

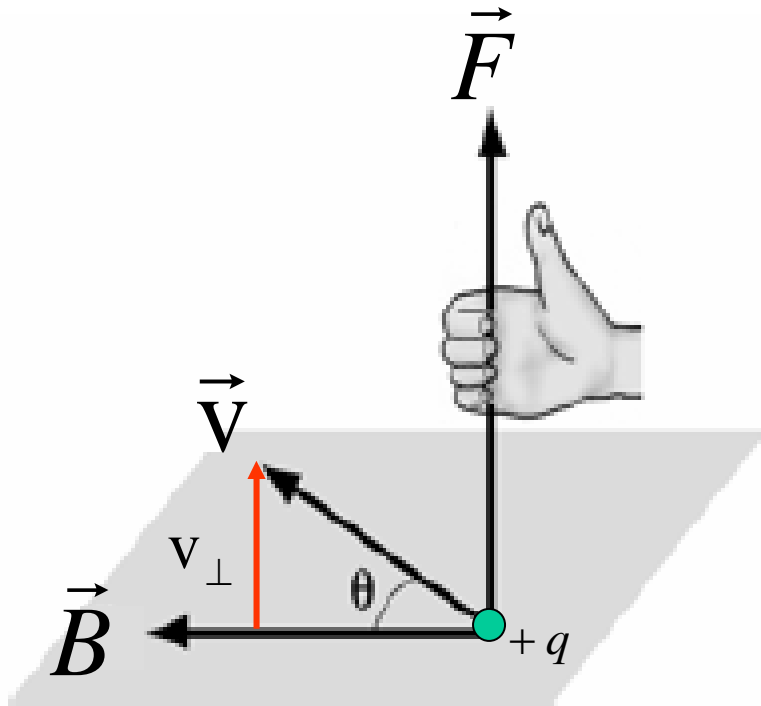
האם קיים מטען מגנטי?

אם נחלק מגנט למספר חלקים, כל חלק חדש יהפוך למגנט בעל שני קטבים.



בטבע לא קיים **מטען** מגנטי.

הכוח הפועל על מטען בשדה מגנטי



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

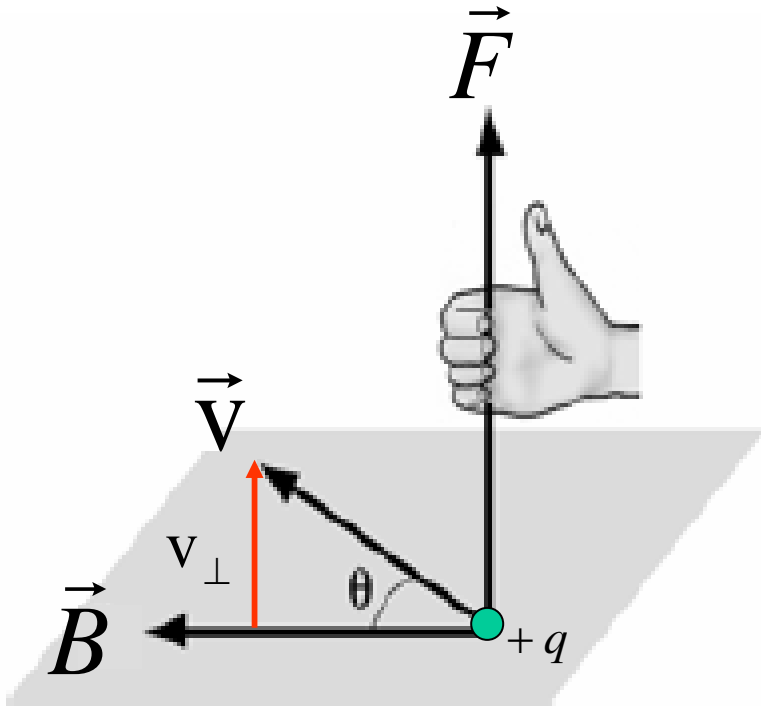
מכפלה ווקטורית בספר: 4.1

- כיוון הכוח ניצב למישור המוגדר ע"י וקטור מהירות המטען \vec{v} ו- וקטור השדה המגנטי \vec{B} .
- כיוון הכוח תלוי בסימן של המטען.

$$F = |q| v_{\perp} B = |q| (v \sin \theta) B$$

גודלו של הכוח:

חוק היד הימנית

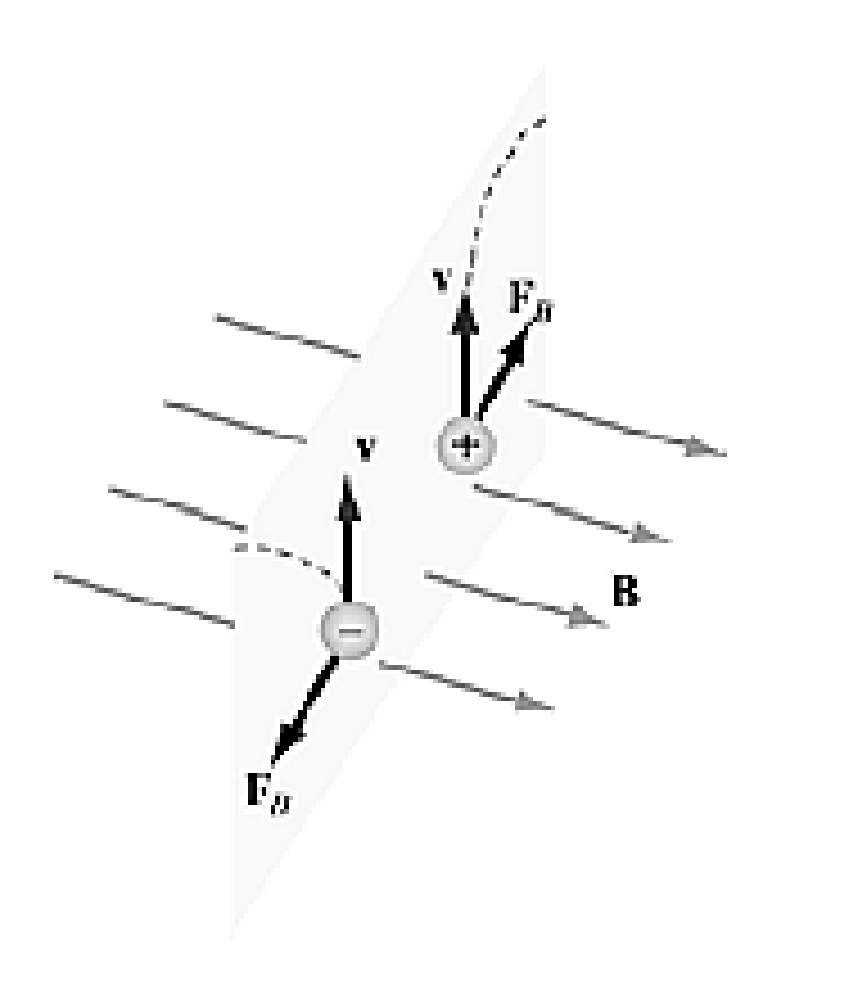
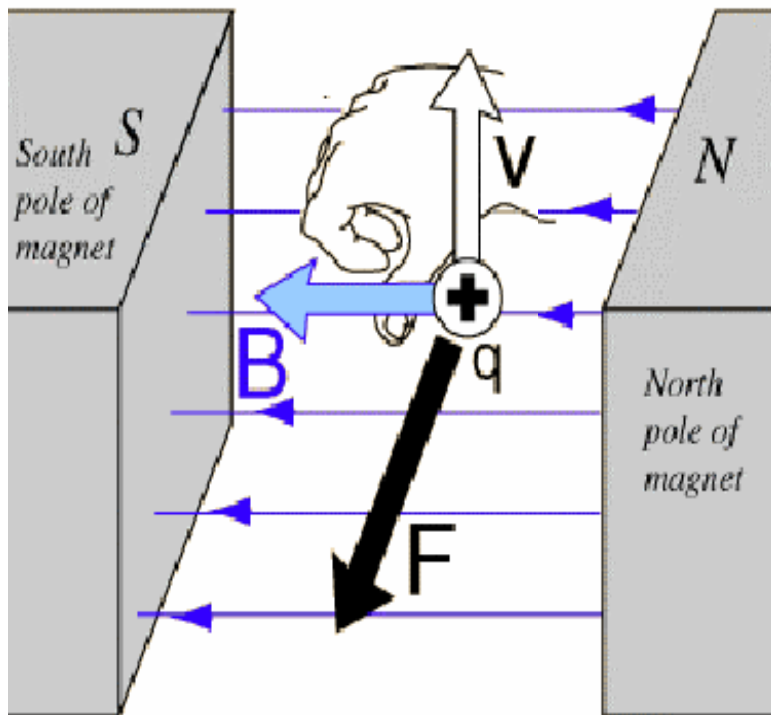


• מחזיקים את יד ימין שטוחה, עם האגודל ב-90 מעלות.

