

רקע היסטורי

כבר בעת העתיקה ידעו כי חומרים מסוימים מושכים גופים קלים לאחר שמשפשפים אותם. חקר רציני של תופעת המשיכה בין גופים ששופשפו וגופים קלים התחיל רק בסוף המאה ה-16 עם עבודותיו של ויליאם גילברט (William Gilbert), מדען אנגלי ורופאה הפרטי של המלכה אליזבת הראשונה. אחד החומרים בו השתמש גילברט לחקר תופעות המשיכה הללו היה ענבר, ביוונית, אלקטרון. גילברט הציע לקרוא לתופעות הללו בשם הלטיני "ELECTRIQUS" מכאן מקור השם "electricity". המילה "electricity" תורגמה בעברית של ימינו ל"חשמל" על פי תרגום השבעים של התנ"ך, בו הביטוי "כעין החשמל" המופיע בספר יחזקאל תורגם במילה electron.

גילברט גם המציא את מכשיר המדידה הראשון לחקר התופעה ה-"VERSORIUM", אב טיפוס האלקטרוסקופ של ימינו. הוא מצא שהתכונה המסתורית הזאת מסוגלת לעבור דרך חומרים מסוימים. הוא הצביע גם על התכונות החשמליות של חודים.

עד סוף המאה ה-18, נחקרו בעיקר תופעות המשיכה והדחייה בין גופים ששופשפו, תחום הנקרא כיום "אלקטרוסטטיקה", חשמל סטטי. מחקרים אלו נתפסו על ידי הציבור כחקר תופעות משעשעות ללא שימוש פרקטי.

אחד היישומים הפרקטיים הראשונים למחקרים אלו הינו המצאת כליא הברק על ידי בנג'מין פרנקלין. ברק הוא תופעת הטבע החשמלית העוצמתית ביותר והוא נגרם מפריקת חשמל סטטי הנמצא בעננים. לאחר שבנג'מין פרנקלין הראה את אופיו החשמלי של תופעת הברק ב-1752 על ידי פריקתו דרך עפיפון, ניסוי שעלה לו כמעט בחייו, הוא הגה את רעיון כליא הברק, חוד מתכתי המחובר לאדמה והבולט מעל המבנה עליו הוא אמור להגן.

כוחות מסתוריים אלו שנצפו נובעים מתכונת יסוד של החומר: המטען החשמלי. המטען החשמלי הוא גודל בסיסי ולא נוכל להגדירו אלא בצורה אופרטיבית.

כבר במאה ה-18 ניסויים הראו שקיימים שני סוגי מטענים. בין גופים הטעונים באותו סוג מטען קיימים כוחות דחייה ואילו בין גופים הטעונים במטענים מסוגים שונים קיימים כוחות משיכה.

כיום מוסברת תכונה זו באמצעות מודל האטום. החומר בנוי מחלקיקים קטנים הנקראים אטומים. האטום מורכב בעצמו מחלקיקי יסוד: האלקטרון בעל מטען שלילי, הפרוטון בעל מטען חיובי והנויטרון חסר המטען. בזמן שפשוף גוף בגוף, עוברים אלקטרונים מגוף אחד לשני. הגוף בעל עודף האלקטרונים נטען במטען שלילי. הגוף החסר אלקטרונים הפך להיות טעון במטען חיובי.

המונחים "שלילי" ו"חיובי" לאפיון סוג המטען של חומר נקבעו באופן שרירותי על ידי בנג'מין פרנקלין, אשר סבר כי החשמל הוא סוג של נוזל אשר נמצא בכל החומרים הקיימים. הוא הניח ששפשוף משטחים זה בזה גרם לנוזל זה לשנות מקום, ושזרם הנוזל הוא אשר יוצר את הזרם החשמלי. הוא הניח גם שכאשר חומר מכיל מעט מדי מה"נוזל" הזה הוא היה טעון "שלילית", וכאשר היה לו עודף, הוא היה טעון "חיובית". הוא קבע שרירותית (או מסיבה שלא ידועה) שהמטען המתקבל על ידי שפשוף מקל זכוכית עם משי הוא מטען "חיובי" ואילו מטען המתקבל משפשוף מקל ענבר עם פרווה הוא מטען "שלילי".

