



המונח מגנטיות נקרא על שם האי מגנזיה שבים האגאי, שבו מצאו היוונים, לפני למעלה מאלפיים שנה, אבנים בעלות תכונה מיוחדת. אבן כזאת, שכונתה אבן שואבת, ניחנה בכושר למשוך אליה ברזל. מצפנים שבהם שולבו מגנטים נבנו לראשונה על ידי הסינים במאה ה-12.

במאה ה-16 ייצר וויליאם גילברט, רופאה של אליזבת, מלכת אנגליה, מגנטים מלאכותיים בדרך של שפשוף חתיכות ברזל באבן שואבת. הוא גם העלה את הרעיון שמצפן מורה תמיד על הצפון ועל הדרום מפני שלכדור הארץ עצמו תכונות מגנטיות. אחר כך, ב-1750, מצא האנגלי ג'ון מיטשל שקטבים מגנטיים מקיימים את חוק הריבוע ההופכי, וממצאיו אוששו על ידי שארל קולון. התחומים חשמל ומגנטיות התפתחו בנפרד, בלי קשר זה לזה, עד 1820. אז גילה הפיסיקאי הדני האנס כריסטיאן ארסטד, בשעת הדגמה בכיתה, שזרם חשמלי משפיע על מחט מגנטית*. הוא הבחין בקשר בין מגנטיות לחשמל. זמן קצר לאחר מכן הגה הפיסיקאי הצרפתי אנדרה מארי אמפר את הרעיון שזרמים חשמליים הם המקור למגנטיות.

* אנחנו יכולים רק לשער כמה פעמים נתקלו אנשים בתופעה כזאת ש"לא היתה אמורה להופיע" ופטרנו אותה ב"משהו לא בסדר עם המכשיר". ואולם ארסטד הבין, כיאה לפיסיקאי טוב, שהטבע מגלה לו עוד אחד מסודותיו.

בפרק 21 עסקנו בכוחות שמפעילים זה על זה חלקיקים בעלי מטען חשמלי: הכוח בין כל שני חלקיקים טעונים תלוי בגודל המטען החשמלי של כל אחד מהם ובמרחק ביניהם, כמתואר באמצעות חוק קולון. אך חוק קולון אינו מדויק לחלוטין במקרה שבו המטענים נעים זה ביחס לזה. הכוח בין שני מטענים חשמליים תלוי, באופן מסובך למדי, גם בתנועת המטענים. אנחנו רואים שבנוסף לכוח שאותו אנו מכנים כוח חשמלי, קיים כוח נוסף הנובע מתנועת המטענים ונקרא **כוח מגנטי**. הן הכוח החשמלי והן הכוח המגנטי הם למעשה שני צדדים שונים של אותה תופעה, המכונה אלקטרומגנטיות.

כוחות מגנטיים

הכוחות שמגנטיים מפעילים זה על זה דומים לכוחות החשמליים בכך שהם פועלים ללא מגע. כמו במקרה של הכוח החשמלי, חוזק הכוח שפועל בין המגנטיים תלוי במרחק ביניהם. תפקיד דומה לזה שממלאים המטענים ביצירת כוחות חשמליים מייחסים לתחומים במגנטיים המכונים קטבים מגנטיים ביצירתם של הכוחות המגנטיים.

מגנט מוט התלוי בחוט ממרכזו יפעל כמצפן. צידו האחד יפנה צפונה, והוא נקרא הקוטב הצפוני של המצפן, וצידו השני יפנה דרומה, והוא נקרא הקוטב הדרומי. לכל מגנט יש הן קוטב צפוני והן קוטב דרומי. במוט מגנטי פשוט שני הקטבים נמצאים בשני קצותיו המרוחקים. מגנט פרסה אינו אלא מוט מגנטי שכופף לצורת פרסה. גם בו נמצאים הקטבים בשני הקצוות.

כאשר הקוטב הצפוני של מגנט אחד מובא לקרבת הקוטב הצפוני של מגנט אחר, הם דוחים זה את זה*. כך קורה גם כשקוטב דרומי מובא לקרבתו של קוטב דרומי אחר. לעומת זאת, אם נקרב שני קטבים מנוגדים, הם ימשכו זה את זה. ניתן לסכם זאת בכלל:

קטבים שווים דוחים זה את זה וקטבים שונים מושכים זה את זה.

כלל זה דומה לכלל החל על כוחות בין מטענים חשמליים: מטענים שווים סימן דוחים זה את זה ובין מטענים שונים סימן קיימת משיכה. עם זאת קיים הבדל חשוב בין קטבים מגנטיים למטענים חשמליים. לעומת מטענים חשמליים, שיכולים להיות מבודדים, אין קטבים מגנטיים מבודדים. אלקטרונים



איור 23.1
מגנט פרסה.

שאלה

האם לכל מגנט יש בהכרח שני קטבים: קוטב צפוני וגם קוטב דרומי?

תשובה:

כן, בדיוק כפי שלכל מטבע יש שני צדדים, "עץ" ו"פלי". אמנם "יתכנו מגנטים" "מתוחכמים" שלהם יותר מזוג אחד של קטבים, אך הקטבים באים תמיד בזוגות.

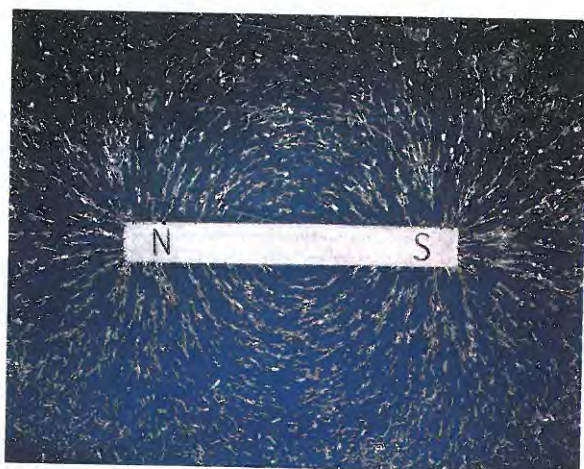
* הכוח הפועל בין שני קטבים מגנטיים נתון בנוסחה $F \sim p_1 p_2 / d^2$, שבה p_1 ו- p_2 מייצגים את עוצמותיהם של הקטבים המגנטיים ו- d את המרחק ביניהם. שימו לב לדמיון בין חוק זה לחוק קולון.

ופרוטונים הם ישויות בפני עצמן. אין כל הכרח שצבר של אלקטרונים יהיה מלווה בצבר של פרוטונים או להיפך. אבל קוטב מגנטי צפוני אינו יכול להתקיים בלי קוטב דרומי. אם תשברו מוט מגנטי לשניים, כל מחצית תמשיך להתנהג כמגנט שלם. שיברו את החלקים לשניים פעם נוספת - ויהיו לכם ארבעה מגנטים. גם אם תמשיכו לשבור את המגנטים, לעולם לא תצליחו לבדוד קוטב מגנטי יחיד*. אפילו כאשר החלק שבידכם יהיה בעובי של אטום אחד, הוא עדיין יהיה בעל שני קטבים. מכאן ניתן להסיק שאטומים עצמם הם מגנטים.

כזכור, בחלל המקיף מסה שורה כבידה, ובחלל המקיף מטען חשמלי קיים שדה חשמלי. מעניין לציין כי אם המטען החשמלי שרוי בתנועה, החלל שמסביבו משתנה עוד יותר. השינוי הזה, הנגרם בשל תנועת המטען, הוא **השדה המגנטי**. אנו אומרים שמטען נע מוקף בשני שדות: בשדה חשמלי ובשדה מגנטי. כמו השדה החשמלי, גם השדה המגנטי הוא מחסן של אנרגיה. ככל שרבה תנועת המטענים, כן גדולה עוצמתו של השדה המגנטי המקיף אותם. שדה מגנטי נוצר מתנועתם של מטענים חשמליים**.

