

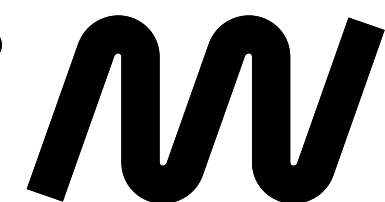


# כוח - החצות horsepower

Bloomfield  
Science Museum  
Jerusalem

متحف العلوم  
على اسم بلومفيلد  
القدس

מוזיאון המדע  
ע"ש בלומפילד  
ירושלים



# אנרגיה בכל חלק

## מהי אנרגיה

מהו אותו גודל פיסיקאלי המלווה את כל המתרחש סביבנו ובתוכנו? מֶה־פִּיכָת אור השמש לסוכר בצמחים, והשוקולד שאנו אוכלים לתנועת השרירים ועד לפעולת מכשירים, ותנועת מכוניות בכבישים. גודל המשנה צורה ומקום, אך ערכו הכולל נשמר. לא במקרה יש המכנים אותו ה"כסף (או המטבע) של הטבע".

שימוש מושכל באנרגיה מלווה את התפתחות הטכנולוגיה האנושית מיליוני שנים, אך רק לפני כ-300 שנה התחילו מחקר ופיתוח מסודרים בנושא. המחקר הביא ליצירת תחום מדעי חדש, התרמודינמיקה. תחום העוסק במגוון ההיבטים

הקשורים לאנרגיה: עבודה, הספק, חום, טמפרטורה ועוד. ועדיין, הגדרת המושג אנרגיה שתמצאו בספרי הלימוד ("היכולת לבצע עבודה ו/או להפיק חום") אינה מוסכמת ואינה אומרת הרבה.

לא בטוח שביקור בתערוכה יספק תשובה מדויקת אבל אנו מקווים שהמוצגים שבה יבהירו מעט במה מדובר: גרנטורים בהם תמירו את כוח ותנועת השרירים לאנרגיה חשמלית, מים ההופכים לדלק (מימן), זרם חשמלי המסובב מנוע, חום הזורם ממקום למקום, אגירת אנרגיה ומחיר השימוש בה. כי לשימוש באנרגיה יש גם מחיר...



# לעצור את התנודה

מפעילים מנוע המשחרר את המטוטלת ומתבוננים במשך מספר שניות על תנועת המטוטלת ועל המגנטים העוברים הלוך וחזור על פני הסליל. לחיצה על הלחצן הנוסף, המחבר את הסליל לנוריות הLED, מובילה להאטה של המטוטלת.

זרוע המנוע מעניקה גובה (אנרגיה פוטנציאלית) למטוטלת. בעת תנועת המטוטלת, אנרגיית הגובה הופכת לאנרגיית תנועה וחוזר חלילה.

בעולם אידאלי ללא חיכוך, תנועת המטוטלת הייתה ממשיכה כך לעד.

המגנטים החולפים על פני הסליל מייצרים מתח חשמלי (שינוי שטף מגנטי-חוק לנץ), כאשר מחברים את נוריות הLED לסליל על ידי לחיצת הכפתור, נסגר מעגל חשמלי והן נדלקות.

אנרגיית התנועה של המטוטלת הופכת לאנרגיה חשמלית ולאנרגיית אור ולכן המטוטלת מאטה.





# כח סוס

מניפים את המשקולת לגובה מטר אחד במהירות האפשרית.

כשמרימים את המשקולת ממירים את אנרגיית השרירים לאנרגיית הגובה של המשקולת.

הספק הוא הקצב בו זורמת האנרגיה. ככל שההספק גדול יותר נוכל להעביר יותר אנרגיה בזמן קצר יותר.

כוח סוס היא יחידת הספק שהוגדרה בתקופה בה סוסים שימשו ב"מנועים" להפעלת מכונות. זוהי היכולת להרים 75 קילו לגובה של מטר אחד תוך שניה אחת.

כח סוס אחד שווה לכ750 וואט, שגם היא יחידת הספק, המקובלת במכשירי חשמל.