יחידת המטען החשמלי התקנית היא קולון (שסמלה C) על שם המדען הצרפתי שרל קולון (1736-1806)

שרל קולון היה המדען הראשון שחקר כמותית את הכוח הפועל בין גופים טעונים במטען חשמלי.

יחידה של קולון אחד שווה למטען של 625 מיליארד מיליארדים של פרוטונים (או 1 C) שווה למטען של 625 מיליארד מיליארדים של אלקטרונים). זאת אומרת שעל מנת לטעון גוף ב-1 קולון, עלינו לתלוש ממנו 625 מיליארד מיליארדים של אלקטרונים.

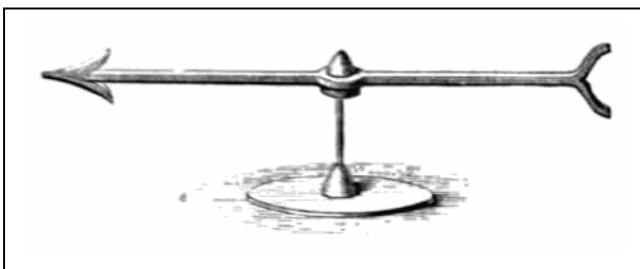
מכאן ניתן להבין שהקולון היא יחידה מאוד גדולה ועל ידי שפשוף אנחנו בדרך כלל מקבלים גופים שמטענם חלק קטן מאוד של קולון שלם, למשל מיליארדית הקולון.

את המטען של גוף טעון ניתן למדוד באמצעות מכשיר מדידה הנקרא "קולונמטר" (ראה תמונה)



רוב הכוחות המוכרים לנו ברמה המקרוסקופית הם כוחות חשמליים: הכוח הנורמלי, כוח החיכוך, הכוח האלסטי וסוגים שונים של קשרים כימיים, כולם נגרמים מכוחות חשמליים מיקרוסקופיים. אלקטרוסטטיות נגרמת בשל הכוחות שמפעילים מטענים חשמליים זה על זה. כוחות אלו מתוארים על ידי חוק קולון.

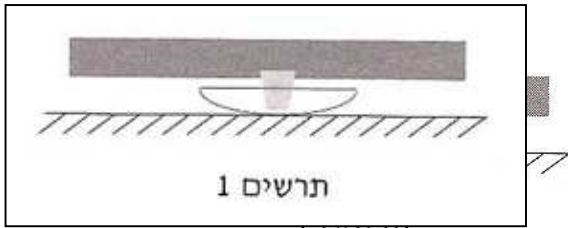
מתקן זה דומה ל "versorium" שנבנה על ידי גילברט לניסוייו לחקר מטענים. מוצע לבנות אותו ולהדגים את פעולתו בכיתה. עלה אלומיניום (מהסוג העבה בשימוש במטבח) מחליף את המחט של גילברט.



מטרת הפעילויות הבאות היא להכיר את תכונת המטען החשמלי ולחקור היבטים שונים של הכוחות הפועלים בין מטענים חשמליים.

טעינה על ידי שפשוף

ציוד



2 לוחיות PVC, זכוכית שעון, בד צמר מהודק לסרגל פלסטיק, פלסטלינה מעמידים לוחית אחת של PVC על זכוכית השעון בעזרת פלסטלינה (ראו תרשים 1).

(תמונה מתוך: פרקי חשמל ומגנטיות- פעילויות, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן)

הנחיות לתלמידים

1. קרבו ללוחית ה PVC את הלוחית השנייה. האם יש אינטראקציה בין הלוחות?
2. חזרו על פעולה לאחר שפשוף שתי הלוחיות בבד הצמר. מה קורה עכשיו?
3. האם הלוחיות נטענו באותו סוג מטען? נמקו.
4. מה יקרה לדעתכם אם נקרב את הסרגל עם בד הצמר שהשתמשנו בו לשפשוף ללוחית המשופשפת המוצמדת לזכוכית השעון? בדקו את השערתכם תוך ביצוע ניסוי
5. האם המטען שהצטבר על הבד והמטען שהצטבר על הלוחית מאותו סוג? נמקו
6. סכמו:

- בין מטענים מאותו סוג קיימים כוחות דחייה/ משיכה
- בין מטענים מסוגים שונים קיימים כוחות דחייה/ משיכה

ניתן לחזק את ההבנה של התלמידים לגבי כוחות המשיכה הפועלים בין מטענים חשמליים באמצעות הפעילות [יוצרים חשמל סטטי](#) הנמצאת באתר אופק (הפעילות דורשת סיסמא)

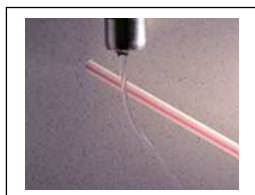
השראה אלקטרוסטטית

בפעילות הקודמת התוודעו התלמידים לעובדה שבין גופים טעונים קיימים כוחות דחייה או משיכה. למעשה בחיי היום יום, נפגשים התלמידים לא מעט בתופעות הקשורות למשיכה אלקטרוסטטית בין גוף טעון וגוף לא טעון. מדוע זה קורה?

בהדגמות הבאות מכירים התלמידים תופעות הקשורות למשיכות אלקטרוסטטיות בין גוף טעון לבין גוף שאינו טעון ודנים על ההסבר לתופעות אילו.

להלן דוגמאות לפעילויות שתלמידים יכולים לבצע בכיתה כדי להדגים השראה אלקטרוסטטית

- משיכת פיסות נייר קטנות, חוטים או פיסות אלומיניום על ידי סרגל פלסטי משופשף
- משיכת קילוח מים דק על ידי בלון משופשף
- בשיער או קשית משופשפת בבד צמר (ראו תמונה).
- משיכת בועות סבון על ידי בלון משופשף



אפשר לשאול את התלמידים שאלות לגבי הפעילות כגון:

1. כיצד נבדוק שאמנם הניירות או המים לא היו טעונים? בעזרת טסטר "הפלא" שלנו.
2. האם הם מכירים עוד תופעות כאלו (למשל קרבת בלון משופשף לשערות או הדבקת בלון משופשף לקיר)
3. במה דומה ובמה שונה פעילות זו מהפעילות הקודמת? (פעילות 2)

: בניית מכשיר לחקר כוחות חשמליים : "האלקטרוסקופ"

ברוב בתי הספר ישנם אלקטרוסקופים. יחד אם זאת, לשימוש באלקטרוסקופ שבנה התלמיד בעצמו ערך ייחודי משלו. זה גם יזמן, פעילויות חקר קטנות עצמאיות של התלמידים. מוצע לבקש מהתלמידים לבנות את האלקטרוסקופ בבית ולבקשם להביאו לכיתה בשיעור הבא. במהלך ההתנסות יש להקפיד שהצנצנת/הבקבוק יהיו יבשים והמכסה מבודד



אלקטרוסקופ מבקבוק קולה

(התמונה נלקחה מתוך אתר מוזיאון המדע על שם בלומפילד)

ציוד:

- בקבוק משקה קל עשוי פלסטיק שקוף, רחוף ומיובש היטב ופקק פלסטי תואם או לחילופין צנצנת זכוכית נקייה ושקופה ומכסה קרטון או פלסטיק מותאם (שיודבק לצנצנת בגמר הבנייה). אין להשתמש במכסה מתכת.
- חוט ברזל דק (בעובי חצי מ"מ עד מ"מ). ניתן להשתמש בסיכת משרד) או חוט נחושת של חשמלאי שהורד ממנו מעטפת הפלסטיק.
- נייר אלומיניום דק מהסוג בשימוש במטבח.

