

הכוח המגנטי

קורס פיזיקה 2 – חשמל ומגנטיות

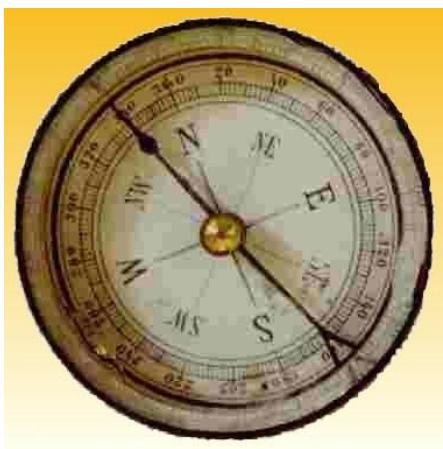
הרצאות 9-10

מרצה: רננה אלטמן

תוכן העניינים

1. **מבוא**
 - א- שימושי המגנטיים
 - ב- סקירה היסטורית
2. **תכונות של מגנטיים, קטבים ודיפולים מגנטיים**
3. **שדות מגנטיים ומיפויים**
4. **השדה המגנטי של כדור הארץ**
5. **שדה מגנטי הנוצר על ידי זרם חשמלי**
6. **אופיו הוקטורי של שדה מגנטי**
7. **כוח מגנטי על מטענים חשמליים בתנועה**
 1. **תנועת מטען בשדה מגנטי אחד – "ישומים":**
 - .1. ספקטוגרפ המסתות
 - .2. ניסוי תומפסון
 - .3. בורר מהירות
 - .4. ציקלotron
 - .5. אפקט הול

מבוא



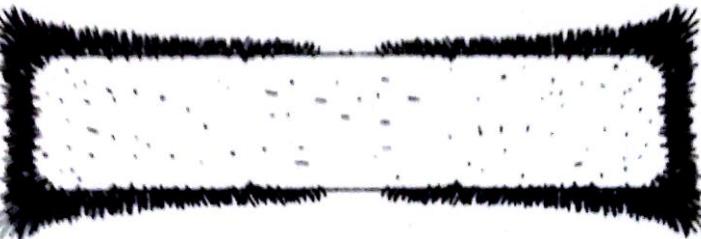
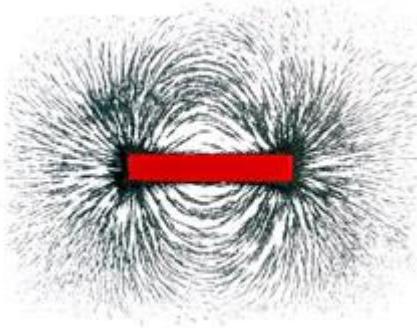
שימושי המגנטיים כיום:

- **בחיי היומיום** (משחקים, הצמדת פתק למקרר, הצמדת בורג למברג, איסוף חלקים ממכתמים קטנים...)
- **במדע ובטכנולוגיה** (מצפן, האצת חלקיקים, כור היתוך גרעיני, מנועים, מסכים, גנרטורים)

מגנטיים ותופעות מגנטיות – סקירה היסטורית

- כבר לפני אלפי שנים – סלעים עם המינרל "מגנטיט" משכו אליהם גופים עשויים ברזל. "מגנטיט" ע"ש המחזז מגנזה שבתורכיה.
- לפני כ-800 שנה – החל השימוש במצפנים
- לפני כ-400 שנה – ויליאם גילברט הציע את השערה שכדו"א הוא בעצם מגנט ענק. בעקבות כך נקבעו השמות "קוטב מגנטי צפוני/דרומי".
- לפני כ-200 שנה – ארסטד גילה לראשונה כי קיים קשר בין זרם חשמלי לבין תופעות מגנטיות.
- מדענים נוספים (אמפר, הנרי, פארדי) המשיכו לחקור את האלקטרומגנטיות
- לפני כ-150 שנה – מקסווול ניסח קשר מושלם בין השדה החשמלי לשדה המגנטי.

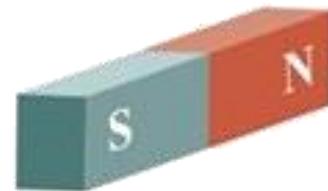
תכונות של מגנטים; קטבים ודיפולים מגנטיים



- קטבים דומים (שווים שם) דוחים זה את זה, קטבים שונים (שוני שם) מושכים זה את זה.



- מגנט שמנוח באופן חופשי לתרנואה אופקית – יתיצב בכיוון צפון-דרום.



- לכל מגנט שני קטבים: N – צפון, S – דרום.

תכונות של מגנטים; כתבים ודיפולים מגנטיים

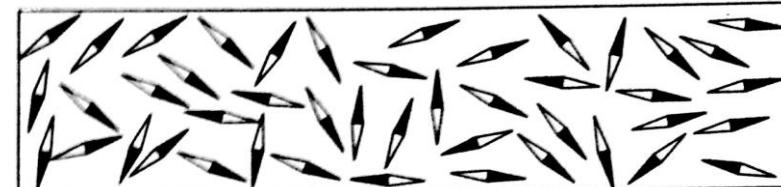


- לא ניתן ליצור מונופול מגנטי. חיתוך של מגנט מוט ייצור שני מגנטים קטנים יותר.
- ניתן "למagnet" מוט ברזל/פלדה על-ידי העברת קווטב של מגנט על פני מוט הברזל.
- חלק מן המתקנות (לדוג' פלדה) שומרות על התכונות המגנטיות שלהם לאחר המיגנטוט, וחלקו (לדוג' ברזל רר) מאבדות אותן מיד.
- פועלות הגורמות למגנט לאבד חלק מתכונות המגנטיות שלו (לגמרית/חלקית):
 - העלאת טמף המגנט מעלה גודל מסוים ("טמף קירי")
 - הכאה בפטיש
- קיבוע המגנט לאורך זמן בתוך שדה מגנטי הפוך

תכונות של מגנטים; קבועים ודייפולים מגנטיים

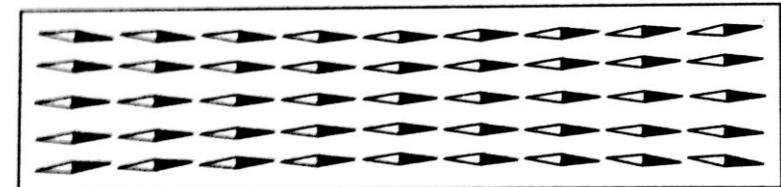
הסבר (חלקי) לעובדות מהשколоית הקודמת:

- כל אטום (או קבוצת אטומים) במוחט המ מגנט – הוא מגנט זעיר
- כשהמוחט אינו מגנט – האיזורים המגנטיים מפוזרים באופן אקראי בכל הכוונים



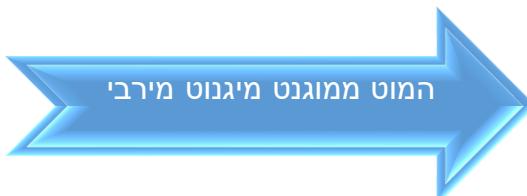
← המגנטיות אינה מורגשת.

- כשהמוחט מגנט – האיזורים המגנטיים מסתדרים באותו כוון



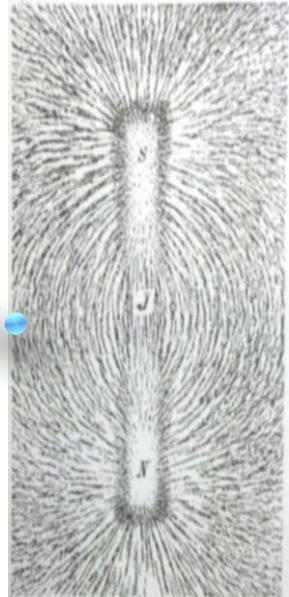
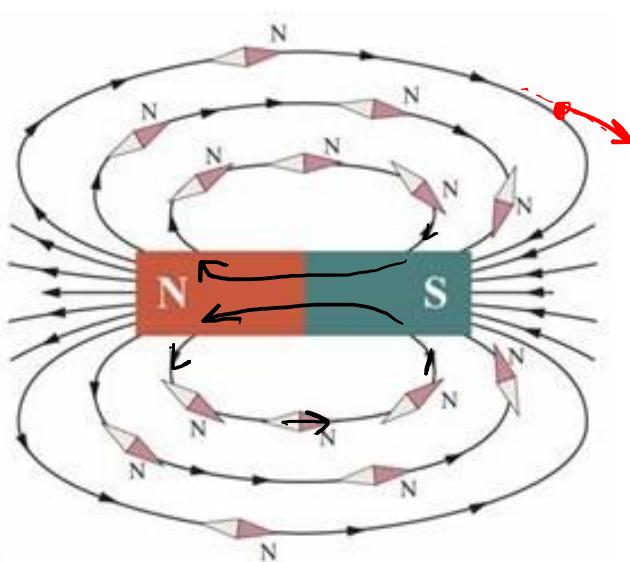
← המגנטיות מורגשת.

הסביר את העובדות מהשколоית הקודמת,
בעזרת מודל המגנטיים
הזרים.



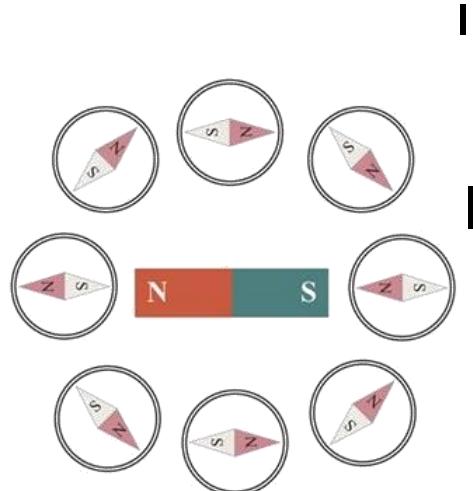
בדומה לארגורי הסולת
הצפינים בשמן,
שבעזרתם הדגmono
קוו שדה חמלי של
דייפול חמלי

שוני: כאן הקטבים
אינם נקודתיים



שדהות מגנטיים ומיפויים

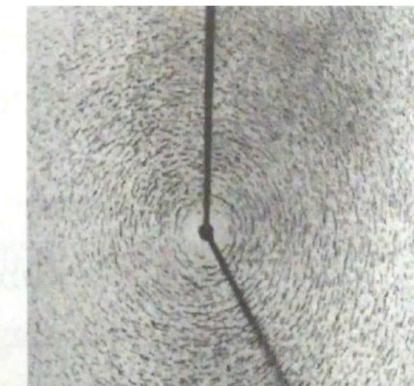
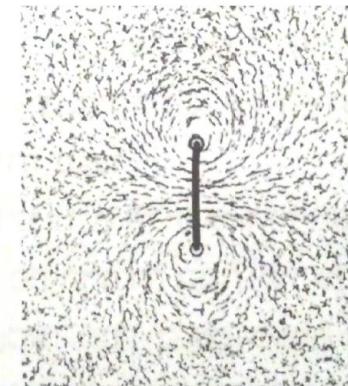
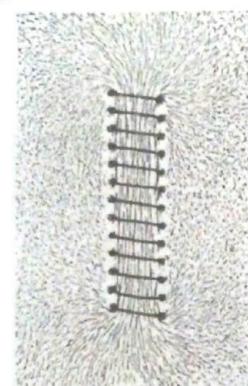
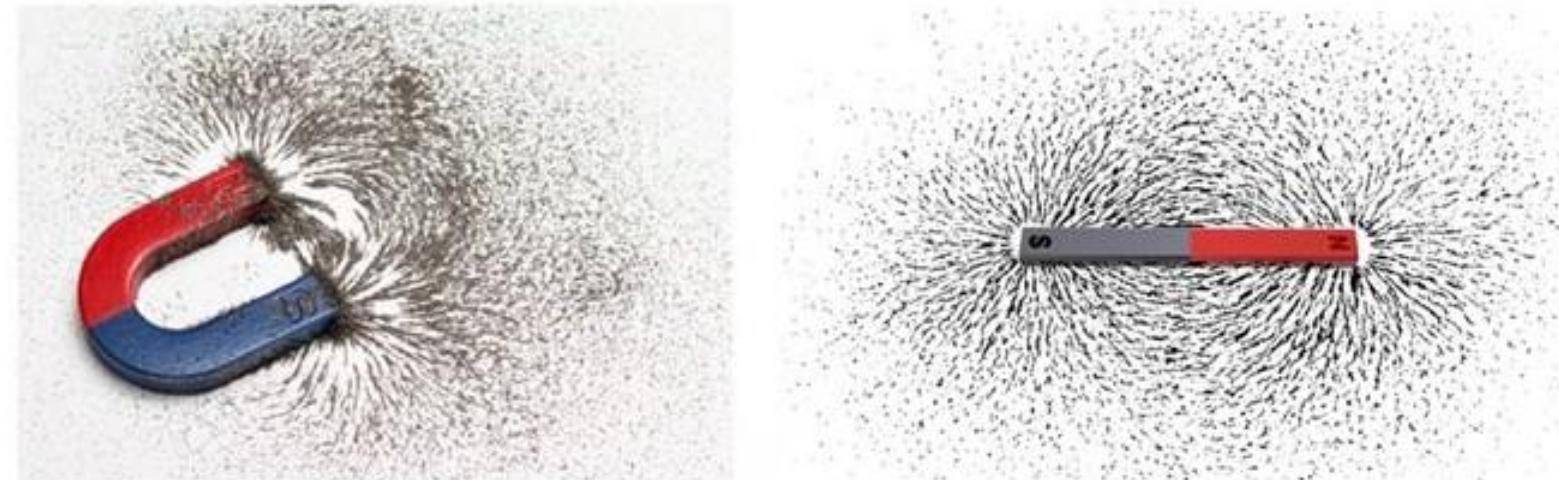
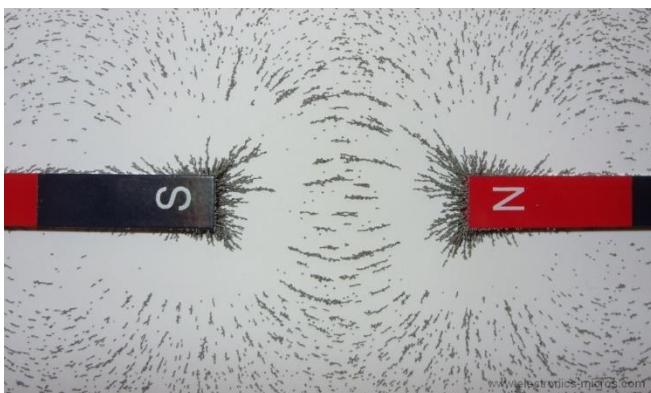
- נסורת ברזל מפוזרת על משטח שתחתיו נמצא מוט מגנטי
← חלקי הנסורת מסתדרים באופן הבא:



- **הגדרה: קווי שדה מגנטי**
- כוון השדה המגנטי בנקודה מסוימת הוא הכוון שאליו יפנה הקוטב הצפוני של מוט מגנטית, אילו תוצב בנקודה זו.
- כוון וקטור השדה המגנטי בנקודה מסוימת הוא בכיוון המשיק לקו השדה העובר בנקודה זו.
- קווי השדה המגנטי הם **קוויים סגורים** (בניגוד לקווי שדה חמלי)
- מחוץ למגנטי – קווי השדה המגנטי מכונים מהקוטב **czponi** אל הקוטב **הדרומי**
- בתוך המגנטי – קווי השדה המגנטי מכונים מהקוטב **הדרומי** אל הקוטב **czponi**.

שדות מגנטיים ומיפויים

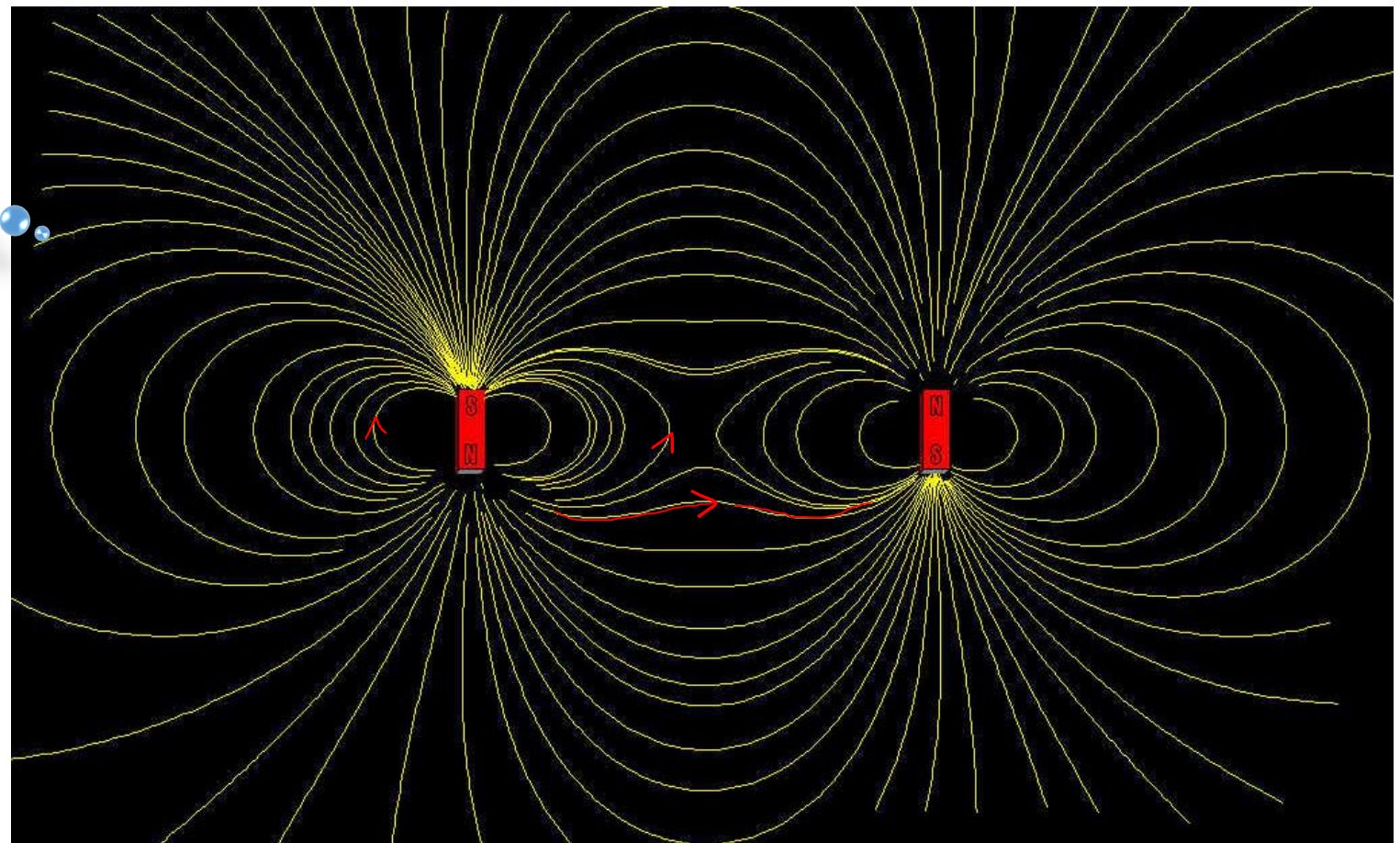
- נסורת מגנטית מסתדרת לפי קווי השדה המגנטי