אם מצליחים להרים את המשקולת (שמסתה 7.5 קילוגרם) תוך חצי שניה, מפיקים מגופנו חמישית כח סוס (כ 150 וואט). אם מצליחים להמשיך להעלות ולהוריד את המשקולת בקצב זה, אפשר להפעיל מחשב או מסך טלוויזיה.

מה המאמץ הנדרש להפעיל קומקום חשמלי, שהספקו 2000 וואט (כמעט 3 כוחות סוס), בכדי להרתיח ליטר מים?

# לדחוס את האנרגיה

ויטרינה ובה אלמנטים שונים האוגרים בתוכם אנרגיה. עבור כל אלמנט מצוינת כמות האנרגיה האגורה בו או שניתן לאגור בו, כך שניתן להשוות בין האלמנטים השונים.

חסרונם הגדול של מקורות מתחדשים (אור שמש, רוח, זרימת מים) הוא שצריך להשתמש באנרגיה המתקבלת מהם במקום ובזמן בו הם קיימים, או לאגור אותה. קיימות שיטות רבות לאגירת אנרגיה: קפיץ, גומייה ואוויר דחוס אוגרים אנרגיה באופן מכני, קבל אוגר מטען חשמלי, סוללה אוגרת חשמל באופן כימי, כאשר אנו מחממים את המים בדוד בשעות בהן החשמל זול (או עדיף בעזרת השמש בדוד שמש) אנו אוגרים אנרגית חום למקלחת בלילה. וכמובן, אנרגיה אגורה גם בכל חומר דליק או בעל ערך קלורי (מעץ ופחם ועד פסטה וסוכריות...). המדד העיקרי להשוואת יעילות השיטות הוא צפיפות האנרגיה. כמה אנרגיה אפשר לאגור בקילוגרם (או בליטר) של חומר. בדיוק כמו שאנו משווים את הערך הקלורי של חסה לעומת גבינה, אנו משווים את כמות האנרגיה האגורה באותו משקל של דלק, או סוללה או מים המעלים לגובה (אנרגיה שאובה). וכאן לצערנו קשה עדין לנצח את חומרי הדלק הפוסיליים, מכל דלק במשקל 30-40 קילוגרם מכיל כמות אנרגיה המספיקה להסיע מכונית עם מנוע בנזין למרחק של יותר מ-500 קילומטרים. כדי להגיע למרחק דומה במכונית חשמלית, עליה לשאת סוללות במשקל יותר מחצי טון.



# אנטרופיה - הסיבה לבלגן הטבעי...

סדרת סרטונים המוקרנים כש אחד מהם רץ קדימה והשני מורץ אחורנית.

היכולת לנחש את כיוון הקרנת הסרטונים קשורה למרבה הפליאה גם לאנרגיה. באופן טבעי האנרגיה נוטה להתפזר ולעבור ממקומות בהם היא מרוכזת לסביבה: כוס מים רותחים תתקרר ותעביר חום לסביבה אך לעולם לא "תשאב ממנה חום" ותתחמם חזרה, קוביות המסודרות במגדל יפלו ויתפזרו אך לא יקפצו ויסתדרו מעצמם זו מעל זו.

החוק השני של התרמודינמיקה, מתייחס לתופעה זו גם בהקשר של סדר ואי סדר. ככל שהאנרגיה מפוזרת יותר, חוסר הסדר במערכת גדול יותר. וכמו שאנו מכירים מהבית, הדברים נוטים באופן טבעי להתבלגן וחוסר הסדר גדל...

אנטרופיה היא המונח המדעי לאותו חוסר סדר וכיוון ציר הזמן הוא הכיוון בו היא גדלה. למרות שרובנו לא מכירים את המושג אנו "מרגישים" מתי התהליכים שבסרטונים שומרים על מידת הסדר שבהם ומתי הדברים הופכים להיות פחות מסודרים.



# לראות את החום

לחיצה ממושכת על אחד הכפתורים מדליקה את הנוריות הסגולות הנמצאות בתחתית, הנוזל נצבע ועולה מעלה.