שדות מגנטיים

איור 23.2

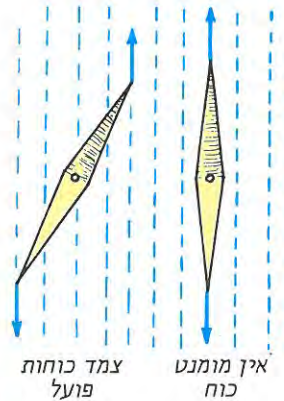


מבט מלמעלה על שבבי ברזל, המפוזרים על נייר שמונח מעל קטבים של מגנט. השבבים מתווים את תבנית קווי השדה המגנטי בחלל שמסביב לקטבים. מעניין לציין שקווי השדה המגנטי עוברים דרך המגנט עצמו ויוצרים לולאות סגורות (תופעה שאי אפשר לגלות בעזרת האבקה). מקור השדה הוא בתנועת האלקטרונים של הברזל שממנו עשוי המגנט.

* חוקרים בפיסיקה עיונית שיערו את אפשרות קיומם של "מטענים" מגנטיים נפרדים שכוננו מונופולים מגנטיים (מונופול = חד-קוטב). לפי ההשערות, החלקיקים הקטנים הללו היו אמורים לשאת קוטב מגנטי יחיד ולהיות המקבילות המגנטיות למטענים החשמליים החיוביים והשליליים. במשך 60 שנה נעשו ניסיונות רבים לגלות מונופולים מגנטיים, וכולם נכשלו. כל המגנטים הידועים למדע עד כה הם בעלי אותו מספר של קטבים צפוניים ודרומיים.

** למרבה העניין, הואיל והתנועה היא יחסית, השדה המגנטי יחסי גם הוא. למשל, כאשר מטען עובר לידכם, קיים שדה מגנטי הקשור למטען הנע. אך אם תנועו עם המטען, הרי שהמטען לא ינוע ביחס אליכם ולפיכך לא תוכלו למדוד כל שדה מגנטי שינבע מתנועת המטען. מגנטיות היא יחסית. אלברט איינשטיין הוא שהסביר זאת לראשונה כשפרסם את מאמרו על היחסות המצומצמת, "על האלקטרודינמיקה של מטענים נעים". (עוד על יחסות תוכלו לקרוא בפרקים 34 ו-35).

אם כך, אם תנועתם של מטענים חשמליים היא זו שיוצרת מגנטיות, היכן מתרחשת תנועה זו בתוך מגנט מוט פשוט? התשובה היא: האלקטרונים שבתוך האטומים הם שנעים ויוצרים את השדה המגנטי סביב המגנט. אף שהמגנט עצמו נח במקומו, הוא עשוי מאלקטרונים השרויים בתנועה מתמדת. שני סוגים של תנועת אלקטרונים תורמים למגנטיות: תנועת הסחרור של האלקטרונים, ותנועתם סביב האטום. האלקטרונים מגלים התנהגות שמצביעה על תנועת סחרור סביב ציריהם בדומה לסביבונים, תכונה הידועה בשמה הלועזי - ספין. אלקטרון מסתחרר הוא מטען בתנועה. האלקטרונים גם מסתובבים סביב גרעין האטום. גם זאת תנועה של מטען. ברוב החומרים, השדה שיוצר הספין הוא העיקרי.

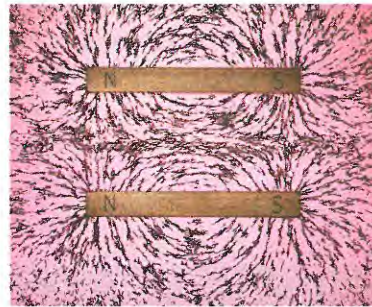


איור 23.3

כאשר מחט של מצפן אינה עומדת בקו אחד עם קווי השדה המגנטי, הכוחות הפועלים על שני קצותיה יוצרים זוג מומנטים (שנקרא צמד כוחות) המסובבים את המחט עד שהיא מתיישרת לפי השדה המגנטי.



1



2

איור 23.4

תבנית קווי השדה שיוצר זוג מגנטים. (1) קטבים מנוגדים סמוכים זה לזה. (2) קטבים שווים סמוכים זה לזה.

כל אטום הוא איפוא אלקטרומגנט קטן. זוג אלקטרונים שמסתחררים במגמה אחת יוצרים מגנט חזק יותר. לעומת זאת, זוג אלקטרונים שמסתובבים במגמות הפוכות מבטלים האחד את השדה שיוצר האחר. באטומים שמהם עשויים רוב החומרים, השדות שיוצרים האלקטרונים השונים מבטלים זה את זה, משום שהאלקטרונים מסודרים בזוגות שבהם כל אחד מבני הזוג מסתחרר במגמה הפוכה לזאת של חברו. זו הסיבה לכך שרוב החומרים אינם מגנטיים. עם זאת, בחומרים כברזל, קובאלט וניקל, השדות המגנטיים שיוצרים האלקטרונים אינם מבטלים זה את זה. בכל אטום ברזל ישנם ארבעה אלקטרונים לא מזווגים, שהשדה המגנטי שיוצר כל אחד מהם אינו מבוטל. לכן, כל אטום ברזל הוא מגנט קטן. דבר זה נכון, במידה פחותה, גם לגבי אטומים של ניקל וקובאלט*.

רוב העצמים העשויים ברזל ממוגנטים במידה זו או אחרת: מקררים, תנורים ואפילו פחיות שימורים הם בעלי קוטב צפוני ודרומי שמשרה בהם



איור 23.5

מסמרי הברזל הופכים למגנטיים מושרים.

* רוב המגנטים המצויים עשויים מסגסוגות (תערובות של מוצקים) שמכילות ברזל, ניקל, קובאלט ואלומיניום. במתכות אלו סחרור האלקטרונים הוא האחראי כמעט לכל התכונות המגנטיות. לעומת זאת, בעפרות הנדירות, כמו היסוד גדוליניום, תפקידה של תנועת האלקטרונים סביב הגרעין ביצירת המגנטיות משמעותי יותר.

השדה המגנטי של כדור הארץ. העבירו מצפן לאורך אחד החפצים האלה, ותוכלו לזהות בקלות היכן קטביו המגנטיים. היפכו את קופסת השימורים על ראשה, ובידקו כמה ימים נדרשים לקטבים כדי להתהפך.

השדה המגנטי של אטום ברזל בודד הוא כה חזק, שהכווץ שהוא מפעיל על האטומים השכנים לו גורם לסידורם בקו אחד איתו. כך נוצרים צברים גדולים של אטומים מוכוונים במקביל המכונים **תחומים מגנטיים**. כל תחום כזה ממוגנט באופן מושלם ועשוי ממיליארדים של אטומים מוכוונים. התחומים הם בעלי ממדים מיקרוסקופיים (איור 23.6), ובכל גביש של ברזל יש תחומים רבים כאלה. ואולם, לא כל חתיכת ברזל היא מגנט. זאת משום שבברזל רגיל התחומים השונים אינם מסודרים זה ביחס לזה. נתבונן במסמר ברזל פשוט: התחומים המגנטיים במסמר מסודרים באקראי. עם זאת, ניתן להשרות את התכוונותם במקביל אם נקרב אליהם מגנט. (מעניין להקשיב בעזרת סטתוסקופ בעל מגבר לקולות התקתוק של התחומים המתכווננים בפיסת ברזל בשעה שמקרבים אליה מגנט חזק). התחומים מכוונים את עצמם בדומה למטענים חשמליים בפיסת נייר שמסתדרים כשמתקרב אליהם גוף טעון. כאשר מרחיקים את המסמר מהמגנט, התנועה התרמית הרגילה גורמת לכל התחומים או לרובם לחזור לסידור אקראי. ואולם, אם השדה המגנטי של המגנט הקבוע (התמיד) חזק מאוד, המסמר עשוי להישאר ממוגנט באופן קבוע גם לאחר הרכקת המגנט.

