

תדריך עבודה לניסוי בשק"ק

1. מטרות הניסוי

1. ניתוח סטטיסטי של נתונים.
2. הכרת מושגי יסוד בתנועת אלקטרוניים בשדות אלקטרומגנטיים.
3. אימות המודל המתאר את תנועת האלקטרוניים בהשפעת שדות חשמליים ומגנטיים.
4. הבנת הבסיס הפיסיקאלי למכשירים הפועלים על-ידי קרן אלקטרוניים (אוסצילוסקופ, טלוויזיה, צג מחשב).

2. כללי בטיחות בעבודה עם שק"ק

אזהרה – בשפופרת שורר ואקום. שבר בזכוכית יגרום להתפוצצות שתעיף רסיסי זכוכית קטנים בעוצמה רבה. יש לטפל בשפופרת בעדינות.

חיבורים מסוימים של השפופרת נמצאים במתח גבוה (כמה מאות וולטים) ביחס לאדמה – היזהרו! אסור לגעת בחיבורים וביציאות הספקים כאשר ספק המתח לשפופרת מופעל. כדי לשנות חיבורים או כדי להזיז את השפופרת, כבו את ספק המתח לשק"ק. שימו לב במיוחד לחיבור "התמים" של 4.5 וולט בין הקתודה לסריג הראשון - זהו מתח "בלימה" לסריג הראשון המסופק מקופסת הבקרה, לכן ביחס לאדמה מדובר במתח גבוה!

קופסת הבקרה חייבת להיות מופעלת כל זמן הניסוי, גם כאשר מסיימים לבצע מדידות של אחד מחלקי הניסוי – אם לא תעשו כך, הקרן תהיה בעלת עוצמה רבה ותשרוף את המסך! על כן, יש להדליקה עם תחילת הפעלת המערכת, ולכבותה רק לאחר סיום ביצוע המדידות וסגירת שאר הרכיבים החשמליים.

אזהרה – כאשר הקרן ממוקדת זמן רב בנקודה אחת על המסך, היא שורפת את הציפוי הזרחני וגורמת לכתם שחור תמידי על המסך; לכן, כאשר אינכם מבצעים מדידות, העבירו את מתג ספק המתח לשק"ק למצב

STAND BY

במצב זה ספק המתח לא נותן מתח גבוה אלא רק מתח לחימום הקתודה, לכן אפשר להפסיק זמנית את העבודה בלי לגרום נזק לשפופרת עקב מאמצים תרמיים (נגרמים כתוצאה של חימום וקירור רצופים).

אסור לסמן או לגעת במכסה השקוף של השק"ק!

מכיוון שהפעלת השק"ק באופן שגוי עשויה לגרום לנזק בלתי הפיך ולפגיעה במפעיל, אין להפעיל את מערכת השק"ק לפני שהמדריך/ה האישי/ת בדק/ה ואישר/ה את נכונות החיבורים החשמליים.

3. שלבי הכנה לביצוע הניסוי1. זיהוי מרכיבי מערכת השק"ק

- א. זהו את מיקומם של המכשירים הבאים ואת מצב הפעלתם:
- ספק המתח לשק"ק - ודאו שמצב ההפעל הנמצא במצב **POWER OFF**.
- ודאו שמתג אספקת מתח האצה נמצא במצב **STAND-BY**; במשך הניסוי תשתמש במתג זה להפעלה וכיבוי של הקרן בשק"ק.
- ודאו ששני הווסתים של מתחי האצה (V_C ו- V_B) מכוונים למצב מינימום מתח.
- ב. קופסת הבקרה - ודאו שמתג ההפעלה נמצא במצב **POWER OFF**.
- ודאו ששני מתגי אספקת מתחי ההטייה נמצאים במצב **OFF**.
- ג. מד מתח האצה - ודאו שפקדי המכשיר מכוונים למדידת מתח **DC** בתחום של **0-2000V**.
- שימו לב לחוטי החשמל המחוברים לחזית המכשיר.
- ד. מד מתח הטייה - ודאו שפקדי המכשיר מכוונים כיאות למדידת מתח **DC** בתחום המתאים.
- ה. השק"ק עצמו - זהו את השק"ק.

2. חיבור רובה האלקטרוניים

כעת נחבר את החוטים של רובה האלקטרוניים (ראו **איור 2**). כל החוטים המחוברים לשק"ק בעלי קצוות מוגנים בשל המתחים הגבוהים איתם אנו עובדים בניסוי זה.

שימו לב, צבעי החוטים שבאיור הם צבעי החוטים אשר מחוברים לשק"ק שבעמדתכם, וכל צבע שייך לחלק נפרד ברובה האלקטרוניים. חלק מהחוטים כבר מחוברים למערכת, אין לשנות את חיבורים אלו. במקרה וחיבורים אלו מתנתקים במהלך העבודה, יש לקרוא מייד למדריך/ה.