הנוזל שבאקווריום הוא נוזל פוטוכרומי המשנה את צבעו בהשפעת אור הנוריות הסגולות הנמצאות בתחתית. אך הנוריות גם מחממות את הנוזל - חימום הגורם לו להתרחב, לצפיפותו לקטון ולכח העילוי להעלות אותו למעלה. זוהי קונבקציה - הולכת חום בהסעה. הולכת חום זו יעילה מאד ומתרחשת בקומקומים, סירי בישול ודודי מים. בלעדיה החום אינו מתפזר באופן אחיד והטמפרטורה בחלק ממנו עולה מאד. זה מה שקורה בהכנת דייסה כאשר היא מפסיקה להיות נוזלית ואם לא בוחשים אותה תחתית הסיר נשרפת.



# הפעלת מכשירים בעזרת גנרטור יד

מסובבים את הידית ובעזרת המתגים מחברים ומפעילים את המכשירים השונים תוך צפייה בהספק החשמלי הנדרש להפעלת כל מכשיר.

כל אחד ממכשירי החשמל בביתנו צורך אנרגיה חשמלית בקצב שונה. קצב צריכת האנרגיה היא הספק המכשיר. הספק זה כתוב לרוב בתווית שעל המכשיר.

שקעי החשמל יכולים לספק גם אלפי וואטים ולכן קשה לנו להבחין בין מכשירים הצורכים וואטים בודדים לזללני הספק (בעיקר מכשירי חימום). אך אם נפעיל מכשירים הצורכים הספק רב לזמן ארוך הדבר ישפיע על חשבון החשמל.

על מנת להרתיח כוס מים נצטרך פעולה רציפה ומאומצת של כ-100 אנשים למשך כשלוש דקות שלמות!



# לשמור על החום והקור

שני לוחות מתכת גדולים, האחד חם והשני קר, בהם נוגעים בידים חשופות ודרך חומרים שונים.

הולכת חום תלויה בסוג החומר ובעוביו. ככל שהולכת החום גדולה, הטמפרטורה שנרגיש תהיה קרובה יותר לטמפרטורה של החפץ אליו מצמידים את החומר. כאשר מדובר בחפצים בטמפרטורה גבוהה - החום עובר מהם אלינו ואנו מרגישים טמפרטורה גבוהה יותר.

בחפצים קרים החום עובר מאיתנו אליהם ואנו מרגישים קור.

באיזה חומרים נשתמש לריפוד בגדים לחורף ובאיזה להכנת צלעות קירור?



# להדליק את האש

לוחצים את המקל אל תוך גוש העץ ומסובבים אותו. רואים במסך לאיזו טמפרטורה מצליחים להגיע, וכמה עשן ואש עולים מן העץ. בודקים מה תורם יותר לחימום: סיבוב מהיר או לחיצה חזקה?

הטמפרטורה עולה כי חיכוך המוט בעץ הופך את אנרגיית התנועה (הסיבוב) לאנרגיית חום. אך בניגוד להמרות אנרגיה אחרות, הפועלות בשני הכיוונים, חיכוך תמיד מתנגד לתנועה והופך את אנרגיית התנועה לחום. הפיכת חום בחזרה לתנועה לעולם אינה מושלמת.

בעבר הרחוק השתמשו בשיטה זו להדלקת אש וגם היום יש אנשי מחנאות העושים זאת. אך כדי להצליח ממש להצית להבה-יש להשתמש בעצים מתאימים ולהתאמן די הרבה...



# מקורות האנרגיה

## כמעט הכל מהשמש

החיים על פני כדור הארץ מבוססים על מערכת אנרגיה פתוחה, שאנרגיה נכנסת לתוכה, מתגלגלת בה ויוצאת ממנה באופן רציף.

לדוגמה, במעמקי כדור הארץ, אנרגיה גיאותרמית נוצרת מפירוק גרעיני של איזוטופים, ומוסעת כלפי מעלה תוך שהיא גורמת להתרחשותן של תופעות גיאולוגיות כמו תנועת הלוחות, רעידות אדמה והתפרצות הרי געש.