מגנטים קבועים (תמידיים) מייצרים פשוט בדרך של הנחת פיסות של ברזל או של סגסוגות ברזל בתוך שדות מגנטיים חזקים. סגסוגות הברזל השונות נבדלות זו מזו. קל יותר למגנט ברזל רך מלמגנט פלדה. כדי להכווין את האזורים המגנטיים העקשניים ביותר כדאי להכות בברזל. דרך אחרת ליצירת מגנט קבוע היא שפשוף של פיסת ברזל במגנט. תנועות השפשוף גורמות להכוונת התחומים המגנטיים של הברזל. אם מפילים מגנט קבוע או מחממים אותו, כמה מהאזורים מאבדים את הכוונתם בסידור הכללי והמגנט נחלש.

תחומים מגנטיים

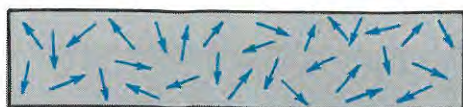


איור 23.6

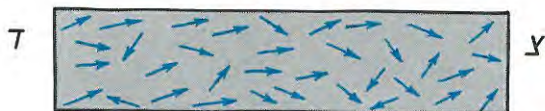
מראה מיקרוסקופי של תחומים מגנטיים בגביש ברזל. כל תחום כולל מיליארדי אטומים מסודרים של ברזל.

איור 23.7

פיסות ברזל בשלבים עוקבים של התמגנטות. החיצים מסמלים תחומים מגנטיים, הראש מציין קוטב צפוני, והזנב - קוטב דרומי. קטבים של אזורים שכנים מנטרלים זה את זה, פרט לקצות המגנט (שם אין שכנים).



ברזל לא ממוגנט



ברזל ממוגנט במידה מעטה



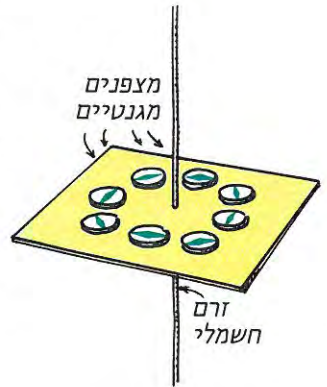
ברזל ממוגנט בחוזקה



כאשר שוברים מגנט לשתי חתיכות, כל חתיכה הופכת למגנט בעל עוצמה דומה

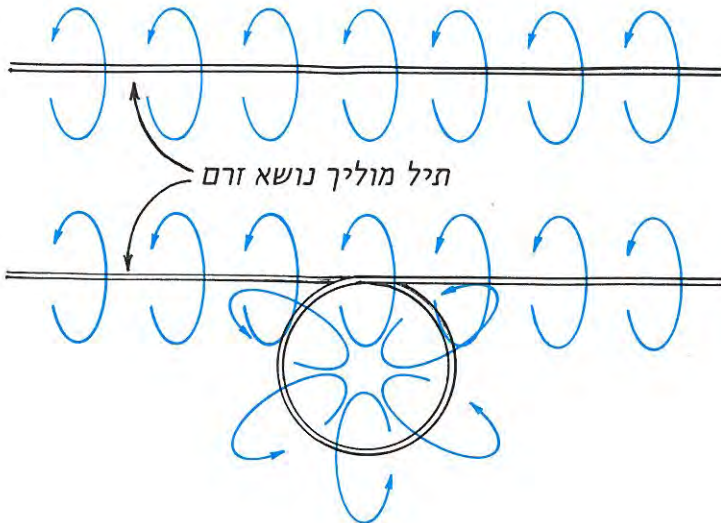
שאלה

כיצד יכול מגנט למשוך ברזל שאינו ממוגנט?

זרמים חשמליים
ושדות מגנטיים

איור 23.8 (למעלה)

המצפנים מראים את הצורה המעגלית של השדה המגנטי הסובב את המוליך נושא הזרם שבמרכז.



איור 23.9 (משמאל)

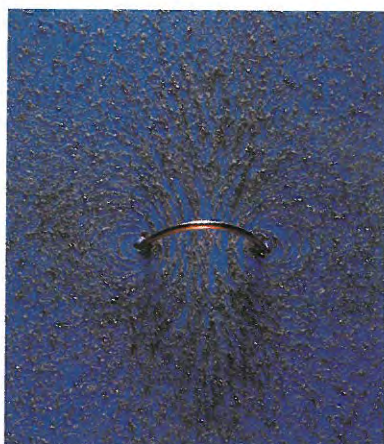
קווי שדה מגנטי מסביב לתיל נושא זרם מצטופפים כאשר התיל מכופף ללולאה.

תשובה:

השדה המגנטי של המגנט המתקרב משרה סדר בתחומים המגנטיים של פיסת הברזל הלא ממוגנט. שימו לב לדמיון בין תופעה זו למתואר באיור 21.12. כמו פיסות הנייר, כך גם פיסות הברזל יקפצו לעבר מגנט חזק אם הוא יתקרב אליהן במידה מספקת. אולם, שלא כמו פיסות הנייר, הן לא יידחו מהמגנט ברגע שיפגעו בו. התוכלו לחשוב מדוע?



1



2



3

אלקטרומגנטים

אם מכניסים פיסת ברזל לתוך סליל של מוליך נושא זרם, התחומים המגנטיים בברזל מסתדרים. הדבר מגביר עוד יותר את עוצמתו של השדה המגנטי, ונוצר **אלקטרומגנט!** אלקטרומגנטים חזקים משמשים לבקרת אלומות של חלקיקים טעונים במאיצי חלקיקים. הם גם מסוגלים להרים רכבות מהירות ולהניען (איור 23.11).

במגרשים של גרוטאות ברזל ניתן לראות אלקטרומגנטים חזקים דיים להרים מכוניות ישנות. חוזקם של האלקטרומגנטים האלה מוגבל בשל התחממות הסלילים נושאי הזרם ועקב רוויה של סידור התחומים המגנטיים בליבת הברזל. באלקטרומגנטים חזקים יותר מוותרים כליל על ליבת הברזל ומשתמשים בסלילים של חומרים מוליכי-על.

איור 23.10

אבקת ברזל מפוזרת על נייר מגלה את תבנית השדה המגנטי מסביב ל- (1) מוליך נושא זרם, (2) לולאה נושאת זרם, (3) סליל של לולאות.

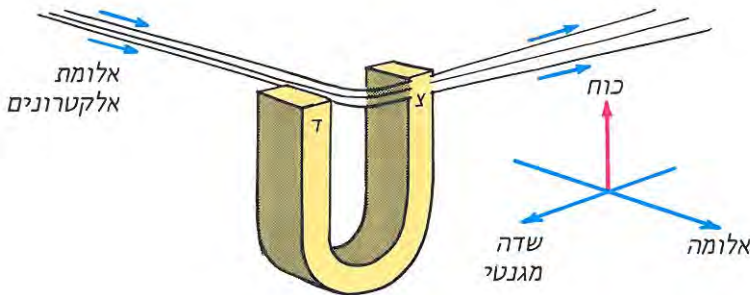


איור 23.11

רכבות רגילות רועדות כאשר הן נוסעות על הפסים במהירויות גבוהות. הרכבת היפנית שבתמונה מורמת מעט מהפסים על ידי שדה מגנטי ומסוגלת לנוע מבלי לרעוד במהירויות גבוהות, אפילו מעל 200 ק"מ/שע'.

