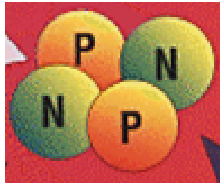


ציקלוטרון: דוגמא

חלקיק α עובר 100 סיבובים בתוך מאיץ חלקיקים של
10,000 V , עם שדה $B=1000$ Gauss.



- (1) מהי המהירות הסופית של החלקיק?
- (2) כל כמה זמן מתחלף כיוון השדה החשמלי?
- (3) מהו הרדיוס של חצי הסיבוב האמצעי?

בשיעור שעבר ראינו שהאנרגיה הפוטנציאלית הופכת לקינטית:

$$U = qV = \frac{1}{2}mv^2$$

כש- V זה סה"כ הפוטנציאל, ז"א $10,000V$
כפול מספר התאוצות (200).

$$v = 1.38 \times 10^7 \text{ m/s} \quad \text{כך מצאנו את תשובה 1:}$$

ואז הזמן של חצי סיבוב (תשובה 2) הוא המרחק חלקי המהירות:

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{|q|B} = 6.56 \times 10^{-7} \text{ s}$$

ציקלוטרון: דוגמא

עכשיו, הזמן t של חצי סיבוב הוא קבוע, בעוד המהירות v גדלה בכל

$$U = qV = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{תאוצה. מהמשוואה:}$$

רואים שכיוון ש- V פרופורציונאלי למספר התאוצות, אז v פרופורציונאלי לשורש של מספר התאוצות. לכן, הקשר בין v באמצע (אחרי 100

$$v = \frac{1}{\sqrt{2}}v_f \quad \text{תאוצות) לעומת } v_f \text{ בסוף (אחרי 200 תאוצות) הוא:}$$

ולכן הרדיוס באמצע (תשובה 3) הוא:

$$r_{\text{mid}} = \frac{vt}{\pi} =$$

$$\frac{(v_f/\sqrt{2})t}{\pi} = \frac{(1.38 \times 10^7 \text{ m/s}^2 / 1.41)(6.56 \times 10^{-7} \text{ s})}{3.14}$$

$$= 2.04 \text{ m}$$

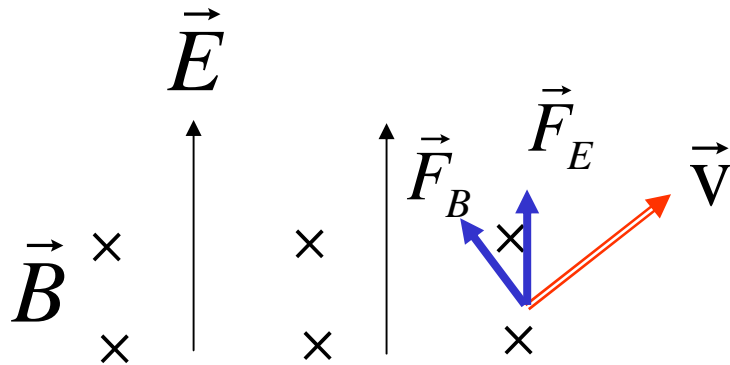
חלקיק בשדה מגנטי וחשמלי

במקרה שמטען נתון להשפעת כוח חשמלי + מגנטי, הכוח הפועל עליו הוא סכום הכוחות (זוהי הכללה של עקרון הסופרפוזיציה שראינו במקרה של שדה חשמלי בלבד).

