ש. רובינשטיין
ציוד מדעי בע"מ
www.rubins.co.il
טל: 04-8576667
פקס: 04-8576615

מדגים כוח לורנץ

פיזיקה לתיכון | שיעור הדגמה בן 45 דקות



1 זוג סלילים
יוצר שדה מגנטי לאורך הציר המשותף של הטבעות.

2 שפופרת אלקטרונים
בתוך השפופרת נמצאים מקור האלקטרונים וגז בלחץ נמוך. הגז פולט אור לאורך מסלול האלומה.

3 סרגל וסמן אדום
הסמן הנע מאפשר לקרוא את מיקום הקצה הימני והקצה השמאלי של המסלול.

4 סקאלת זווית
מציינת את כיוון השפופרת בדגמים בעלי תושבת מסתובבת.

שאלת פתיחה לכיתה: כיצד אפשר להרחיב את המעגל הזוהר בלי לשנות את זרם הסלילים?

לוח הבקרה, משמאל לימין על המכשיר

מתח לוחות ההטיה Deflection plates voltage	החוגה השמאלית קובעת את המתח בין הלוחות. המפסק שלצידה בוחר את הקוטביות או מנתק את המתח מהלוחות.
מתח ההאצה Acceleration voltage	החוגה האמצעית קובעת את האנרגיה שהאלקטרונים מקבלים במקור. ככל שהמתח גבוה יותר, מהירות היציאה גדולה יותר.
זרם העירור בסלילים Excitation current	החוגה הימנית קובעת את עוצמת הזרם בסלילים. המפסק הסמוך בוחר את כיוון הזרם או מנתק אותו.
הפעלה וכיבוי Power	המפסק האדום בקצה הימני מפעיל ומכבה את המכשיר. הנורית שמעליו מציינת שהמכשיר מופעל.

לפני החיבור לחשמל
בדקו את מתח ההזנה על גבי לוחית הזיהוי. מספר הדגם אינו קריא בתצלום. יש לוודא בחוברת היצרן של המכשיר שברשותכם את תחומי ההפעלה, סימוני המפסקים וזמן החימום.

ש. רובינשטיין
ציוד מדעי בע"מ
www.rubins.co.il
טל: 04-8576667
פקס: 04-8576615

הכנה, הפעלה וכיבוי

ההוראות מיועדות למורה המפעיל מכשיר מורכב. מקמו את התלמידים כך שיוכלו לראות את השפופרת היטב.

1 בודקים את המכשיר כשהוא מנותק מהחשמל

הניחו את הבסיס על שולחן יציב. בדקו שהשפופרת, המארז וכבל החשמל שלמים. אם אחד מהם פגום, הוציאו את המכשיר משימוש. הרימו את המכשיר מהבסיס והימנעו ממגע בזכוכית.

2 קובעים מצב התחלתי

כוונו את שלוש החוגות לערך המזערי והעבירו את שני מפסקי השדות למצב ניתוק. כדי לקבל מסלול מעגלי, כיוון היציאה של האלומה צריך להיות במישור הסלילים. אם נדרש כיוון מכני, כבו את המכשיר ופעלו לפי הוראות היצרן לתושבת ולנעילה.

3 מחממים את מקור האלקטרונים

חברו למקור מתח המתאים ללוחית הזיהוי, הפעילו והמתינו את זמן החימום שנקבע לדגם. עממו את התאורה או הצלילו את השפופרת מפני השתקפויות. השאירו את אזור הבקרה והמעברים מוארים.

4 מוצאים את האלומה הישרה

השאירו את הלוחות והסלילים מנותקים. העלו בהדרגה את מתח ההאצה בתחום המותר עד שיופיע קו אור ישר וחלש. התבוננו בו בקצרה ועברו להדגמה. הימנעו מפגיעה ממושכת של האלומה באותה נקודה בזכוכית.

אם קשה לראות את המסלול

הנורית דולקת, אך האלומה אינה נראית	הפחיתו השתקפויות, המתינו לסיום החימום ובדקו את חוגת מתח ההאצה. אם האלומה עדיין אינה נראית, כבו ובדקו את הוראות הדגם.
האלומה נשארת ישרה	בדקו שנבחר כיוון זרם ושחוגת הזרם מעל לערך המזערי. אלומה הנעה במקביל לשדה המגנטי נשארת ישרה. כבו לפני בדיקה מכנית של כיוון התושבת.

בסיום ההדגמה
החזירו את זרם הסלילים, מתח הלוחות ומתח ההאצה לערכים המזעריים. העבירו את שני מפסקי השדות למצב ניתוק וכבו את המכשיר. נתקו מהחשמל לפני העברה או אחסון. השאירו את המארז סגור.

ש. רובינשטיין
ציוד מדעי בע"מ
www.rubins.co.il
טל: 04-8576667
פקס: 04-8576615

מה ישנה את מסלול האלומה?

חלקו לתלמידים את עמוד 5. בכל שלב בקשו תחזית לפני שינוי הבקרה, ולאחריו בקשו תיאור של מה שנראה בפועל.