עיינו היטב בתרשים וזהו את מיקום חלקי המערכת בעמדה שלרשותכם, וכן זהו את כל החיבורים ואת תפקידהם – במקרה של ספק היעזרו במדריך/ה!

במהלך הניסוי נרצה לדעת מהו מתח ההאצה הכולל. שימו לב בין איזה נקודות מחברים את מד מתח ההאצה.

כאשר נטה את קרן האלקטרוניים באמצעות יצירת שדה חשמלי, נבצע הטייה רק בציר x . לכן לוחות ההטייה המשפיעים על הטייה בכיוון ציר y מוארקים. ודאו זאת במהלך חיבור רובה האלקטרוניים.

3. החיבורים החשמליים של מערכת ההטייה החשמלית

חיבור מערכת ההטייה החשמלית יעשה ע"פ הנחיית המדריך.

החיבורים מפורטים בתרשים באיור 3.

אין להפעיל את מערכת השק"ק לפני שהמדריך האישי בדק ואישר את נכונות החיבורים החשמליים!

4. הפעלת השק"ק

רק לאחר בדיקת המדריך ואישורו ורק בנוכחותו (!) יש לבצע את הסעיפים הבאים:

- א. הפעלת קופסת הבקרה – העבירו את מתג ההפעלה של קופסת הבקרה למצב ON. כעת מסופק מתח "בולס" לסריג הראשון.
- ב. הפעלת ספק הכח לשק"ק – העבירו את מתג ההפעלה הראשי של ספק הכח לשק"ק למצב ON. כעת מסופק מתח לחימום הקתודה. הביטו דרך הכיסוי השקוף של השפופרת (אין להסירו!) מתחת למכסה המתכת וודאו שהקתודה מתחממת, כלומר מפיצה אור כתום בחלקו האחורי של השק"ק.
- ג. הפעלת מד מתח ההאצה – הפעילו את מתג ההפעלה של מד מתח ההאצה. בשלב זה המתח הכולל צריך להיות 0 וולט!
- ד. יש להמתין לפחות דקה אחת על מנת שהשפופרת תתחמם וכך לא ייווצרו בה מאמצים תרמיים מסוכנים. לאחר שעברה דקה אחת ניתן לספק מתח האצה לשק"ק; אתרו את מתג אספקת המתח לשק"ק (בספק הכח לשק"ק) והעבירו אותו ממצב *STAND BY* למצב *DC ON*.

כיוון מתח ההאצה הראשוני

- ה. יש לציין כי מתח זה מותאם בנפרד לכל שפופרת קרן קתודית והינו מתח ההאצה הקטן ביותר בו מתקבלת נקודה מוארת על המסך (עם סיום הכיוון הנקודה שתתקבל צריכה להיות לכל היותר בקוטר של 1 מ"מ).
- ו. הכיוון עצמו יעשה בשלבים הבאים:

(1) כיוון V_C - סובבו את וסת המתח V_C ממצב של 0 וולט ועד לערך כלשהו, קריאת המתח המכוון תעשה בעזרת מד מתח ההאצה (עדיין לא רואים דבר על מסך השק"ק).

(2) כיוון V_B - סובבו את וסת המתח V_B למקסימום, על המסך ייוצר כתם ירוק; רק אז יש להקטין את המתח V_B עד להיווצרות נקודה קטנה על גבי המסך. בעזרת הליך זה ניתן להקטין למינימום השפעות של מטענים סטטיים העשויים להצטבר על מסך השק"ק.

- ז. במידה והנקודה המוארת המתקבלת על מסך השק"ק גדולה מדי יש לפנות ישר לצוות הטכני.

ירשמו את מתח ההאצה הנמדד ואת שני מרכיביו. ניתן למדוד כל מתח בנפרד על ידי החוגה האנלוגית והלחצן המעביר את החוגה ממתח אחד אל המתח האחר – השנתות האדומות מורות על V_B והשנתות השחורות מורות על V_C . ערכי המתחים הללו יוכלו לעזור לכם לבחור את מתחי ההאצה השונים איתם תעבדו.

4. תנועת אלקטרונים בשדה חשמלירשימת ציוד

1. שק"ק מוגן במעטה פלסטי, חוטי חיבורים.
2. ספק כוח ראשי.
3. קופסת ספק כוח משני (קופסת בקרה).
4. מד מתח האצה.
5. קופסת חיבורים עם וסת מתח הטיה.
6. מד מתח הטיה.