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Electric force *Magnetic force*

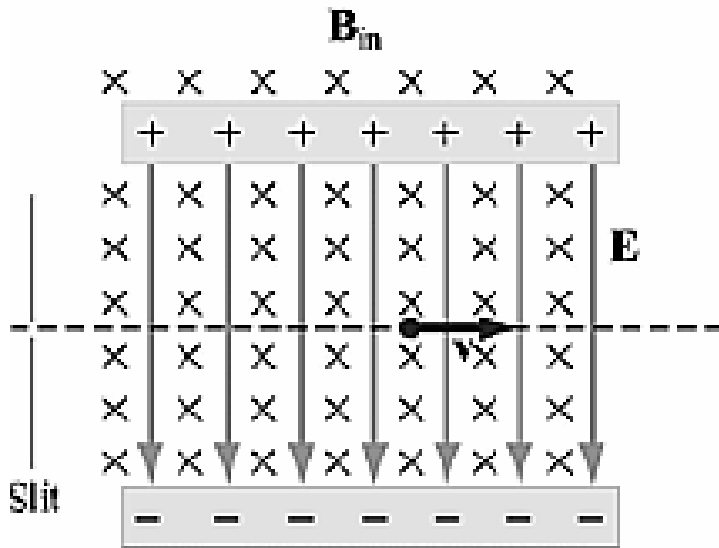
התוצאה נקראת:
חוק הכוחות של לורנץ



דוגמא: כיווני הכוחות על חלקיק חיובי בעל מהירות v כמו בצורה:

בורר מהירויות

חלקיק עובר באזור בו קיימים שדות חשמלי ומגנטי הניצבים זה לזה. מהו התנאי שהכוח השקול על החלקיק מתאפס? צריך איזון בין הכוח החשמלי (שהוא כלפי מטה על חלקיק חיובי) לכוח המגנטי (שהוא בכיוון ההפוך).

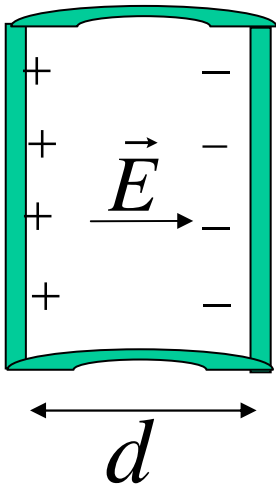
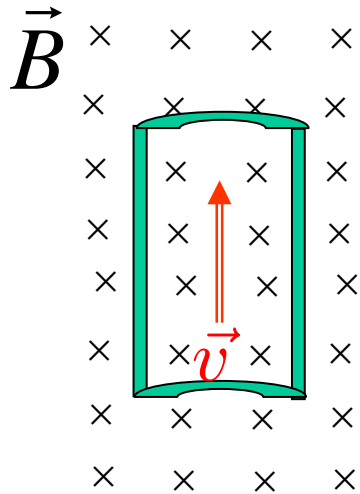


$$qE = qvB \quad \text{דורשים:}$$

$$v = E / B \quad \text{מכאן:}$$

ניתן להשתמש בתוצאה זו לבנות בורר מהירויות. משנים את E (או את B) עד שהחלקיק ממשיך בקו ישר, ואז אנחנו יודעים את מהירותו v .

מד זרימה אלקטרומגנטי



רוצים למדוד מהירות זרימה של נוזל בצינור (למשל: מהירות זרימת הדם בגוף, ללא פציעת כלי הדם).

• מכניסים את המערכת לשדה מגנטי ניצב למהירות הזרימה.

• זה גורם להפרדת יונים שליליים וחיוביים (למשל בציור, החיוביים מרגישים כוח מגנטי כלפי שמאל ונערמים על הדפנה השמאלית), ולהופעת שדה

חשמלי בניצב לזרימה ולשדה המגנטי. הפרדה

נמשכת עד שנוצר איזון בין הכוח החשמלי והמגנטי.