האטמוספירה מקבלת אנרגיה מהשמש, המחממת את כדור הארץ וכך יוצרת את האקלים על כל תופעותיו: סופות, שיטפונות, תקופות בצורת וגלי חום וקור. הביוספירה היא מכלול כל היצורים החיים, ובהם הצמחים ובעלי החיים.

רוב בעלי החיים ניזונים מצמחים, הממירים את אנרגיית אור השמש לסוכרים בתהליך הפוטוסינתזה. האנרגיה המתגלגלת בכל המערכות האלה היא הבסיס לקיומו של האדם עלי אדמות.



# מנוע סטירלינג

מנוע סטירלינג הוא מנוע בעירה חיצונית הממיר אנרגיית חום לעבודה מכנית.

מקור חום חיצוני (להבת גז במקרה זה) מחמם אוויר הנמצא בצילינדר. האוויר מתפשט ומפעיל כוח על בוכנה המסובבת גלגל תנופה. על גלגל התנופה מותקנים מגנטים ומולם סלילים המחוברים לנוריות קטנות. תנועת המגנט ליד הסליל יוצרת זרם חשמלי המדליק את הנוריות. במנועים אמיתיים מחברים את גלגל התנופה לגנרטור להפקת חשמל או למערכות מכניות אחרות.

המנוע הומצא על ידי רוברט סטירלינג בתחילת המאה ה-19 אך משמש עד היום במגוון מקומות: החל מגנרטורים להפקת חשמל מחום שיורי, פסולת או אפילו אור השמש, ועד צעצועים והדגמות מדעיות.

יתרונו הוא בפעולתו השקטה והפשוטה ובתחזוקה המינימלית שהוא דורש. אך הוא גדול יחסית למנועים אחרים בעלי הספק דומה ולכן אינו מתאים לכלי תחבורה.



# חום בקטנה

מניחים את "חותמות" האלומיניום על המשטחים השחורים ורואים כיצד משתנה הצבע שלהם.

ניתן לגעת באצבעות בתחתית ה"חותמת" ולהרגיש את הבדלי הטמפרטורה שלהן.

כל "חותמת" מחוממות על ידי נורת לד המוצמדת אליה. הספק הלד זהה בשתי החותמות (כ 7 וואט), אך ה"חותמת" הקטנה מתחממת יותר.

הבדלי הטמפרטורות נובעים מהפרשי שטח הפנים של הדסקיות.

שטח פנים גדול מאפשר ליותר שטח מחומם להיות חשוף לאוויר.

בעת המפגש של ה"חותמת" עם האוויר, החום עובר מן החותמת אל הסביבה.

לכן ה"חותמת" הגדולה מפזרת את החום שלה בצורה מהירה יותר.

המשטחים השחורים הם חומרים תרמוכרומיים המשנים את צבעם בעקבות שינויי טמפרטורה: תרמו (טמפרטורה) כרומיים (צבע).



# מכח השרירים לנסיעה בשמיים

מסובבים את הידיות ומתבוננים למעלה על המסלולים.

מנסים להסיע את הקרונית לאחור או במהירות המרבית.

הידית שמסובבים מחוברת לגנרטור, מכשיר הממיר אנרגיה מכנית לאנרגיה חשמלית. זרם חשמלי המופק מהגנרטור מועבר לפסי המתכת המעבירים אותו למנוע המסיע את הקרונית.

מכוניות חשמליות שקטות, אמינות ואינן מזהמות את הסביבה בה הן נוסעות. אך בשונה מהמוצג, מכוניות חשמליות אמיתיות נטענות מחשמל המופק ברובו הגדול משריפת דלקים בתחנות הכח. הזיהום הנפלט משריפת אותם דלקים עולה במקרים רבים על זיהום שהיה נפלט ממנוע שריפה פנימית של מכונית דומה.