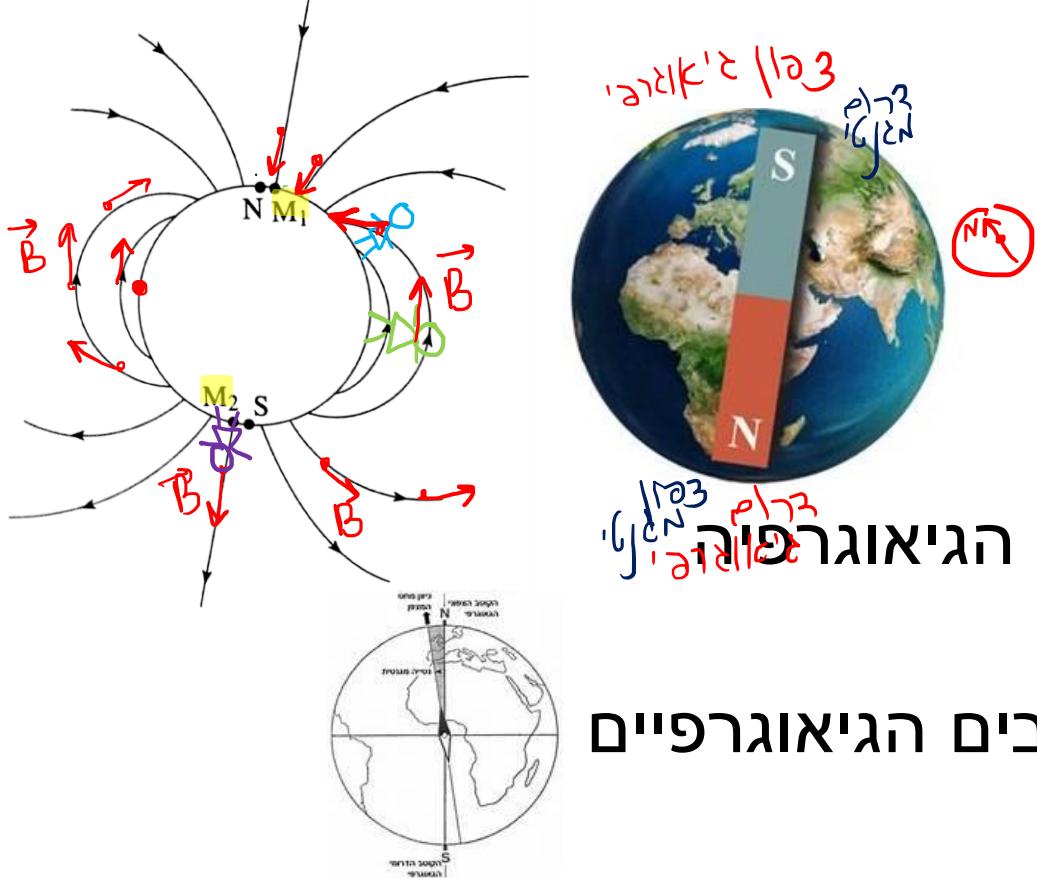
שדהות מגנטיים ומיפויים

- דוגמה נוספת למיפוי שדה מגנטי

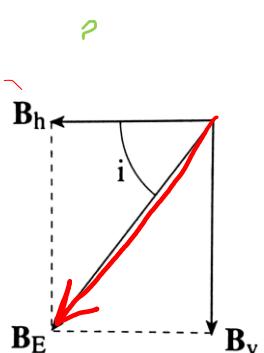
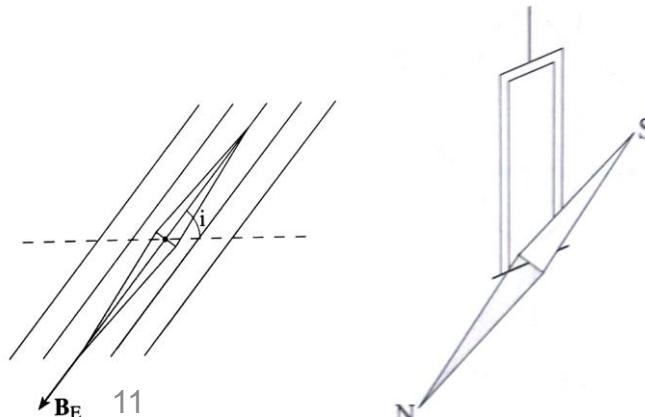
הוסף
חיצים לקו
השדה
המגנטי



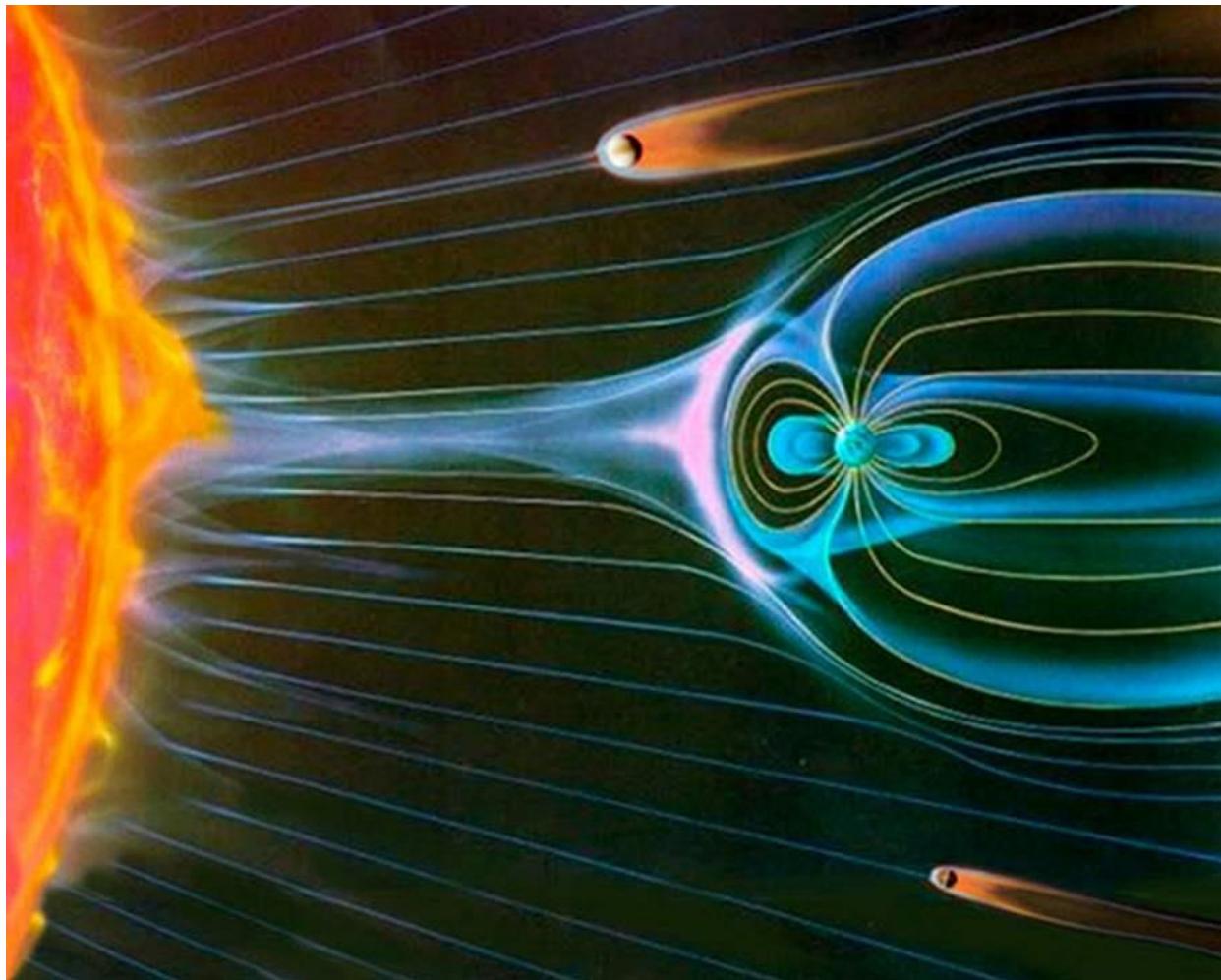
הישדה המגנטי של כדור הארץ



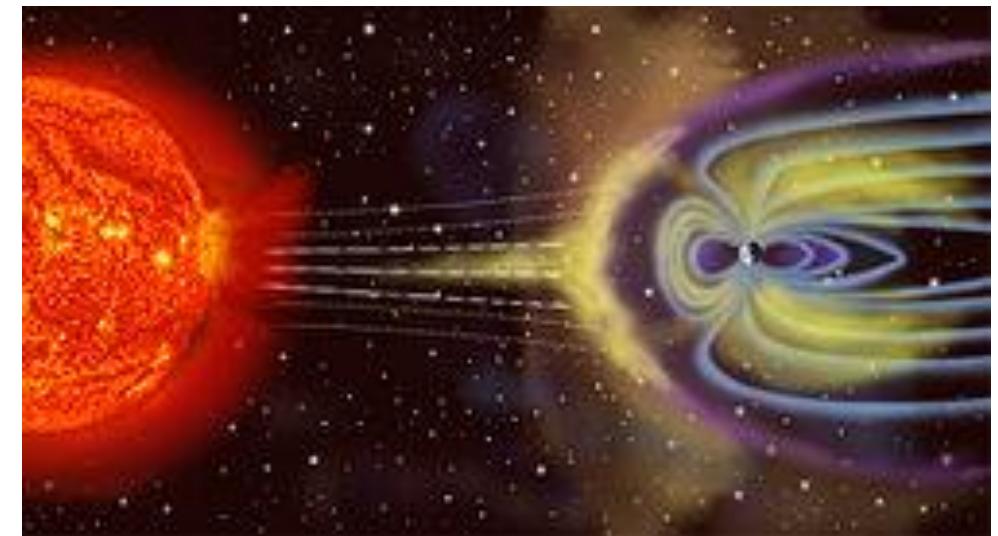
- כדור הארץ מתקף מגנט ענק.
- הקוטב המגנטי הצפוני נמצא בקרבת הקוטב הגיאוגרפי הדרומי, ולהיפך.
- הקטבים המגנטיים אינם מצויים בדילוק בקטבים הגיאוגרפיים
- זוויות הרכנה:
 - בחצי הצפוני של כדור הארץ הקוטב N של המחט רוכן כלפי מטה
 - בחצי הדרומי של כדור הארץ הקוטב S של המחט רוכן כלפי מטה
 - בקטבים המחט תתייצב באופן אנכי

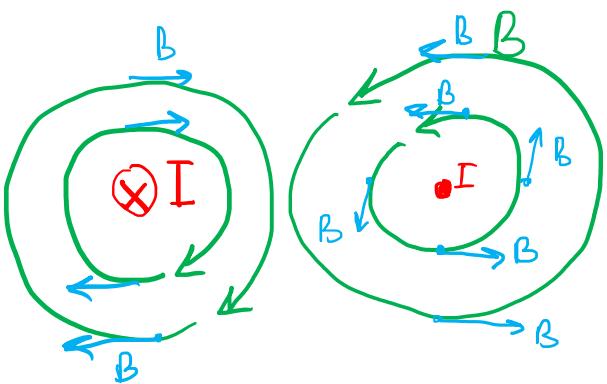


הישדה המגנטי של כדור הארץ



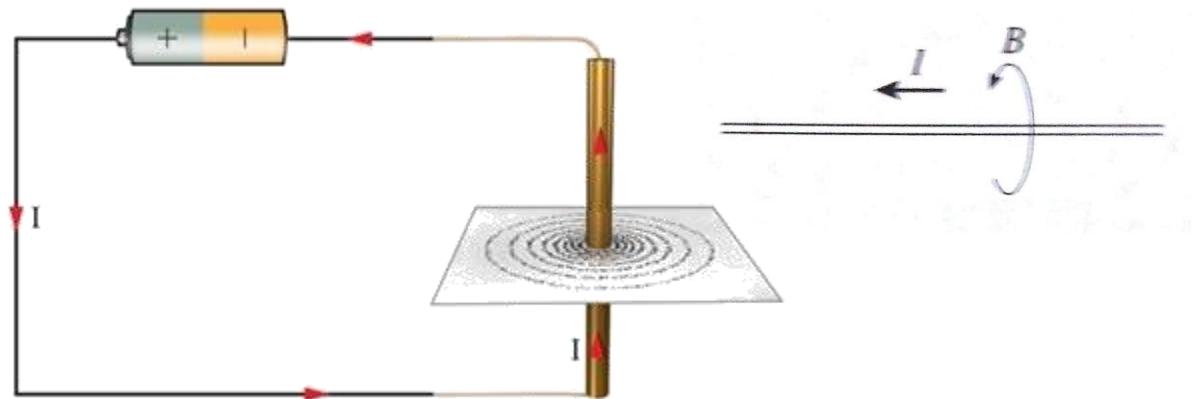
הגנה מפני "רוח השמש"



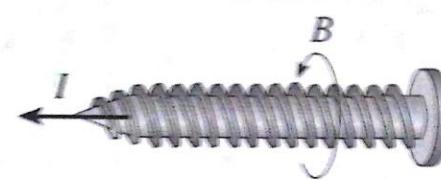


שדה מגנטי הנוצר על-ידי זרם חשמלי

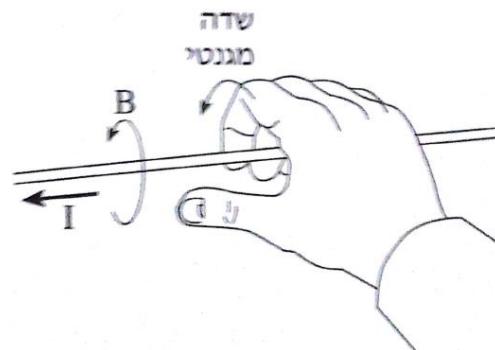
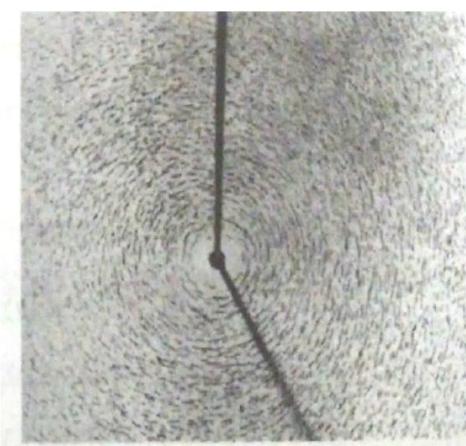
- ארסטט גילה שזרם חשמלי משפיע על מ妾 מגנטית הנמצאת בקרבתו.



- כוון השדה המגנטי של זרם חשמלי:



- כלל הבורג



- כלל יד-ימין

הערה:

כללים לשימון וקטורים במרחב –



מהירות פנימה



מהירות החוצה



זרם פנימה



זרם החוצה

B	x	x	x	x
	x	x	x	x
	x	x	x	x
	x	x	x	x

שדה פנימה

B	•	•	•	•
	•	•	•	•
	•	•	•	•
	•	•	•	•

שדה החוצה



כוח פנימה

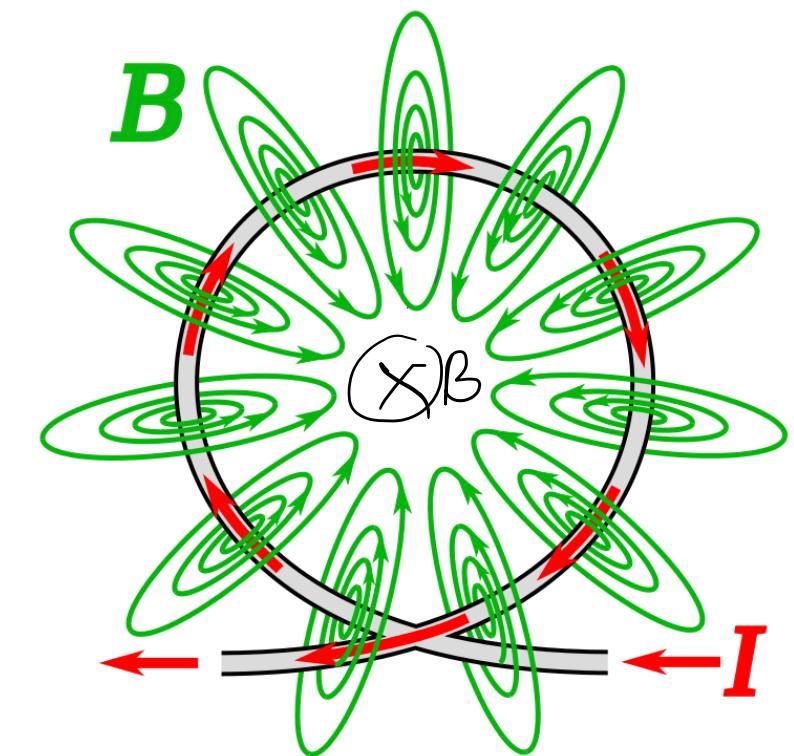
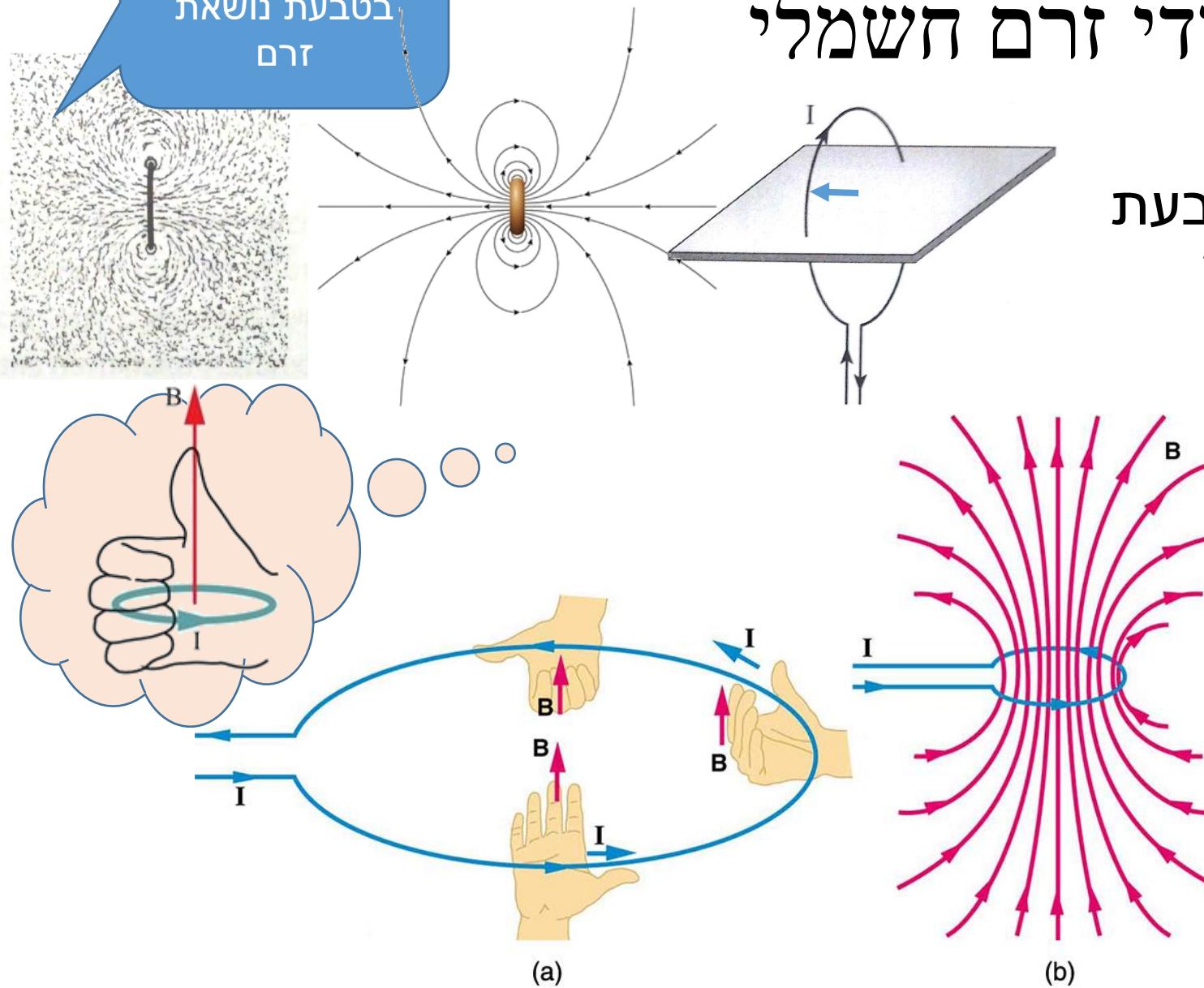


כוח החוצה

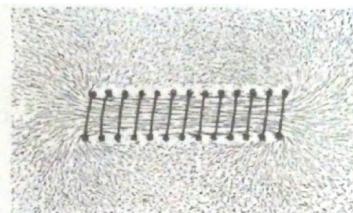
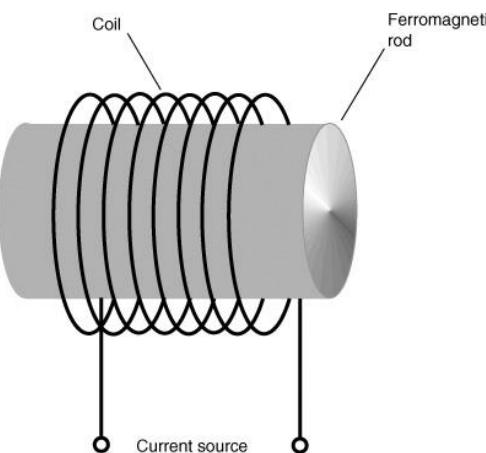
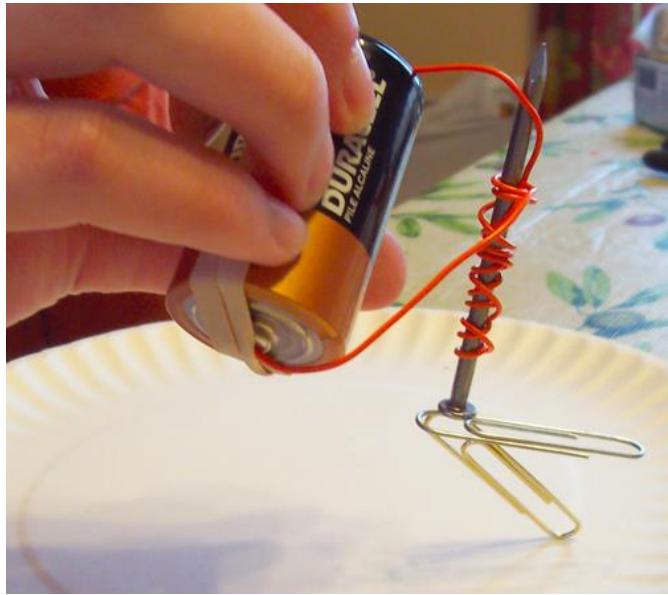
מברט מלמעלה על
נסורת ברזל
בטבעת נושאת
זרם

שדה מגנטי הנוצר על-ידי זרם חישמי

- מהו כוון השדה המגנטי של טבعت (כrica מעגלית) נושאת זרם?