0-5 דק'

מתחילים בקו ישר

הראו בקצרה את האלומה הישרה והצביעו על מקור האלקטרונים, הסלילים והסרגל. בקשו מהתלמידים לשרטט כיצד ייראה המסלול אם יפעל על האלקטרונים כוח הצידה.

שאלה לכיתה: מה ישתנה ברגע שהכוח יתחיל לפעול?

5-15 דק'

מגדילים את זרם הסלילים

השאירו את הלוחות מנותקים ואת מתח ההאצה קבוע. בחרו כיוון זרם כשהחוגה בערך המזערי. הגדילו את הזרם בצעדים קטנים בתחום המותר עד שתיראה קשת ואחריה מעגל. עצרו בשתי עוצמות זרם למדידת הקוטר.

שאלה לכיתה: באיזה זרם התקבל מעגל קטן יותר? איזה משתנה שמרנו קבוע?

15-23 דק'

הופכים את כיוון הזרם

רשמו את כיוון העיקול ליד מקור האלומה ואת עוצמת הזרם. הפחיתו את הזרם לערך המזערי, הפכו את כיוונו והחזירו אותו לאותה עוצמה.

שאלה לכיתה: מה קרה לכיוון העיקול? ומה קרה לרדיוס?

23-30 דק'

משנים את מהירות היציאה

קבעו זרם קבוע בסלילים ושמרו על כיוונו. העלו מעט את מתח ההאצה בתחום המותר. השוו את המסלול החדש לקודם והחזירו את המתח לערכו הקודם.

שאלה לכיתה: האם אלקטרון מהיר יותר נע בקשת שרדיוסה גדול יותר או קטן יותר?

30-38 דק'

מפעילים את לוחות ההטיה

הפחיתו את זרם הסלילים לערך המזערי ונתקו אותו. בחרו קוטביות כשהמתח בין הלוחות מזערי. העלו את מתח הלוחות לזמן קצר. החזירו אותו לערך המזערי לפני היפוך הקוטביות וחזרו על התצפית.

שאלה לכיתה: לאיזה לוח פונה האלומה? היכן לאורך המסלול משתנה כיוונה?

38-45 דק'

מסיקים מסקנה

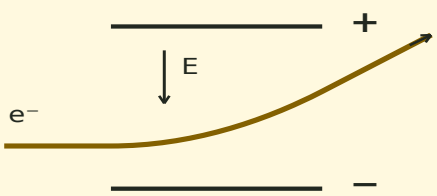
כבו את המכשיר. בקשו מהתלמידים להשלים את דף העבודה ולהסביר כיצד הגדלת זרם הסלילים והגדלת מתח ההאצה משפיעות על הרדיוס בכיוונים מנוגדים.

שאלה לכיתה: אם ראינו רק שהמעגל התרחב, האם אפשר לדעת איזו חוגה השתנתה?

מדוע האלומה מתעקמת?

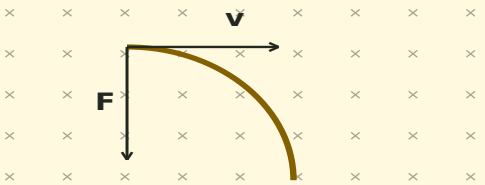
הקו הזוהר מסמן את מסלולם של אלקטרונים רבים. בהתנגשויות עם האלקטרונים, חלקיקי הגז מקבלים אנרגיה ועוברים למצב מעורר. כשהם חוזרים לרמת אנרגיה נמוכה יותר, הם פולטים אור.

בין לוחות טעונים



השדה החשמלי מכוון מהלוח החיובי לשלילי. מטען האלקטרון שלילי ולכן הכוח עליו מכוון אל הלוח החיובי. המסלול מתעקם בין הלוחות. לאחר היציאה לאזור כמעט נטול שדה, האלומה ממשיכה בקו המשיק למסלול בנקודת היציאה.

בתוך שדה מגנטי



הצלבים מסמנים שדה המכוון לתוך הדף. האלקטרון נע בתחילה ימינה. כלל יד ימין נותן כוח כלפי מעלה למטען חיובי. לאלקטרון הכיוון הפוך: הכוח פונה מטה ברגע המוצג, אל מרכז המעגל.

ממתח ההאצה לרדיוס המסלול

$\frac{1}{2}mv^2 = eV$	אלקטרון שמואץ מכמעט מנוחה מקבל אנרגיה קינטית. מהירות היציאה גדלה ביחס לשורש הריבועי של מתח ההאצה.
$evB = mv^2/r$	כשהמהירות ניצבת לשדה מגנטי אחיד, הכוח המגנטי מספק את התאוצה הדרושה לתנועה מעגלית. הכוח ניצב למהירות בכל רגע ולכן אינו מבצע עבודה. גודל המהירות נשאר קבוע.
$r = mv/(eB)$	באותו שדה, אלקטרון מהיר יותר נע במעגל גדול יותר. באותה מהירות, שדה חזק יותר מקטין את הרדיוס. עוצמת השדה בסלילים יחסית לעוצמת הזרם, ולכן הכפלת הזרם במתח האצה קבוע מקטינה את הרדיוס למחצית.