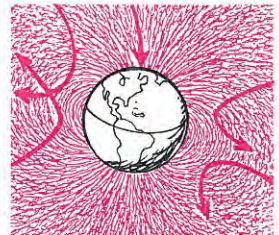
זכור מפרק 22, במוליך-על אין כל התנגדות חשמלית המסוגלת להגביל את זרם המטענים החשמליים, לכן בחומרים אלה גם זרמים אדירים אינם יוצרים חום. אלקטרומגנטים הבנויים מסלילים של מוליכי-על יוצרים שדות מגנטיים בעלי עוצמה אדירה, וזאת ביעילות רבה, מפני שאין בהם איבודי חום. בעת כתיבת שורות אלה, עוצמתם של אלקטרומגנטים המבוססים על מוליכי-על היא מוגבלת עקב היעלמותה של תופעת העל-מוליכות בנוחותם של שדות מגנטיים חזקים מדי. מוליכי-על ומגנטים העשויים מהם מעוררים כיום עניין עצום ומהווים מוקד לפעילות מרובה בעולם הפיסיקה, מכיוון שהציפיות מהם - הן מבחינה מדעית והן מבחינה כלכלית - הן עצומות.

חלקיק טעון השרוי במנוחה לא יחוש בשדה מגנטי סטטי. אולם אם החלקיק הטעון נע בשדה המגנטי, אזי באה לידי ביטוי ההשפעה המגנטית על מטען בתנועה - פועל עליו כוח הטיה*. הכוח מרבי כאשר החלקיק נע במאונך לקווי השדה המגנטי. בזוויות אחרות הכוח קטן יותר, והוא מתאפס לגמרי אם החלקיק נע במקביל לקווי השדה. בכל מקרה, כיוון הכוח מאונך תמיד הן לכיוון הקווים של השדה המגנטי והן לכיוון תנועתו של החלקיק הטעון (איור 23.12). לפיכך, מטען נע מוטא ממסלולו כאשר הוא עובר דרך שדה מגנטי. אולם אם הוא נע במקביל לקווי השדה, לא תתרחש כל הטיה.



איור 23.12
אלומת אלקטרונים מוסטת
בשדה מגנטי.

הטיה זו הצידה שונה מאוד מהכוחות האחרים שאנו מכירים - למשל כוח המשיכה בין שתי מסות, הכוח האלקטרוסטטי בין מטענים או הכוח המגנטי בין קטבים של מגנט. הכוח על מטען נע אינו פועל לאורך הקו המקשר בין שני מקורות הכוח, אלא במאונך הן לשדה המגנטי והן לאלומת האלקטרונים. העובדה שחלקיקים טעונים מוסטים בשדות מגנטיים מנוצלת לשימושים רבים וחשובים - למשל, להכוונת האלקטרונים בשפופרת של מסך הטלוויזיה ליצירת התמונה. חשובה עוד יותר היא העובדה שחלקיקים טעונים מן החלל



איור 23.13

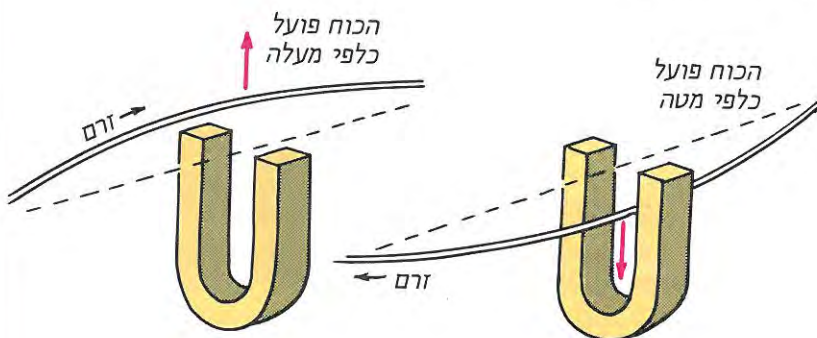
השדה המגנטי של כדור
הארץ מטה ממסלולם רבים
מהחלקיקים הטעונים של
הקרינה הקוסמית.

* כאשר חלקיק בעל מטען חשמלי q ומהירות v נע במאונך אל תוך שדה מגנטי שחזקו B , הכוח F שפועל על החלקיק הוא פשוט מכפלה של שלושת המשתנים: $F = qvB$. בזוויות אחרות, לא מאונכות, יש להחליף את v ברכיב המהירות שמאונך ל- B .

החיצון מוסטים על ידי השדה המגנטי של כדור הארץ (איור 23.13). אלמלא כן היתה עוצמתן של קרניים קוסמיות מזיקות המפזיזות את פני כדור הארץ חזקה הרבה יותר.

עניין של היגיון פשוט הוא, כי אם חלקיק טעון בתנועה מוסט בשדה מגנטי, הרי שזרם של חלקיקים טעונים הנעים דרך שדה מגנטי יוסט גם הוא. אם החלקיקים לכודים בתוך מוליך כאשר הם מגיבים לכוח המסיט, הרי שהמוליך יזוז איתם (איור 23.14).

אם הופכים את כיוון הזרם, הכוח יפעל בכיוון ההפוך. הכוח הינו חזק ביותר כאשר הזרם מאונך לקווי השדה המגנטי. כיוונו של הכוח אינו לאורך קווי השדה המגנטי וגם לא לאורך כיוון הזרם. הכוח מאונך הן לשדה המגנטי והן לזרם. זהו כוח צידי.



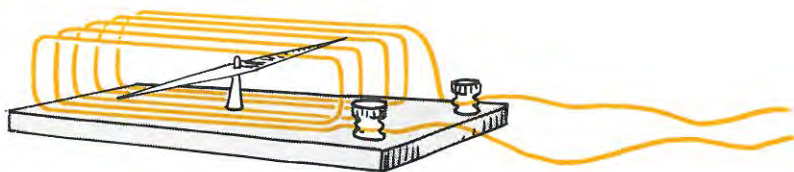
איור 23.14

על מוליך נושא זרם המצוי בשדה מגנטי פועל כוח. (התוכלו לראות שזו הרחבה פשוטה של איור 23.12?)

אנו רואים כי בדיוק כשם שמוליך נושא זרם גורם לסטייה של מצפן, כפי שגילה ארסטד בכיתת בית ספר תיכון ב-1820, כך יכול גם מגנט לגרום להסטה של תיל נושא זרם. שני המקרים מציגים השפעות שונות של אותה תופעה. הגילוי הזה גרם התרגשות רבה משום שכמעט מיד החלו בני אדם לרתום את הכוח הזה למטרות מועילות, כמו ייצור מדי זרם רגילים ומנועים חשמליים חזקים.

מדי זרם

ההתקן הפשוט ביותר לגילוי זרם חשמלי הוא מגנט החופשי להסתובב - מצפן. ההתקן הבא בפשטותו הוא מצפן בתוך סליל של מוליך (איור 23.15). כאשר זרם חשמלי עובר דרך הסליל, כל לולאה מעוררת השפעה משלה על המחט המגנטית, כך שניתן להבחין בזרמים חלשים ביותר. מכשיר כזה לגילוי זרמים חשמליים נקרא גלובומטר פשוט.

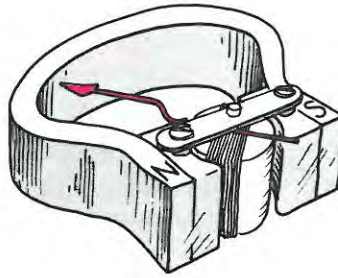


איור 23.15

גלובומטר פשוט.

איור 23.16

מבנה של גליונומטר מצוי.



התקן מקובל יותר מתואר באיור 23.16. הוא כולל לולאות רבות יותר ולכן רגישותו רבה יותר. הסליל מותקן כך שיוכל לנוע, והמגנט מוחזק במקומו. הסליל מסתובב כנגד קפיץ כך שכל שהזרם גדול יותר, כך גדולה סטיית המחט המחוברת לקפיץ. ניתן לכייל גליונומטר למדידות של זרם (אמפר), ובמקרה זה המכשיר נקרא אמפרמטר או מד-זרם. לחלופין ניתן לכייל אותו למדידת פוטנציאל חשמלי (וולטים), ובמקרה זה הוא מכונה וולטמטר או מד-מתח.