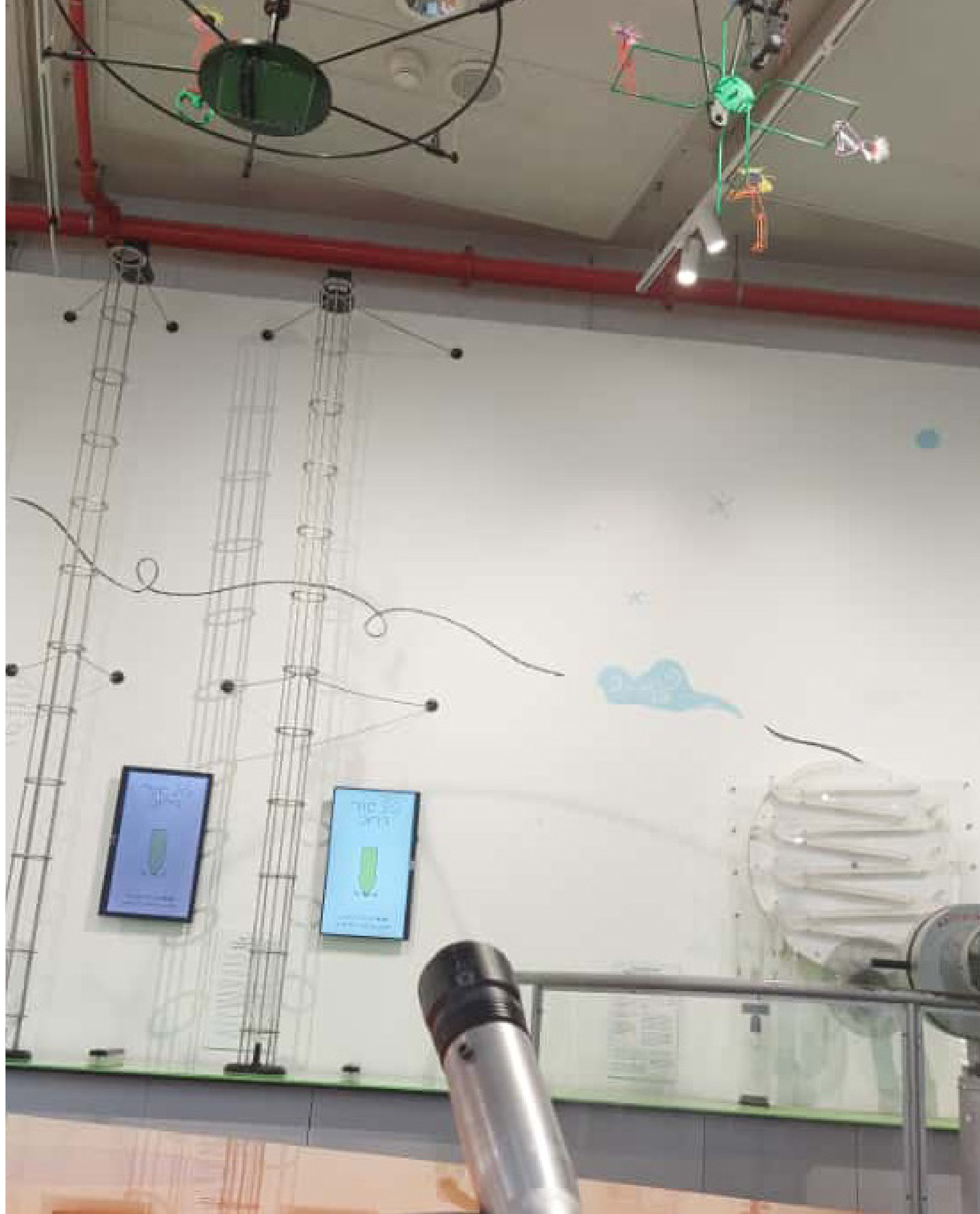
# אור השמש מזיז דברים

לוחצים על הלחצן להדליק את הפנס, מכוונים את אלומת האור אל המשטחים הכחולים שמעליהם ומסתכלים על תנועת ה"פסלים".

ניתן לכוון כמה פנסים לאותו משטח ולראות מה קורה.

