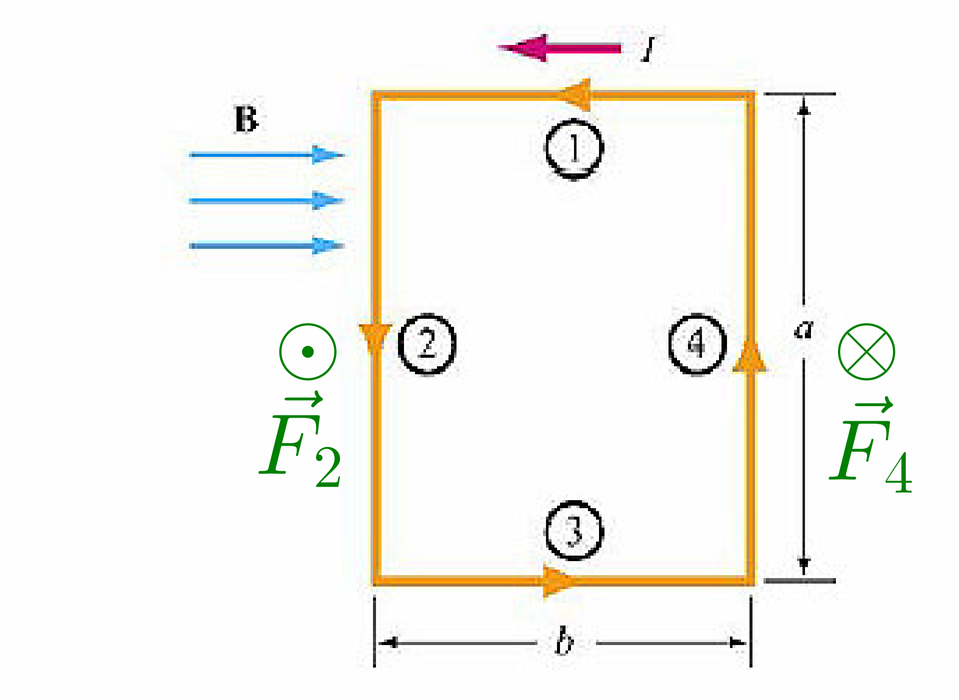
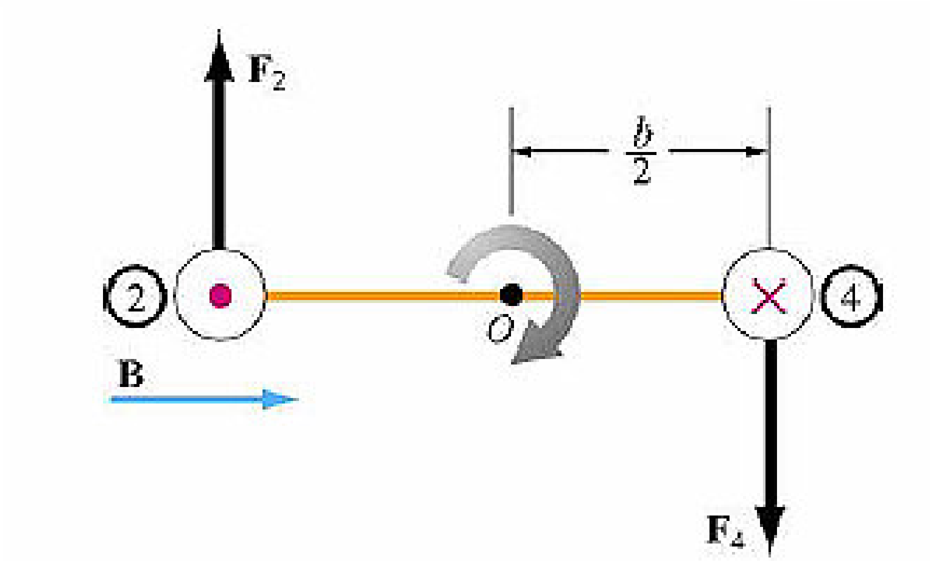
דוגמא: הכוח על לולאת זרם בתוך שדה מגנטי אחיד