מנועים חשמליים

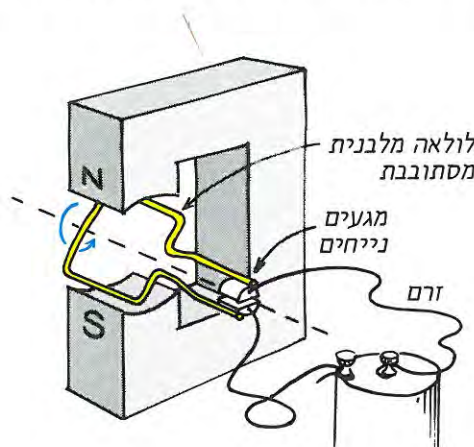
אם נשנה מעט את מבנהו של גליונומטר, נוכל ליצור מנוע חשמלי. ההבדל העיקרי ביניהם הוא בכך שבמנוע הזרם משנה כיוון בכל פעם שהסליל משלים חצי סיבוב. לאחר שאולץ להסתובב חצי סיבוב, התנע שרכש הסליל גורם לו להמשיך בתנועה בדיוק ברגע שבו הזרם הופך את כיוונו, והוא מאולץ להמשיך עוד חצי סיבוב, וכך הלאה. כך נוצרת תנועה מעגלית רצופה.

איור 23.18 מציג בקווים גסים את עקרון המבנה של מנוע אלקטרומגנטי. מגנט קבוע יוצר שדה מגנטי באזור שבו לולאה מלבנית של תיל חשמל מותקנת כך שתנוע סביב צירה. כאשר עובר זרם דרך הלולאה, הוא זורם בכיוונים מנוגדים בחלקה התחתון ובחלקה העליון של הלולאה (הוא מוכרח לעשות זאת, מפני שמטען שנכנס לצידה האחד של הלולאה מוכרח לצאת מצידה השני). אם צידה העליון של הלולאה נדחף ימינה, הרי שהצד התחתון נדחף לשמאל, בדומה לגליונומטר. אלא שבניגוד לגליונומטר, כיוון הזרם משתנה בכל חצי סיבוב,



איור 23.17

הן האמפרמטר והן הוולטמטר הם בבסיסם גליונומטרים. (ההתנגדות החשמלית של המכשיר גבוהה מאוד בוולטמטר ונמוכה מאוד באמפרמטר).



איור 23.18

דגם פשוט של מנוע.

בגלל המגעים הנייחים הקבועים בבסיס הלולאה. חלקי המוליך המתחככים במגעים נקראים מברשות. בדרך זו הזרם בלולאה משתנה באופן שכיוון הכוחות באזור העליון ובאזור התחתון אינו משתנה עם סיבוב הלולאה. הסיבוב הוא רצוף כל עוד נמשכת אספקת הזרם.

תיאורנו כאן מנוע פשוט ביותר המופעל בזרם ישר. במנועים גדולים יותר, המופעלים בזרם ישר או בזרם חילופין, מחליפים בדרך כלל את המגנט הקבוע באלקטרומגנט המקבל את אספקת הזרם שלו ממקור הכוח. במנועים אלה משתמשים, כמובן, ביותר מלולאה אחת. לולאות רבות של תיל מוליך כרוכות סביב גליל ברזל הקרוי עוגן, שמסתובב כאשר מוזרם בלולאות זרם חשמלי. מיותר לציין כי הופעתם של המנועים החשמליים סיפקה תחליף לעבודת פרך של בני אדם ובעלי חיים בכל העולם. המנועים החשמליים שינו עד לבלי הכר את אורח החיים של בני האדם.

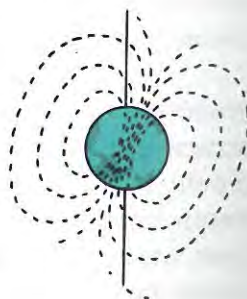
שאלה

במה בעיקר דומים גליונומטר ומנוע חשמלי פשוט? מהו ההבדל העיקרי ביניהם?

מגנט תלוי או מצפן מורים צפונה משום שכדור הארץ עצמו הוא מגנט ענק. המצפן מתכוון בהתאם לשדה המגנטי של כדור הארץ. עם זאת, הקטבים המגנטיים של כדור הארץ אינם ממוקמים בדיוק בקטבים הגיאוגרפיים. הם גם אינם קרובים אליהם ביותר. הקוטב המגנטי בחצי הכדור הצפוני, למשל, נמצא במרחק 1800 קילומטרים כמעט מהקוטב הגיאוגרפי, בסמוך למפרץ האדסון שבצפון קנדה. הקוטב המגנטי האחר נמצא מדרום לאוסטרליה (איור 23.19). פירושו של דבר, שמצפנים אינם מצביעים בדרך כלל על הצפון האמיתי. חוסר ההתאמה בין הכיוון 'שמורה המצפן לבין הצפון האמיתי ידוע בשם הנטייה המגנטית. המנווטים בעזרת מצפן צריכים להביא זאת בחשבון.

איננו יודעים בדיוק מדוע כדור הארץ הוא מגנט. צורת השדה המגנטי של כדור הארץ דומה לצורת השדה שהיה נוצר אילו היה מוט מגנטי גדול עובר דרך מרכז כדור הארץ. אבל הארץ אינה גוש ברזל עצום ממוגנט. ליבת כדור הארץ לוחטת מכדי שהאטומים יוכלו להסתדר בה כראוי. הסבר עדיף הוא שבתוך כדור הארץ ישנם זרמים חשמליים. כ-2000 ק"מ מתחת למעטפת הסלע (שהיא עצמה בעובי של כ-3000 ק"מ), מצוי אזור מותך שמקיף את הגלעין המוצק. רוב מדעני כדור הארץ סבורים כי מטענים הנעים בלולאות בתחום החומר המותך יוצרים את השדה המגנטי. ישנם מדענים המשערים שהזרמים החשמליים הם תוצאה של זרמי חום הזורמים מהליבה המרכזית (איור 23.20) ובשילוב עם תנועת כדור הארץ סביב צירו יוצרים את השדה המגנטי שלו. בשל גודלו העצום

השדה המגנטי של כדור הארץ



איור 23.19

כדור הארץ הוא מגנט.

תשובה

גליונומטר ומנוע דומים זה לזה בכך ששניהם משתמשים בסלילים המצויים בשדה מגנטי. כאשר זרם חשמלי עובר דרך הסליל, פועלים עליו כוחות שמסובבים אותו. ההבדל העיקרי ביניהם הוא שהסליל בגליונומטר יכול לנוע לכל היותר חצי סיבוב בכל כיוון, ואילו במנוע העוגן מסתובב סיבובים שלמים רבים. דבר זה מושג באמצעות שינוי כיוונו של הזרם מדי חצי סיבוב.



איור 23.20

ייתכן שזרמי חום בחלקים
המותכים של פנים כדור
הארץ יוצרים זרמים
חשמליים, שאחראיים ליצירת
השדה המגנטי של כדור
הארץ.

של כדור הארץ, מהירות המטענים הנעים אינה צריכה לעלות על אלפית המטר בשנייה כדי שייווצר השדה המגנטי. עדיין דרוש מחקר נוסף כדי לבסס את ההסבר למקור השדה המגנטי של כדור הארץ.