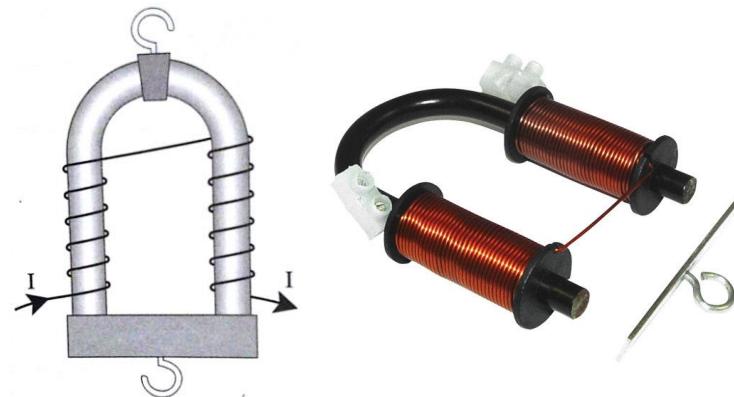
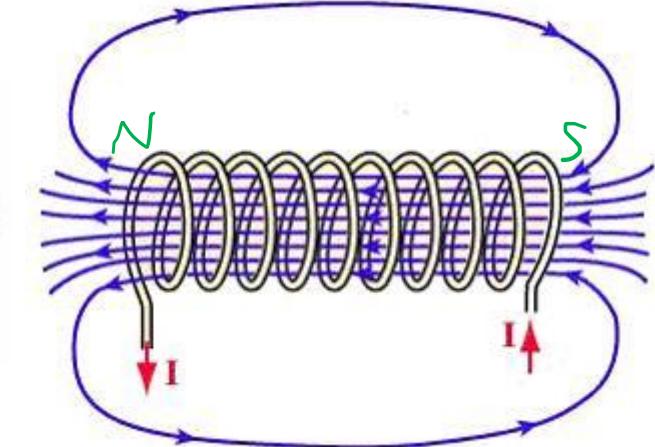
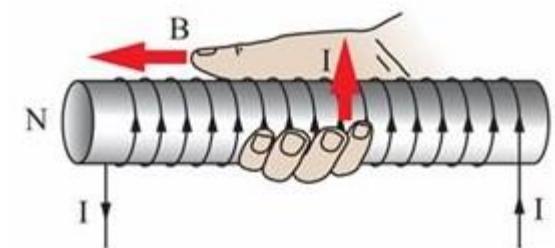
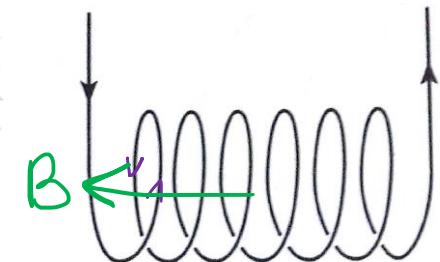
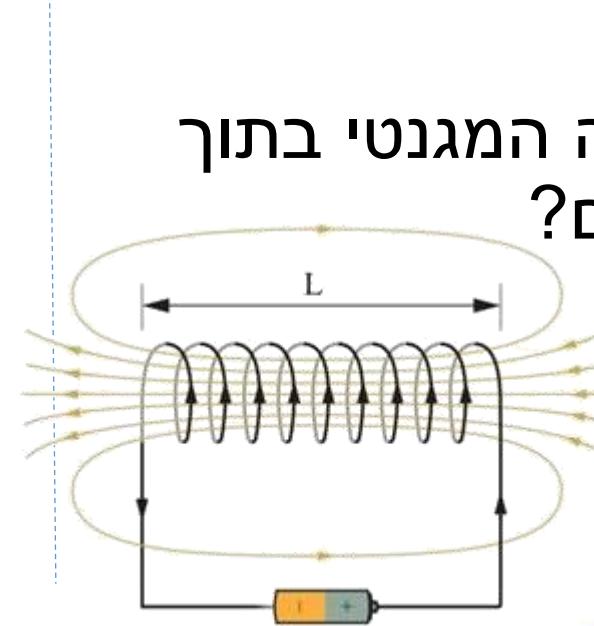


אלקטرومגנטי



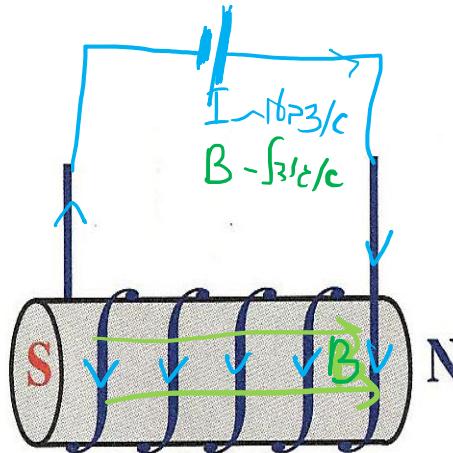
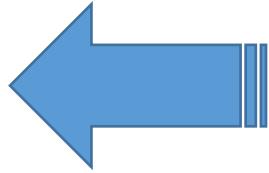
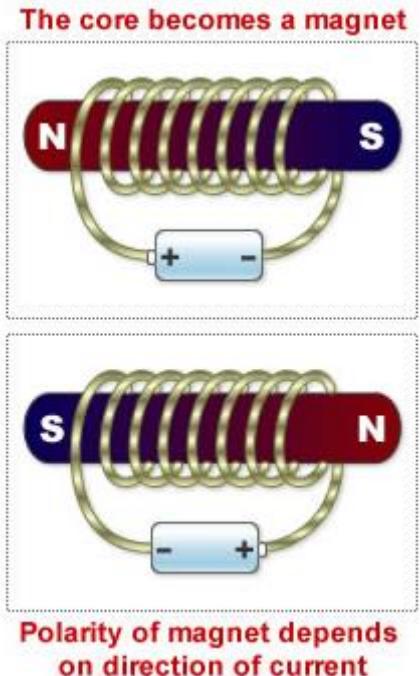
shedeh magneti hanozer ul-yidi zram chismeli

- מהו כוון השדה המגנטי בתוך סליל נושא זרם?

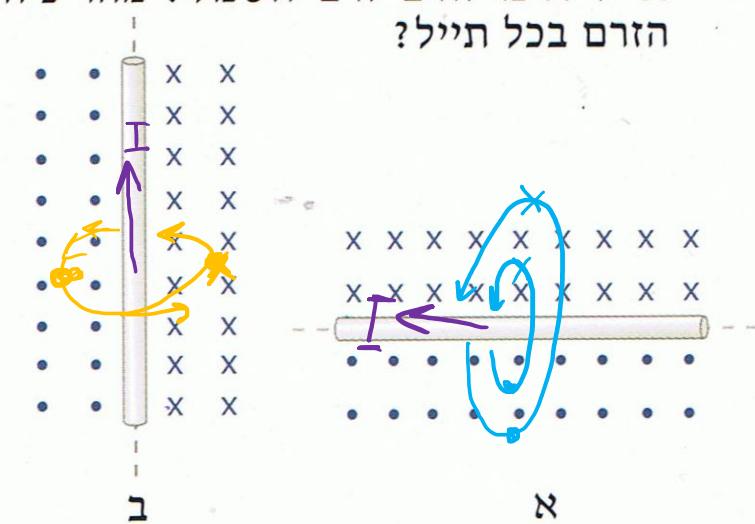


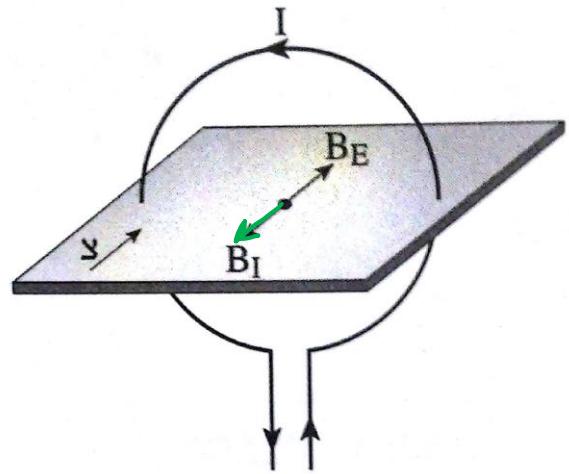
תרגול

• מהו כוון הזרם בסוליל?



2. באירוע קווי שדה מגנטי הנוצרים סביב תייל דרך זורם זרם חשמלי. מהו כיוון הזרם בכל תייל?

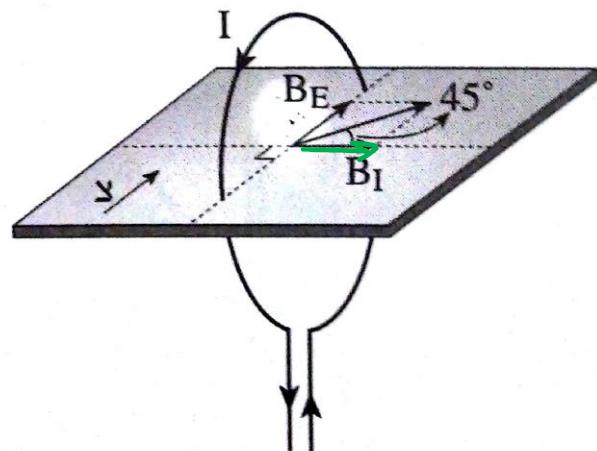




השדה המגנטי הוא שדה וקטורי

ניסוי הממחיש את אופיו הווקטורי של השדה המגנטי:

- ממקמים כריכה מעגלית במישור מזרח-מערב
- מזיריםים בה זרם עד שנוצר שדה המבטל לגמarity את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ.



- ממשיכים להזרים את הזרם הנ"ל
- מסובבים את הכריכה המעגלית למישור צפון-דרום
- התוצאה: מחת המצפן סוטה בזווית של 45 מעלות!



עוצמת השדה המגנטי הנוצר על-ידי זרם חשמלי

על סמך ידיעת השדה המגנטי של כדור הארץ,

ניתן לערכ ניסויים ולגלות את עוצמת השדה הנוצר על-ידי תיל ארוך:

כדי שהנוסחה תדמה
בצורתה לנוסחת השדה
החשמלי של תיל טעון

$$E = 2k \frac{\lambda}{r}$$

נקבע קבוע פרופורצייה '2k'

כפי שבאלקטרוסטטיקה
הגדירה **הדילקטריות**

של הריק

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$$

$$B_I = B_{earth} \cdot \tan \alpha$$

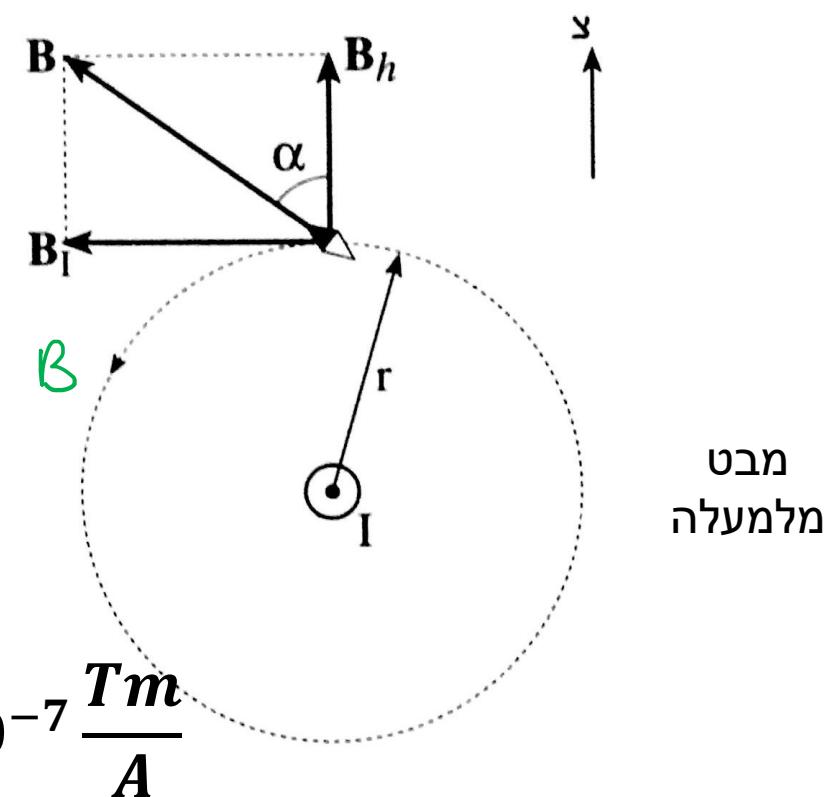
$$B_I \propto \frac{I}{r}$$

$$B_I = 2k' \frac{I}{r}$$

$$k' = 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

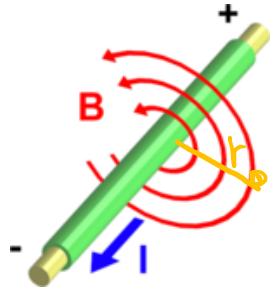
$$\mu_0 = 4\pi k' = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

הפרמייליות
של הריק



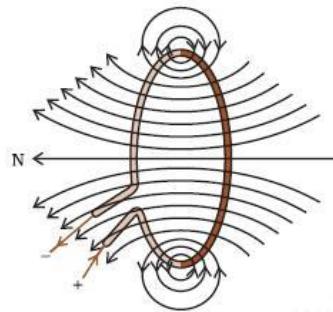
T גודל
ה**טוטם** של שדה מגנטי

עוצמת השדה המגנטי הנוצר על-ידי זרם חשמלי



$$B = \frac{\mu_0}{2\pi r} \cdot I$$

ה**טוטם** של שדה מגנטי
במרחק r מתיל אינסופי נושא זרם I



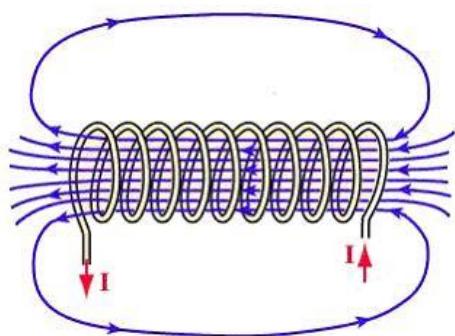
$$B = \frac{\mu_0}{2R} \cdot I$$

ה**טוטם** של שדה מגנטי
במרכז לולאה מעגלית נושא זרם I



$$B = N \cdot \frac{\mu_0}{2R} \cdot I$$

ה**טוטם** של שדה מגנטי
במרכז סליל דק ($R \ll L$) בעל N כריות



$$B = \frac{\mu_0 N}{L} \cdot I$$

ה**טוטם** של שדה מגנטי
בcoil (לולאה) בעל אורך L ו- N כריות

מספר מקרים מיוחדים:

- במרחק r מתיל אינסופי נושא זרם:
- במרכז לולאה מעגלית נושא זרם:
- במרכז סליל דק ($R \ll L$) בעל N כריות:
- בסילונית ($L \gg R$) בעל אורך L ו- N כריות:

תרגול

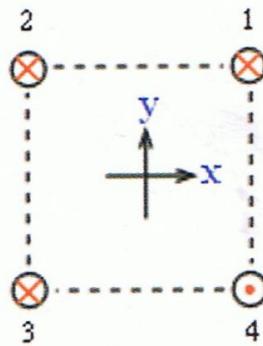
X כיוון ציר X

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_A}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_A}$$

$$\sum B_A = B_2 - B_1$$

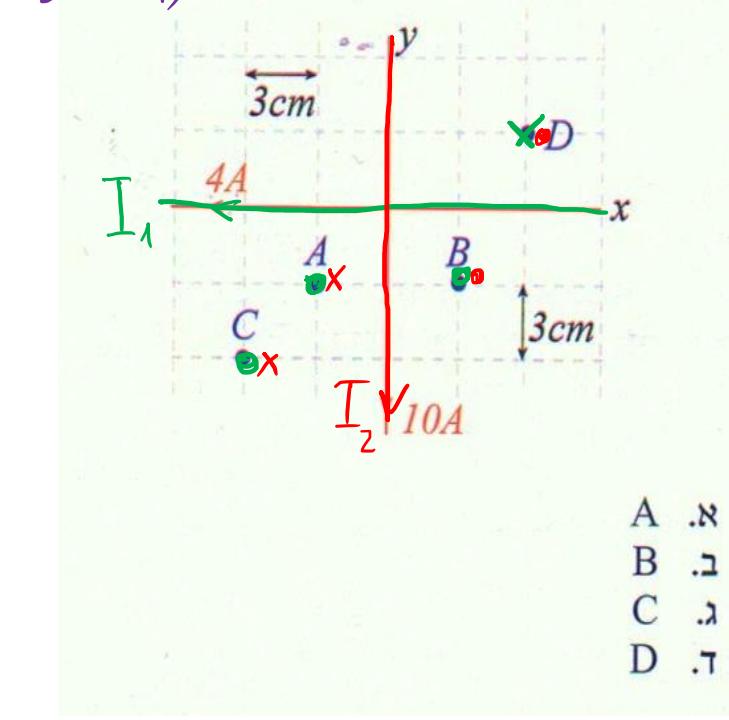
4. ארבעה תיילים ארכויים ומקבילים מאונכים לשולחן בקודקוד ריבוע. הזרמים שוים בעוצמתם וכיוונם מותואר באיוור. הזנה את השפעת השדה המגנטי הארץ.



- א. באיזה כיוון תתיצב מחות מטען במרכז הריבוע?
ב. מהו כיוון השדה המגנטי הנוצר על ידי תיילים 1,2,3 בקודקוד 4.

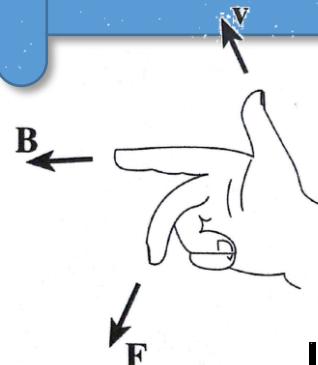
$$\sum B_B = -B_1 - B_2 = -(B_2 + B_1)$$

11. שני תיילים ארכויים מונחים לאורך הצירים xy כמתואר באיוור. מהי עוצמת השדה המגנטי, ומהו כיוונו בנקודות:



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

$$F = qvB \sin \theta$$

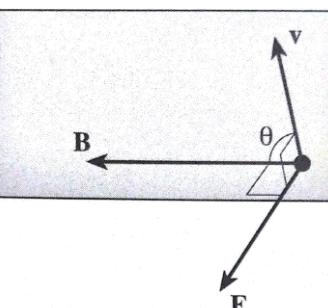


כוחות מגנטיים על מטענים חשמליים בתנועה

- ראינו כי מטענים נuis (זרם) מפעילים כוח על דיפול מגנטי
← ניתן להניח כי קיימת גם תופעה הפוכה: שדה מגנטי מפעיל כוח על מטענים נuis.

ניסויים מביאים למסקנות הבאות:

1. עוצמת הכוח הפועל על חלקיק טוען נע היא פורפורציונית למטען החלקיק ולמהירותו.
2. עוצמתו וכונו של הכוח המגנטי תלויים בכווניהם של מהירות החלקיק ושל השדה המגנטי:



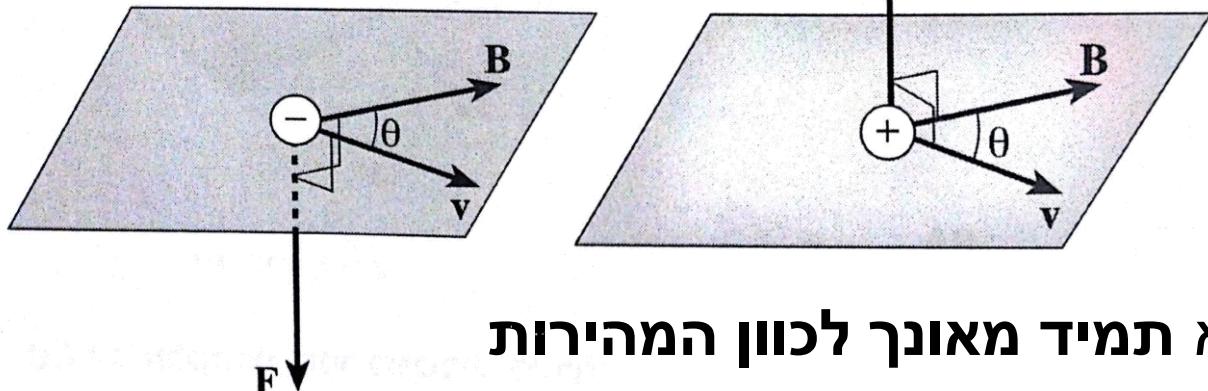
- א- כسمהירות החלקיק מאונכת לשדה המגנטי – עוצמת הכוח המגנטי מירבית.
- ב- כسمהירות החלקיק מקבילה לשדה המגנטי – לא פועל על החלקיק כוח מגנטי.
- ג- כשבין וקטור המהירות \vec{v} ובין וקטור השדה המגנטי \vec{B} קיימת זווית θ , עוצמת הכוח המגנטי \vec{F} פורפורציונית ל θ חס.
- ד- וקטור הכוח המגנטי \vec{F} מאונך למשור הנוצר על-ידי וקטורי השדה המגנטי ומהירות.
- ה- הכוח המגנטי הפועל על חלקיק שמטענו שלילי, הפוך בכונו לכוח הפועל על חלקיק חיובי (הנע באותו כוון).