הכנה:

- השחילו את החוט דרך המכסה.
- בחלקו העליון (מחוץ לצנצנת) לפפו את החוט בספירלה מקבילה למישור המכסה
- בחלקו התחתון (בתוך הצנצנת) כופפו את החוט בקצהו בצורה של לולאה והשחילו בו שתי פיסות נייר אלומיניום.
- הציבו את המכסה במקום והדביקו אם יש צורך

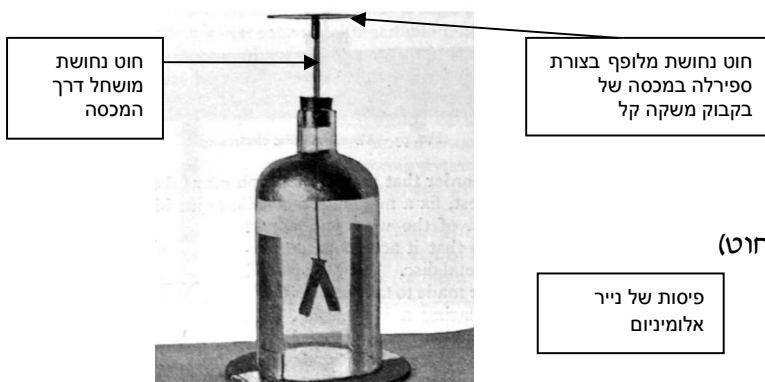
התמונה באה להמחשה:

חלק חיצוני של האלקטרוסקופ:

הספירלה מקבילה למכסה

חוט הנחושת מושחל במכסה

(עדיף להשאיר את עטיפת הפלסטיק בחלק זה של החוט)





מכופפים את הקצה התחתון החשוף של חוט הנחושת ותולים בו שני עלי ניר אלומיניום
והנה: האלקטרוסקופ מוכן (המכסה השקוף מודבק לצנצנת)

חקירת הגורמים המשפיעים על גודל הכוח בין מטענים חלק א: פעילות עם אלקטרוסקופ

ציוד:

- אלקטרוסקופ שבנה התלמיד
- קשים, או לוחיות PVC של הפעילות הקודמת
- פיסת צמר
- סרגל מתכת
- דיבל מעץ
- סרגל פלסטיק

הנחיות לתלמידים:

1. שפשפו לוחית PVC בבד צמר וגעו בו בראש האלקטרוסקופ. הרחיקו את הלוחית. תארו מה ראיתם. הסבירו, את שהתרחש _____
 2. האם המטען על העלים זהה או שונה מהמטען על הלוחית? נמקו את תשובתכם _____
 3. מה יקרה לדעתכם עם נחזור על הפעולה פעם נוספת בלי לפרוק את האלקטרוסקופ? בדקו את השערתכם. חזרו על הפעולה מספר פעמים ברצף. תארו מה אתם רואים. _____
 4. מה קרה לגודל המטען על העלים לאחר כל נגיעה?
 5. מה ניתן ללמוד מהתנסות זו על עוצמת הכוח הקיים בין העלים? שערו על פי מה שראיתם מהו הגורם המשפיע על גודל הכוח החשמלי בין מטענים?
 6. נסחו את השערתכם: ככל ש _____ גדלים, הכוח החשמלי גדל/ קטן .
 7. מה יקרה לדעתכם אם ניגע בגולת האלקטרוסקופ בבד ששימש לשפשוף הלוחית? בדקו את השערתכם. האם תוצאות הניסוי מחזקות את השערתכם בסעיף 6? הסבירו.
 8. מה יקרה לדעתכם עם ניגע באצבע בראש האלקטרוסקופ? _____ בצעו את הניסוי.
 9. בתום ניסוי זה דונו בשאלה לאן נעלמו המטענים שהצטברו על העלים? לפעולה זאת קוראים הארקה. הסבירו מה זה **הארקה**
- הארקה (מקור המילה "הארקה" מארמית אַרְקָא – ארץ) היא חיבור גוף לכדור הארץ על ידי מוליך. מה ניתן להגיד אם כך על גופנו?**

10. צרפו שתי קבוצות תלמידים. קבוצה ראשונה תטען את האלקטרוסקופ שלה (A) כך שהעלים יתרחקו במידה ניכרת זה מזה. הקבוצה השנייה (B) לא תטען אותו. כעת הניחו סרגל מתכת בין 2 גולות האלקטרוסקופים (החזיקו אותו בעזרת בד או אטב פלסטיק). תארו מה קרה לעלים של האלקטרוסקופ (A)? _____ לעלים של האלקטרוסקופ B? _____. הסבירו את התופעה: _____
11. האם תוצאות הניסוי לגבי האלקטרוסקופ (A) מאששות את השערתכם בסעיף 4? הסבירו
12. חזרו על הניסוי אך הפעם הניחו דיבל מעץ בין המכשירים. הסבירו מדוע תוצאות הניסוי שונות?