הכנה לביצוע מדידות הטיית הקרן

1. הפעילו את מד ההטייה- אתרו את שני המתגים המפעילים את מתחי ההטייה (בקופסת הבקרה) והפעילו אותם (ON).
2. בעזרת הפוטנציומטר של בקרת ההטייה הזיזו את הנקודה המוארת ע"ג מסך השק"ק מצד אל צד. האם במתח הטייה אפס (ע"פ מד מתח הטייה) הנקודה אכן נמצאת ב"נקודת האפס"? הסבירו.
3. הזיזו את מכסה המתכת המורכב על השק"ק וראו כיצד משתנה מיקום הנקודה (מדוע זה קורה?). רצוי שהנקודה תהיה על אחד הקווים האופקיים המסומנים. **הקפידו במהלך המדידות לא להזיז את המכסה!**
4. בניסוי תמדדו את ההטייה של הקרן ב-3 מתחי האצה שונים. כדי לבחור באילו מתחים למדוד מצאו תחילה מהו טווח מתחי ההאצה היעיל בניסוי. מה קורה כאשר נבחר מתח האצה נמוך מידי? האם אפשר יהיה לבצע את המדידות באופן מדויק מספיק? מה קורה כאשר בוחרים את מתח ההאצה הגבוה ביותר האפשרי עבורו הקרן עדיין ממוקדת? האם אכן כדאי לבצע מדידות במתח זה? שימו לב לקוטר הנקודה המתקבלת על המסך וכן לאורכו של המסלול עליו נעה הנקודה עבור מתחי הטייה קיצוניים. הסבירו בפרוש את השיקולים לבחירת המתחים. הציגו את מסקנותיכם בפני המדריך/ה לפני התחלת המדידות.

ביצוע המדידות

5. רישמו את מתח ההאצה ($V = V_B + V_C$, כולל מרכיביו) בו מופעל השק"ק (ודאו כי הקרן ממוקדת).
6. מה תהיה שגיאת המדידה של מיקום הנקודה? מה תהיה שגיאת המדידה של מתח הטייה? (האם יש באפשרותכם לשחזר מדידות מתח בדיוק שמאפשרת התצוגה הדיגיטאלית? כיצד משפיע פוטנציומטר ההטייה על דיוק מדידת המתח? חישבו על ניסוי מקדים שניתן לבצע על מנת להעריך את שגיאת מתח ההטייה. מפאת קוצר זמן בניסוי, נרצה להעריך

את השגיאה פעם אחת עבור כל מתח האצה בלבד, ולא לכל נקודה. דאגו שהדרישה הבאה

$$\text{תתקיים: } \frac{\Delta\sigma}{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}} < 25\%, \text{ כאשר } N \text{ מספר המדידות.}$$

7. עבור מתח הטייה אפס (כיצד תוודאו שהמתח הוא אפס?) רישמו לעצמכם את מיקום הנקודה על המסך מבחינת הציר האופקי; זו תהיה "נקודת האפס"- נקודת הייחוס להטיות שיימדדו בניסוי. **אזהרה: אין לסמן סימנים על המסך ואסור לגעת בו!**
8. מדדו את **מיקום** הנקודה עבור מתחי V_d חיוביים ושיליים (לאחר מכן תחשבו את D – **מרחק ההטייה ביחס למיקום עבורו** $V_d = 0$). דאגו לפיזור של המדידות על פני רוב שטח המסך. הימנעו מהגעה לקצוות המסך, כדי לא להיות מושפעים מאפקטי שפה. רישמו את תוצאותיכם בטבלה, כולל שגיאות המדידה.
9. יש לחזור על סעיפים 5-8 עבור שני מתחי האצה נוספים (סך הכל 3 מתחי האצה). יש להעריך מחדש את השגיאה במדידת מתח ההטייה, וכן למדוד מחדש את מיקום ה"אפס".
10. לאחר סיום המדידות הקטינו את וסתי המתחים של V_B ו- V_C לאפס. כבו את שני מתגי מתחי הטייה (בקופסת הבקרה) - **הקפידו להשאיר את קופסת הבקרה מופעלת!**
11. כבו את מד מתח ההטייה (אין בו צורך להמשך הניסוי).
12. העבירו את מתג אספקת המתח לשק"ק (בספק המתח לשק"ק) ממצב $DC ON$ למצב $STAND BY$.

הנחיות לעיבוד תוצאות

1. שרטטו גרף אחד של מרחק הטיה D כפונקציה של מתח ההטיה V_d , בו מופיעים הנתונים משלושת מתחי ההאצה בהם השתמשתם בניסוי.
2. בצעו למדידות התאמות לינאריות ומצאו את שיפועי הגרפים, את הפרמטרים החופשיים ואת שגיאותיהם. לפי התיאוריה, מהו הפרמטר האחראי על קבלת שיפועים שונים? מה נצפה לקבל עבור הפרמטרים החופשיים? היכן אמורה להיות נקודת החיתוך המשותפת של שלושת ההתאמות?
3. חשבו את היחסים בין כל זוג שיפועים (סה"כ 3 יחסים) ואת שגיאתם. לאיזה גודל תיאורטי אפשר להשוות את היחסים? בצעו השוואות אלו באמצעות מדד $N\sigma$.
4. כדי לבחון את המודל התיאורטי ביתר דיוק, ברצוננו לבצע התאמה אחת עבור שלוש סדרות המדידות. טכניקה זו נפוצה בפיסיקה ניסיונית.
 - א. השלימו את הטבלאות שמילאתם בזמן הניסוי: הוסיפו שני טורים

נוספים, בהם הגודל של V_d/V ושגיאתו.