[הדגמה שלALKTRONIM מוסטיטם בשיפורת ריק](#)

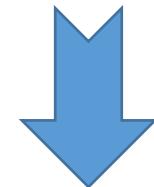
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$F = qvB \sin \theta$$

כוחות מגנטיים על מטענים חשמליים בתנועה

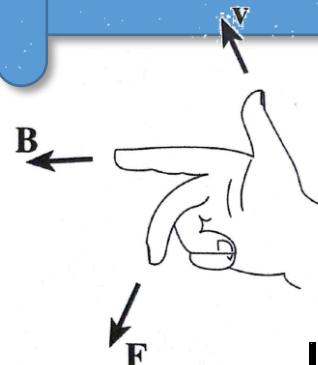


- הכוח המגנטי הפועל על חלקיק טען נע הוא **תמיד מאונך לכוון המהירות**
- הכוח הנ"ל אינו מבצע עבודה
- **אין שינוי באנרגיה הקינטית של החלקיק** כתוצאה מפעולתו הכוח המגנטי!



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

$$F = qvB \sin \theta$$

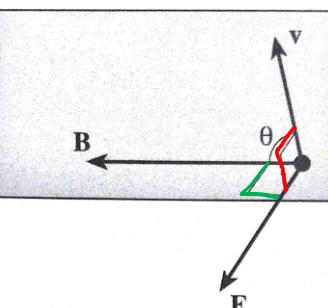


כוחות מגנטיים על מטענים חשמליים בתנועה

- ראינו כי מטענים נuis (זרם) מפעילים כוח על דיפול מגנטי
← ניתן להניח כי קיימת גם תופעה הפוכה: שדה מגנטי מפעיל כוח על מטענים נuis.

ניסויים מביאים למסקנות הבאות:

1. עוצמת הכוח הפועל על חלקיק טוען נע היא פורפורציונית למטען החלקיק ולמהירותו.
2. עוצמתו וכונו של הכוח המגנטי תלויים בכווניהם של מהירות החלקיק ושל השדה המגנטי:



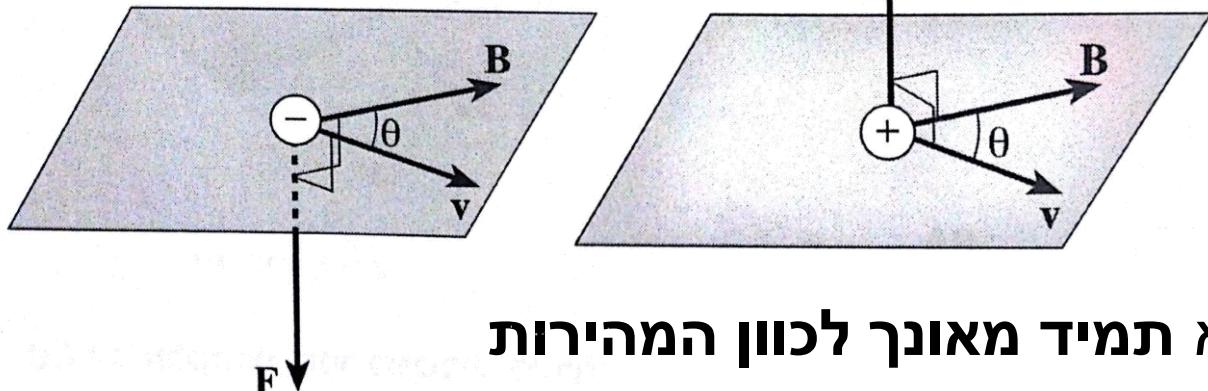
- א- כسمהירות החלקיק מאונכת לשדה המגנטי – עוצמת הכוח המגנטי מירבית.
- ב- כسمהירות החלקיק מקבילה לשדה המגנטי – לא פועל על החלקיק כוח מגנטי.
- ג- כשבין וקטור המהירות \vec{v} ובין וקטור השדה המגנטי \vec{B} קיימת זווית θ , עוצמת הכוח המגנטי \vec{F} פורפורציונית ל θ חס.
- ד- וקטור הכוח המגנטי \vec{F} מאונך למשור הנוצר על-ידי וקטורי השדה המגנטי ומהירות.
- ה- הכוח המגנטי הפועל על חלקיק שמטענו שלילי, הפוך בכונו לכוח הפועל על חלקיק חיובי (הנע באותו כוון).

[הדגמה שלALKTRONIM מוסטיטם בשיפורת ריק](#)

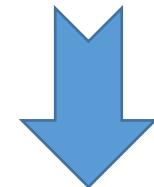
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$F = qvB \sin \theta$$

כוחות מגנטיים על מטענים חשמליים בתנועה



- הכוח המגנטי הפועל על חלקיק טען נע הוא **תמיד מאונך לכוון המהירות**
- הכוח הנ"ל אינו מבצע עבודה
- אין שינוי באנרגיה הקינטית של החלקיק כתוצאה מפעולתו הכוח המגנטי!



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

$$F = qvB \sin \theta$$

כוחות מגנטיים על מטענים חשמליים בתנועה

$$[B] = \frac{[F]}{[q][v]} = \frac{N}{C \cdot m} = \frac{N}{A \cdot m} \equiv T \text{ (Tesla)}$$

- יחידות מידת של שדה מגנטי: T (Tesla)
- הגדרה: שדה מגנטי שעוצמתו 1 טסלה הוא שדה המפעיל כוח של 1 ניוטון על חלקיק שמטענו 1 קולון כשהחלקיק נעה ב מהירות 1 מ/שנ' בכיוון ניצב לשדה.
- טסלה היא יחידה גדולה מאד.
- לכן נפוץ השימוש גם ביחידה (הלא-תקנית) "גאו": $1 G = 10^{-4} T$

דוגמאות לסדרי גודל של שדות מגנטיים:

$$T^{10^{-5} \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3}}$$

- מגנטים רגילים: $T = 10^{-2} - 10^{-3}$
- השדה המגנטי הארץ: כרבע גאו
- השדה המגנטי בעוצמה הגדולה ביותר שהושגה במעבדה: כ- 30 טסלה

סיכום בינויים

• ההבדלים בין שדה מגנטי לבין שדה חשמלי:

שדה מגנטי	שדה חשמלי	
"קווים סגורים" אין להם תחילת או סוף מן-L-S מחוץ למגנטי, ומשיכים מ-S ל-N בתוכו.	"קווים פתוחים" מחילים בטען חיובי (או באינסוף) ומסתיימים בטען שלילי (או באינסוף)	קווי השדה
פועל על חלקיק טען רק כאשר החלקיק נמצא בתנועה ביחס לשדה המגנטי $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$	אינו תלוי ב מהירות החלקיק הטעון	התנאי לפעולות הכוח
מאונך לשדה המגנטי $\vec{F} \perp \vec{B}$	בכוון השדה החשמלי (או בניגוד לו – כשהטען שלילי)	כוון הכוח
הכוח המגנטי אינו מבצע עבודה בעת העתקת חלקיק טעון	הכוח החשמלי מבצע עבודה במהלך העתקת חלקיק טעון	עבודת הכוח
הקטבים (+/-) לא ניתנים להפרדה	הקטבים (-/+)	קטבים

כוח לורנץ

- כאשר חלקיק טעון נע באזורי שבו פועלים שדה חשמלי וגם שדה מגנטי – שני השדות מפעילים כוחות על החליק.

$$\vec{F}_e = q\vec{E} \quad \vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} = \textcolor{green}{q \cos \theta \cdot v B}$$

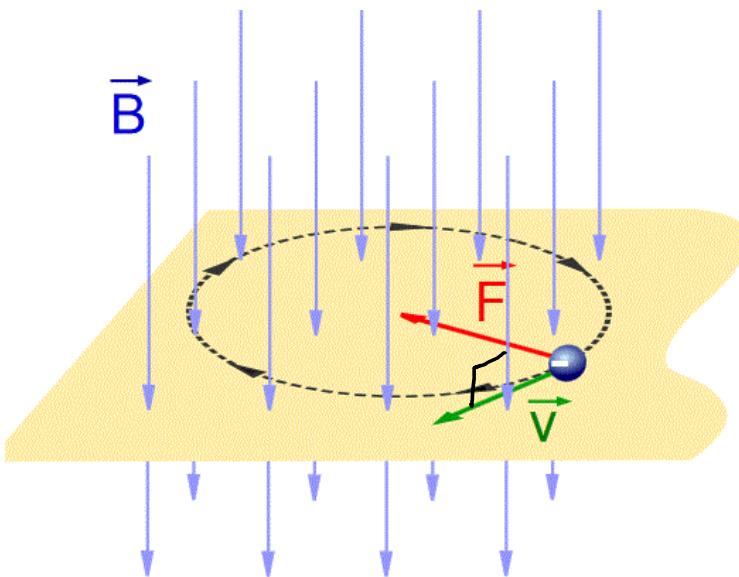
- הכוח השקול (הסכום הוקטורי של הכוחות) נקרא "כוח לורנץ"

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



תנועת חלקיקים טעוניים בשדה מגנטי

- הכוח המגנטי תמיד מאונר לכיוון מהירות
- הכוח המגנטי מהווים כוח צנטריפטלי
- אם השדה המגנטי אחיד, והחלקיק נכנס לשדה בזווית לו –
החלקיק ינוע בתנועה מעגלית



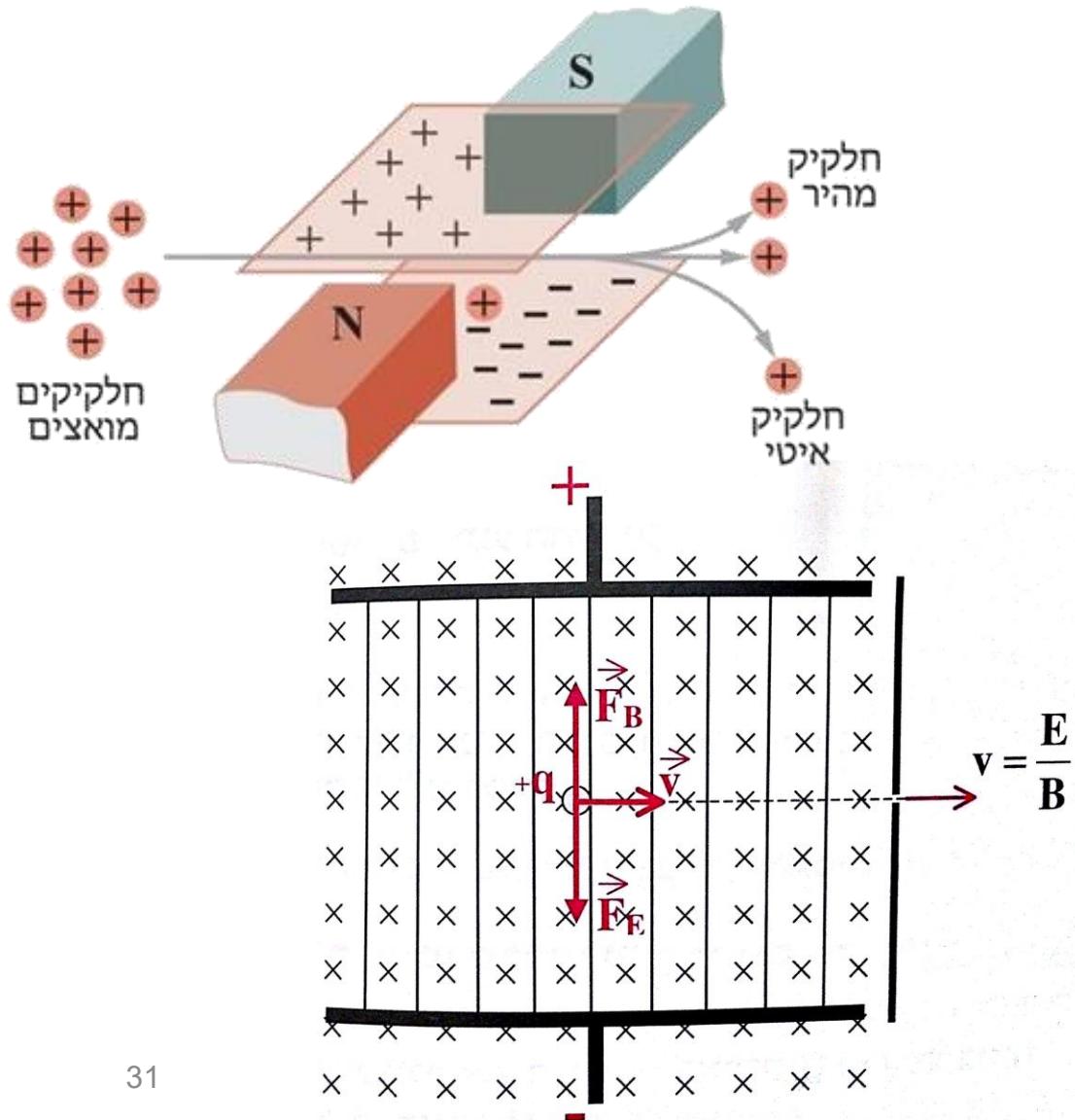
$$\sum \vec{F}_r = m\vec{a}_r = m \frac{v^2}{r}$$

$$\vec{F}_B = qvB \sin 90^\circ = m \frac{v^2}{r}$$

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

תנועת חלקיקים טעוניים בשדה מגנטי - שימושים



$$|\vec{F}_B| = |\vec{F}_e|$$

$$qvB = qE$$

$$v = \frac{E}{B}$$

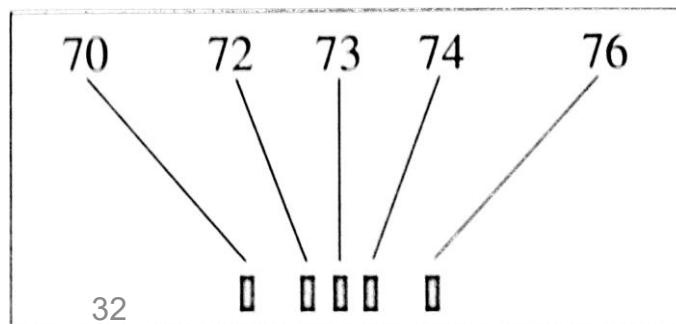
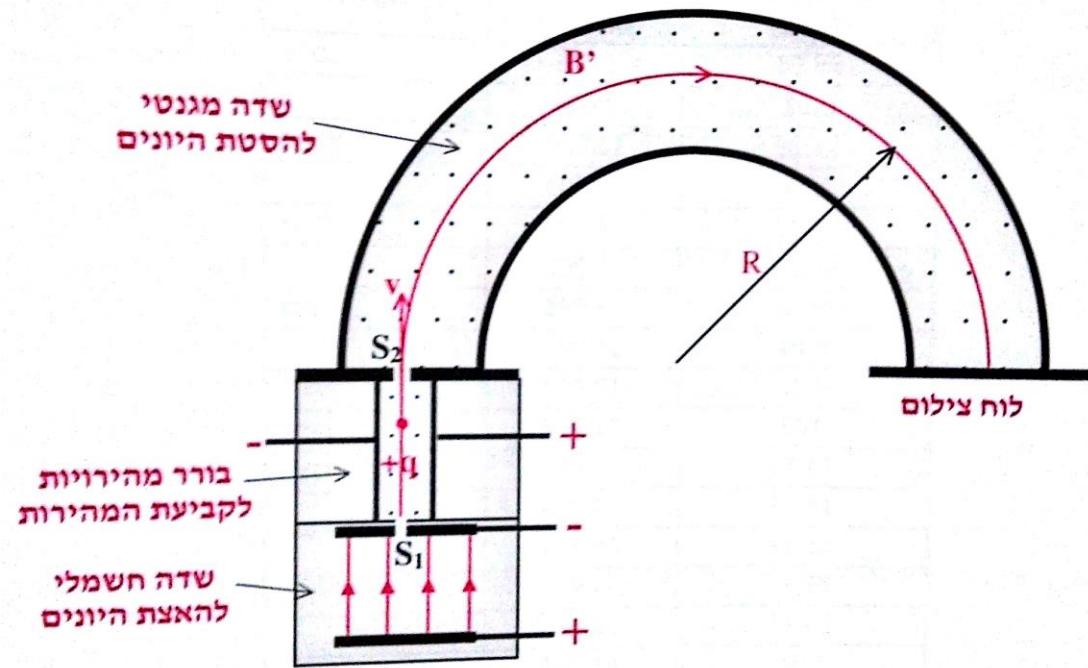
$$v = \frac{V}{dB}$$

- המכשיר בורר רק את החלקיקים בעלי המהירות הרצiosa

- בורר מהירות

מה יקרה לחלקיקים בעלי מהירות גדולה יותר?
ובלי מהירות קטנה יותר?

תנועת חלקיקים טעוניים בישדה מגנטי - שימושים



• ספקטוגרפ מסות

נועד למדידת המסה של יונים

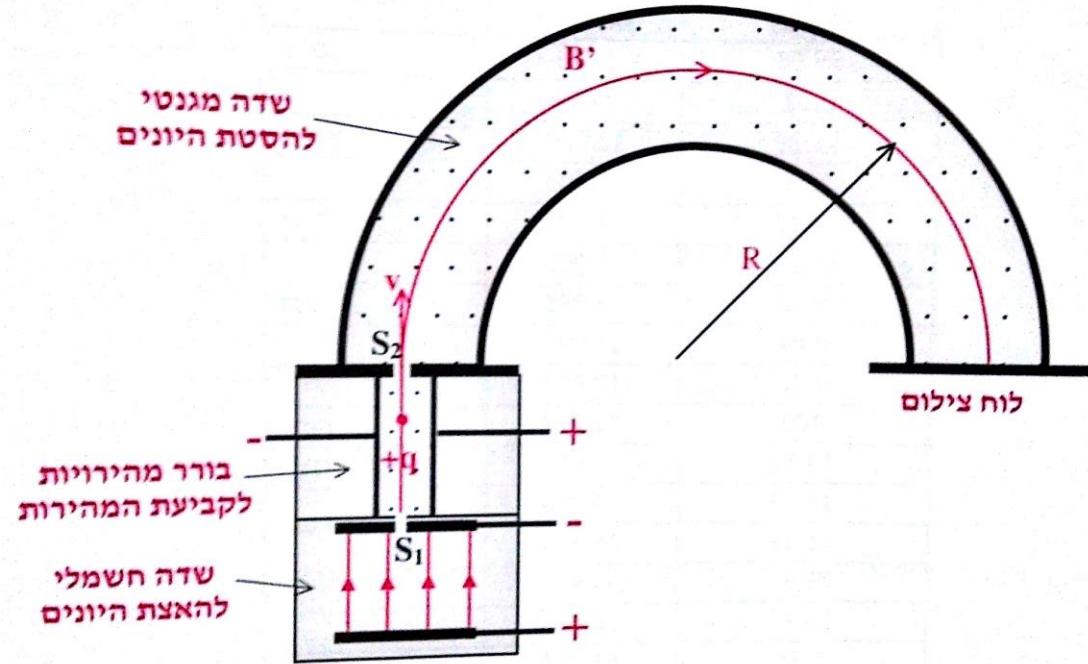
$$R = \frac{mv}{qB'}$$
$$R = \frac{V}{qdBB'} m$$

המהירות ביציאה
מברור המהירות:

$$v = \frac{V}{dB}$$

- הרדיום הוא ביחס ישיר למסת היון.
- באמצעות ספקטוגרפ המסות התגלה כי ליסודות רבים יש מספר איזוטופים.