חלק ב: פעילות עם אלקטרוסקופ

1. במידה והאלקטרוסקופ טעון פרקו אותו ממטען חשמלי/על ידי הארקה כפי שלמדנו בפעילות הקודמת: נגיעה באצבע). תארו מה קורה לעלים כתוצאה מהפריקה החשמלית.
2. שפשפו שוב את הלוחית PVC אך הפעם קרבו אותה ללא מגע. תארו מה קורה.
3. האם המטען על העלים הוא כמו בניסוי 1? בדקו את השערתכם.
4. תארו מה קרה כשהרחקתם את הלוחית? _____ האם האלקטרוסקופ היה טעון? _____. לתופעה הזאת קורים **השראה אלקטרוסטטית**. עליה למדנו לפני פעילות 3.
5. חזרו על הפעולה 2 והפעם שחקו עם המרחק בין הלוחית לגולת האלקטרוסקופ. מה ניתן לראות?
6. מה ניתן להסיק מכך על השפעת המרחק על חוזק הכוח החשמלי? _____
7. נסחו את השערתכם: ככל ש _____ בין המטענים גדל, הכוח החשמלי ביניהם גדל/קטן.

יישומים טכנולוגיים

1. **כליא ברק**
כבר הוזכר ברקע ההיסטורי
2. **צביעה אלקטרוסטטית**
צביעה אלקטרוסטטית מבוססת על העיקרון של "משיכה נגדית" כדי ליצור גימור אחיד ועמיד על גבי אביזרים/משטחים העשויים ממתכת. בשיטה זו נעשה שימוש בצבע אבקתי המכיל שרפים וחומרי צבע (פיגמנטים). הצבע מוזן ממיכל האספקה לתוך אקדח הריסוס. האביזר/משטח הנצבע נטען במטען חיובי. הצבע אבקתי וחלקיקי הצבע נטענים במטען שלילי ומופרדים לחלקיקים על ידי ריסוס אל מחוץ לאקדח בעזרת אוויר דחוס.
חלקיקי הצבע הטעונים במטען שלילי נמשכים באופן חזק לאביזר/משטח הטעון במטען חיובי.
חלקיקי האבקה מוחזקים שם עד להתכתם והתאחדותם ליצירת שכבת ציפוי דקה לאחר טיפול בתנורי יבוש.

3. מְשַׁקְעִים אלקטרוסטטיים

מדי שנה מייצרות תחנות הכוח מאות אלפי טונות של אפר פחם. אפר זה מהווה מפגע אקולוגי ובזבוז משאבים. מְשַׁקְעִים אלקטרוסטטיים מאפשרים מצד אחד למנוע את פליטת האפר לאוויר מארובות תחנות הכוח והמפעלים ומצד שני לאסוף אותו ולמחזר אותו. כיום משמש אפר זה כמרכיב חשוב בתעשיות המלט והבטון ובתשתיות הכבישים .

4. מכונות צילום מודרניות

מכונות אלו משתמשות כולן בעיקרון המשיכה האלקטרוסטטית בין מטענים מנוגדי סימן. ניתן לסכם את אופן פעולתן באופן סכמתי בצורה הבאה :