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

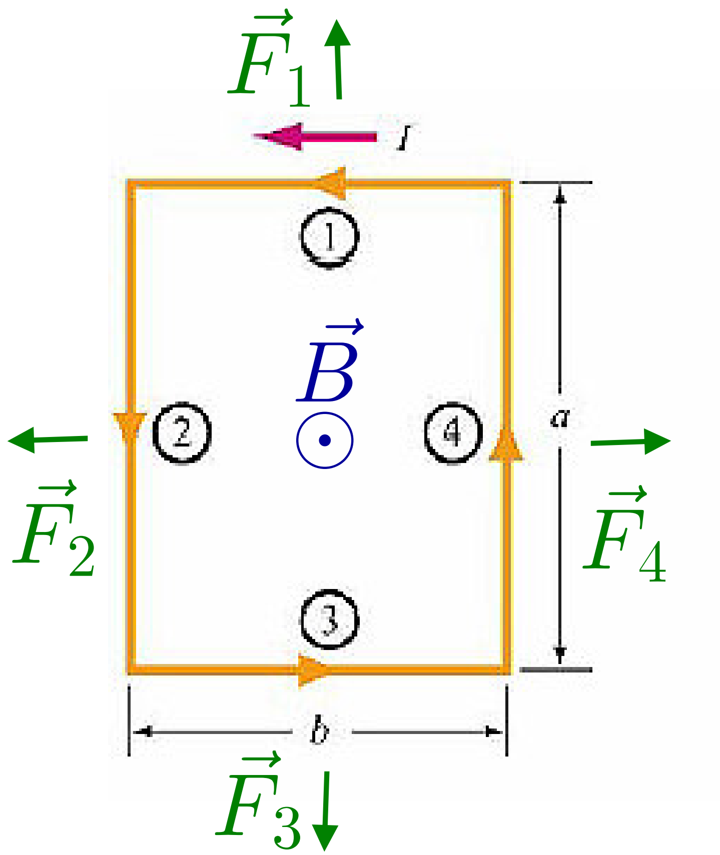
$$\vec{F}_1 = \vec{F}_3 = 0$$

בצדדים האחרים, כיווני הכוחות מסומנים בציור. מכיוון שהזרם בלולאה אחיד, $\vec{F}_2 = -\vec{F}_4$



ולכן, בסה"כ אין כוח, אבל יש נטייה לגרום לסיבוב של הלולאה. מבט שונה על אותו מצב, מלמטה כלפי מעלה:

דוגמא נוספת: אותה לולאה אך עם שדה ניצב



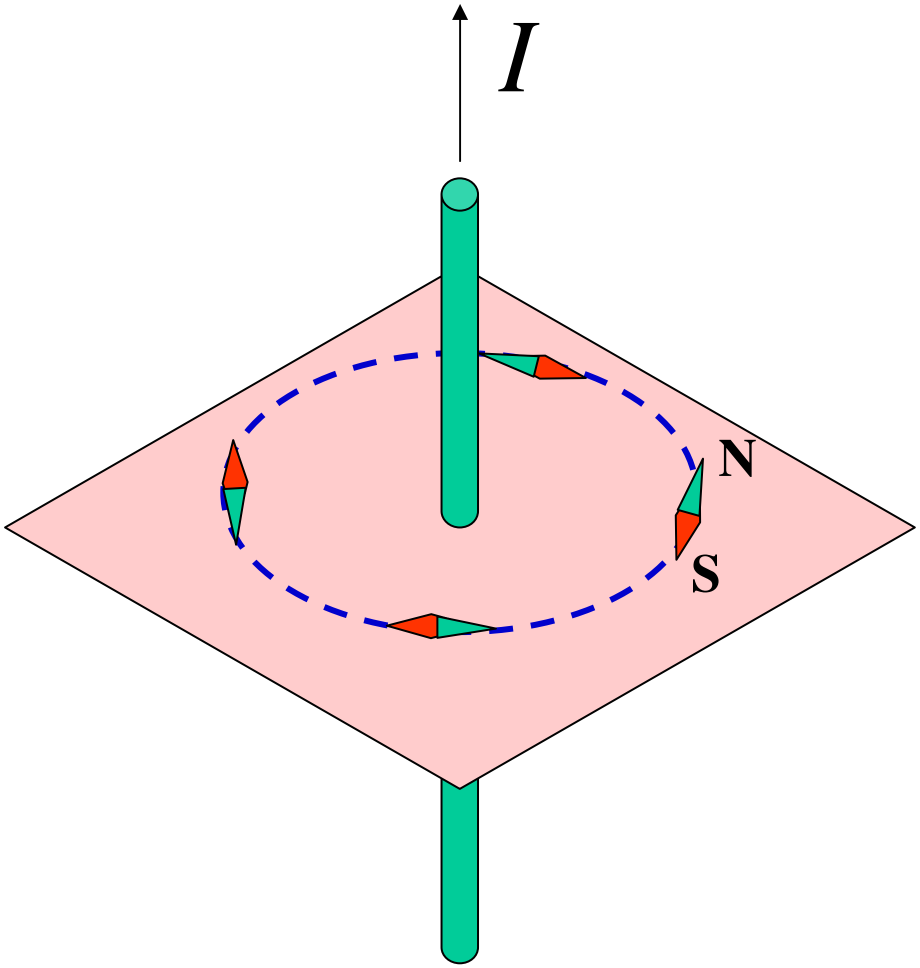
הלולאה מהשקף הקודם תסתובב ב-90 מעלות ואז תעצור. הסיבה: השדה יהיה אז ניצב ללולאה. בואו נסתכל על מצב כזה, במישור של הלולאה.

לפי כיווני הכוחות המסומנים בציור, בסה"כ אין כוח, וגם אין נטייה לסיבוב. הכוחות רק מנסים למתוח את הלולאה.