תנועת חלקיקים טעוניים בישדה מגנטי - שימושים



$$R = \frac{V}{qdB} m$$

• ניסוי תומפסון

באמצעות בורר מהירות וספקטוגרפ מסות

- נמצא המטען הסגול של האלקטרון

$$\frac{e}{m} = 1.76 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

12 שנים מאוחר יותר מצא מיליקן את
טען האלקטרון ($e = 1.6 \cdot 10^{-19} C$), וקבע
חושבה מסתו: $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} kg$

ספקטוגרפיה המסota - המשך

הטבלה המחזורית

	1 IA	New Original	2 IIA		3 Na	4 Mg	5 Al	6 Si	7 P	8 S	9 Cl	10 Ar	11 K	12 Ca	13 Sc	14 Ti	15 V	16 Cr	17 Mn	18 Fe	19 Co	20 Ni	21 Cu	22 Zn	23 Ga	24 Ge	25 As	26 Se	27 Br	28 Kr	29 Rb	30 Sr	31 Y	32 Zr	33 Nb	34 Mo	35 Tc	36 Ru	37 Rh	38 Pd	39 Ag	40 Cd	41 In	42 Sn	43 Sb	44 Te	45 Xe	46 Cs	47 Ba	48 Hf	49 Ta	50 W	51 Re	52 Os	53 Ir	54 Pt	55 Au	56 Hg	57 Tl	58 Pb	59 Bi	60 Po	61 At	62 Rn	63 Fr	64 Ra	65 Rf	66 Db	67 Sg	68 Bh	69 Hs	70 Mt	71 Ds	72 Rg	73 Uut	74 Uup	75 Uuh	76 Uus	77 Fr	78 Ra	79 Rb	80 Sr	81 Yt	82 Ce	83 Pr	84 Nd	85 Pm	86 Sm	87 Eu	88 Gd	89 Dy	90 Ho	91 Tm	92 Yb	93 Lu	94 La	95 Ce	96 Pr	97 Nd	98 Pm	99 Sm	100 Eu	101 Gd	102 Dy	103 Ho	104 Tm	105 Yb	106 Lu	107 Fr	108 Ra	109 Rb	110 Sr	111 Yt	112 Ce	113 Pr	114 Nd	115 Pm	116 Sm	117 Eu	118 Gd	119 Dy	120 Ho	121 Tm	122 Yb	123 Lu	124 Fr	125 Ra	126 Rb	127 Sr	128 Yt	129 Ce	130 Pr	131 Nd	132 Pm	133 Sm	134 Eu	135 Gd	136 Dy	137 Ho	138 Tm	139 Yb	140 Lu	141 Fr	142 Ra	143 Rb	144 Sr	145 Yt	146 Ce	147 Pr	148 Nd	149 Pm	150 Sm	151 Eu	152 Gd	153 Dy	154 Ho	155 Tm	156 Yb	157 Lu	158 Fr	159 Ra	160 Rb	161 Sr	162 Yt	163 Ce	164 Pr	165 Nd	166 Pm	167 Sm	168 Eu	169 Gd	170 Dy	171 Ho	172 Tm	173 Yb	174 Lu	175 Fr	176 Ra	177 Rb	178 Sr	179 Yt	180 Ce	181 Pr	182 Nd	183 Pm	184 Sm	185 Eu	186 Gd	187 Dy	188 Ho	189 Tm	190 Yb	191 Lu	192 Fr	193 Ra	194 Rb	195 Sr	196 Yt	197 Ce	198 Pr	199 Nd	200 Pm	201 Sm	202 Eu	203 Gd	204 Dy	205 Ho	206 Tm	207 Yb	208 Lu	209 Fr	210 Ra	211 Rb	212 Sr	213 Yt	214 Ce	215 Pr	216 Nd	217 Pm	218 Sm	219 Eu	220 Gd	221 Dy	222 Ho	223 Tm	224 Yb	225 Lu	226 Fr	227 Ra	228 Rb	229 Sr	230 Yt	231 Ce	232 Pr	233 Nd	234 Pm	235 Sm	236 Eu	237 Gd	238 Dy	239 Ho	240 Tm	241 Yb	242 Lu	243 Fr	244 Ra	245 Rb	246 Sr	247 Yt	248 Ce	249 Pr	250 Nd	251 Pm	252 Sm	253 Eu	254 Gd	255 Dy	256 Ho	257 Tm	258 Yb	259 Lu	260 Fr	261 Ra	262 Rb	263 Sr	264 Yt	265 Ce	266 Pr	267 Nd	268 Pm	269 Sm	270 Eu	271 Gd	272 Dy	273 Ho	274 Tm	275 Yb	276 Lu	277 Fr	278 Ra	279 Rb	280 Sr	281 Yt	282 Ce	283 Pr	284 Nd	285 Pm	286 Sm	287 Eu	288 Gd	289 Dy	290 Ho	291 Tm	292 Yb	293 Lu	294 Fr	295 Ra	296 Rb	297 Sr	298 Yt	299 Ce	300 Pr	301 Nd	302 Pm	303 Sm	304 Eu	305 Gd	306 Dy	307 Ho	308 Tm	309 Yb	310 Lu	311 Fr	312 Ra	313 Rb	314 Sr	315 Yt	316 Ce	317 Pr	318 Nd	319 Pm	320 Sm	321 Eu	322 Gd	323 Dy	324 Ho	325 Tm	326 Yb	327 Lu	328 Fr	329 Ra	330 Rb	331 Sr	332 Yt	333 Ce	334 Pr	335 Nd	336 Pm	337 Sm	338 Eu	339 Gd	340 Dy	341 Ho	342 Tm	343 Yb	344 Lu	345 Fr	346 Ra	347 Rb	348 Sr	349 Yt	350 Ce	351 Pr	352 Nd	353 Pm	354 Sm	355 Eu	356 Gd	357 Dy	358 Ho	359 Tm	360 Yb	361 Lu	362 Fr	363 Ra	364 Rb	365 Sr	366 Yt	367 Ce	368 Pr	369 Nd	370 Pm	371 Sm	372 Eu	373 Gd	374 Dy	375 Ho	376 Tm	377 Yb	378 Lu	379 Fr	380 Ra	381 Rb	382 Sr	383 Yt	384 Ce	385 Pr	386 Nd	387 Pm	388 Sm	389 Eu	390 Gd	391 Dy	392 Ho	393 Tm	394 Yb	395 Lu	396 Fr	397 Ra	398 Rb	399 Sr	400 Yt	401 Ce	402 Pr	403 Nd	404 Pm	405 Sm	406 Eu	407 Gd	408 Dy	409 Ho	410 Tm	411 Yb	412 Lu	413 Fr	414 Ra	415 Rb	416 Sr	417 Yt	418 Ce	419 Pr	420 Nd	421 Pm	422 Sm	423 Eu	424 Gd	425 Dy	426 Ho	427 Tm	428 Yb	429 Lu	430 Fr	431 Ra	432 Rb	433 Sr	434 Yt	435 Ce	436 Pr	437 Nd	438 Pm	439 Sm	440 Eu	441 Gd	442 Dy	443 Ho	444 Tm	445 Yb	446 Lu	447 Fr	448 Ra	449 Rb	450 Sr	451 Yt	452 Ce	453 Pr	454 Nd	455 Pm	456 Sm	457 Eu	458 Gd	459 Dy	460 Ho	461 Tm	462 Yb	463 Lu	464 Fr	465 Ra	466 Rb	467 Sr	468 Yt	469 Ce	470 Pr	471 Nd	472 Pm	473 Sm	474 Eu	475 Gd	476 Dy	477 Ho	478 Tm	479 Yb	480 Lu	481 Fr	482 Ra	483 Rb	484 Sr	485 Yt	486 Ce	487 Pr	488 Nd	489 Pm	490 Sm	491 Eu	492 Gd	493 Dy	494 Ho	495 Tm	496 Yb	497 Lu	498 Fr	499 Ra	500 Rb	501 Sr	502 Yt	503 Ce	504 Pr	505 Nd	506 Pm	507 Sm	508 Eu	509 Gd	510 Dy	511 Ho	512 Tm	513 Yb	514 Lu	515 Fr	516 Ra	517 Rb	518 Sr	519 Yt	520 Ce	521 Pr	522 Nd	523 Pm	524 Sm	525 Eu	526 Gd	527 Dy	528 Ho	529 Tm	530 Yb	531 Lu	532 Fr	533 Ra	534 Rb	535 Sr	536 Yt	537 Ce	538 Pr	539 Nd	540 Pm	541 Sm	542 Eu	543 Gd	544 Dy	545 Ho	546 Tm	547 Yb	548 Lu	549 Fr	550 Ra	551 Rb	552 Sr	553 Yt	554 Ce	555 Pr	556 Nd	557 Pm	558 Sm	559 Eu	560 Gd	561 Dy	562 Ho	563 Tm	564 Yb	565 Lu	566 Fr	567 Ra	568 Rb	569 Sr	570 Yt	571 Ce	572 Pr	573 Nd	574 Pm	575 Sm	576 Eu	577 Gd	578 Dy	579 Ho	580 Tm	581 Yb	582 Lu	583 Fr	584 Ra	585 Rb	586 Sr	587 Yt	588 Ce	589 Pr	590 Nd	591 Pm	592 Sm	593 Eu	594 Gd	595 Dy	596 Ho	597 Tm	598 Yb	599 Lu	600 Fr	601 Ra	602 Rb	603 Sr	604 Yt	605 Ce	606 Pr	607 Nd	608 Pm	609 Sm	610 Eu	611 Gd	612 Dy	613 Ho	614 Tm	615 Yb	616 Lu	617 Fr	618 Ra	619 Rb	620 Sr	621 Yt	622 Ce	623 Pr	624 Nd	625 Pm	626 Sm	627 Eu	628 Gd	629 Dy	630 Ho	631 Tm	632 Yb	633 Lu	634 Fr	635 Ra	636 Rb	637 Sr	638 Yt	639 Ce	640 Pr	641 Nd	642 Pm	643 Sm	644 Eu	645 Gd	646 Dy	647 Ho	648 Tm	649 Yb	650 Lu	651 Fr	652 Ra	653 Rb	654 Sr	655 Yt	656 Ce	657 Pr	658 Nd	659 Pm	660 Sm	661 Eu	662 Gd	663 Dy	664 Ho	665 Tm	666 Yb	667 Lu	668 Fr	669 Ra	670 Rb	671 Sr	672 Yt	673 Ce	674 Pr	675 Nd	676 Pm	677 Sm	678 Eu	679 Gd	680 Dy	681 Ho	682 Tm	683 Yb	684 Lu	685 Fr	686 Ra	687 Rb	688 Sr	689 Yt	690 Ce	691 Pr	692 Nd	693 Pm	694 Sm	695 Eu	696 Gd	697 Dy	698 Ho	699 Tm	700 Yb	701 Lu	702 Fr	703 Ra	704 Rb	705 Sr	706 Yt	707 Ce	708 Pr	709 Nd	710 Pm	711 Sm	712 Eu	713 Gd	714 Dy	715 Ho	716 Tm	717 Yb	718 Lu	719 Fr	720 Ra	721 Rb	722 Sr	723 Yt	724 Ce	725 Pr	726 Nd	727 Pm	728 Sm	729 Eu	730 Gd	731 Dy	732 Ho	733 Tm	734 Yb	735 Lu	736 Fr	737 Ra	738 Rb	739 Sr	740 Yt	741 Ce	742 Pr	743 Nd	744 Pm	745 Sm	746 Eu	747 Gd	748 Dy	749 Ho	750 Tm	751 Yb	752 Lu	753 Fr	754 Ra	755 Rb	756 Sr	757 Yt	758 Ce	759 Pr	760 Nd	761 Pm	762 Sm	763 Eu	764 Gd	765 Dy	766 Ho	767 Tm	768 Yb	769 Lu	770 Fr	771 Ra	772 Rb	773 Sr	774 Yt	775 Ce	776 Pr	777 Nd	778 Pm	779 Sm	780 Eu	781 Gd	782 Dy	783 Ho	784 Tm	785 Yb	786 Lu	787 Fr	788 Ra	789 Rb	790 Sr	791 Yt	792 Ce	793 Pr	794 Nd	795 Pm	796 Sm	797 Eu	798 Gd	799 Dy	800 Ho	801 Tm	802 Yb	803 Lu	804 Fr	805 Ra	806 Rb	807 Sr	808 Yt	809 Ce	810 Pr	811 Nd	812 Pm	813 Sm	814 Eu	815 Gd	816 Dy	817 Ho	818 Tm	819 Yb	820 Lu	821 Fr	822 Ra	823 Rb	824 Sr	825 Yt	826 Ce	827 Pr	828 Nd	829 Pm	830 Sm	831 Eu	832 Gd	833 Dy	834 Ho	835 Tm	836 Yb	837 Lu	838 Fr	839 Ra	840 Rb	841 Sr	842 Yt	843 Ce	844 Pr	845 Nd	846 Pm	847 Sm	848 Eu	849 Gd	850 Dy	851 Ho	852 Tm	853 Yb	854 Lu	855 Fr	856 Ra	857 Rb	858 Sr	859 Yt	860 Ce	861 Pr	862 Nd	863 Pm	864 Sm	865 Eu	866 Gd	867 Dy	868 Ho	869 Tm	870 Yb	871 Lu	872 Fr	873 Ra	874 Rb	875 Sr	876 Yt	877 Ce	878 Pr	879 Nd	880 Pm	881 Sm	882 Eu	883 Gd	884 Dy	885 Ho	886 Tm	887 Yb	888 Lu	889 Fr	890 Ra	891 Rb	892 Sr	893 Yt	894 Ce	895 Pr	896 Nd	897 Pm	898 Sm	899 Eu	900 Gd	901 Dy	902 Ho	903 Tm	904 Yb	905 Lu	906 Fr	907 Ra	908 Rb	909 Sr	910 Yt	911 Ce	912 Pr	913 Nd	914 Pm	915 Sm	916 Eu	917 Gd	918 Dy	919 Ho	920 Tm	921 Yb	922 Lu	923 Fr	924 Ra	925 Rb	926 Sr	927 Yt	928 Ce	929 Pr	930 Nd	931 Pm	932 Sm	933 Eu	934 Gd	935 Dy	936 Ho	937 Tm	938 Yb	939 Lu	940 Fr	941 Ra	942 Rb	943 Sr	944 Yt	945 Ce	946 Pr	947 Nd	948 Pm	949 Sm	950 Eu	951 Gd	952 Dy	953 Ho	954 Tm	955 Yb	956 Lu	957 Fr	958 Ra	959 Rb	960 Sr	961 Yt	962 Ce	963 Pr	964 Nd	965 Pm	966 Sm	967 Eu	968 Gd	969 Dy	970 Ho	9

סקוטוגרפ המסota - המשך

דוגמה:

אלומה של יוניים שמטען כפול מהטען האלמנטרי עברת דרך בורר מהירות המרכיב מקבל לוחות שהמרחק ביניהם $d = 2\text{cm}$, והם מחוברים למתח של $V = 10^4 \text{ V}$. בבורר שורר גם שדה מגנטי שעוצמתו $T = 0.5 \text{ T}$. לאחר צאת האלומה מבורר המהירות, היא נכנסת לשדה מגנטי אחד שעוצמתו $T = 0.12 \text{ T}$. כתוצאה מכך נעה האלומה במעגל שרדיוס $R = 39\text{cm}$.

חשבו:

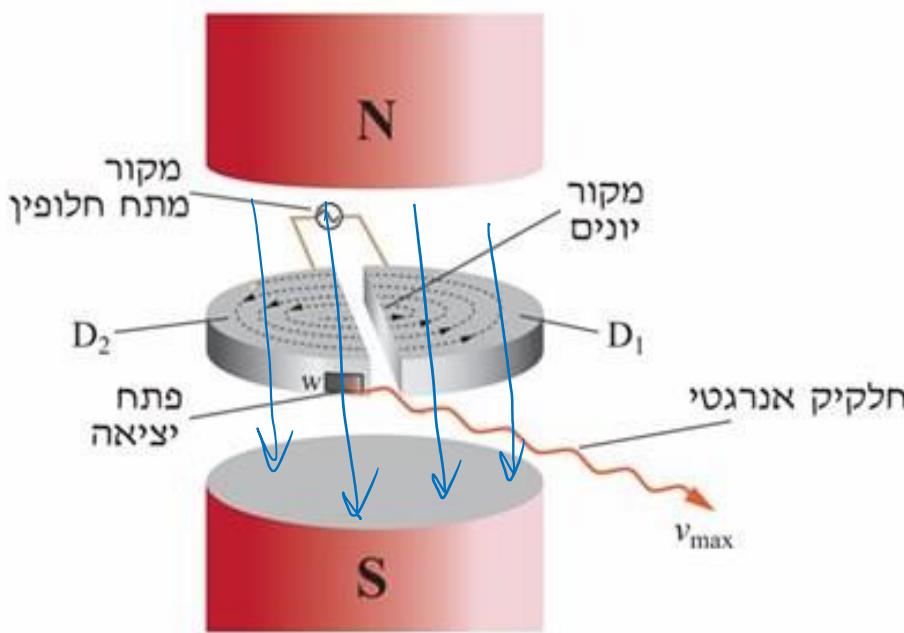
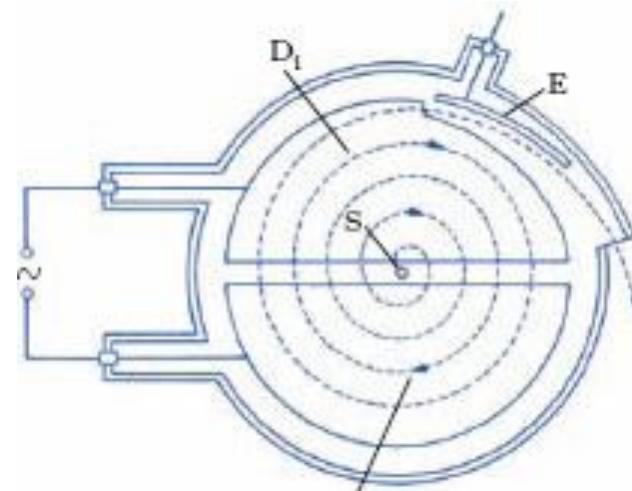
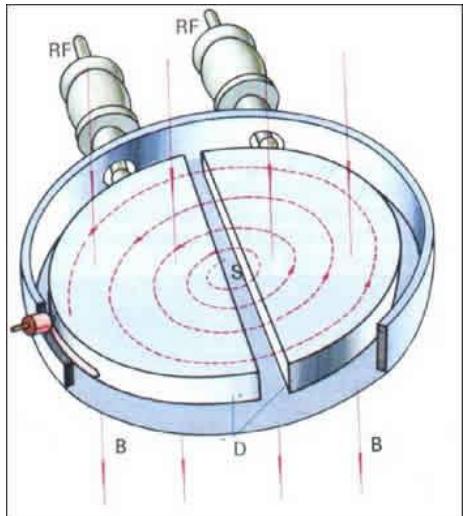
א. את מסת היוניים [תשובה: $m = 1.5 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$]

ב. את מספר המסota שלהם [תשובה: 9 (בריליום Be)]

ציקלוטרון

- עד להמצאת הציקלוטרון, האיצו חלקיקים בעזרת מאיץ קווי

תנועת חלקיקים טעוניים בישדה מגנטית - שימושים



זמן השהייה בכל D הוא קבוע
← יש להחליפ את המתח ב Dees בקצב קבוע

$$v = B \left(\frac{q}{m} \right) R$$

$$\underline{v_{max}} = B \left(\frac{q}{m} \right) \underline{R_{max}}$$

- **ציקלotron (מיצ' חלקיקים)**

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m v}{q v B} = \frac{2\pi m}{q B}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

זמן המחזור אינו תלוי ב מהירות החלקיקים, ולא ב רדיוס המסלול



ציקלotron - המשך

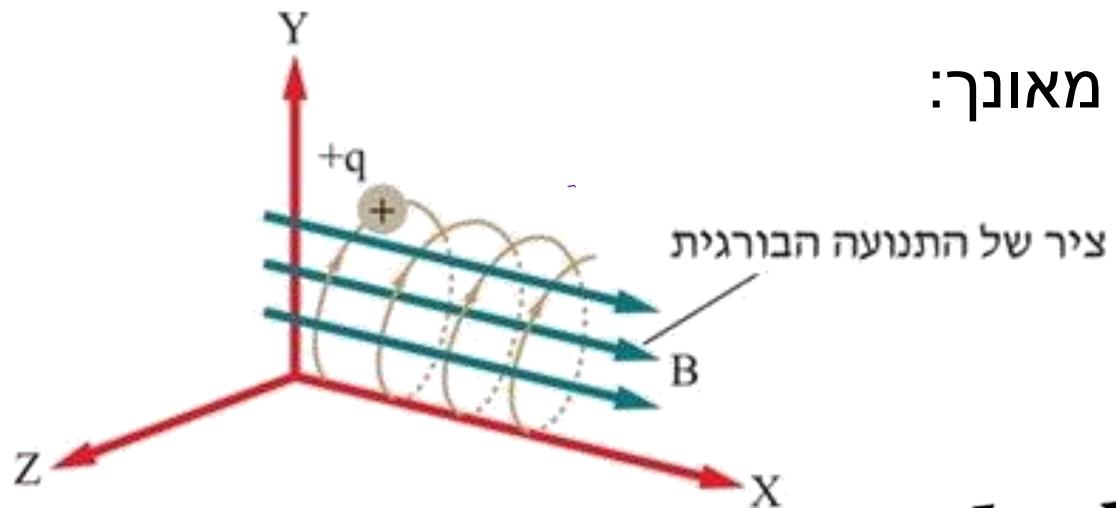
דוגמה:

אלומה של יוני דיאוטריום (איזוטופ של המימן שמספר המסה שלו 2), יצאת מציקלotron שרדיוו 40 ס"מ. עוצמת השדה המגנטי השורר בתוך הציקלotron הוא 1.5 טסלה. חשבו את:

- א. המטען הסגול של יוני הדיאוטריום (תשובה: $\frac{e}{kg} \cdot 10^7 \cdot 4.8$)
- ב. תדרות מתח החילופין היוצר את השדה החשמלי (תשובה: 11.4 מגה-הרץ)
- ג. את מהירותה שבה יוצאים החלקיקים מהציקלotron (תשובה: $\frac{m}{s} \cdot 10^7 \cdot 2.88$)
- ד. את המתח הדרוש כדי להקנות ליוני דיאוטריום את מהירותה שחוושבה בסעיף ג'.
(תשובה: $V \cdot 10^6 \cdot 8.6$)