ב. שרטטו גרף אחד של D כפונקציה של V_d/V .

ג. בצעו התאמה לינארית לנתונים ומצאו את שיפוע הגרף, את הפרמטר החופשי ואת שגיאותיהם. מתוך הגרף חשבו את $\frac{\ell}{d}$ האפקטיבי שהתקבל בניסוי ובידקו האם הערך שקיבלתם נמצא בטווח התיאורטי שמצאתם באמצעות מידות רכיבי השק"ק (היעזרו בשרטוט השק"ק).

שאלות עזר לסיכום

1. מיקום הקרן על המסך :
 - א. מדוע הרכבתם מכסה מתכתי על המכסה השקוף של השק"ק? הסבירו.
 - ב. מה קרה לנקודה המוארת על המסך כאשר מזיזים את המכסה המתכתי ומדוע?
 - ג. מדוע אסור היה להזיז את המכסה המתכתי עד לסיום מדידות הטיה חשמלית?
 - ד. האם במתח הטיה אפס (ע"פ מד מתח הטיה) אכן הנקודה נמצאת "בנקודת אפס"? הסבירו.
2. נתחו את תוצאות הניסוי להטיה חשמלית של קרן אלקטרונים ע"פ הנקודות הבאות :
 - א. האם שלושת הגרפים מתאימים למודל תיאורטי? נמקו.
 - ב. האם יחסי השיפועים באמת מקיימים את החזוי ע"פ התיאוריה?
 - ג. מהם גורמי השגיאה הדומיננטיים בניסוי וכיצד ניתן להקטיןם?
 - ד. האם כל התוצאות מסתדרות על גבי קו ישר אחד או שעדיין ניתן להבחין בין השיפועים השונים של מתחי האצה השונים? הסבירו.
 - ה. האם גרפי השארים שקיבלתם מעידים על מגמה כלשהו? אם כן, נסו לחשוב מהו הגורם שיכול להשפיע על כך.

5. הטיית קרן האלקטרונים בשדה מגנטירשימת ציוד

1. שק"ק מוגן במעטה פלסטי, חוטי חיבורים.
2. ספק כוח ראשי.
3. קופסת ספק כוח משני (קופסת בקרה).
4. ספק מתח *TRIO*.
5. חוטי חיבורים.
3. מד זרם.
4. מד מתח האצה.
5. צמד סלילי הטיה.

הכנה לביצוע מדידות הטיית הקרן

1. הסירו את מכסה המתכת המורכב על השק"ק. מדוע עושים זאת?
2. לרשותכם שני סלילי הטיה, ספק כח נוסף, מד-זרם וחוטי חיבורים.
3. הציבו את שני הסלילי ההטיה המגנטית משני צדי השק"ק (שימו לב אל האותיות במופיעות לייד חיבורי הסלילים). חברו את המעגל החשמלי תוך התייחסות לתרשים המופיע באיור 4. שימו לב במיוחד לקוטביות הסלילים. **אין צורך לנתק את החיבורים מהחלק הקודם!**
4. עם סיום בניית המעל החשמלי פנו למדריך/ה לצורך בדיקת נכונות החיבורים. לאחר בדיקה ואישור המשיכו בביצוע הניסוי.
5. מדדו את מיקום מרכז הסלילים ביחס למסך השקק. אתם תשתמשו בגודל זה במהלך עיבוד הנתונים.
6. על מנת למנוע נזק אפשרי לסלילים, כווננו את הגבלת הזרם של ספק המתח לסלילים להיות 0.3 אמפר. מתח העבודה המותר לסלילים הינו 0 עד 2 וולט. מתח זה משפיע על ההטייה, שימו לב למדוד רק בטווח מתחים זה.
7. חזרו על הוראות ההפעלה של השק"ק. לאחר מכן הפעילו אותו וצרו קרן ממוקדת. איזה מתח האצה בחרתם? הסבירו.