מקורות השדה המגנטי

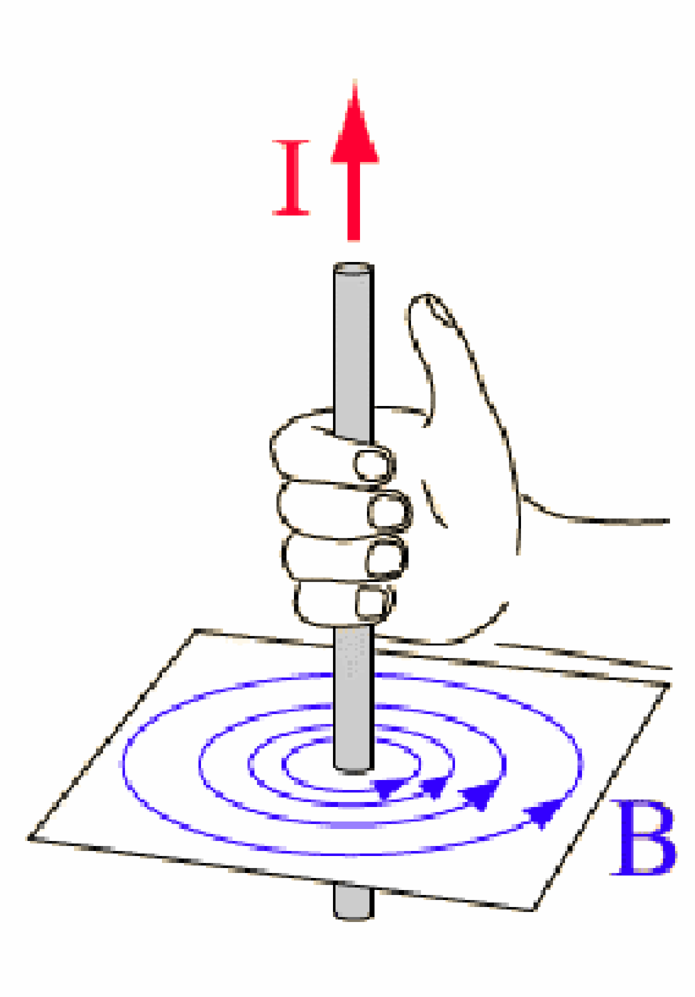
- מטען נע מחולל שדה מגנטי במרחב.
- במקרה של תיל נושא זרם השדה במרחב הוא סכום השדות של כל המטענים הנעים בתיל.
- נדון ישירות בשדה של תיל נושא זרם. (ניסוי Oersted)

השדה של תיל נושא זרם – ניסוי ארסטד



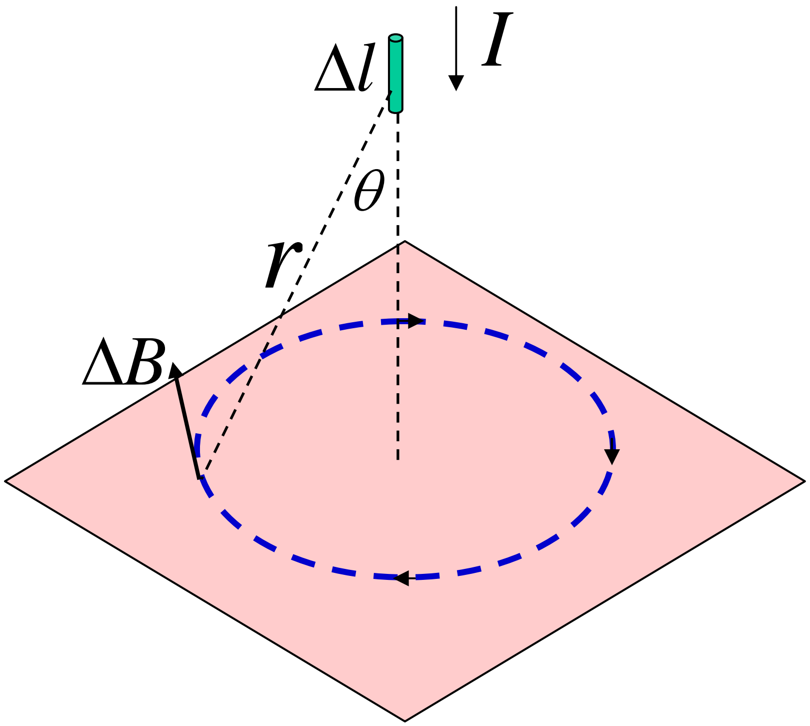
קודם נדבר על הכיוון, אח"כ על גודל השדה. דרך קלה לזכור את כיוון השדה נקראת: כלל היד (הימנית) החובקת. כלל זה תקף לתיל ארוך ישר כמצויר, אך גם לאלמנט זרם קצר. במקרה של אלמנט, מדמיינים תיל ארוך בכיוון של אלמנט הזרם (דוגמאות נוספות בהמשך).

השדה של תיל נושא זרם – ניסוי ארסטד



<u>כלל היד (הימנית) החובקת:</u>
שמים את יד ימין עם האגודל בכיוון הזרם. האצבעות אז נותנות את כיוונם של קווי השדה, שהם מעגלים הסובבים את התיל.