דוגמאות לשאלות לסיכום

1. אם משפשפים בלון מנופח בשיער ומצמידים אותו לדלת, הוא נשאר דבוק. הסבירו את המנגנון הגורם לו להישאר דבוק.
2. חשבו את מטענו של גוף שעל ידי שפשוף הועבר אליו מיליון אלקטרונים עודפים.
3. גוף טעון במטען השווה ל- $2 \cdot 10^{-6}$ קולון. –האם יש בו עודף או חוסר אלקטרונים? חשבו כמה אלקטרונים עודפים/חסרים יש בו?
4. צמיגיהם של מטוסים מכילים מרכיב מסוים של חומר מוליך. הסבירו מדוע.
5. מאחורי משאיות המובילות חומרים דליקים, משתלשלת שרשרת מתכתית המגיעה לרצפה. הסבירו מה תפקידה.
6. רוני קירבה מוט PVC משופשף לבועת סבון וצפתה במתרחש. בשלב ראשון היא ראתה כי הבועה "התקרבה ונגעה" במוט ואז נסוגה ו"בורחת ממנו". הסברו את התופעה.
7. יוסי טוען אלקטרוסקופ A ואז מחבר אותו לאלקטרוסקופ B לא טעון בעזרת סרגל מתכת. תארו מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ A. מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ B. נמקו
8. תלמידה הטעינה אלקטרוסקופ A ואז חיברה אותו לאלקטרוסקופ B לא טעון בעזרת סרגל פלסטיק. תארו מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ A. מה קורה לעלים של אלקטרוסקופ B. נמקו
9. ביום יבש, אם מנסים לפתוח דלת מכונית לאחר נסיעה כשמקרבים יד לדלת מקבלים "מכת חשמל". הסבירו מדוע. ומדוע תופעה זו לא מורגשת ביום לח?
10. אורן וזיווה צפו בהדגמות המורה בנושא אלקטרוסטטיקה. אורן שם לב שהמורה השתמשה לצורך ההדגמה במוט עשוי חומר פלסטי ולא בסרגל מתכת. אורן טוען שלא ניתן לעשות את ההדגמות בעזרת סרגל מתכת, כי לא ניתן לטעון אותו. זיווה טוענת שזה לא הגיוני, כי בחומר מוליך יש אלקטרונים ניידים ודווקא קל לתלוש אותם.
- מי צודק? נמקו את תשובתכם. הסבירו מדוע המורה לא השתמשה בסרגל מתכת?
11. נעמה הקוסמת רצתה להרשים את הילדים במסיבת יום הולדת. היא הניחה פחית קולה ריקה על הדופן הצדית שלה על פני השולחן, והצליחה לגלגל אותה לאורך השולחן על ידי קירוב (ללא מגע) של בלון משופשף. האם אפשר היה להניע את הפחית, על ידי קרוב של גוף אחר? כיצד ניתן לגרום לדחייה של הפחית? האם ניתן לבצע את "הקסם" גם בעזרת בקבוק קטן ריק של מיץ תפוזים? הסבירו.
12. שני כדורים קטנים העשויים מחומר מוליך תלויים על חוטים מקבילים כך שהם נוגעים זה בזה. נוגעים באחד הכדורים בעזרת סרגל פלסטיק משופשף. הכדורים מתרחקים זה מזה. הסבירו מדוע.

תהליך הצילום

- א. מניחים את הדף המיועד לצילום על לוח הזכוכית כשפניו כלפי מטה.
- ב. פני התוף נטענים בצורה אחידה במטען חיובי.
- ג. הנורה עוברת לאורך הדף אותו אמורה המכונה לצלם, ובאופן מקביל מסתובב התוף. במקומות בהם חדר האור את הדף הוא מגיע לפני התוף וגורם לשינוי במטען החשמלי. בשאר המקומות, כלומר - המקומות בהם היה כתוב או מצויר משהו על הדף - המטען נשאר חיובי.
- ד. אבקת טונר מתפזרת על התוף ונצמדת לאזורים בהם המטען נשאר חיובי, כלומר - האזורים שבדף המיועד לצילום היו כתובים.
- ה. דף, שנטען גם כן במטען חיובי, עובר בין התוף המכוסה בטונר לגלגלת נוספת. כשעובר הדף מתחת לתוף הוא מושך ממנו את הטונר (הטונר - שלילי, הדף - חיובי, מה שיוצר משיכה חזקה ביניהם) וכך נוצרת עליו התמונה הסופית.
- ו. הטונר מוצמד לדף באמצעות חום ולחץ תוך כדי המעבר בתנור, והדף המצולם נפלט החוצה.
- ז. התוף מנוקה מטונר על ידי מברשות מיוחדות, והמטען החשמלי שעל פניו נפרק.