ביצוע המדידות

8. רישמו את מתח ההאצה ($V = V_B + V_C$, כולל מרכיביו) בו מופעל השק"ק (ודאו כי הקרן ממוקדת).
9. גם בחלק זה נרצה למצוא דרך להעריך את השגיאות של הגדלים שאנו מודדים. את שגיאת מרחק ההטייה ניתן להעריך באותו האופן. כיצד תעריכו את שגיאת הזרם? בצעו ניסוי מקדים כפי שביצעתם בחלק הקודם על מנת להעריך את השגיאה (גם כאן, בצעו זאת עבור כל מתח האצה).
10. מדדו את מיקום הקרן (המיקום האנכי) ביחס למיקום ה"אפס", בו הזרם בסלילים הוא אפס.

11. הפעילו את מעגל ההטיה המגנטית (הדליקו את ספק ה-TRIO) מדדו את מיקום הקרן כפונקציה של הזרם בסלילים I . הקפידו לבצע מדידות לאורך כל המסך (פרט לקצוות השק"ק). לשם כך, החליפו את קוטביות החיבורים בספק המתח.
12. חזרו על סעיפים 8-11 עבור מתח האצה נוסף (סך הכל בצעו מדידות עבור 2 מתחי האצה). יש להעריך מחדש את השגיאה בזרם, ולמדוד מחדש את מיקום ה"אפס".
13. מדדו וחשבו את n (ממוצע צפיפות הכריכות ליחידת אורך) באופן הבא: מספר הכריכות של כל סליל, N , מופיע על הסלילים. מדדו את המרחק האפקטיבי של הסליל (מהקצה הימני של הסליל הימני עד הקצה השמאלי של הסליל השמאלי), וחלקו את מספר הכריכות במרחק זה. זהו הגודל האפקטיבי של n .

הנחיות לעיבוד תוצאות

1. שרטטו גרף אחד של מרחק הטיה D כפונקציה של הזרם בסלילים I , בו מופיעים הנתונים משני מתחי ההאצה בהם השתמשתם בניסוי.
2. בצעו למדידות התאמה לינארית ומצאו את שיפועי הגרפים, את הפרמטרים החופשיים ואת שגיאותיהם. לפי התיאוריה, מהו הפרמטר האחראי על קבלת שיפועים שונים? מה נצפה לקבל עבור הפרמטרים החופשיים? היכן אמורה להיות נקודת החיתוך המשותפת של שתי ההתאמות?
3. חשבו את היחס בין זוג השיפועים ואת שגיאתו. לאיזה גודל תיאורטי אפשר להשוות את היחס? בצעו השוואה באמצעות מדד $N\sigma$.
4. גם בחלק זה נרצה לערוך התאמה משותפת לכל המדידות. שרטטו גרף של ההטיה D כפונקציה של הגודל I/\sqrt{V} . האם נקודות המדידה עבור הערך הנוסף של מתח ההאצה צריכות ליפול על אותו הקו?
5. בצעו התאמה לינארית ומצאו את השיפוע, את הפרמטר החופשי ואת שגיאותיהם.
6. כקרוב ראשון, הניחו כי השדה שיצרו הסלילים שווה לשדה סליל אינסופי בעל אותה צפיפות של כריכות שחישבתם, וכי הוא קיים רק בין הסלילים. מתוך הנחה זו ומשיפוע הגרף מצאו את היחס e/m ושגיאתו (הציבו $K=1$). השוו את היחס שקיבלתם אל היחס התיאורטי מן הספרות¹ באמצעות מדד $N\sigma$.
7. כעת נבדוק עד כמה שגויות ההנחות שהנחנו בשאלה הקודמת. השתמשו בערך התיאורטי של e/m ושגיאתו מן הספרות ובשיפוע הגרף, כדי לחשב את המקדם K ושגיאתו אשר מבטא את טיב הקירובים בהם השתמשנו. ציינו מהם קירובים אלה והציגו את הערך של K ושגיאתו שקיבלתם. האם הערך שהתקבל הגיוני?

¹ ניתן למצוא היחס ושגיאתו מחיפוש באתר של NIST (National Institute of Standards and Technology):