השדה המגנטי של אלמנט זרם



חוק ביוט-סבארט (Biot-Savart)

$$\Delta\vec{B} = k' I \frac{\Delta\vec{l}\times\hat{r}}{r^2}$$

כאשר הכיוון של $\Delta\vec{l}$ מוגדר בכיוון הזרם, ו- $\hat{r}=\frac{\vec{r}}{r}$ הוא ווקטור יחידה, בכיוון מאלמנט הזרם אל הנקודה שבה אנו רוצים למצוא את השדה.

הגודל:

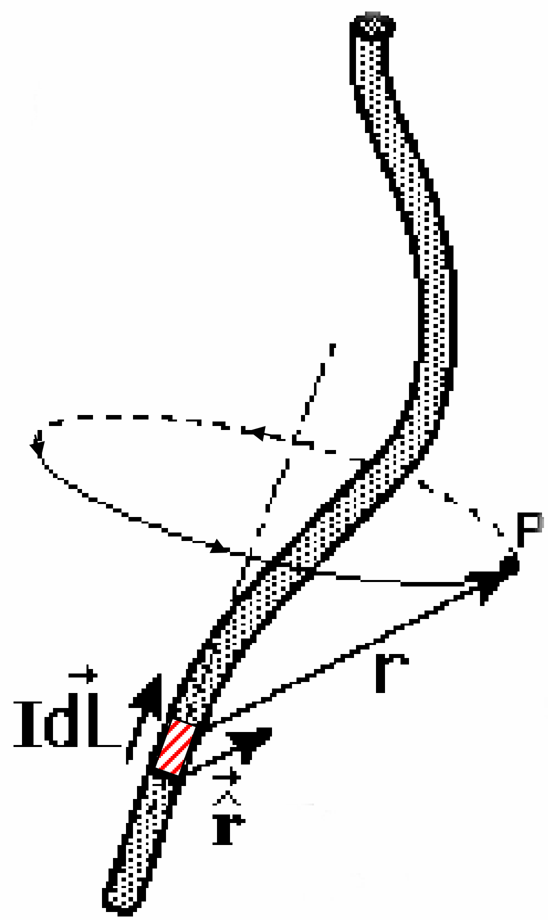
$$\Delta B = k'\frac{I\Delta l\sin\theta}{r^2}$$

את כיוון השדה אפשר פשוט למצוא מכלל היד החובקת.

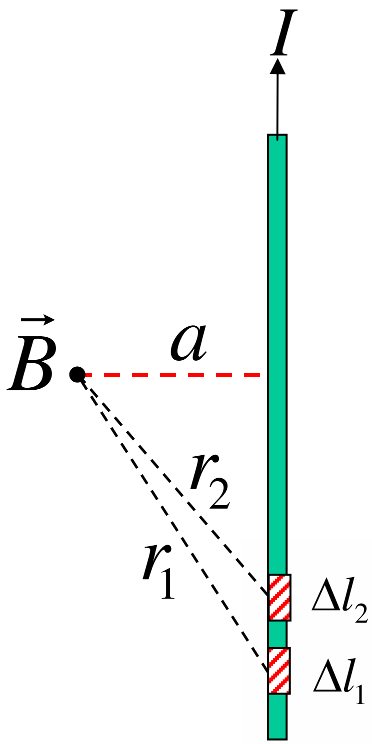
הקבוע בחוק זה, ביחידות SI:

$$k' = 10^{-7}\ \mathrm{T\cdot m/A}$$

עבור תיל נושא זרם, השדה בכל נקודה הוא סכום השדות של כל האלמנטים.



