כוון את מתח המאפיין  $V_A$  ל-2kV.
3. הפעל את היציאה של ספק המתח הנמוך (לחץ על כפתור Output (2) - תרשים 3).
4. כוון את הזרם דרך סלילי הלמהולץ באמצעות חוגה 3 (תרשים 3) עד שמסלול האלקטרונים יעבור דרך הנקודה (10 cm, 2 cm) על לוח הנורה. רשום בטבלה את ערך המתח המאפיין,  $V_A$ , ואת הזרם בסלילי הלמהולץ  $I_B^{(1)}$  (הוריית זרם מופיעה על הצג של ספק המתח הנמוך).
5. נתק את ספק המתח הנמוך מסלילי הלמהולץ (לחץ שוב על כפתור Output), הפוך את חיבור הסלילים לספק (את התקע שחובר ל-"+", חבר כעת ל-") וכיוון את עוצמת הזרם בסלילים כך שקרן אלקטרונים תעבור דרך הנקודה (10 cm, 2 cm) בצד הנגדי של לוח הנורה. רשום בטבלה את הזרם  $I_B^{(2)}$ .
6. קבע את סימנו של מטען האלקטרון על סמך תצפיותך בנורה. הסבר ונמק את קביעתך בפירוט, ציין את העקרונות והחוקים הפיזיקליים שעליהם יש להסתמך.
7. חשב את הממוצע,  $\bar{I}_B$  (A), של הזרמים  $I_B^{(1)}$ ,  $I_B^{(2)}$  ורשום אותו בשורה המתאימה בטבלה.
8. נתק שוב את הסלילים מהספק ושנה את הקוטביות של חיבור הסלילים בחזרה. חזור 10 פעמים נוספות על סעיפים 2-4 תוך הגדלת המתח המאפיין ב-200V בכל פעם. אינ לעבור על מתח מאפיין של 4.5 kV – זה עלול לגרום לנזק תמידי לנורה האלקטרונית e/m!

$V_A$ (V)											
$I_B^{(1)}$ (A)											
$I_B^{(2)}$ (A)											
$\bar{I}_B$ (A)											
$B = K \cdot \bar{I}_B$ (T)											

9. בתום ביצוע המדידות חזור את המתח בשני הספקים ל-0 וכבה אותם!

## בסיס המדידות

- נתק את הספקים מרשת החשמל,
- פרק את שני המעגלים,
- סדר במגש את הצייד כפי שקיבלת אותו לפני תחילת הניסוי וחזור את המגש לעגלה.

## עיבוד התוצאות

1. חשב את הערכים של עוצמת השדה המגנטי עבור הזרמים השונים ורשום אותם בשורה השלישית בטבלה הנ"ל.
2. בניסוי האלקטרונים עברו דרך הנקודה (10 cm, 2 cm). לפי כך, חשב את רדיוס העקמומיות של מסלולם,  $r$ .
3. בנה את גרף הפיזור  $B(\sqrt{V_A})$  בגיליון Excel, על פי נתוני הטבלה. הצג את קו המגמה של הגרף ואת משוואת הקו. לקבלת תוצאה מדויקת יותר, יש להגדיל את מספר הספרות מימין לנקודה העשרונית ל-2 ספרות. לשם כך בצע את הפעולות הבאות:
  - הקלק פעמיים על המשוואה, ובכרטסת הנפתחת עבור לכרטיסיה "מספר".
  - ברשימת "קטגוריה" בחר תצוגה מדעית והגדר 2 ספרות לימין לנקודה עשרונית.
4. פתח ביטוי עבור הקשר הפיזיקלי המתואר בגרף שבנית.

5. מה מייצג שיפוע הגרף? מהם יחידות השיפוע ?
6. חשב בעזרת שיפוע הגרף את היחס בין מטען האלקטרון למסתו -  $e/m$ .
7. האם התוצאה שקיבלת תואמת את הערכים הידועים:  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ?
8. מהם לדעתך מקורות השגיאה בניסוי?

### שאלות סיכום

1. מדוע עיבוד התוצאות נותן רק את הערך המוחלט של  $e/m$  ? כיצד ניתן לקבוע את סימנו במהלך הניסוי?
2. בניסוי השתמשנו בקשר  $r = (x^2 + y^2)/2y$ . שרטט את מסלול החלקיקים והוכח קשר זה.
3. הסבר את שיטת האצת האלקטרונים בנורה ואת שיטת יצירת השדה החשמלי והשדה המגנטי בנורה.
4. היכן לאורך מסלול התנועה של האלקטרונים בנורה קיימות תאוצות? מה הכוחות הגורמים לתאוצות אלה? מהי השפעתן של התאוצות על תנועת האלקטרונים?
5. הסבר את תהליך שחרור אלקטרונים בנורה והיווצרות אלומת האלקטרונים.
6. באיזו שיטה נוספת ניתן לשחרר אלקטרונים ממתכת? קרא בספריה אודות האפקט הפוטואלקטרי.
7. איך אפשר להגדיל את הסחת האלקטרונים במערכת הניסוי?
8. מה יקרה אם נהפוך את קוטביות החיבור של כל אחד מקורות המתח?