<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>

שאלות עזר לסיכום

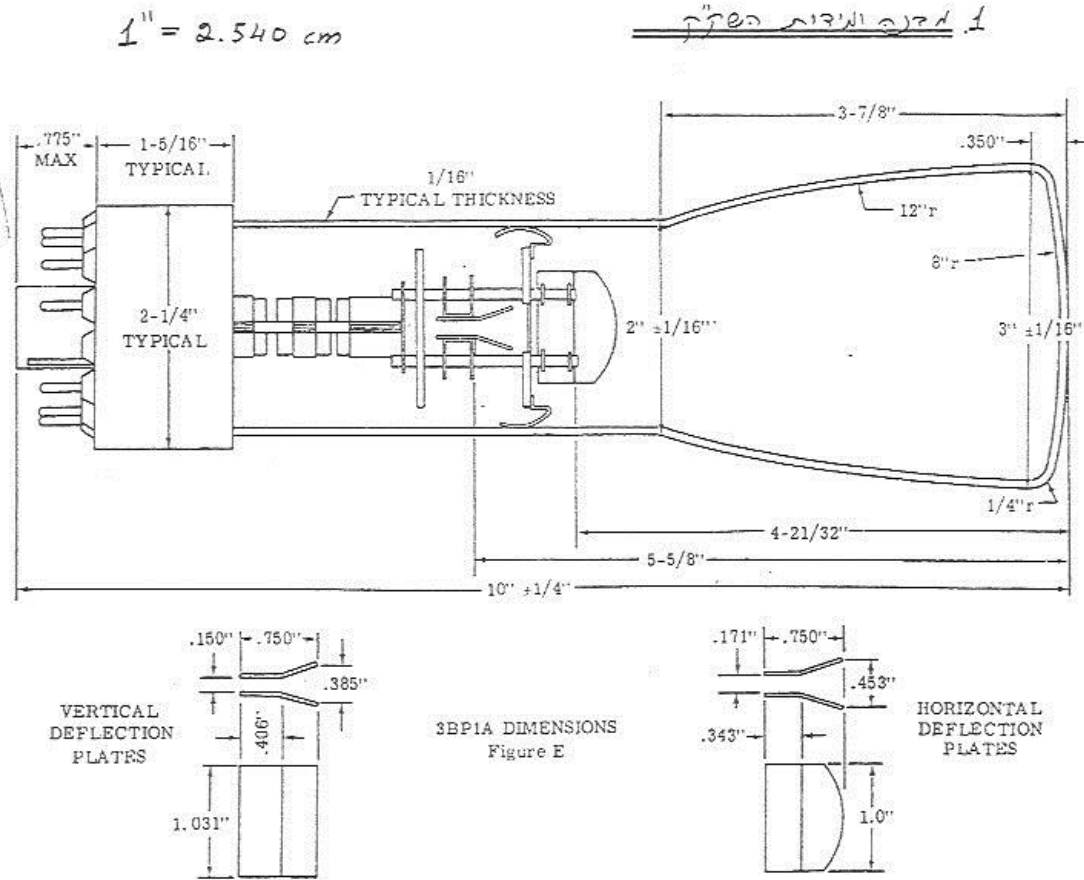
1. נתחו את הניסוי למדידת היחס e/m לפי הנקודות הבאות:

א. האם הגרף שהתקבל מתאים למודל התיאורטי? נמקו.

ב. האם היחס e/m שקיבלתם בניסוי מתאים לערך מן הספרות? אל תשכחו את הערכת השגיאות בניסוי.

2. שאלת בונס: אחד מסוגי הקרינה הרדיואקטיבית (קרינת α) הוא למעשה שטף של חלקיקים המכונים חלקיקי α . חלקיק α הוא גרעין של אטום הליום ובו שני פרוטונים ושני נויטרונים. הציעו ניסוי למדידת היחס בין מטענו של חלקיק זה (q) ובין מסתו (M). בטאו את הערך אותו תצפו לקבל בניסוי באמצעות היחס שבין מטען האלקטרון (e) למסתו (m).