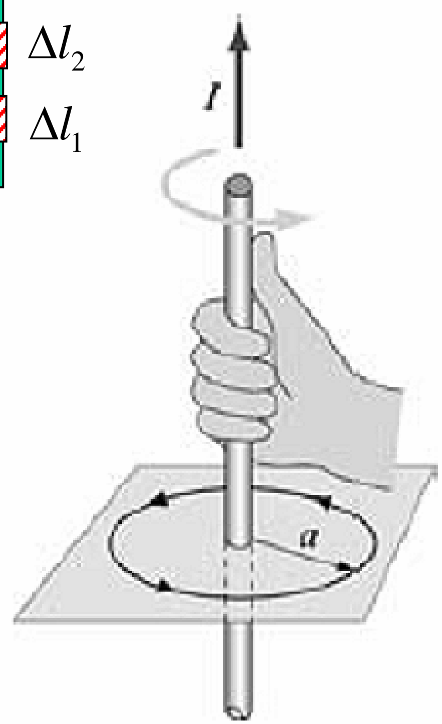
השדה של תיל אינסופי

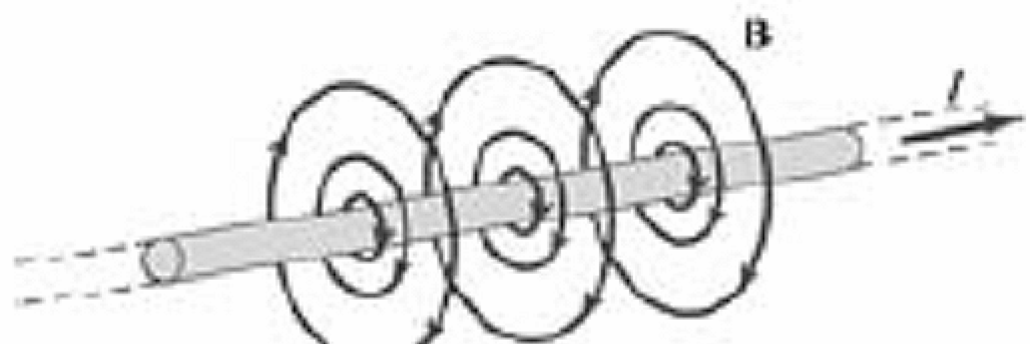


מחלקים את התיל לאלמנטים כמצויר משמאל.
לכולם, השדה באותו כיוון (יוצא מהדף, בציור זה).
לכן הסכום הוא רגיל (לא ווקטורי):

$$B = k' I \sum_i \frac{\Delta l_i \sin\theta_i}{r_i^2} = \boxed{2k' \frac{I}{a}}$$