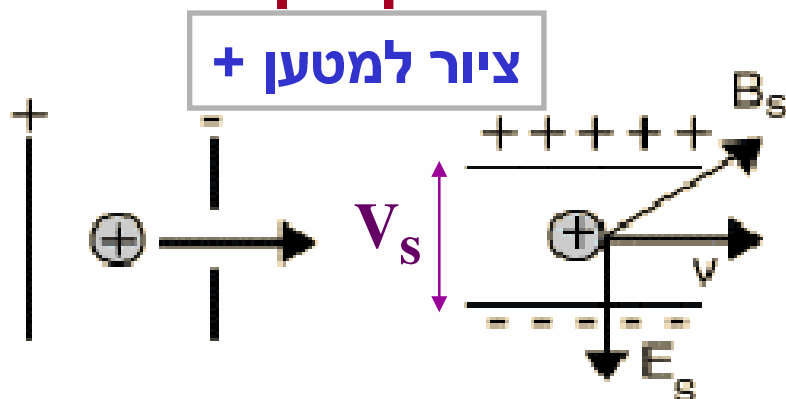
• מדידת הפרש הפוטנציאלים בין צידי הצינור נותנת את המהירות:

$$\Delta V = Ed \qquad qE = qvB$$

$$v = E/B = \Delta V/(dB)$$

הדגמה: היחס q/m של אלקטרון

טומסון (Thomson) מדד ב-1897 את היחס של אלקטרון בצורה הבאה.



פוטנציאל
מאיץ V_a

בורר
מהירויות

מחממים חוט עד שהוא פולט אלקטרונים. מעבירים את האלקטרונים בפוטנציאל מאיץ V_a ואז בבורר מהירויות. בבורר, כפי שראינו:

$$v = E_s / B_s$$

את E_s מודדים בעזרת הפרש הפוטנציאלים V_s בין הפלטות של

הבורר: $E_s = V_s / d$ ולכן מהנתונים (V_s, d, B_s) מהירות החלקיק היא:

$$\begin{aligned} v &= (3.3 \text{ kV} / 5.5 \text{ cm}) / (8 \text{ Gauss}) \\ &= (3.3 \times 10^3 \text{ V} / .055 \text{ m}) / (8 \times 10^{-4} \text{ T}) \\ &= 7.5 \times 10^7 \text{ m/s} = c/4 \end{aligned}$$

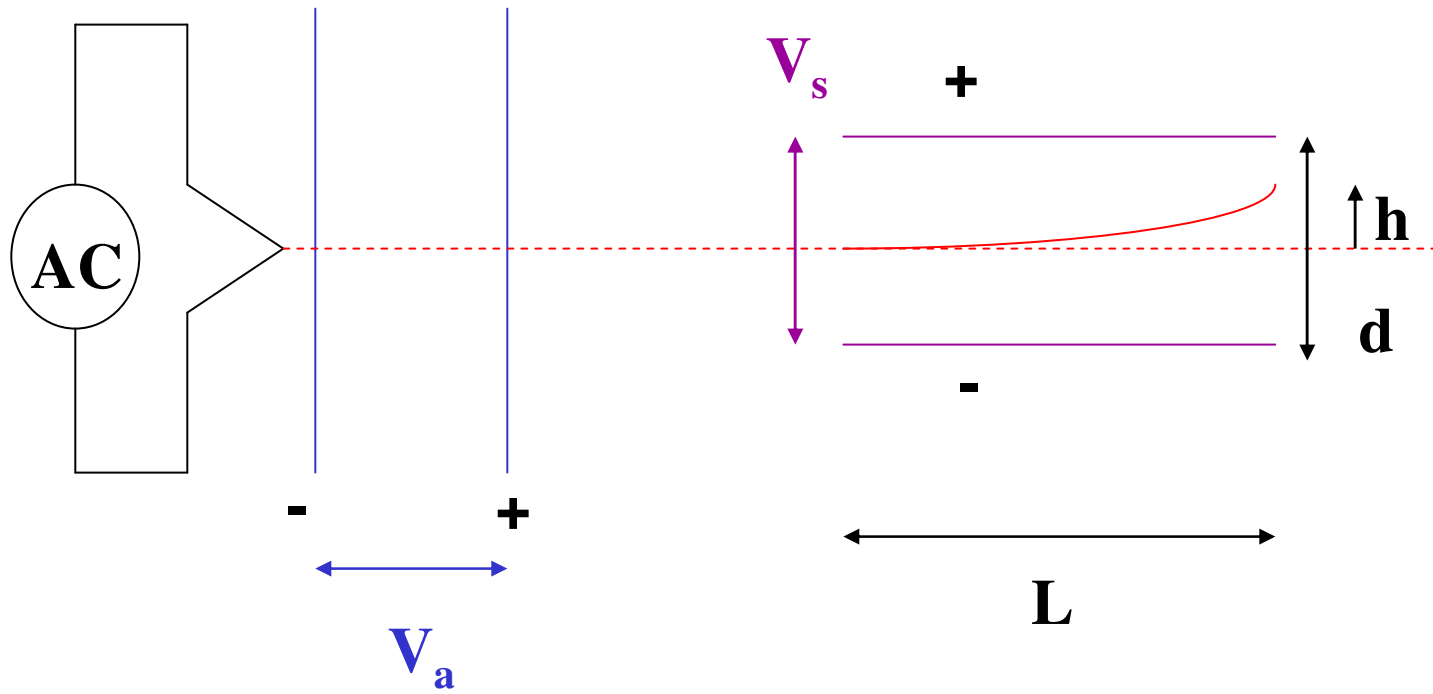
צריך עוד מידע על שלב התאוצה.