תהא הסיבה אשר תהיה, השדה המגנטי של כדור הארץ אינו יציב, והוא השתנה במהלך התקופות הגיאולוגיות השונות. עדויות לכך עולות מניתוח התכונות המגנטיות של שכבות סלעים. בעבר היו שכבות אלה מותכות, ואטומי הברזל שבהן יכלו לנוע בחופשיות יחסית ולהתאים את עצמם לכיוון השדה המגנטי של כדור הארץ. אמנם הטמפרטורה הגבוהה נטתה לערבב אותם בכל הכיוונים, אך עדיין ניתן להבחין בכיוון שהיה מועדף על אטומי הברזל בזמן שקפאו במקומם. תופעה דומה נתגלתה בסלעי משקע: תחומים מגנטיים בגרגירי ברזל ששקעו בתוך הסלעים נטו לכון את עצמם בהתאם לשדה המגנטי של כדור הארץ, ובצורה זו נכלאו בסלע. את המגנטיות החלשה שנוצרה כתוצאה מכך ניתן למדוד במכשירים רגישים. כאשר נבדקות דוגמאות של סלעים משכבות גיאולוגיות שונות, ניתן לעקוב אחר השתנות כיוונו של השדה המגנטי במהלך ההיסטוריה של כדור הארץ. עדויות אלו מלמדות אותנו שהיו תקופות שבהן השדה המגנטי של כדור הארץ הצטמצם לאפס, ואז התהפכו הקטבים המגנטיים. יותר מעשרים היפוכים כאלה התרחשו בחמשת מיליוני השנים האחרונות. ההיפוך האחרון התרחש לפני 700,000 שנה. היפוכים קודמים התרחשו לפני 870,000 שנה ולפני 950,000 שנה. מחקירתם של סלעי משקע תת-ימיים עולה כי השדה נעלם למעשה למשך 10,000-20,000 שנה במהלך מיליון השנים האחרונות. איננו יכולים לחזות מתי יתרחש ההיפוך הבא, משום שההיפוכים אינם מתרחשים באופן סדיר. ואולם, מדידות מלמדות שבמהלך 100 השנים האחרונות נחלש השדה המגנטי בכ-5 אחוזים. אם יתמיד שינוי זה, כיוון השדה המגנטי עשוי להתחלף פעם נוספת בתוך כ-2000 שנה.

תופעת היפוך השדה המגנטי אינה מיוחדת לכדור הארץ דווקא. השדה המגנטי של השמש מתהפך באופן סדיר מדי 22 שנה. מעדויות שנמצאו בטבעות עצים עולה כי מחזור זה, בן 22 השנים, קשור למחזורים של בצורות על פני כדור הארץ. מעניין לציין שהמחזור המוכר של כתמי השמש הוא בן 11 שנה, ומתאים בדיוק למחצית המחזור של היפוך השדה המגנטי.

רוחות משתנות של יונים באטמוספירה של כדור הארץ גורמות לתנודות מהירות אך קטנות בהרבה בשדה המגנטי של כדור הארץ. היונים שבשכבות האטמוספירה האלה נוצרים בעקבות תגובות אנרגטיות בין אטומים שבאטמוספירה לבין קרניים על-סגולות וקרני X שמגיעות מהשמש. תנועתם של היונים הללו יוצרת חלק קטן אך חשוב של השדה המגנטי של כדור הארץ. כמו בשכבות האוויר הנמוכות יותר, כך גם ביונספירה סוערות רוחות. השתנות הרוחות הללו היא הגורם העיקרי לרוב-רובן של התנודות המהירות בשדה המגנטי של כדור הארץ.

היקום הוא מטווח של חלקיקים טעונים. הם נקראים קרניים קוסמיות, ועשויים מגרעינים של אטומים שהאלקטרונים נתלשו מהם. מקורם אינו ודאי. אולי נפלטו מכוכבים רותחים, ואולי הם גרעינים שלא התעבו ליצירת כוכבים. מכל מקום, הם נעים בחלל במהירויות אדירות, ומהווים את הקרינה הקוסמית המסכנת את האסטרונאוטים. למזלם של אלו מבינינו שנשארים על פני כדור



איור 23.21

חגורות הקרינה של ון אלן
נראות כאן בלתי מעוותות על
ידי רוח השמש.

הארץ, את רובם של החלקיקים הטעונים הללו מסיט השדה המגנטי של כדור הארץ. חלקם נלכד באזורים החיצוניים של השדה המגנטי של הארץ ויוצר את חגורות הקרינה של ון אלן (איור 23.21).

חגורות הקרינה מורכבות משתי טבעות דמויות כעד וקרויות על שמו של גיימס אי' ון אלן, שהעלה את רעיון קיומן על יסוד נתונים שאספה החללית האמריקנית אקספלורר 1 בשנת 1958. הטבעת הפנימית מצויה במרחק של כ-3000 ק"מ מכדור הארץ, ואילו הטבעת החיצונית, שהיא גדולה ורחבה יותר, מרוחקת מהארץ כ-15,000 קילומטרים. האסטרונאוטים בחלליות מקיפים את הארץ במרחקים בטוחים, הרבה מתחת לחגורות הקרינה הללו. קרוב לוודאי שרוב החלקיקים הטעונים - פרוטונים ואלקטרונים - הכלואים בחגורה החיצונית הגיעו מהשמש. סערות המתרחשות על השמש מעיפות חלקיקים טעונים בעוצמה רבה. חלקם עוברים ליד כדור הארץ ונלכדים על ידי השדה המגנטי. החלקיקים הכלואים מסתובבים במסלולים דמויי בורג סביב קווי השדה המגנטי של הארץ, ומנתיבים מקוטב לקוטב גבוה מעל האטמוספירה. הפרעות בשדה המגנטי של הארץ מאפשרות ליונים לרדת לגבהים נמוכים יותר באטמוספירה, מה שגורם להם לזהור בדומה למנורות פלואורסצנט. זהו המחזה המרהיב של זוהר הקוטב.

החלקיקים הכלואים בחגורה הפנימית הגיעו, קרוב לוודאי, מהאטמוספירה של כדור הארץ. חגורה זו ממוסכת כעת על ידי אלקטרונים שנוצרו בשנת 1962 מפצצת מימן שפוצצה בגובה רב.

למרות קיומו של השדה המגנטי המגן של כדור הארץ, קרניים קוסמיות רבות מצליחות להגיע אל פני האדמה*. ההפגזה החזקה ביותר בקרניים קוסמיות מתרחשת בקטבים, מפני שחלקיקים טעונים המגיעים לארץ דרך

* ישנם ביולוגים המשערים כי השינויים המגנטיים בכדור הארץ מילאו תפקיד מרכזי באבולוציה של היווצרות החיים. השערה אחת היא שבשלבים המוקדמים של החיים הפרימיטיביים, השדה המגנטי של כדור הארץ היה חזק דיו כדי לעצור קרינה קוסמית שהיתה מספיק אלימה כדי להשמיד את החיים. אולם בתקופות שבהן לא היה שדה מגנטי, קרינה קוסמית ודליפה מחגורות ון אלן הגבירו את המוטציות בצורות החיים הפרימיטיביות, בדומה לשינויים שגרמו קרני X בניסויים הגנטיים המפורסמים שנערכו בזבובי פירות. התאמה בין תקופות השינויים המואצים בצורות החיים ובין תאריכי ההיפוכים בשדה המגנטי תומכת בהשערה זו.



איור 23.22

זוהר הקוטב (מסוג מנורת פלואורסצנט) מאיר את השמים. הזוהר נוצר בשל התנגשותם של חלקיקים טעונים מחגורות ון אלן במולקולות באטמוספירה.

הקטבים אינם חולפים במאונך לקווי השדה המגנטי אלא דווקא לאורכם ולכן אינם מוסטים. הפגזות הקרניים הקוסמיות נחלשות בהדרגה כשמתרחקים מהקטבים, והן מזעריות באזור קו המשווה. בגובה פני הים פוגעים בכל סנטימטר מרובע בין חלקיק אחד לשלושה חלקיקים בדקה. מספר זה גדל במהירות כאשר מגביהים מעל לפני הים. מכאן שבשעה שאתם קוראים שורות אלה חודרת לגופכם קרינה קוסמית (ואפילו אם אינכם קוראים אותן!).