תנועה בורגית של חלקיק טעון בשדה מגנטי אחיד

- כasher חלקיק נכנס לשדה מגנטי אחיד באופן לא מאונר:



$$v_{\parallel} \cos \theta = v_{\perp}$$

$$v_{\parallel} \sin \theta = v_{\perp}$$

v_{\parallel} ממקד את החלקיק בתנועה קזובה

v_{\perp} גורם לתנועה מעגלית בקשת שדרiosa:

$$r = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \theta}{qB}$$

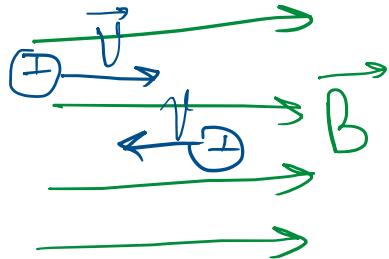
"פסיעת" התנועה הבורגית:

$$l = v_{\parallel} T = v \cos \theta \frac{2\pi m}{qB}$$

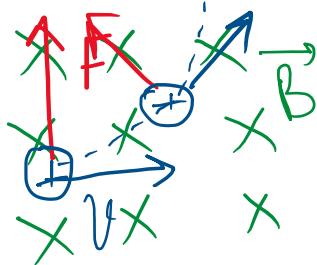
ראינו שזמן המחזור אינו תלוי ב מהירות ו ברדיוס,
והוא שווה ל- $\frac{2\pi m}{qB}$

$$F_B = qVB \sin \alpha = q \vec{V} \times \vec{B}$$

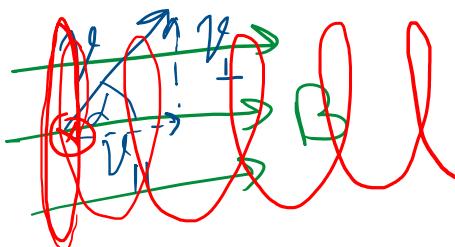
סוגי התנועה של חלקיק טעון בשדה מגנטי



- אם החלקיק נכנס במקביל לקווי השדה –
- הכוח המגנטי הפועל עליו הוא אפס, ולכן החלקיק ימשיר ב מהירות קבועה בקו ישר

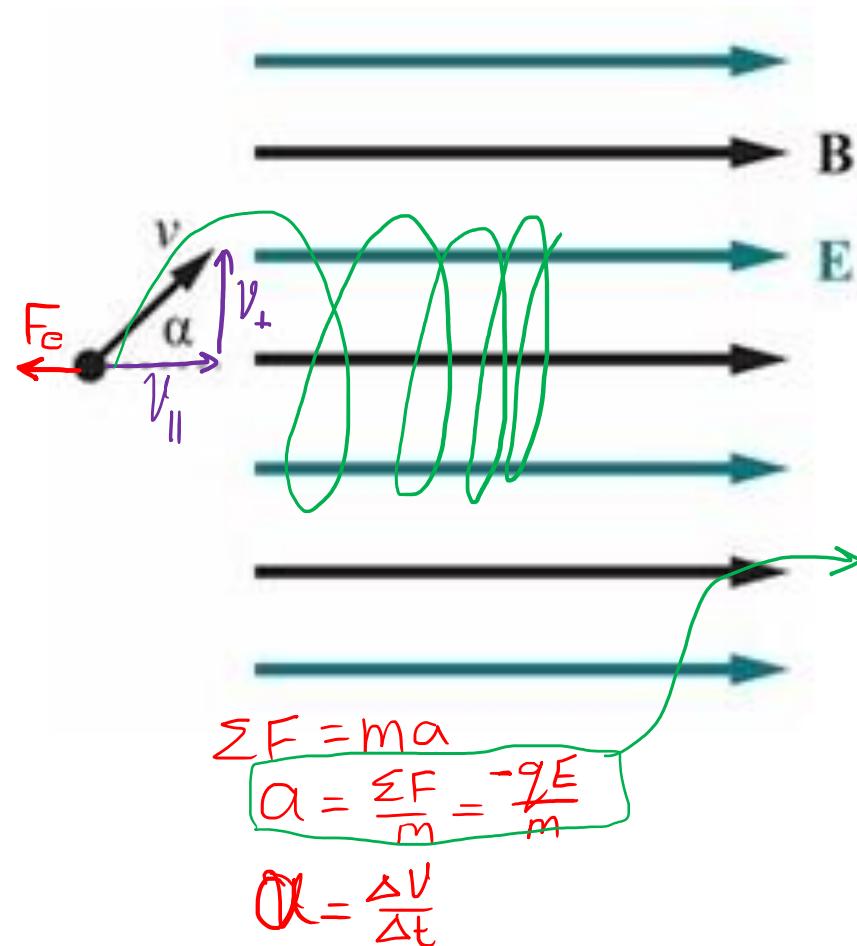


- אם החלקיק נכנס במאונך לקווי השדה –
- הכוח המגנטי הפועל על החלקיק מאונך לכיוון המהירות ולכן החלקיק ינוע בתנועה מעגלית



- אם החלקיק נכנס בזווית לקווי השדה –

תנועה בורגית - תרגול



- בתרשים מתואר אלקטרון (C) (kg , $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$) שנכנס לאזור שבו שוררים שדות אחידים: שדה חשמלי $E = 100 \left[\frac{N}{C} \right]$ ושדה מגנטי $B = 3 \text{ T}$. החקיק נכנס במהירות שגדלה $v = 6 \cdot 10^6 \left[\frac{m}{s} \right]$ וכיונה יוצר זווית $30^\circ = \alpha$ עם ציוון השדות.
- מה צורת המסלול ומה סוג התנועה של האלקטרון במקורה המקורי?
 - מהו רדיוס הסיבוב של תנועה זו?
 - מהו זמן המחזורי של תנועה זו?
 - עבור כמה זמן יעצור האלקטרון רגעית?
 - מהו המרחק שהתקדם האלקטרון עד לעצירתו הרגעית?
 - כמה סיבובים ביצע האלקטרון עד לעצירתו הרגעית?

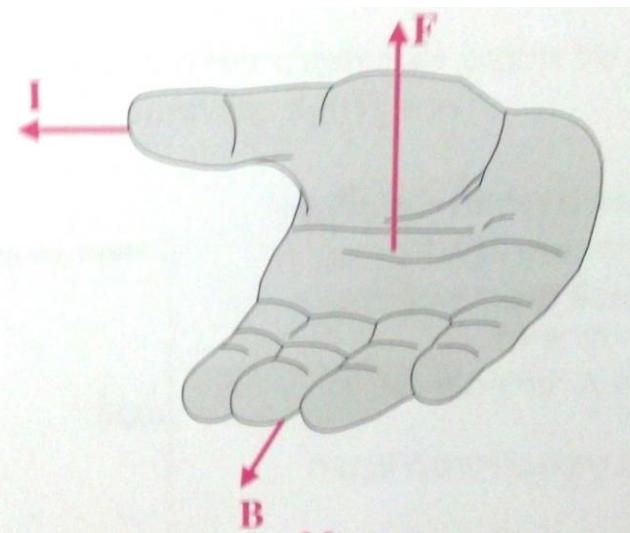
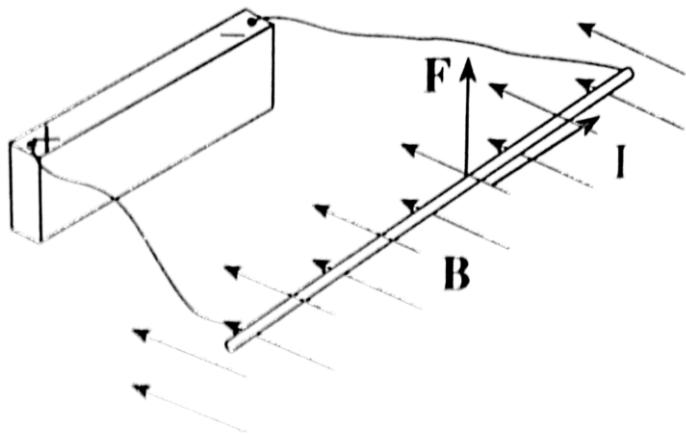
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$v_{||} = at + v_{0||} \cos \alpha$$

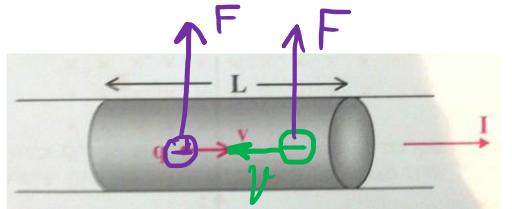
$$\Delta x = \frac{v^2 - v_{||}^2}{2a}$$

$$n = \frac{t}{T} = \frac{\alpha \cdot 2 \pi}{\omega}$$



הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי

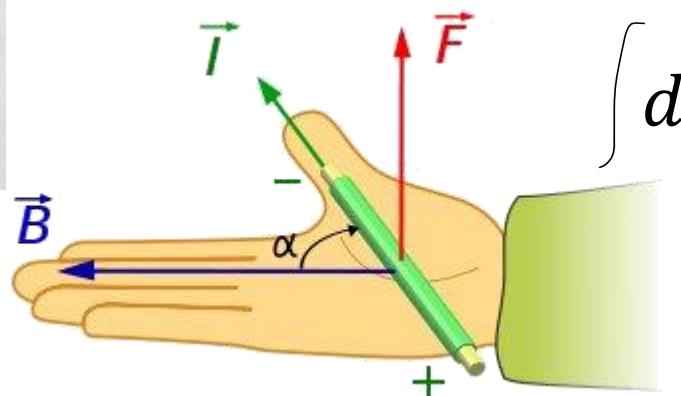
תיל מוליך הנושא זרם I , הנמצא בשדה מגנטי B לכל חלקיק:



מהירות סחיפת v_d ; מטען q .

$$F = q \boxed{v_d} \times B \quad \text{הכוח המגנטי הפועל על כל חלקיק:}$$

$$F = \cancel{I} \boxed{l} \times B \leftarrow \quad F = \cancel{q} \frac{\cancel{l}}{\Delta t} \times B \quad \leftarrow \quad \text{אם אורך התיל } l$$

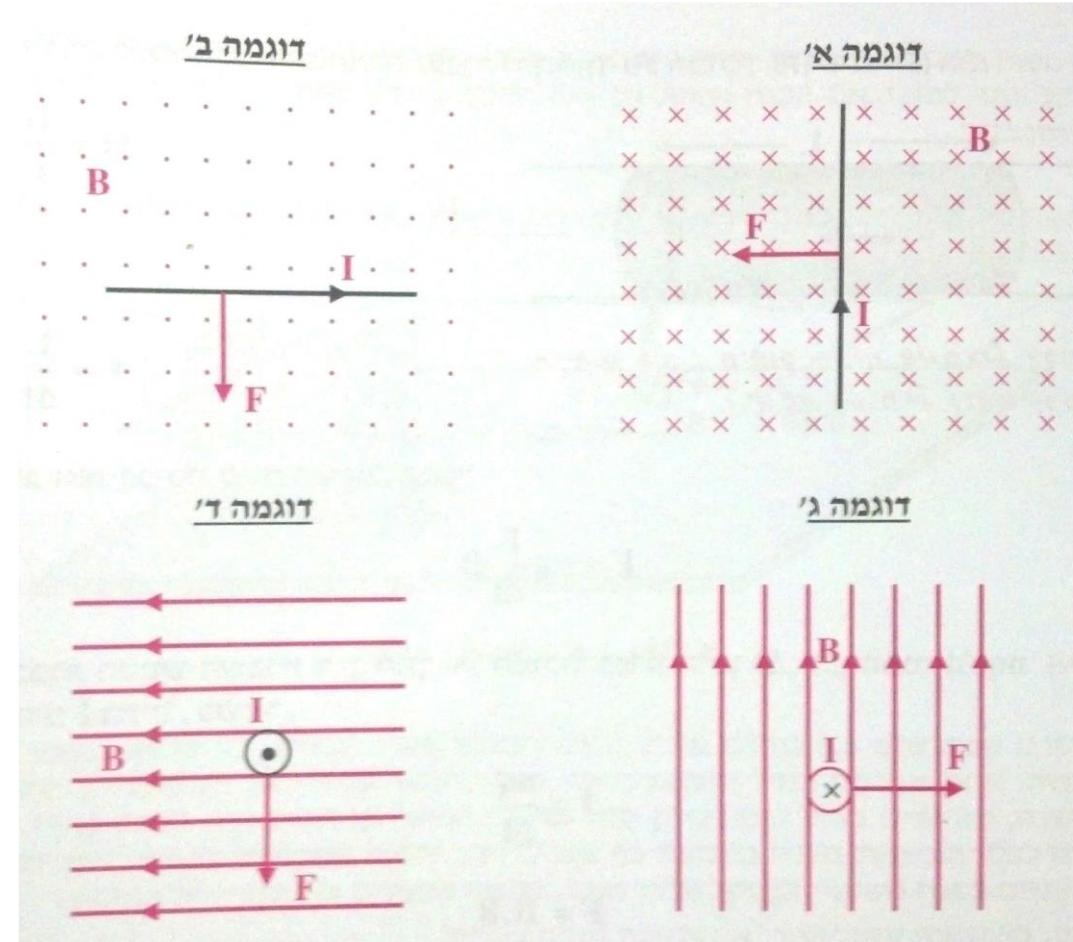


$$\int d\mathbf{F} = \int I \overrightarrow{dl} \times \overrightarrow{B}$$

$$\mathbf{F} = \int I \overrightarrow{dl} \times \overrightarrow{B}$$

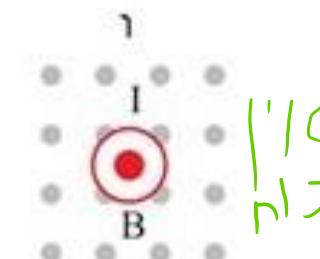
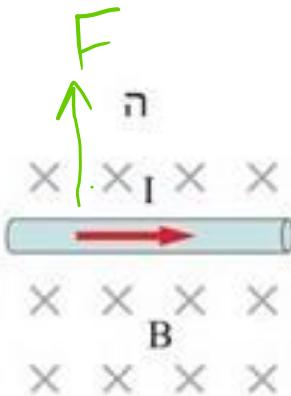
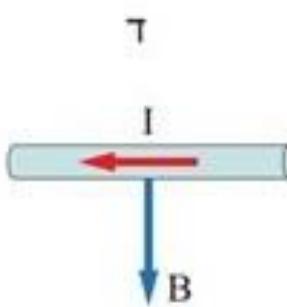
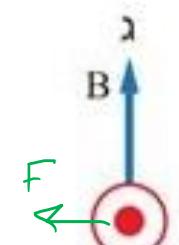
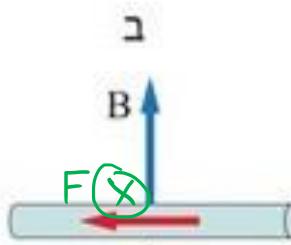
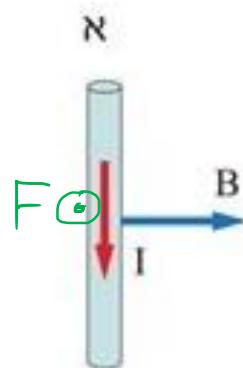
הכוח המגנטי הפועל על זרם חישומי

• דוגמאות



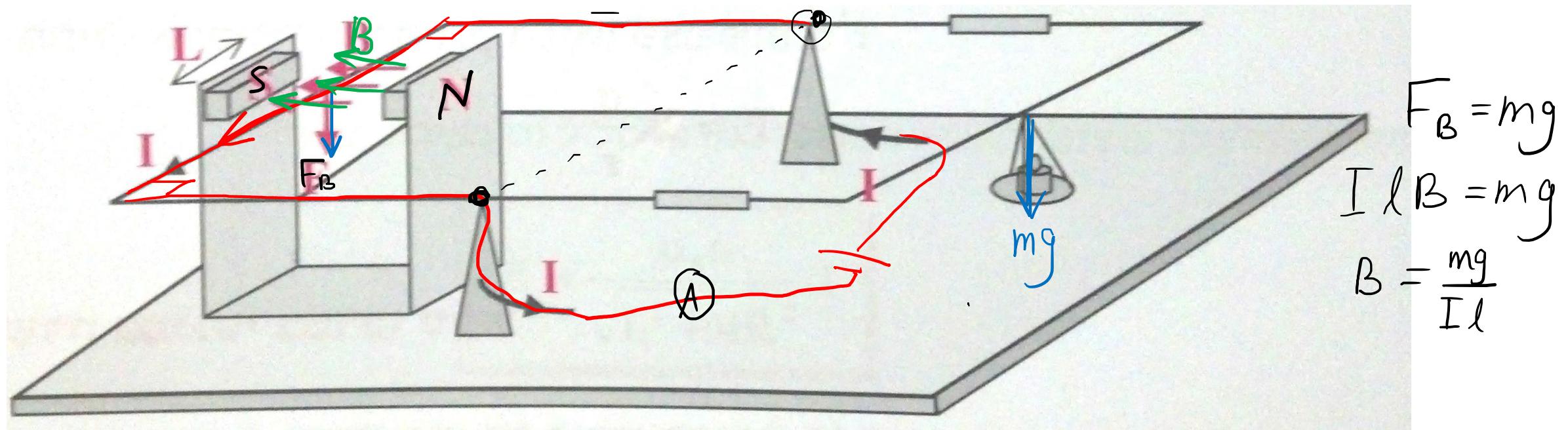
הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי - תרגול

לפניכם שישה מקרים שבהם תיל נושא זרם נמצא בשדה מגנטי אחיד. באירועים נתוניים כיווני הזרם והשדה המגנטי. מהו כיוון הכוח המגנטי שפועל על התיל בכל אחד מהמקרים?

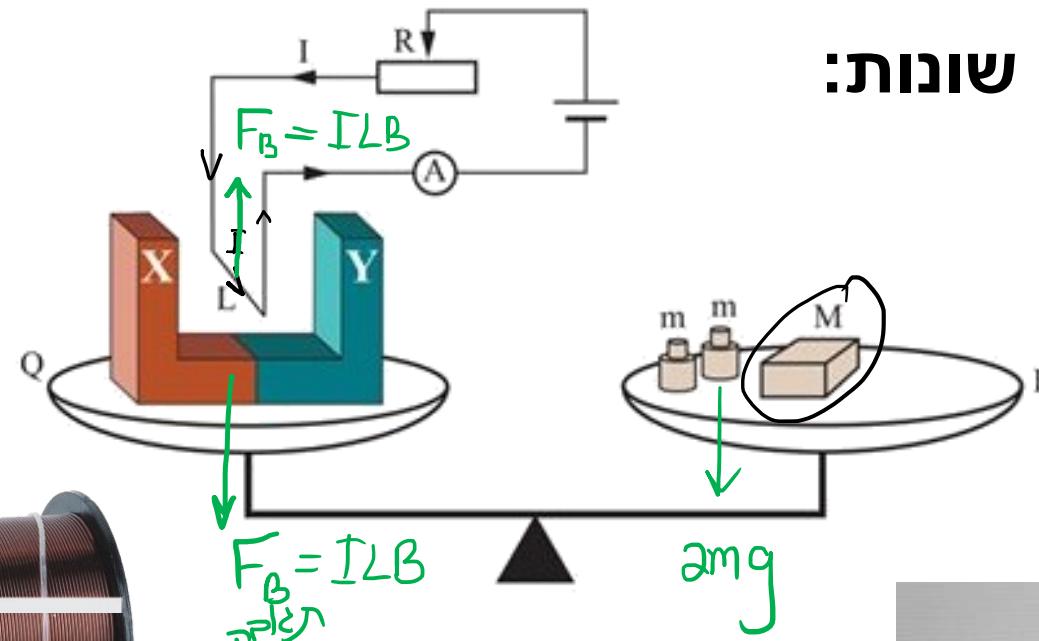
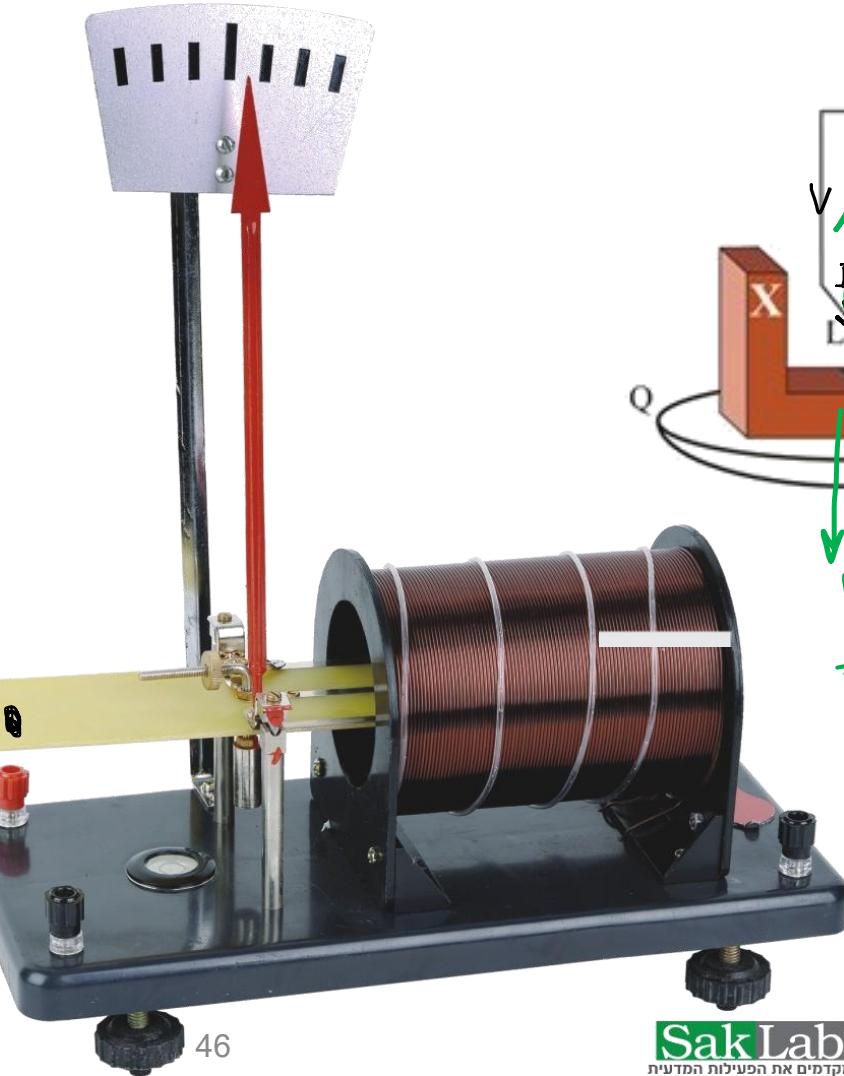


הכוח המגנטי הפועל על זרם חישמי - שימושים

1. מאזני זרם



הכוח המגנטי הפועל על זרם חישמי - שימושים

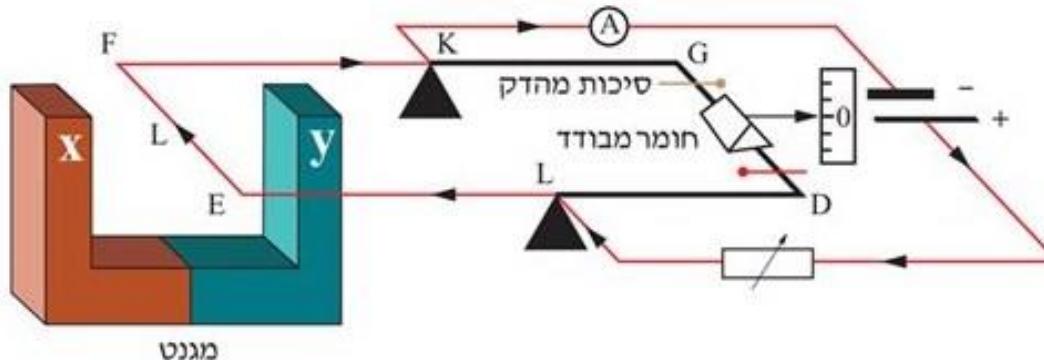


1. מאconi זרם – וריאציות שונות:



הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי - שימושים

בתרשים מוצגת מערכת מאזני זרם.