סימונים וחוק לורנץ

e הוא גודל מטען האלקטרון, m מסתו, v גודל מהירותו, V מתח ההאצה, B עוצמת השדה המגנטי ו־r רדיוס המסלול. חוק הכוח הווקטורי הוא $F = q(E + v \times B)$. עבור אלקטרון, $q = -e$.

דף עבודה לתלמידים

שם: _____ כיתה: _____ תאריך: _____

1 מנבאים ומתבוננים

לפני כל שינוי כתבו תחזית. לאחר ההדגמה תארו מה ראיתם. את כיוון העיקול קבעו במבט מלפנים, סמוך לנקודה שבה האלומה יוצאת ממקור האלקטרונים.

השינוי במכשיר	התחזית שלי	מה ראיתי בפועל
מגדילים את זרם הסלילים במתח האצה קבוע.		
הופכים את כיוון זרם הסלילים ושומרים על אותה עוצמה.		
מעלים את מתח ההאצה בזרם סלילים קבוע.		
הופכים את קוטביות הלוחות כשהסלילים מנותקים.		

2 מודדים את רדיוס המסלול

כשהלוחות מנותקים ונראה מעגל ברור, הביטו בו ישר מלפנים. כוונו את אותה שפת סמן פעם לקצה השמאלי ופעם לקצה הימני של המעגל. בכל קצה קראו את אמצע עובי הקו הזוהר. שמרו על מתח האצה קבוע בשתי המדידות.

זרם בסלילים	שמאל (ס״מ)	ימין (ס״מ)	קוטר (ס״מ)	רדיוס (ס״מ)
נמוך יותר				
גבוה יותר				

הקוטר הוא ההפרש המוחלט בין הקריאות. אם האפס במרכז הסרגל, רשמו מיקומים משני צדדיו בסימנים מנוגדים. הרדיוס הוא מחצית הקוטר, $r = D/2$.

3 מסבירים בעזרת התצפיות

אילו תצפיות מעידות שהכוח המגנטי משנה את כיוון המהירות?

_____

רדיוס המעגל גדל אף שזרם הסלילים נשאר קבוע. מה יכול היה להשתנות במקור האלקטרונים?

_____

תשובות למורה וניסוי הרחבה

התשובות מתייחסות למסלול שבו האלומה יוצאת בניצב לשדה המגנטי. ההרחבה מתאימה לכיתה שכבר למדה תנועה מעגלית.

השינוי	התוצאה הצפויה והסיבה
הגדלת זרם הסלילים	הרדיוס קטן במתח האצה קבוע. הכוח המגנטי גדל ולכן האלומה פונה במסלול הדוק יותר.
היפוך כיוון הזרם	כיוון העיקול מתהפך. באותה עוצמת זרם ובאותו מתח האצה הרדיוס צפוי להישאר קבוע.
הגדלת מתח ההאצה	הרדיוס גדל בזרם סלילים קבוע. האלקטרונים יוצאים במהירות גדולה יותר ובתנע גדול יותר.
היפוך קוטביות הלוחות	כיוון ההטיה מתהפך. האלקטרונים פונים לעבר הלוח שכעת הוא חיובי. לאחר היציאה מהשדה הם ממשיכים בכיוון החדש.

מה אפשר להסיק מצורת המסלול?

כיוון המשיק שונה מנקודה לנקודה על הקשת. זו העדות לכך שכיוון המהירות משתנה. היפוך זרם הסלילים הופך את כיוון העיקול. אם הזרם נשאר קבוע והמעגל מתרחב, עלייה במתח ההאצה יכולה להסביר זאת. בלי לדעת מה נשמר קבוע, גם החלשת השדה המגנטי היא הסבר אפשרי.

הרחבה | יחס המטען למסה של האלקטרון

בחרו מסלול מעגלי כאשר לוחות ההטיה מנותקים. השתמשו בערך מכויל של השדה המגנטי או בקבוע הסלילים המתועד לדגם, $B = k|I|$. הציבו את מתח ההאצה הנמדד בוולט, את השדה בטסלה ואת הרדיוס במטרים.

$$e/m = 2V / (B^2 r^2)$$

דוגמה לחישוב

נתוני תרגול: מתח האצה 150 V, שדה מגנטי 1.00 mT = 0.00100 T וקוטר 8.26 cm. הרדיוס הוא 0.0413 m.
הצבה בנוסחה נותנת $e/m \approx 1.76 \times 10^{11}$ C/kg.

בדיקת המדידה

מעגל שמביטים בו בזווית נראה כאליפסה. הסרגל והאלומה נמצאים במישורים שונים, ולכן הזזת הראש הצידה משנה את הקריאה. חזרו על שתי קריאות הקצה מאותה נקודת מבט. הצבת הקוטר במקום הרדיוס תיתן רבע מהערך הנכון.

מקורות להוראה

Lambda Scientific · הוראות לדגם דומה, LEAI-48
מעבדת המורים של CERN · מדריך לשפופרת אלומה דקה
המכון לפיזיקה (IOP) · הדגמות באלומות אלקטרונים