אם האלקטרון נפלט עם $v=0$ אז משתמשים ב: $U = qV_a = \frac{1}{2}mv^2$

אם לא, אז מכבים את השדה המגנטי ומודדים את L ו- h בציור הבא:

חוט מחומם
(tungsten)

ציור למטען -



עם שדה חשמלי בלבד, התאוצה בציר y היא קבועה: $a = (qE_s)/m$
ולכן: $h = \frac{1}{2}at^2$,

בעוד התנועה בציר x היא במהירות קבועה: $L = vt$

מסקנה:

$$\frac{|e|}{m_e} = \frac{a}{E_s} = \frac{2h}{t^2} \cdot \frac{d}{V_s}$$

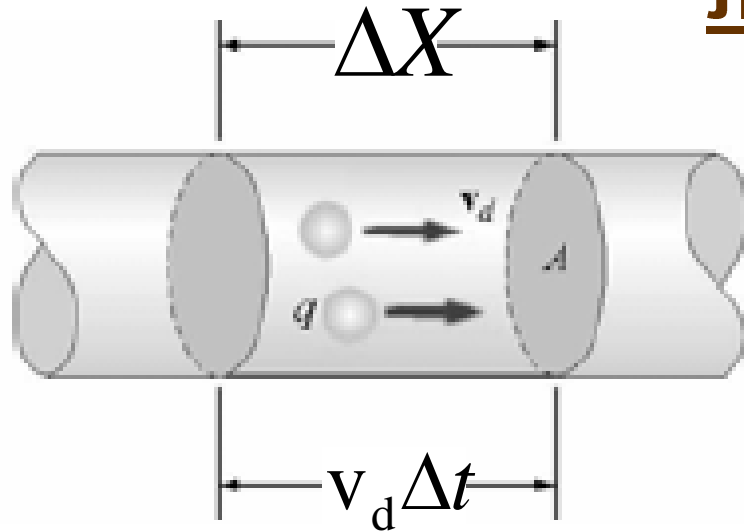
$$= \frac{2hv^2d}{L^2V_s} = \frac{2 \cdot .02\text{m} \cdot (7.5 \times 10^7 \text{m/s})^2 \cdot .055\text{m}}{(0.1\text{m})^2 \cdot 3.3 \times 10^3 \text{V}}$$

$$= 3.8 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

$$\frac{|e|}{m_e} = 1.8 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

האמת:

הכוח על חוט נושא זרם



תזכורת

מהירות סחיפה

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = qnAv_d$$

ריכוז נושאי המטען

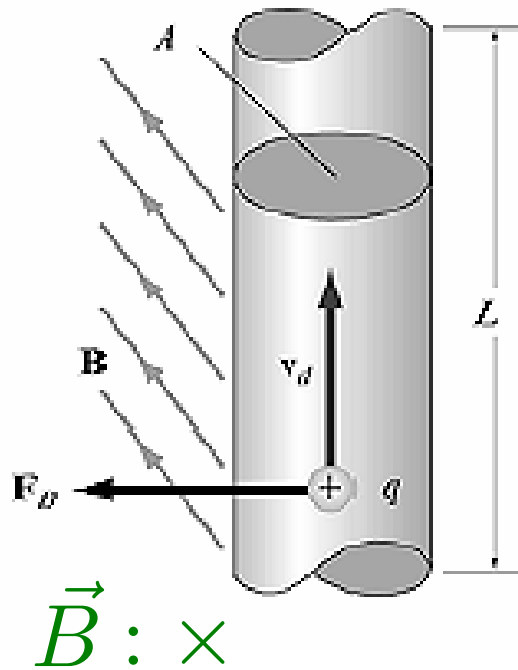


הערה: התלות היא רק במכפלה $q\vec{v}$, גם של $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$. אנו נראה שה- B עצמו תלוי גם כן ב- I .

פרנקלין (Ben Franklin) קבע +/- של מטען ב-1750 כך שבמקרה האלקטרון (שנתגלה כ-150 שנה מאוחר יותר) הוא - .

הכוח על חוט נושא זרם

בחוט נושא זרם נעים מטענים רבים במהירות הסחיפה בכיוון הזרם. נניח שדה מגנטי ניצב לתנועה.



הכוח הפועל על קטע ישר באורך L : $F = Nqv_d B$

כאשר N מספר נושאי המטען הוא: $N = nAL$



$$F = qnAv_d LB = ILB$$

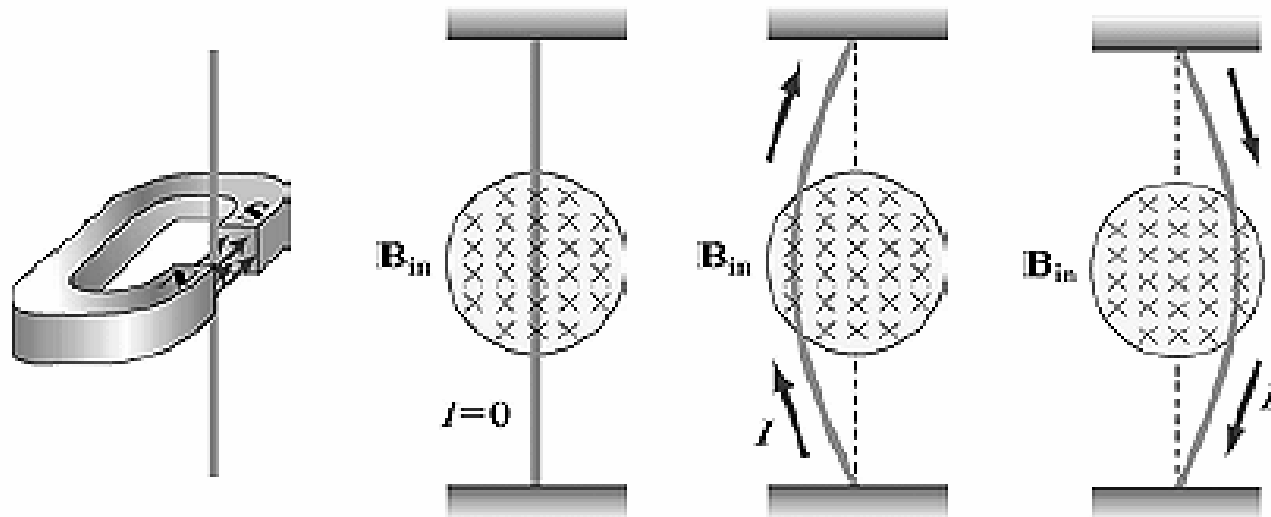
כיוון הכוח ניצב לשדה המגנטי ולזרם לפי חוק היד הימנית.