**מאזני זרם –
תרגול:**

מסגרת DEFG עשויה תיל מוליך ונתמכת בשתי נקודות, K ו-L, כך שהיא חופשיה לנوع סיבוב הציר KL. המסגרת פתוחה בקטע שבו נמצא חומר מבודד. קטע מסגרת שאורכו $[cm] = 3L$ נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד שבין קוטבי מגנט. כאשר לא עובר זרם במסגרת, היא נמצאת במצב אופקי והמחוג M מצביע על אפס. כשבחררים את מקור המתיחה, פועל על המסגרת כוח מגנטי F שהוא כפונקציה של עצמת הזרם N במסה של כל סיכה היא $[gr] = 0.01$. בטבלה שלפניכם רשום מספר הסיכות (N) המאזנות את הכוח המגנטי עבור זרמים שונים (I).

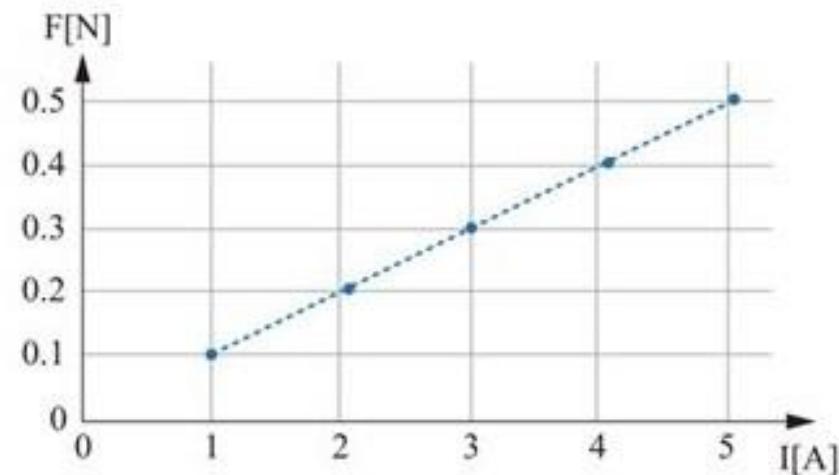
N מס' הסיכות	1	2	3	4	5
[A] עוצמת הזרם	0.95	2.05	2.95	4.05	5.05

- מהו כיוון השדה המגנטי? הסבירו.
- סרטטו גרפ המતאר את הכוח המגנטי F (bihידות ניוטון) כפונקציה של עצמת הזרם שזורם במסגרת.
- [1] חשבו את שיפוע הגרפ וציינו את היחידות של השיפוע.
- [2] חשבו את עצמת השדה המגנטי.

תשובה לשאלת מהתקופית הקודמת:

א. מ-X ל-Y (הכוח פועל על התיל כלפי מעלה, לאחר שהזרם בקטע התיל שאורכו L הוא בכיוון פנימה, ועל פי כל היד הימנית השדה יהיה בכיוון ימינה).

ב.



$$3.33[T][2] \cdot 0.1 \left[\frac{1}{A} \right][1]$$

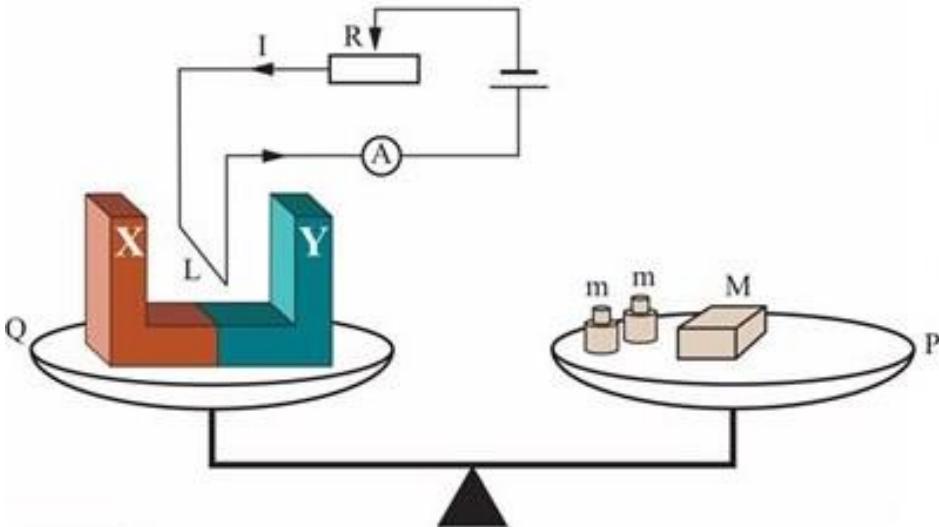
הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי - שימושים

מאזני זרם – תרגול:

בתרשים שלפניכם מתוארת מערכת מאוזני זרם. חלק התיל שארכו L הוא אופקי ונמצא בתוך שדה מגנטי אופקי B שנוצר על ידי מגנט פרסה (קוטבי המגנטי מסומנים כ- X - $-Y$). המגנטי מונח על כף אחת של המאזניים Q . על הCPF השנייה P מונחת מסה M המאזנת את המגנטי כאשר **לא** זרם זורם בתיל. כאשר זורם בתיל זרם I , כף המאזניים Q יירדת כלפי מטה וניתן להחזיר את המאזניים לאיזון על ידי הוספה משקלות זהות, שמסת כל אחת מהן m , לCPF P .

- סרטטו תרשים של הכוחות הפועלים על המגנטי במצב שבו זרם זורם בתיל והמאזניים מאוזנים.
- מהו כיוון השדה המגנטי ($m-X$ ל- $-Y$ או $m-Y$ ל- $-X$)? נמקו.

נתונים: מתח המქור $V=8$ V, התנגדות הנגד המשתנה במצב המתוארך $R=2\Omega$, $L=5$ cm, $M=0.04$ kg.

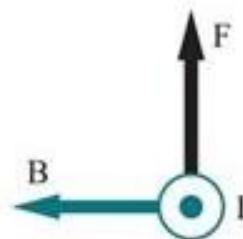


ג. חשבו את גודלו ואת כיוונו של הכוח המגנטי הפועל על התיל במצב שבו נדרש להוסיף שתי משקלות, שמסת כל אחת מהן $m=0.01$ kg, כדי לאזן את המאזניים.

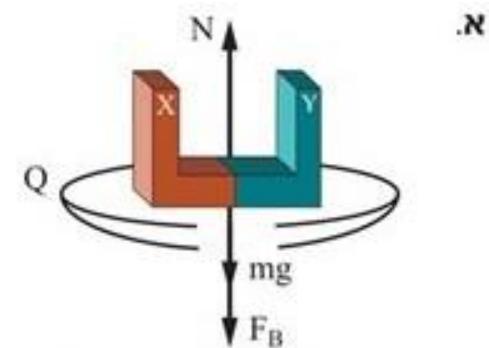
ד. חשבו את עוצמת השדה המגנטי שנוצר על ידי המגנטי עבור המצב המתוארך בסעיף ג.

ה. בזרם מסוים המאזניים יהיו מאוזנים בכדור הארץ. האם המאזניים יהיו מאוזנים באותה עוצמת זרם גם על הירח? נמקו.

תשובות לשאלת מהתקופית הקודמת:



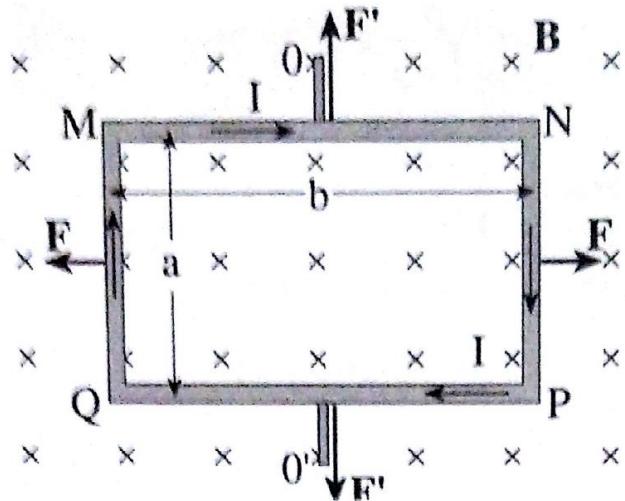
ב. מ- Z ל- X . הסבר: הכוח פועל על המגנט כלפי מטה, لكن על התיל הכוח פועל כלפי מעלה. מאחר שהזרם בתיל הוא בכיוון פנימה, על פי כלל היד اليمنית השדה יהיה בכיוון שמאלה.



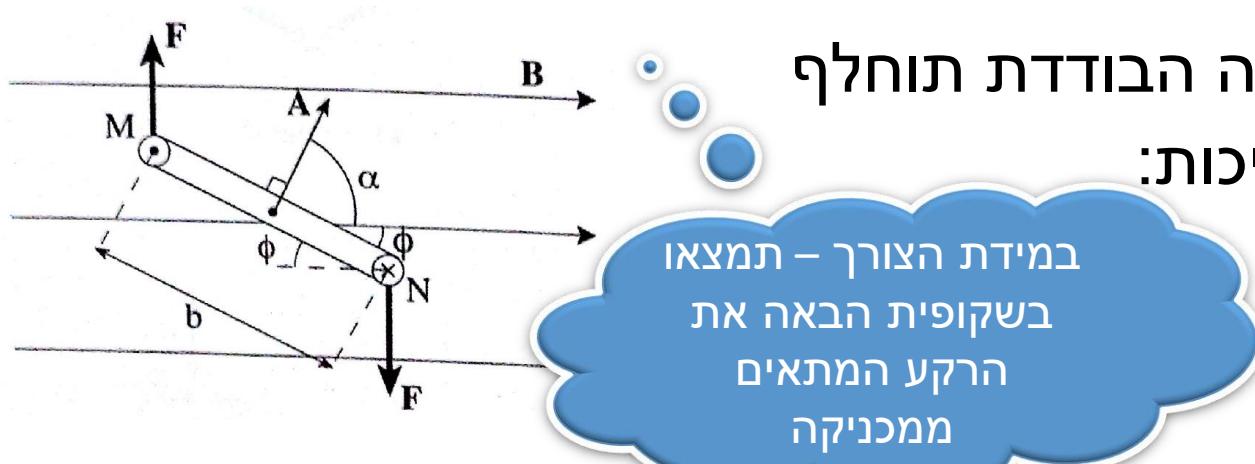
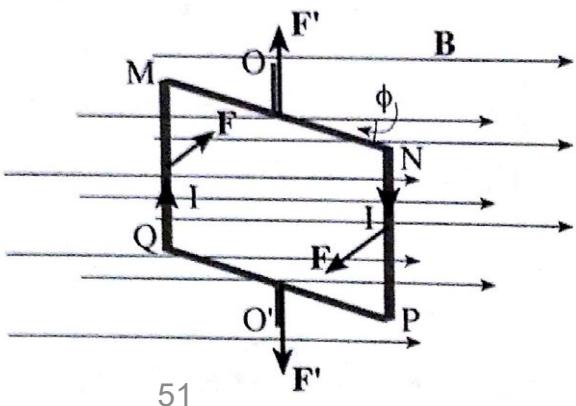
ג. $[N=0.2F]$ כלפי מעלה. ד. $[T=I=B]$ ה. המאזניים יישארו מאוזנים.

כוחות מגנטיים ומומנטים סיבובי על לולאה נושאת זרם

בשדה מגנטי



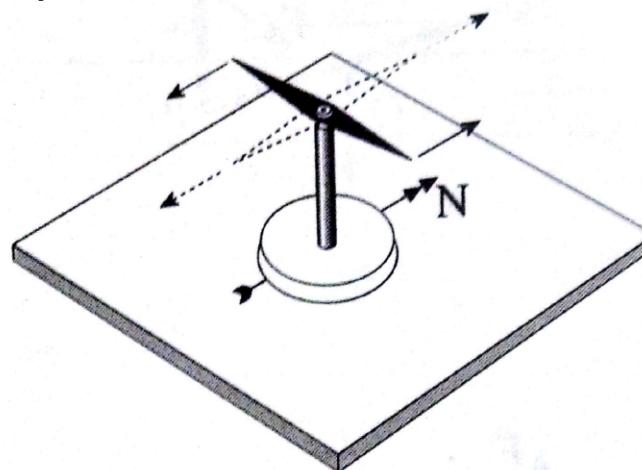
- כאשר מישור הלולאה ניצב לשדה $F = IBa$; $F' = IBb$ ← הSKUOL אפס
 - כאשר מישור הלולאה יוצר זווית φ עם השדה המגנטי $F = IBb \sin \phi$; $F' = IBa \sin \phi$
- הכוח שקול עדין אף, אך קיימ מומנט סיבובי:
 $\tau = Fb \cos \Phi = IBab \cos \Phi$
- $\tau = IBA \sin \Phi$**



$$\alpha \sin \phi = NIBA$$

צמד כוחות ומומנט סיבוב (רקע ממכניקה)

דוגמא: צמד כוחות על מחט מצפן



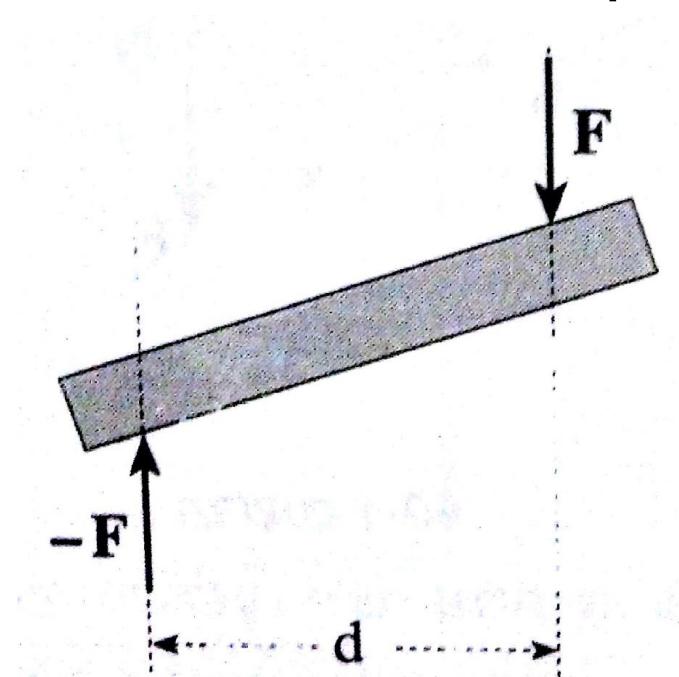
$$\tau_1 = r_1 F_1 \sin 90$$

$$\tau_2 = r_2 F_2 \sin 90$$

$$\sum \tau = r_1 F_1 + r_2 F_2 = F(r_1 + r_2)$$

$$\sum \tau = Fd$$

שני כוחות בעוצמה זהה ובכוון מנוגד,
אשר קווים פעולה מקבילים ואינם מתלכדים –
נקראים "צמד כוחות"



הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי - שימושים

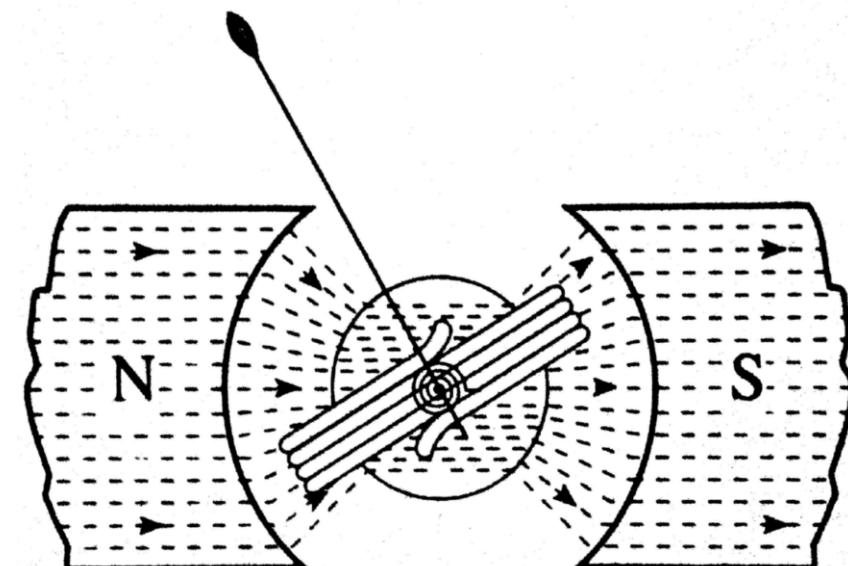
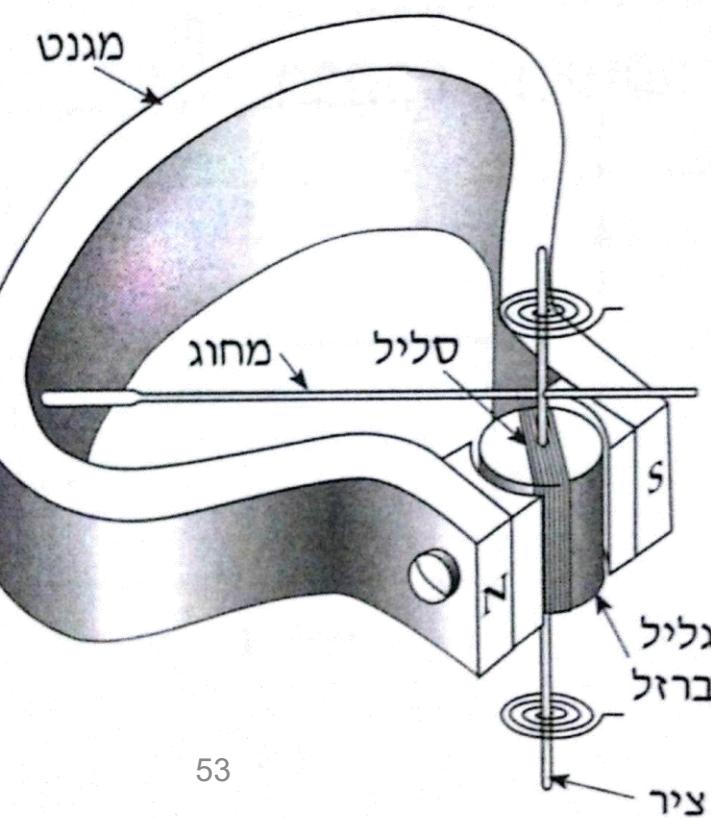
2. מכשירי מדידה חשמליים עם סליל מסתובב

$$\tau = C\alpha$$

מומנט הכוח המחזיר של הקפיצים הספירליים פרופורציוני לזרות הסיבוב α של הסליל:

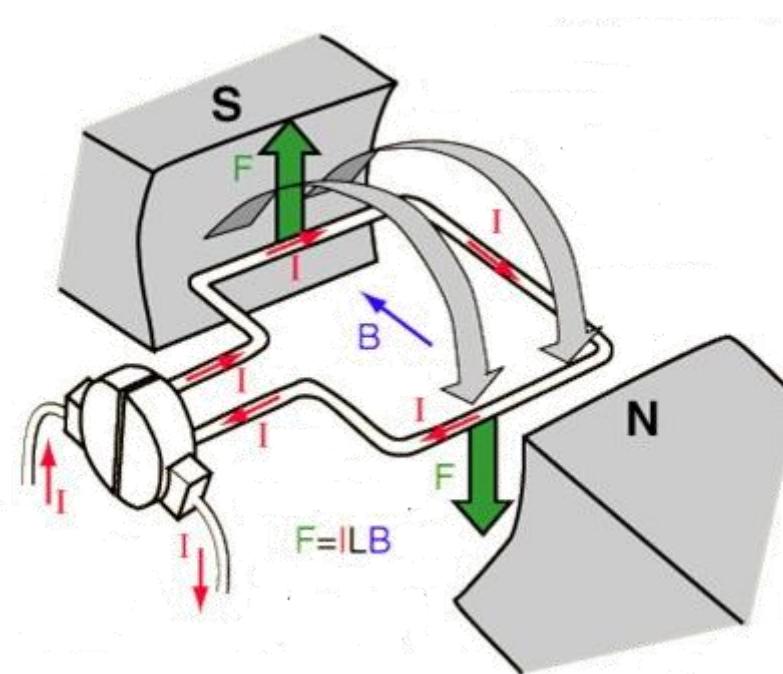
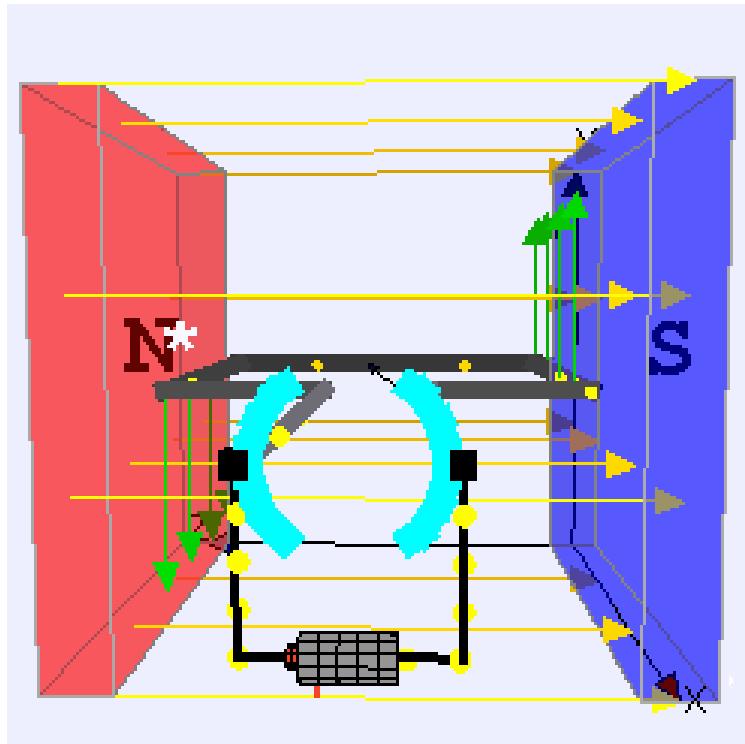
$$NBAI = C\alpha$$

זרות סטיית המחוג פרופורציונית לזרם: $I = \frac{NBA}{C} I$



הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי - שימושים

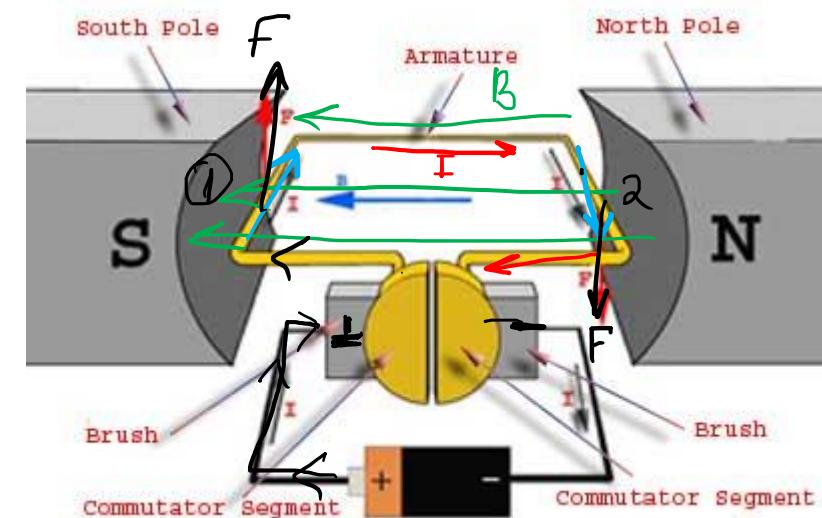
על מנת ליצור סיבוב בכיוון אחיד, יש להחליף את כוון הזרם לסירוגין. החלפה זו מבוצעת על ידי הקומוטטור



3. מנוע חשמלי פשוט

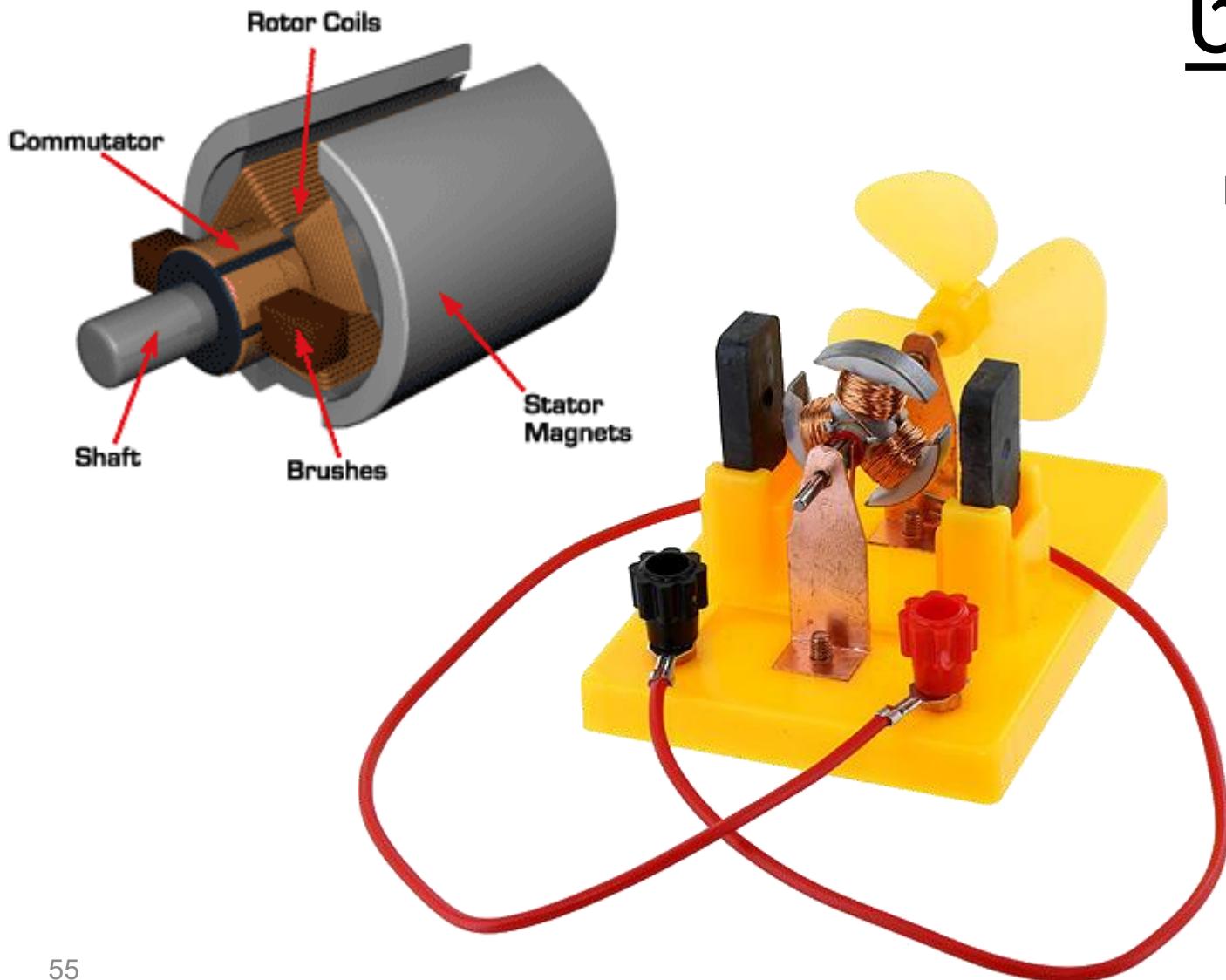
בלולאה נושאת זרם, הקבועה על ציר ונמצאת בשדה מגנטי –

קיים מומנט היוצר סיבוב

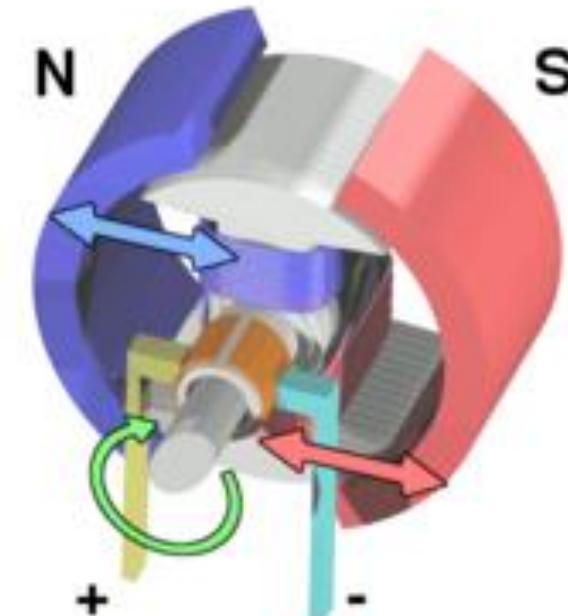


הכוח המגנטי הפועל על זרם חשמלי - שימושים

3. מנוע חשמלי פשוט



כדי לחזק את התופעה, משתמשים בסליל ולא רק בלולאה אחת. ולפעמים אף במספר סלים



עוצמת השדה המגנטי הנוצר על-ידי זרם חשמלי

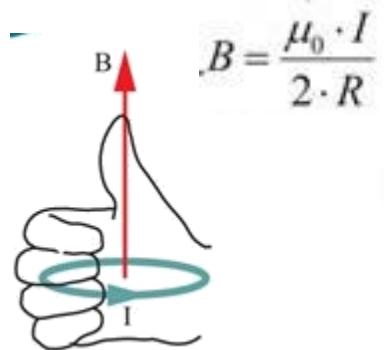
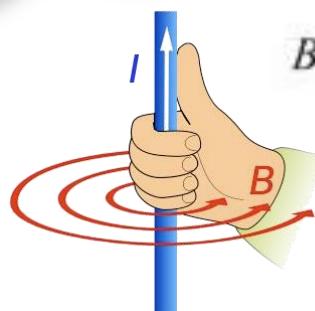
את הנוסחאות האלו
נוכיח בהרצאה
הבא בע"ה,
אך אתן כבר יכולות
להשתמש בהן על
מנת לפטור
תרגילים.

התלות היליניארית של עוצמת השדה במרחק מהtile קשורה בקבוע שנקרא **"מקדם הפרטראבילית"** (permeability - חלחלות) של הריק" (נקרא לעיתים גם "חדרות"):

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{V \cdot s}{A \cdot m} \right]$$

עוצמת השדה המגנטי סביב תיל ישר ארוך מאוד שנושא זרם, נמצאת ביחס ישיר לעוצמת הזרם החשמלי שזורם בתיל וביחס הפוך למרחק מהtile, ומחושבת על ידי הביטוי:

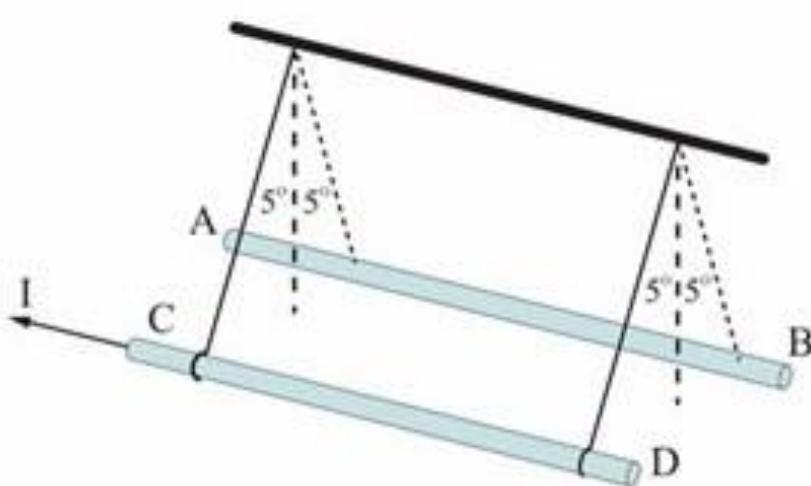
$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I}{r}$$



עוצמת השדה המגנטי במרכז טבעת נשאת זרם:

ומה הכוון של השדה המגנטי
שיצור הזרם?
- לפיה כל יד ימין הראשו!

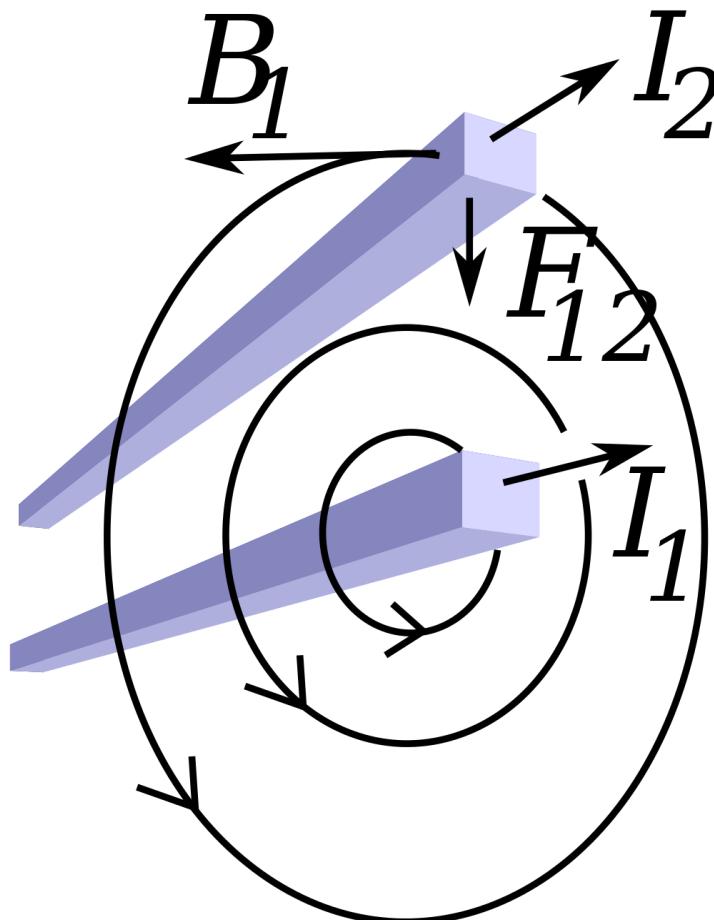
תרגול



שני תילים ארוכים מאוד AB ו- CD תלויים כל אחד בעזרת שני חוטים קלים, שאורך כל אחד מהם $[m]=0.5=p$. דרך כל אחד מהתילים זורם זרם שעוצמתו I . כאשר כיוון הזרם בתיל CD הוא מימין לשמאל, מתרחקים שני התילים ומגיעים למצב שווי משקל, שבו כל אחד מהחוטים נפרש בזווית $5^\circ=a$ ביחס לאנך. נתון שמסת כל אחד מהתילים היא $[gr]=10=m$ ואורך כל אחד מהם $[m]=1=L$.

- מהו כיוון השדה המגנטי שיוצר התיל CD באזורי שבו נמצא התיל AB ? נמקו.
- מהו כיוון הזרם בתיל AB ? הסבירו.
- סרטטו תרשימים של הכוחות הפועלים על המוט AB . רשמו את המשוואות במצב שווי משקל, וחשבו את עוצמת הזרם I .
- אם יתכן מצב שבו הזווית בין שני החוטים תהיה 180° מעלות? נמקו.
- מה יקרה לזרoit הפרישה של כל תיל ביחס לאנך (אם היא תגדל, תקטן או לא תשתנה) אם יתווסף שדה מגנטי: [1] בכיוון מטה? [2] בכיוון התילים ($m-C$ ל- D)?

כוחות מגנטיים בין זרמיים מקבילים – הגדרת האמפר



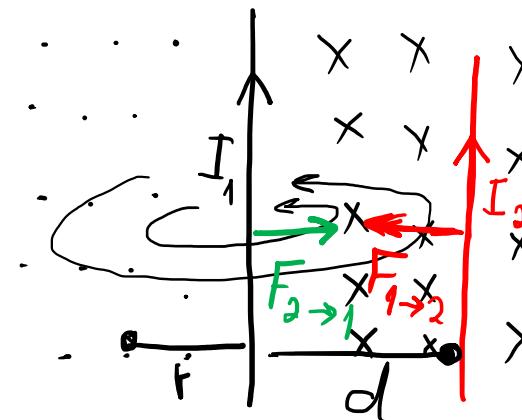
$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1}{d} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

$$F_2 = I_2 L B_1 = I_2 L \left(\frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \right)$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2 I_1}{d}$$

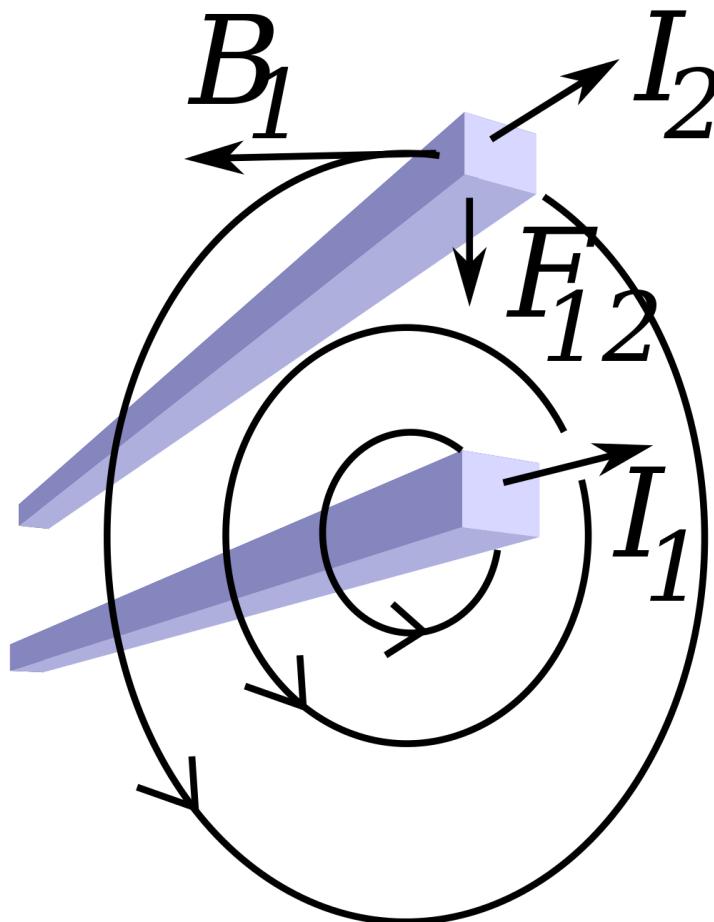
$$\frac{d2\pi F}{\mu_0 L} = I_2 I_1$$

הדגמה כוח בין תיילים
מושאי זרם – מרגע 3:33



זרמים בכוונים זהים נמשכים זה לזה
 זרים בכוונים מנוגדים נדחיכים זה מזה

כוחות מגנטיים בין זרמים מקבילים – הגדרת האמפר



$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1}{d} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{d}$$

$$F_2 = I_2 L B_1 = I_2 L \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{d}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2 I_1}{d}$$

$$\frac{d2\pi F}{\mu_0 L} = I_2 I_1$$

הדגמה כוח בין תיילים
מושאי זרם – מرجع 3:33

- הגדרת היחידה "אמפר":

אמפר אחד הוא עוצמת זרם בכל אחד משני תיילים מקבילים אינסופיים דקים מאד, הננתונים בരיק במרחק מטר אחד זה מהה, כשביןיהם כוח הדדי שעוצמתו $7 \cdot 10^{-2}$ ניוטון לכל מטר של תיל.

$$I = \frac{A}{S} \Rightarrow C = \frac{[A]}{[S]}$$

זרמים בכוונים זהים נמשכים זה זה
זרמים בכוונים מנוגדים נדחים זה זה