נדלג על האינטגרל





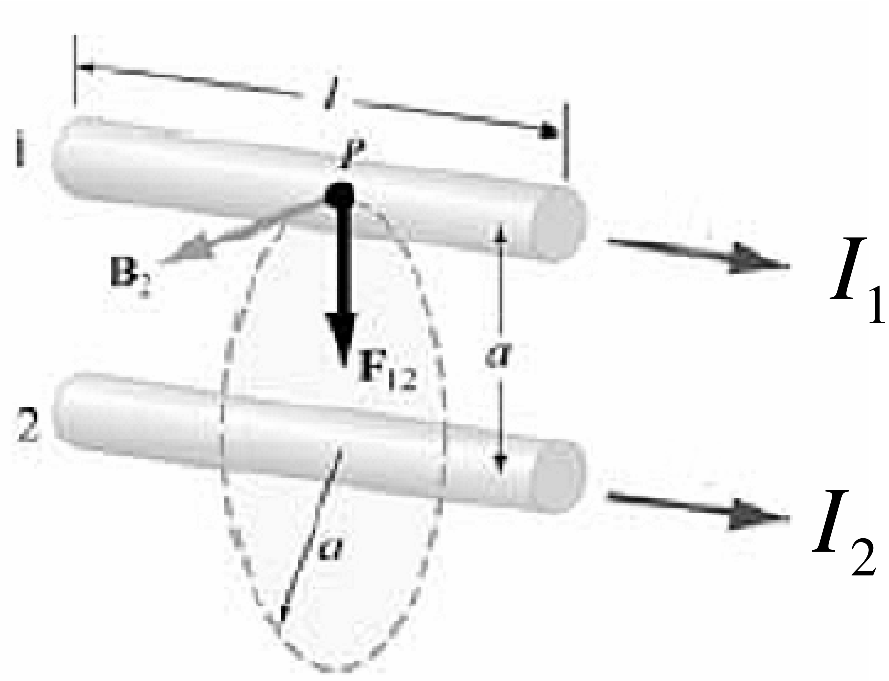
יישום: הכוח בין שני מוליכים מקבילים

השדה של מוליך 2: $B_2 = 2k'\frac{I_2}{a}$

הכוח על מוליך 1: $F_{12} = I_1 l B_2$

$$\Downarrow$$

$$F_{12} = 2k'\frac{I_1 I_2 l}{a}$$



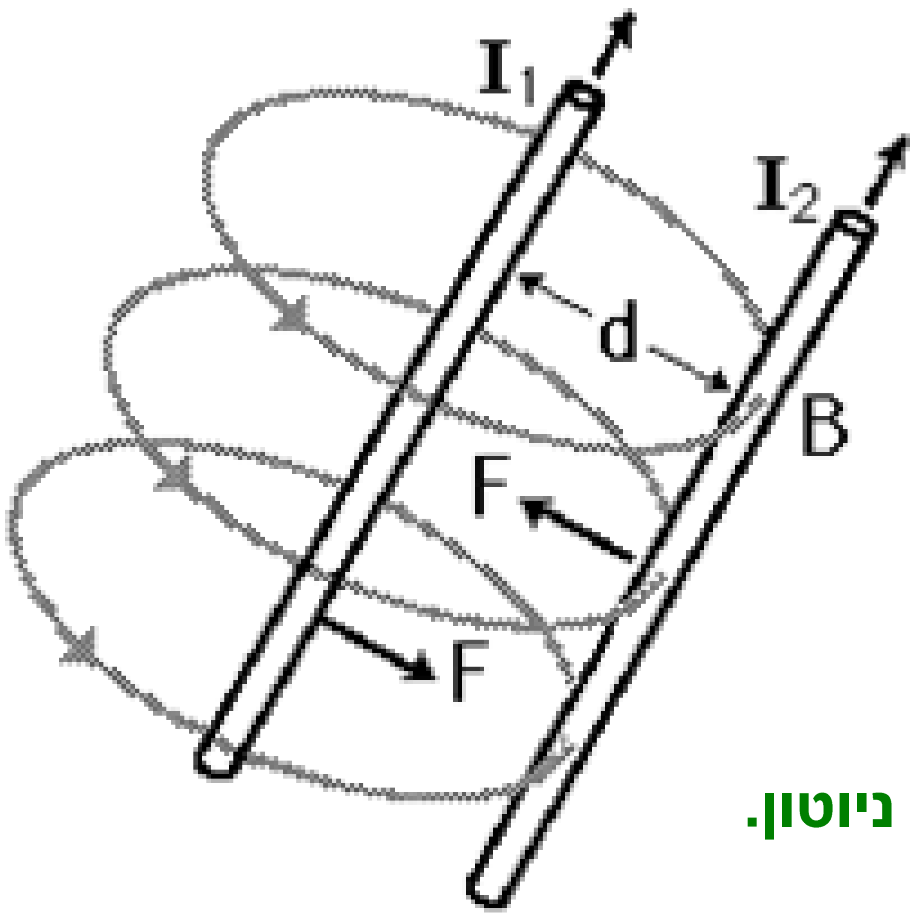
I_1

I_2

באופן דומה, תיל 1 יוצר שדה שמפעיל כוח על תיל 2.

<u>הכיוונים:</u> כוחות משיכה אם הזרמים מקבילים, דחייה אם כיווני הזרמים הפוכים זה לזה.

יישום: הכוח בין שני מוליכים מקבילים



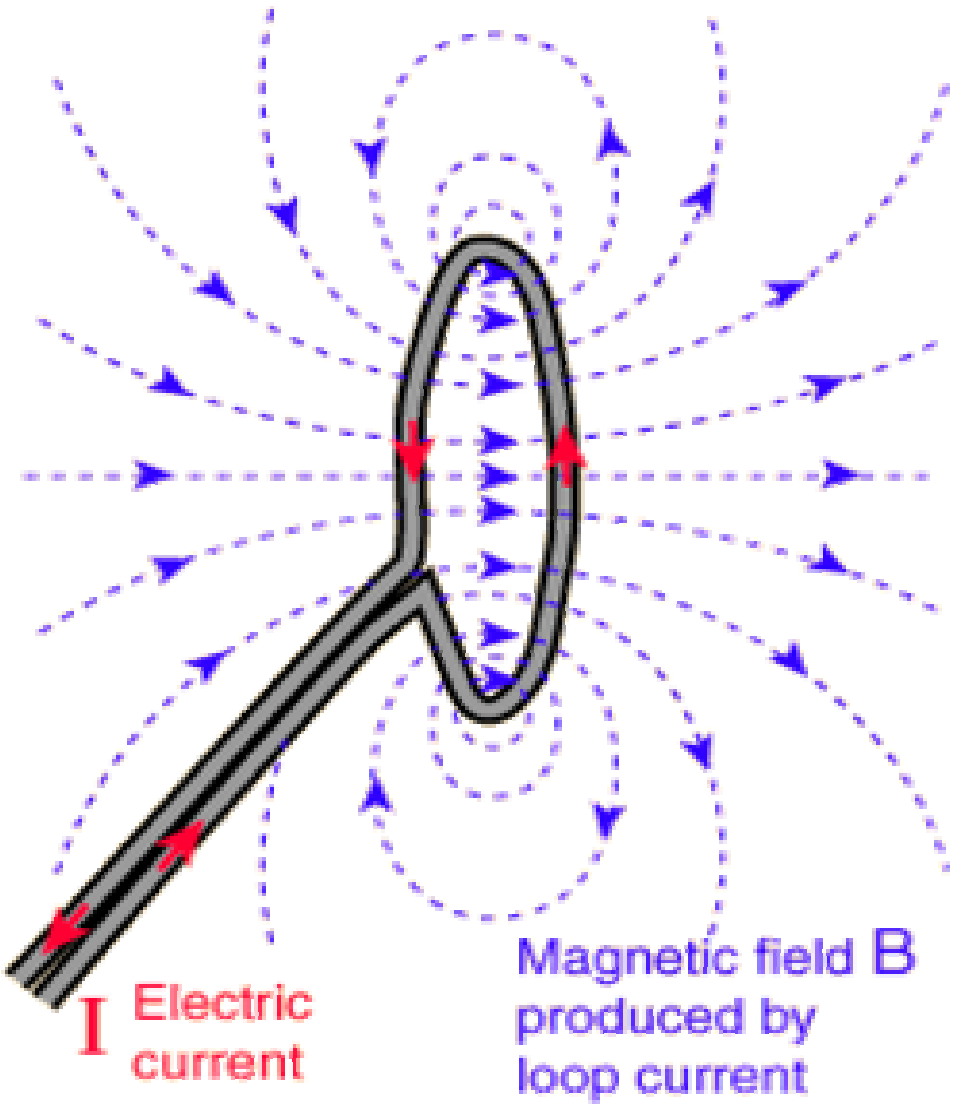
$$F_{12} = 2k' \frac{I_1 I_2 l}{a}$$

הגדלים של הכוחות על תיל 1 ותיל 2 הם שווים, אך הכיוונים הפוכים:

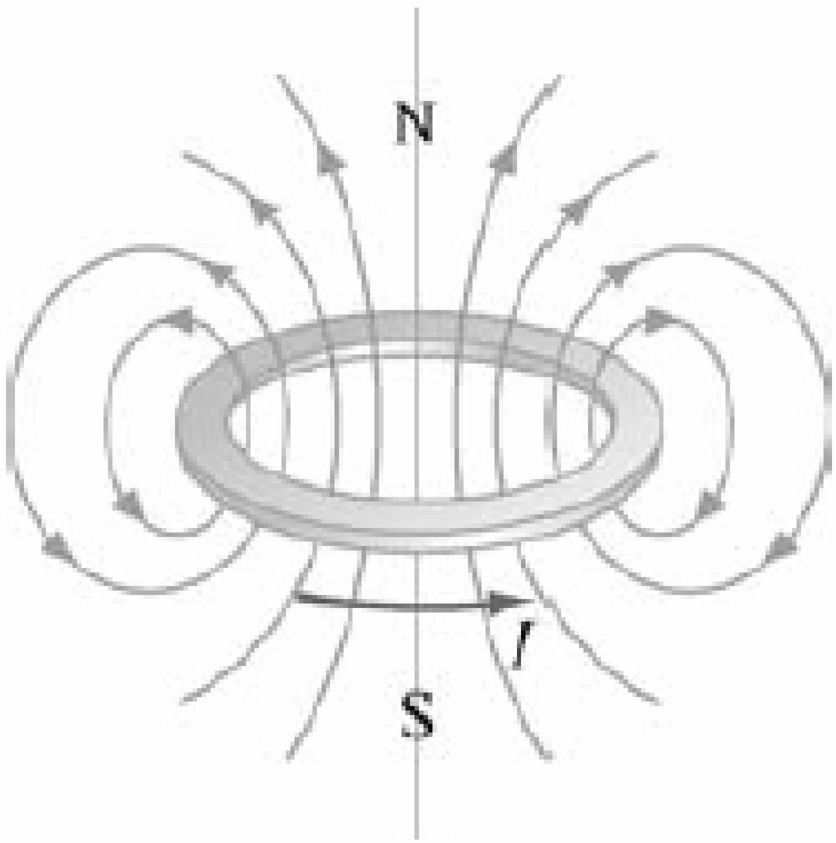
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

זוהי דוגמא לחוק השלישי של ניוטון.