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

באופן כללי, מגדירים

את L בכיוון הזרם, ואז הכוח הוא:

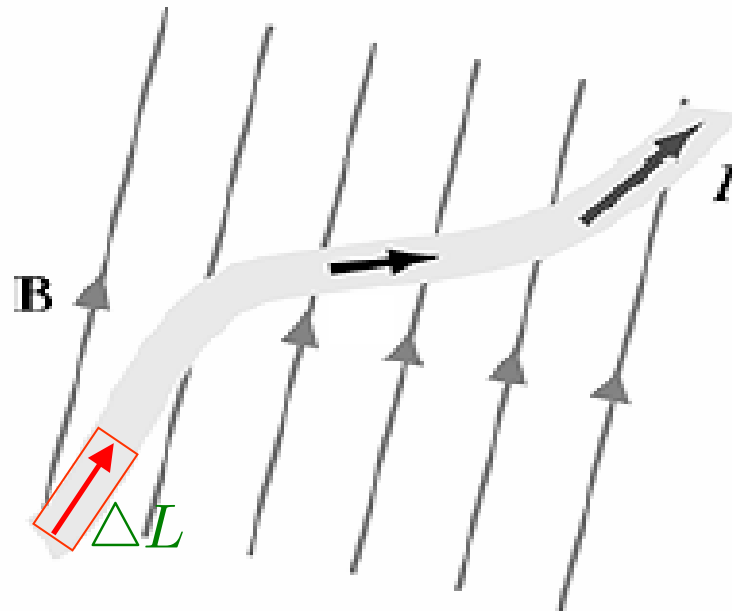
דוגמא: השפעת מגנט על חוט שמוליך זרם



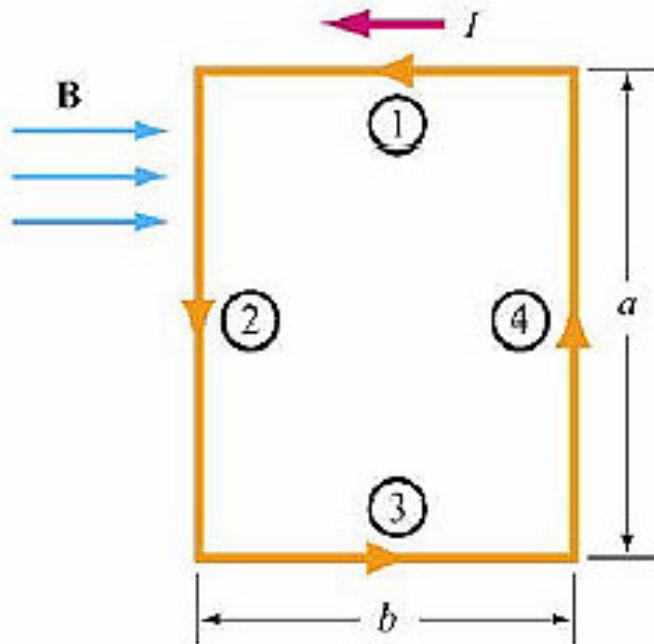
בציורים אלה, רואים איך חוט מוליך שמוחזק בשני קצוות מתעקם בגלל כוח מגנטי על נושאי המטען שבחוט.

מקרה כללי של חוט מתעקם

יש לחלק את החוט לאלמנטים קטנים בעלי אורך ΔL ולסכום את הכוחות (כווקטורים) על כל האלמנטים.



דוגמא: הכוח על לולאת זרם



בשני צדדים, הזרם מקביל (או אנטי-מקביל) לשדה המגנטי,

ואז:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_3 = 0$$

המשך בהרצאה הבאה...