• שמים את האצבעות בכיוון V , ככה שהאצבעות מתקפלות מ- V ל- B בכיוון הזווית הקטנה שביניהם.

• האגודל נותן את כיוון הכוח על מטען חיובי, הפוך מכיוון הכוח על מטען שלילי.

חוק היד הימנית: דוגמאות נוספות



יחידות השדה המגנטי

במערכת SI השדה המגנטי נמדד ביחידות של טסלה (Tesla).

$$F = |q| v_{\perp} B \Rightarrow B = \frac{F}{|q| v_{\perp}} \quad \text{זכור:}$$

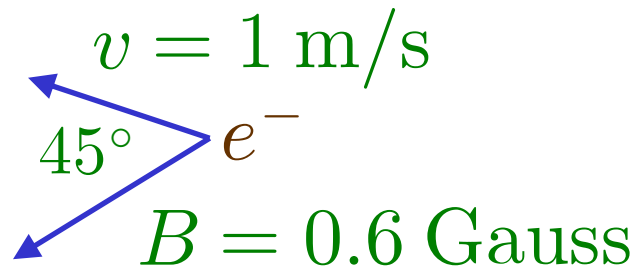
ולכן היחידות הן:

$$1 \text{ Tesla} = 1 \frac{\text{Newton}}{\text{C} \cdot \text{meter} / \text{sec}} = 1 \frac{\text{Newton}}{\text{Amper} \cdot \text{meter}}$$

יחידה שימושית נוספת: $1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$

דוגמא

נתון אלקטרון בשדה של כדה"א:



צריך למצוא: $\vec{a} = ?$

הסכמי סימן

- × ניכנס לתוך המישור
- יוצא מהמישור

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \text{נשתמש ב:}$$

$\vec{a} : \times$ הכיוון, מחוק היד הימנית
(פלוס היפוך למטען שלילי):

דוגמא: המשך

$$F = evB \sin \theta = \text{גודל הכוח:}$$
$$(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \text{ m/s})(6 \times 10^{-5} \text{ T})(0.707) =$$
$$6.79 \times 10^{-24} \text{ N}$$

גודל התאוצה:

$$a = F/m = 6.79 \times 10^{-24} \text{ N} / 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} =$$
$$7.45 \times 10^6 \text{ m/s}^2$$

הערה: תאוצה זו גדולה בהרבה מהתאוצה מכוח המשיכה:

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

תנועה של חלקיק בשדה מגנטי

$$\vec{F} \perp \vec{v}$$

באופן כללי:

לכן, העבודה W של הכוח המגנטי היא אפס, כאשר מטען עובר העתק קטן $\Delta \vec{l}$ בזמן קצר Δt :

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{l} = \vec{F} \cdot \vec{v} \Delta t = 0$$

חוק שימור אנרגיה: $K_b = K_a + W_{ab}$

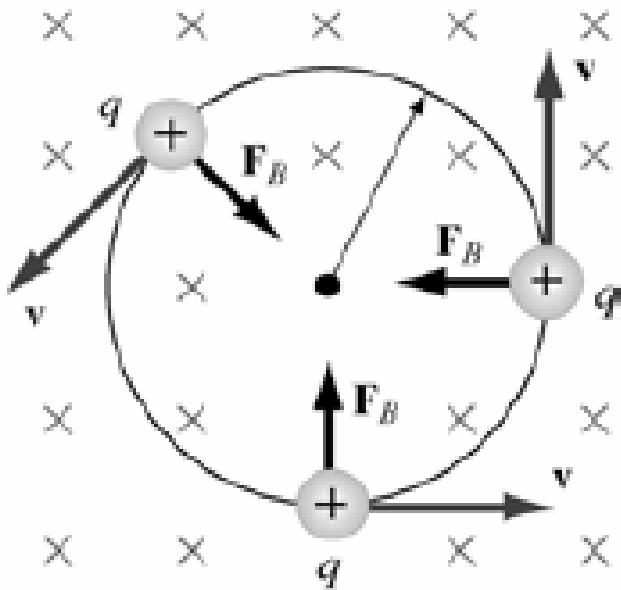
אז K קבוע. נזכור ש: $K = \frac{1}{2} m v^2$

לכן v קבוע, אבל לא הכיוון של \vec{v} (כי התאוצה היא בכיוון שונה מהמהירות).