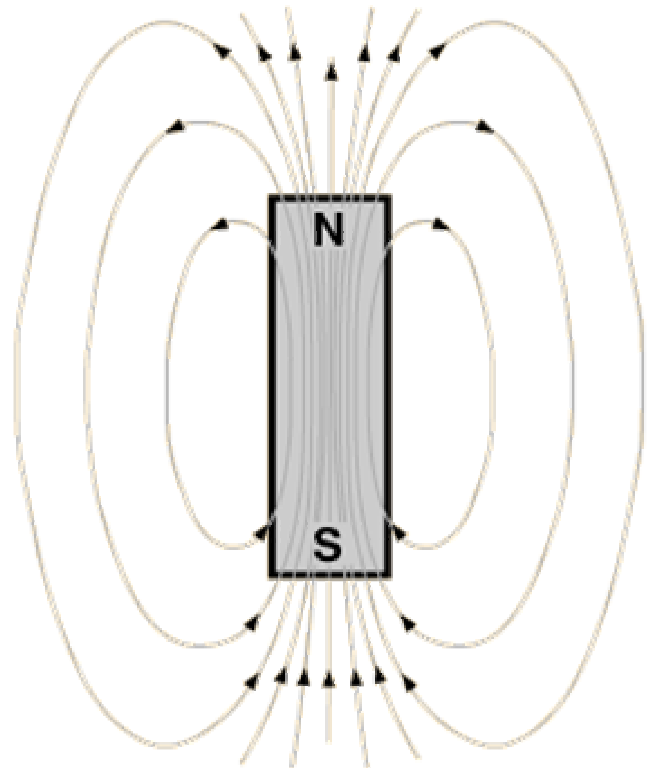
השדה של לולאת זרם



השדה של לולאת זרם



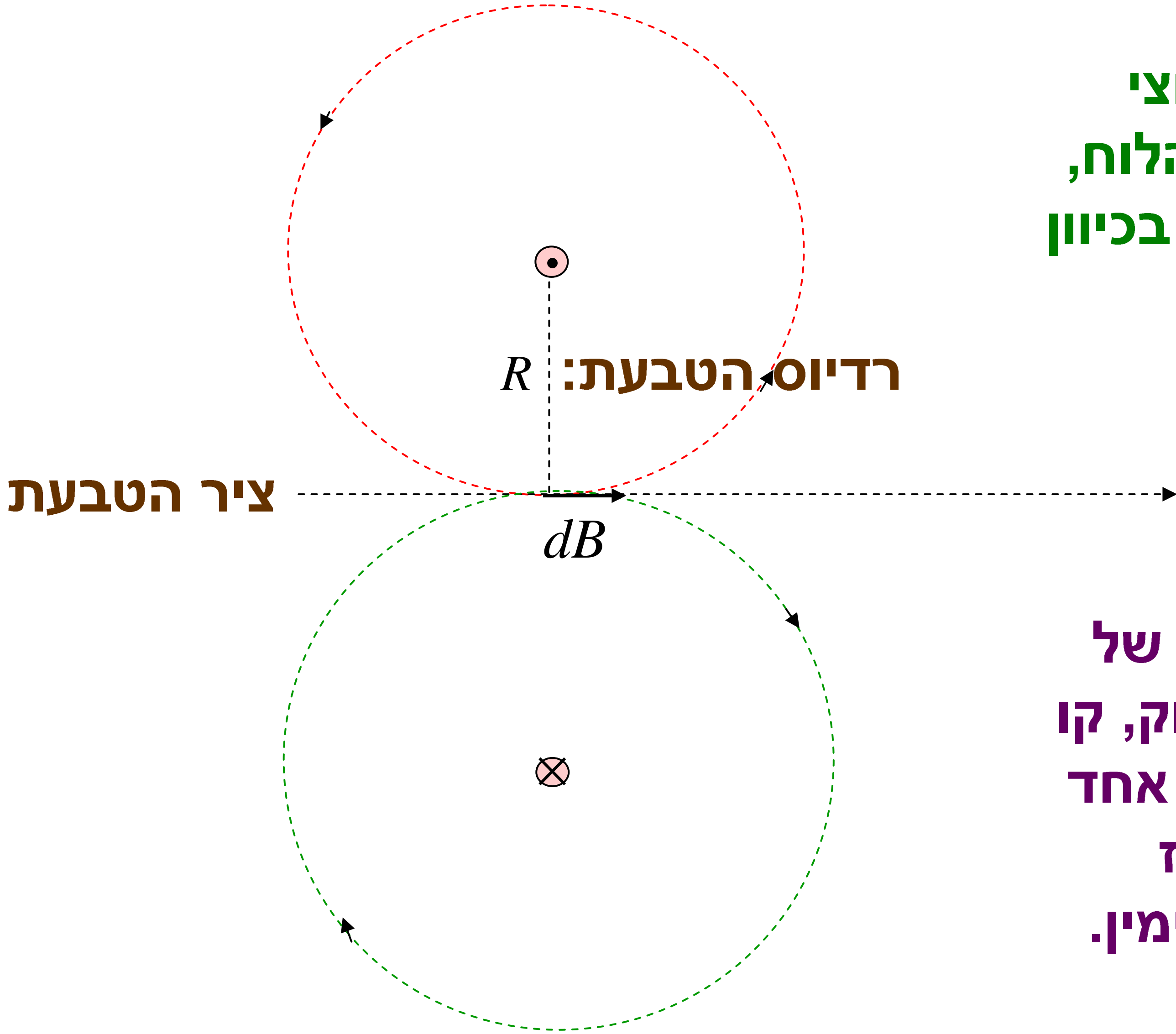
לולאת זרם



מגנט מוט (bar magnet)

קווי השדה האלה דומים, ולא במקרה: מגנט מוט הוא אוסף של אטומים, שבכל אחד מהם האלקטרון מסתובב ויוצר בעצם לולאת זרם.

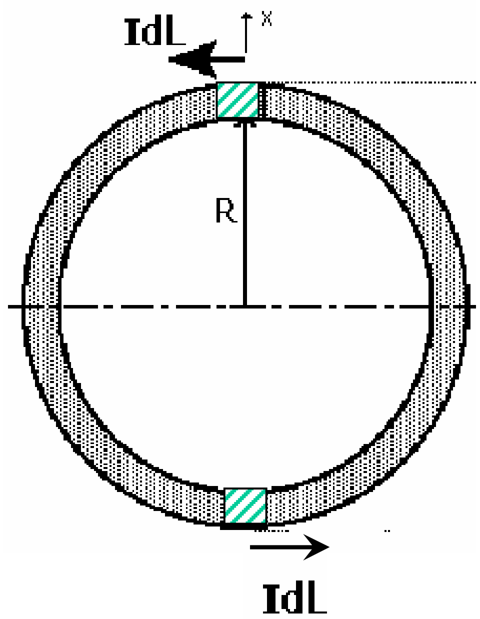
חישוב השדה במרכזה של לולאת זרם



נתחיל עם ציור שבו חצי מהטבעת הוא בתוך הלוח, וחצי מחוץ ללוח (ז"א בכיוון שלנו).

באדום רואים קו שדה של האלמנט העליון, ובירוק, קו שדה של התחתון. כל אחד מהם יוצר שדה במרכז הלולאה שהוא בכיוון ימין.

חישוב השדה במרכזה של לולאת זרם



ועכשיו ציור רגיל:

כל אלמנט בטבעת יוצר במרכזה שדה בכיוונינו. אז נחבר את התרומות כמספרים:

כל אלמנט באורך dL תורם:

$$dB = k'\frac{IdL}{R^2}$$

אז הסכום הוא:

$$B = \sum dB = k'\frac{I}{R^2}\underbrace{\sum dL}_{\boxed{2\pi R}} = \boxed{\frac{2\pi k' I}{R}}$$

כיוון שסה"כ האורך הוא היקף העיגול.