ביומגנטיות

חיידקים מסוימים יוצרים באופן ביולוגי גרגרים בעלי תחום מגנטי אחד. מן החלקיקים הללו הם יוצרים שרשרות, אשר משמשות אותם כמצפנים פנימיים. אותם אורגניזמים מסוגלים להשתמש במצפנים הללו כדי להבחין בכיוונו של השדה המגנטי של כדור הארץ. מצוידים בחוש כיוון, הם מסוגלים לאתר מאגרי מזון. למרבה הפלא, החיידקים הללו משתמשים באותם תחומים מגנטיים הן בחצי הכדור הצפוני והן בחצי הכדור הדרומי, אולם הם מסדירים אותם בכיוונים הפוכים, כדי שיתאימו לשדה המגנטי שפונה בכיוונים הפוכים. חיידקים אינם היצורים החיים היחידים שהם בעלי מצפנים מגנטיים פנימיים. לאחרונה נתגלה כי ליונים יש מגנטים בעלי תחומים מגנטיים רבים בתוך הגולגולת, ואלו קשורים למספר גדול של עצבים במוח היונה. ליונים יש חוש מגנטי, והן יכולות להבחין לא רק בכיוונים אורכיים לאורך השדה המגנטי, אלא גם בגובה מעל פני הים - באמצעות הרכינה המגנטית. חומרים מגנטיים נמצאו גם בבטן של דבורים, שהתנהגותן מושפעת משדות מגנטיים חלשים. במחקרים שנערכו עד כה טרם נתגלה כל חוש מגנטי אצל בני אדם.

איור 23.23

ליונים חוש כיוון מפותח מפני שיש להן "מצפן" מגנטי בגולגולת.



תחומים מגנטיים

11. מהו תחום מגנטי?

12. מדוע ברזל הוא מגנטי ועץ איננו מגנטי?

13. מדוע מגנט שנוזק בחוזקה על רצפה קשה הופך למגנט חלש יותר?

זרמים חשמליים ושדות מגנטיים

14. מה ההבדל בין כיוון קווי השדה המגנטי מסביב לתיל נושא זרם לבין כיוונו של השדה החשמלי מסביב למטען?

15. מה קורה לכיוונו של השדה המגנטי שמסביב לזרם חשמלי כאשר כיוון הזרם מתהפך?

16. מדוע חזק יותר השדה המגנטי בתוך לולאה של תיל נושא זרם מאשר ליד מוליך ישר?

אלקטרומגנטים

17. מדוע יוצרת פיסת ברזל בתוך לולאה של מוליך נושא זרם שדה מגנטי חזק עוד יותר?

18. מדוע אלקטרומגנטים המבוססים על מוליכי-על הם חזקים במיוחד?

כוחות מגנטיים על מטענים נעים

19. באיזה כיוון יבחס לשדה המגנטי צריך לנוע חלקיק טעון כדי שהכוח המסיט שיפעל עליו יהיה מרבי? מזערי?

20. הן הכוחות החשמליים והן כוח הכבידה פועלים בכיוון שדה הכוח ובמקביל לו. במה שונה מהם כיוונו של הכוח המגנטי הפועל על מטען נע?

21. מהי השפעת השדה המגנטי של כדור הארץ על קרינה קוסמית?

כוחות מגנטיים על מוליכים נושאי זרם

22. האם מהעובדה שכוח מגנטי פועל על מטען נע ניתן להסיק שכוח מגנטי פועל גם על מוליך נושא זרם? נמקו.

23. מהו כיוונו של תיל נושא זרם יחסית לשדה המגנטי שבו הכוח המטה הוא הגדול ביותר? הקטן ביותר?

24. מה קורה לכיוון ההסטה כאשר הזרם במוליך מתהפך?

מדי זרם

25. מה עושה גליונומטר?

26. כיצד נקרא גליונומטר כאשר הוא מכויל למדוד זרם? מתח?

מנועים חשמליים

27. במה דומה גליונומטר למנוע חשמלי?

28. מדוע חשוב שכיוון הזרם ישתנה בסליל של מנוע חשמלי?

תקציר מונחים

הכוח המגנטי (1) בין מגנטים זו המשיכה של קטבים מגנטיים שונים זה לזה והדחייה בין קטבים מגנטיים דומים. (2) בין שדה מגנטי למטען נע זהו כוח ההטיה הנובע מתנועתו של המטען: הכוח המטה מאונך הן לתנועתו של המטען והן לקווי השדה המגנטי. עוצמת הכוח מרבית כאשר המטען נע במאונך לקווי השדה המגנטי, והוא מזערי (אפס) כאשר המטען נע במקביל לקווי השדה.

שדה מגנטי האזור מסביב לקוטב מגנטי או בקרבת מטען נע שבו קיימת השפעה מגנטית.

תחומים מגנטיים תחומים של צברי אטומים מגנטיים מסודרים. כאשר תחומים אלה עצמם מוכוונים במתואם, החומר המכיל אותם הוא מגנט.

אלקטרומגנט מגנט שהשדה שלו נוצר על ידי זרם חשמלי. בדרך כלל עשוי מסליל מוליך שבתוכו חתיכת ברזל.

שאלות חזרה

1. מי גילה את הקשר בין חשמל למגנטיות ובאילו נסיבות?

כוחות מגנטיים

2. הכוח בין מטענים חשמליים תלוי בגודל המטען, במרחק בין המטענים, ובמה עוד?

3. מהו מקורם של כוחות מגנטיים?

קטבים מגנטיים

4. היכן מצויים הקטבים המגנטיים על מוט מגנטי פשוט?

5. היכן מצויים הקטבים המגנטיים על מגנט פרסה פשוט?

6. במה דומים הכללים המתארים את הכוחות הפועלים בין קטבים מגנטיים לכללים המתארים את הכוחות שבין מטענים חשמליים?

7. מהו ההבדל הגדול בין קטבים מגנטיים לבין מטענים חשמליים?

שדות מגנטיים

8. מסביב למטען חשמלי יש שדה חשמלי. איזה שדה נוסף יש מסביב למטען חשמלי נע?

9. מדוע תנועה היא מילת מפתח למגנטיות?

10. אילו שתי תנועות מאפיינות את האלקטרונים באטום?

השדה המגנטי של כדור הארץ

29. מדוע מורה המצפן לצפון? האם תצביע המחט המגנטית לאותו כיוון גם בחצי הכדור הדרומי?

30. מה מכונה נטייה מגנטית?

31. מדוע סביר להניח שהתחומים המגנטיים בליבת כדור הארץ אינם מסודרים בצורה קבועה?

32. מהן התיאוריות המסבירות את היווצרות השדה המגנטי של כדור הארץ?

33. מהם היפוכי הקטבים המגנטיים?

34. מהן הגורות הקרינה של ון אלן?

35. מהי הסיבה לזוהר הקוטב?

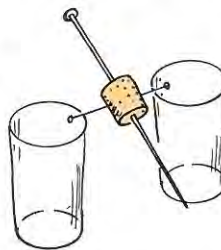
ביומגנטיות

36. ניקבו בשמם של שלושה יצורים לפחות שידוע לנו כי הם חשים בשדות מגנטיים באופן ביולוגי.

מטלות בית

1. מיצאו את הכיוון במרחב של קווי השדה המגנטי באזור מגורכם. קחו מחט פלדה גדולה או חתיכה ישרה של תיל פלדה ומגנטו אותה בכך שתחליקו עליה מגנט חזק כמה עשרות פעמים. השחילו את המחט דרך פקק שעם, ותנו לה לצוף במכל מים עשוי פלסטיק או זכוכית. המחט תפנה אל הקוטב המגנטי. הוציאו את הפקק עם המחט מהמים

ונעצו בפקק שתי סיכות קטנות, בלתי ממוגנטות, זו מול זו. השעינו את המחטים על קצותיהן של שתי כוסות שתייה (כמתואר באיור) כך שהמחט תפנה לכיוון הקוטב המגנטי. המחט תתיישר בקו אחד עם כיוון השדה המגנטי במרחב.



2. ניתן להפוך פיסת ברזל פשוטה למגנט בכך שמכים בה כמה פעמים בפטיש כשהיא פונה לעבר הקוטב המגנטי של כדור הארץ. מכות הפטיש "מקפיצות" את התחומים המגנטיים, כך שקל להם יותר להסתדר במקביל לשדה המגנטי של הארץ. אחר כך ניתן לבטל את מיגנטו הברזל, אם מכים עליו כאשר הוא מונח במאונך לשדה המגנטי (בכיוון מזרח-מערב).