5. תרשים מבנה ומידות שפופרת קרן קתודית

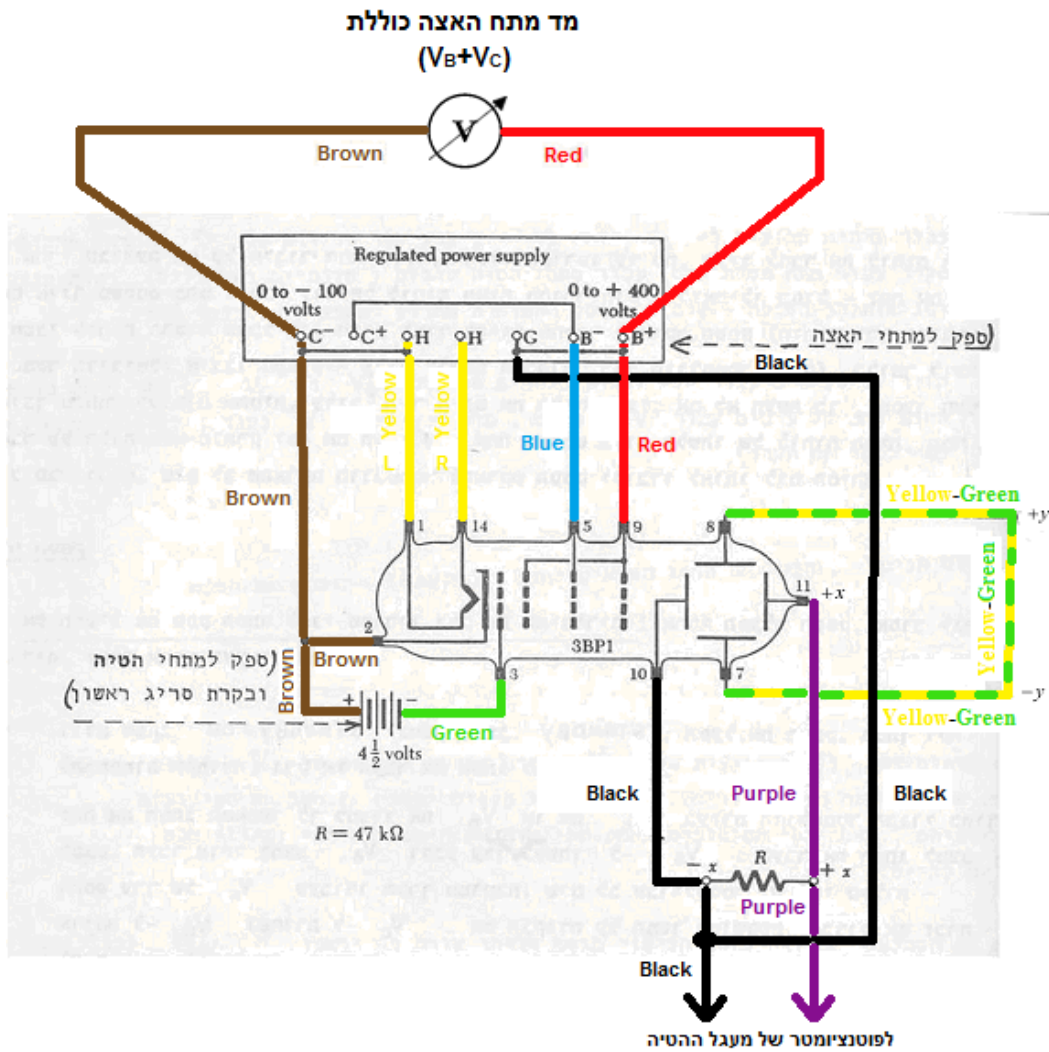


This drawing is intended to serve as a descriptive aid as well as a dimensional reference for the experiments. The "getter" and connecting leads have been omitted for clarity. If it is desired to expand upon the experiments, the dimensions not given may be scaled directly from this drawing with reasonable accuracy. Unless otherwise specified, the tolerances on the dimensions given on the drawing are: decimal ± 0.005 , fractions ± 0.015 .

Figure E

איור 1: תרשים מבנה ומידות שפופרת קרן קתודית. יש לשים לב כי אופן קריאת המידות הינו, לדוגמא, $4 + 21/32''$. שגיאות המידות השונות מופיעות בטקסט בתחתית התמונה. הן $\pm 0.005''$ למידות הקטנות מ-1'', ו- $\pm 0.015''$ עבור שאר המידות.

6. תרשים חיבורי המערכת



איור 2 : תרשים חיבורי המערכת.