תנועה של חלקיק בשדה מגנטי

מסלולו של חלקיק הנע בניצב לשדה מגנטי הוא מעגלי.

השדה כלפי פנים:



$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \text{כוח צנטריפטלי:}$$

מסלול מעגלי בספר: 5.1, 5.10

$$F_B = |q|vB \quad \text{כוח מגנטי:}$$

הכוח המגנטי מספק את הכוח הצנטריפטלי הנחוץ:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B} \quad \text{זמן הסיבוב:}$$

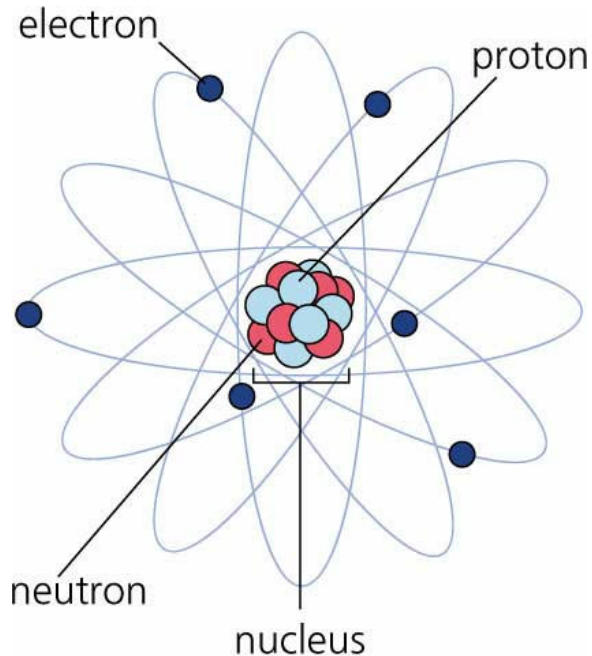
$$F_B = F_c \Rightarrow r = \frac{mv}{|q|B}$$

הערה חשובה: זמן הסיבוב אינו תלוי ב- v .

ציקלוטרון: מאיץ חלקיקים

בתחילת המאה העשרים, פיסיקאים הבינו שהתמונה הקלאסית של האטום

איננה נכונה. אם האלקטרונים באמת מסתובבים מסביב לגרעין, כמו כדה"א מסביב לשמש, אז כל אלקטרון מקרין אור, וכך מאבד אנרגיה ונופל אל הגרעין תוך שבריר שנייה. אז כיצד קיימים אטומים יציבים? הדבר נובע מהחוקים של המכניקה הקוונטית, שפותחה בסביבות 1920-30.