3. קרבו מצפן מגנטי לקצה העליון של עצמים גדולים מברזל או מפלדה המצויים בביתכם (רדיאטור, מקרר, תנור, מנורה עומדת וכיו"ב). תגלו שהקוטב הצפוני של

המצפן מורה לעבר חלקם העליון של המכשירים הללו, והקוטב הדרומי לעבר תחתיתם. עובדה זו מלמדת שהגופים הללו הם מגנטיים, שהקוטב הדרומי שלהם למעלה והצפוני - למטה. מהו ההסבר לכך? תוכלו להיווכח באותה תופעה אפילו בקרבת קופסאות שימורים שעמדו זמן רב באותו כיוון. קחו קופסת שימורים כזאת, היפכו אותה, ובידקו כמה ימים יידרשו עד שתאבד את קיטובה המגנטי או תחליף את כיוונו.

תרגילים

1. באיזה מובן כל המגנטים הם אלקטרומגנטים?

2. אם כל אטום ברזל הוא מגנט קטן, מדוע לא כל חתיכת ברזל היא מגנט גדול?

3. "בשדה חשמלי תמיד פועל כוח על האלקטרון, אולם בשדה מגנטי לא תמיד יפעל עליו כוח". הגנו על טענה זו.

4. ליבת כדור הארץ עשויה בעיקר מברזל ומניקל, שהם חומרים מעולים ליצירת מגנטים קבועים. מדוע אין זה סביר להניח שליבת כדור הארץ היא מגנט קבוע?

5. מדוע מגנט מושך אליו מסמרים או אטבי נייר רגילים אך אינו מושך עפרונות עץ?

6. האם שני הקטבים של מגנט ימשכו אליהם אטב נייר? הסבירו מה קורה בתוך האטב (רמז: הסתייעו באיור 21.12).

7. דרך אחת להכנת מצפן היא לנעוץ מחט ממוגנטת בתוך חתיכת שעם ולתת לה לצוף בתוך קערת מים. הקוטב הצפוני של המחט הממוגנטת יפנה צפונה. האם בשל כך תנוע הסיכה (והפקק) לעבר חלקה הצפוני של הקערה? נמקו.



8. מהו הכוח המגנטי השקול שפועל על המחט במצפן? מהו המנגנון שגורם למחט המצפן להתיישר בכיוון השדה המגנטי של הארץ?

9. באיור 23.2 נראים גרגרי ברזל מסודרים בתוך שדה מגנטי. בהתחשב בכך שגרגרי הברזל עצמם אינם מגנטים קטנים, מה גורם להם להסתדר בשדה המגנטי?

10. הקוטב הצפוני של מצפן מגנטי פונה אל הקוטב הצפוני של כדור הארץ, אולם בדרך כלל קטבים דומים דוחים זה את זה. כיצד ניתן ליישב סתירה מדומה זו?

11. חברכם האחד טוען שבחצי הכדור הדרומי המצפן מורה לכיוון ההפוך (כלומר דרומה), ואילו חבר אחר טוען כי אין זה נכון שבחצי הכדור הדרומי מוצאים את הכיוון

- במסלולים מעגליים. איזה שדה משמש לאיזו מטרה?
20. שדה מגנטי יכול להטות אלומת אלקטרונים ממסלולה, אך הוא אינו יכול להגביר את מהירותה. מדוע?
21. שני מטענים נורקים לתוך שדה מגנטי באופן שכיוון התנועה של שניהם מאונך לכיוון השדה. אם הם מוסטים בכיוונים מנוגדים, מה ניתן להסיק מכך בקשר למטעניהם?
22. אלומה של פרוטונים באנרגיה גבוהה יוצאת מתוך ציקלוטרון. האם סבורים אתם שקיים שדה מגנטי הקשור לאלומת הפרוטונים? הסבירו מדוע.
23. נאמר לכם שבחדר המעבדה שורר שדה חשמלי או שדה מגנטי, אך לא שניהם יחד. תכננו ניסוי כדי לבדוק איזה שדה יש במעבדה.
24. מדוע מקפידים אסטרונאוטים להישאר מתחת לגובה של חגורות ון אלן כאשר הם יוצאים מחלליתם "ללכת" בחלל?
25. תושבי צפון קנדה חשופים להפצצות כבדות יותר של קרינה קוסמית מתושבי מקסיקו. מדוע?
26. במכשיר שנקרא ספקטרומטר-מסות, יונים מוזרמים לתוך שדה מגנטי, ובו הם משנים את כיוון זרימתם ופוגעים במסך של גלאי. אם יונים שונים, כולם בעלי מטען אחד, זורמים באותה מהירות לתוך השדה המגנטי, האם יוטו כולם בשדה באותה מידה? האם יוטו יונים שונים במידה שונה? למה תצפו?
27. דרך אפשרית אחת להגן על מושבות בחלל מפני קרינה קוסמית תהיה לעטוף אותן במעין שמיכה, בדומה לאטמוספירה, שתגן עליהן מפני הקרינה. הציעו דרך נוספת, דומה גם היא להגנה שיש על הארץ, שבעזרתה ניתן יהיה להגן על מושבות בחלל מפני הקרינה הקוסמית.
28. אילו היו ברשותכם שתי פיסות ברזל, אחת ממוגנטת ואחת לא, כיצד הייתם יודעים איזו מהן היא הממוגנטת, בלא להשתמש בכל ציוד נוסף?
- לפי הדרום במקום לפי הצפון. עכשיו תורכם. מה תאמרו?
12. מדוע תתעורר התמונה בטלוויזיה אם נקרב מגנט אל המסך? (שימו לב: אל תנסו זאת בטלוויזיה צבעונית!!! אם תצליחו למגנט את מסכת המתכת שמאחורי מסך הזכוכית, התמונה עלולה להישאר מעוותת גם לאחר שתרחיקו משם את המגנט.)
13. נתונים שני מגנטים, A ו-B. השדה המגנטי של A חזק כפליים מזה של B. כאשר שני המגנטים נמצאים במרחק מסוים זה מזה, מגנט A מפעיל על מגנט B כוח של 50 ניוטון. במצב זה, איזה כוח מפעיל מגנט B על מגנט A?
14. מגנט חזק מושך אליו אטב נייר בכוח מסוים. האם מפעיל אטב הנייר כוח על המגנט החזק? אם לא: מדוע לא? אם כן: האם הוא מפעיל על המגנט כוח שעוצמתו שווה לזו של הכוח שהמגנט מפעיל עליו? נמקו.
15. כדי ליצור מצפן יש להכות בפטיש (או באבן) על התיכת ברזל במשך שניות מספר, כשהברזל פונה לעבר הצפון המגנטי. אחר כך יש לתלות את הברזל על התיכת חוט הקשורה למרכז המסה שלו. מדוע גורמת ההכאה למיגנט הברזל?
16. כאשר בונים ספינות מברזל, מיקום המספנה וכיוון הספינה בתוכה בעת בנייתה נרשמים על לוח פלזי המוצמד לספינה ונשאר עליה. מדוע?
17. האם יכול שדה מגנטי לגרום לאלקטרון לנוע כאשר האלקטרון נייח ביחס לשדה? האם שדה חשמלי, ולא מגנטי, יכול לעשות זאת?
18. ניתן להשתמש בשדות מגנטיים כדי לכלוא פלסמה ב"בקבוקים מגנטיים", אך לשם כך על הפלסמה להיות בתנועה מתמדת. מדוע?
19. ציקלוטרון הוא מתקן להאצת חלקיקים טעונים למהירויות גבוהות במסלולים מעגליים גדלים והולכים. לצורך זה מפעילים על החלקיקים הטעונים הן שדה חשמלי והן שדה מגנטי. אחד השדות משמש להגדלת המהירות של החלקיקים, והשדה השני משמש להחזקתם