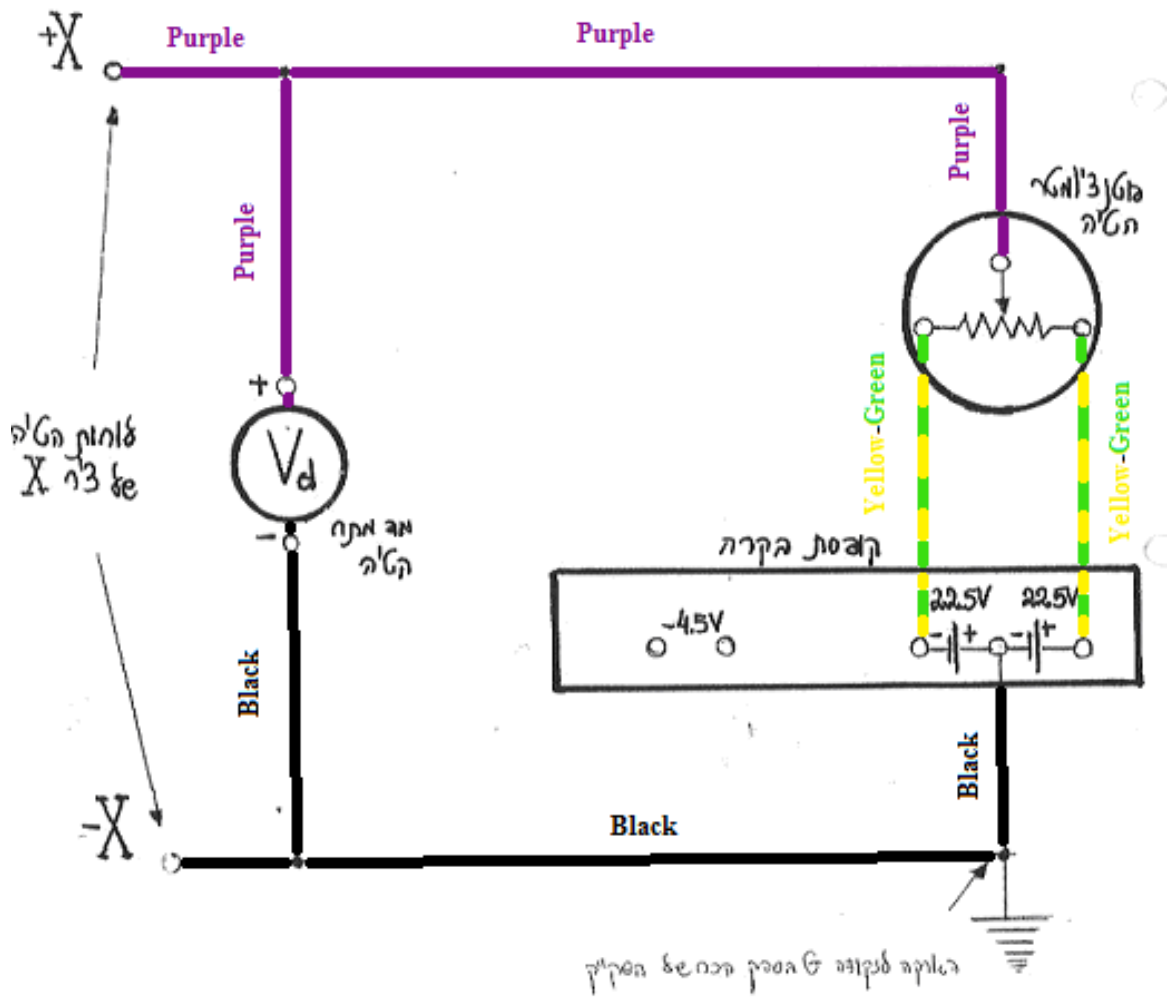
מקרא :

צבע החוט	מרכיב השק"ק אליו מחובר החוט
צהוב	גוף חימום הקתודה
כחול	אנודה ראשונה
אדום	הסריג השני והאנודה השניה
ירוק	הסריג הראשון
חום	קתודה
סגול	לוח ההטיה +x של ציר x
צהוב-ירוק	לוחות ההטיה של ציר y

ככלל, החוטים השחורים ישמשו לחיבור להארקה - נקודה G בספק.

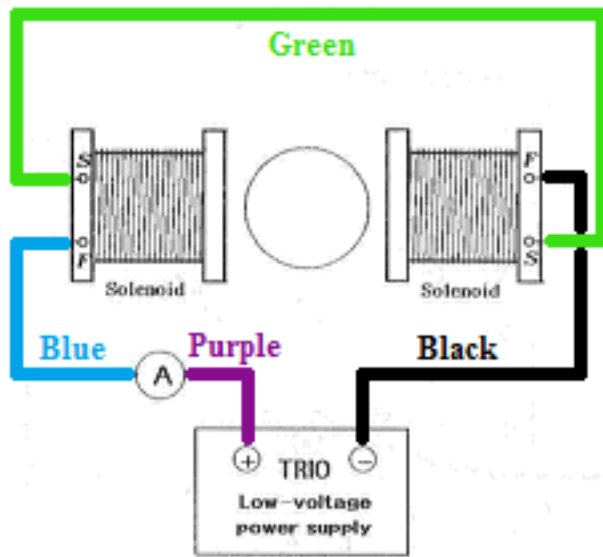
אין להפעיל את מערכת השק"ק לפני שהמדריך האישי בדק ואישר את נכונות החיבורים החשמליים!

מעגל הטיה חשמלית בסקי"ק (ברג X)



איור 3 : מעגל ההטיה החשמלית בציר X.

8. תרשים חיבורים של סלילים ליצירת שדה מגנטי



(כוון הגבלת הזרם – 0.3 A)
(מתח עבודה מותר – 0-2 V)

איור 4: תרשים חיבורים של סלילים ליצירת שדה מגנטי.

9. נוסחאות הטיה מהרקע התאורטי וגדלים פיסיקליים

הטיה בשדה חשמלי:

$$D = \frac{\left(L + \frac{\ell}{2}\right) \ell V_d}{2 d V}$$

הטיה בשדה מגנטי:

$$D = K\mu_0 \sqrt{\frac{e}{m} \frac{L^2 n}{2\sqrt{2}} \frac{I}{\sqrt{V}}}$$

גדלים פיסיקליים:

מטען האלקטרון:

$$e = 1.6 \times 10^{-19} C$$

מסת האלקטרון:

$$m = 9.11 \times 10^{-31} kg$$

פרמבילות של הריק:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}$$