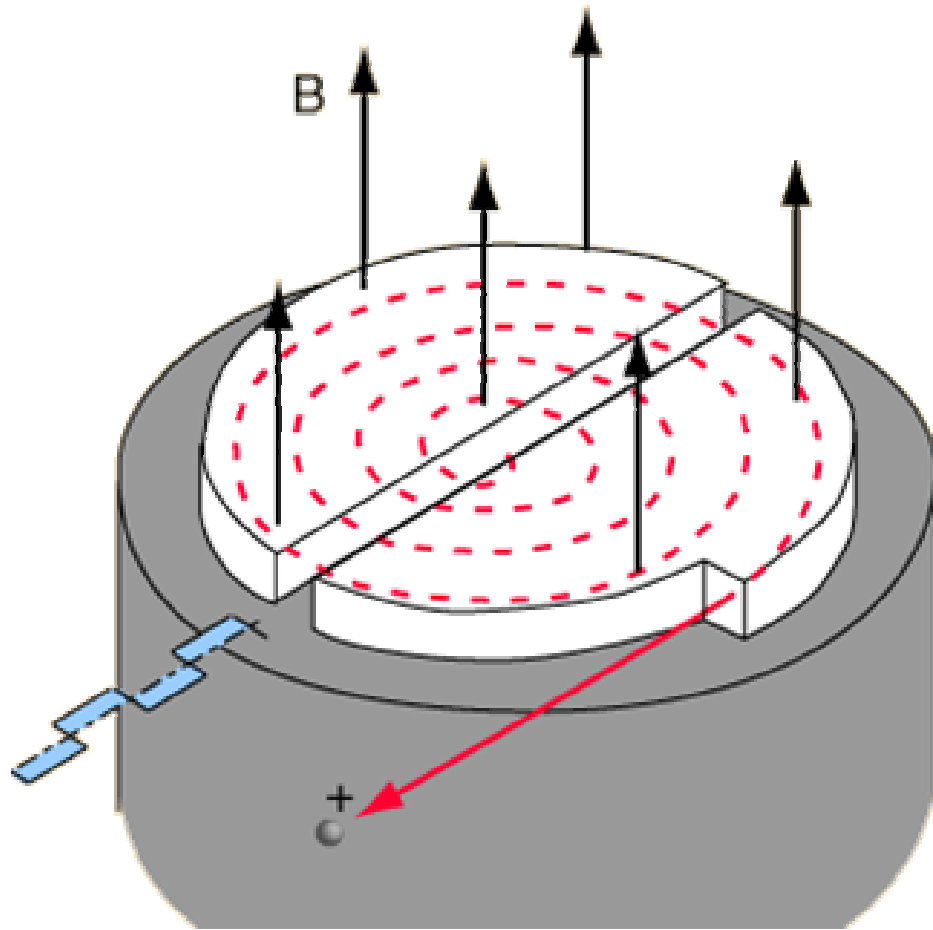
אז נתגלתה שיטה לחקור את הכוחות הגרעיניים (החזק והחלש) ואת המבנה היסודי של החומר (למשל, הפרוטונים והניוטונים מורכבים מחלקיקים קטנים יותר). מאיצים חלקיק

לאנרגיה גבוהה מאד, ואז גורמים לו להתנגש בחלקיק אחר. בהתנגשות האלימה, נוצרים הרבה חלקיקים אחרים, ופיסיקאים חוקרים את תוצאות ההתנגשות ומהם לומדים על החלקיקים ועל הכוחות ביניהם.

המאיץ היעיל הראשון היה הציקלוטרון.

ציקלוטרון: מאיץ חלקיקים

- בתוך שני חלקי ה-D (העשויים נחושת), ה-B מסובב את החלקיק.
- ביניהם, פועל גם E, שמחליף כיוון כך שהוא בכל חצי סיבוב מגדיל את מהירות החלקיק.



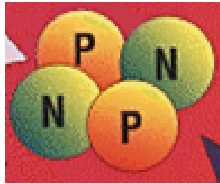
הרעיון: משתמשים בהפרש פוטנציאל V נתון על מנת להאיץ את החלקיק

לאנרגיה מאד גבוהה, כי הוא מואץ שוב ושוב ומרוויח V בכל פעם. הסיבובים בשדה המגנטי מאפשרים למכשיר כולו להיות קטן יחסית. רדיוס הסיבוב גדל עד שבסוף החלקיק יוצא מהמכשיר. פרט חשוב: זמן הסיבוב לא תלוי ברדיוס (כפי שראינו). לכן, השדה החשמלי מתחלף בכל פרק זמן קבוע, ואת זה ניתן לייצר.

ממציא הציקלוטרון: לורנס (Lawrence), 1930

ציקלוטרון: דוגמא

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



- (1) מהי המהירות הסופית של החלקיק?
- (2) כל כמה זמן מתחלף כיוון השדה החשמלי?

התאוצה מופעלת כל חצי סיבוב. החלקיק בכל פעם יורד באנרגיה פוטנציאלית U ומרויח אנרגיה קינטית K . אם התחיל ממהירות זניחה ($K=0$), אז ה- K הסופי שווה לסך כל ה- U :

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

כאשר V הוא הסך הכל, ז"א, $10,000\text{ V}$ כפול מספר חצאי הסיבוב.

ציקלוטרון: דוגמא

נמצא את v הסופי: (הערה: רק 2 הפרוטונים תורמים למטען)

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{2(2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(200 \times 10,000 \text{ V})}{(4 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}}$$
$$= 1.38 \times 10^7 \text{ m/s}$$

זה 4.6% ממהירות האור, שהיא: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

כיוון ה-E משתנה בכל חצי סיבוב. את הזמן של חצי סיבוב נמצא מהנוסחא לחלקיק בשדה מגנטי:

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{|q|B} = \frac{3.14(4 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(10^{-1} \text{ T})} = 6.56 \times 10^{-7} \text{ s}$$