המשטחים הכחולים הם תאים סולאריים (פוטו-וולטאים) הממירים את האנרגיה שבקרני האור לאנרגיה חשמלית. אנרגיה זו יכולה לשמש לכמעט כל דבר אחר. במוצג, הזרם החשמלי המופק מהתאים מועבר למנועים המזיזים את ה"פסלים".

אנרגיית השמש היא אנרגיה מתחדשת ואינה מתכלה, חסרונה הוא שצריך להשתמש בה "כאן ועכשיו", לכן כדי להעביר או לאגור אותה צריך להמירה. המרה לחשמל על ידי תאי סולאריים היא הטכנולוגיה המקובלת כיום, ומדענים ומהנדסים מנסים לפתח חומרים וטכנולוגיות להגדיל את הנצילות והיעילות של הלוחות הפוטו וולטאים. כלומר להפיק יותר אנרגיה חשמלית מאותה כמות של אור שמש.



# הרוח כמקור אנרגיה

מפעילים את המפוח על ידי סיבוב הידית ומכוונים אותו אל טורבינות הרוח על מנת להדליק את הנורות או להעלות את הגולה במסלול.

הטורבינות שבצדדים מחוברות לגנרטור חשמלי הממיר את אנרגיית הרוח לאנרגיה חשמלית המפעילה את הנורות. האמצעית מסובבת גלגלי שיניים שמעלים גולה (אנרגית גובה).

אנרגיה רוח שימשה גם בעבר להשטת סירות, טחינת קמח ויבוש מזון. טורבינות הרוח מאפשרות להמירה לאנרגיה חשמלית שניתן להעביר או לאגור.

למרות שהרוח ניתנת חינם - טורבינות גדולות יקרות יחסית ומותקנות רק במקומות חשופים בהם יש רוחות חזקות. מדענים ומהנדסים מנסים לפתח טורבינות קטנות בעלות להבים שצורתן מתאימה גם לרוחות חלשות שניתן להתקין בשכונות ואפילו על גגות פרטיים בדומה לתאים סולאריים.



# העולם החשמלי

## חשמל, מתווך אנרגטי ידידותי אבל יקר

החשמל מלווה אותנו כיום בכל מקום. הוא משמש להאיר, לחמם, להפעיל מכשירים ואף להניע כלי רכב. אך למרות שקשה לדמיין את החיים בלעדיו מדובר בטכנולוגיה צעירה יחסית בת פחות מ-200 שנה.

תנועה, חימום ותאורה, צרכני האנרגיה העיקריים של המין האנושי, נעשו כבר לפני עשרות אלפי שנים, אולי רק באופן מלכלך, מסוכן ופחות נח.

מה לגבי יעילות וניצול נבון של מקורות האנרגיה? האם אנו חושבים על המחיר של נוחות השימוש בחשמל? חשמל, איננו מקור אנרגיה אלא רק מתווך אנרגטי, שבמקרים רבים ממיר אנרגיה מסוג אחד לאותו סוג

בדיוק. דלק הנשרף בתחנת הכוח יוצר (אנרגית) חום, המסובב גנרטור (אנרגיה מכנית) המפיק חשמל. חשמל זה זורם בחוטים אלינו הביתה והופך שוב לחום או לתנועה מכנית.

אך רוב האנרגיה מתבזבזת בדרך ורק חלק קטן ממנה משמש אותנו בסוף. כאשר מחממים למשל מים בקומקום חשמלי, כמות הפחם הנשרפת בתחנת הכוח כפולה ויותר ממה שהינו צריכים לשרוף במדורה מתחת לסיר.

ברור שלא נחזור לימי המערות או נחבר את מכונת הכביסה למנוע קיטור, אך אם נמשיך להשתמש רק בדלקים פוסיליים, נכלה אותם. ואם נמשיך להשתמש רק בחשמל כאמצעי תיווך נכלה אותם מהר יותר...



# חיילים מגנטיים

לוחצים על הכפתור כדי להזרים זרם בסליל ומתבוננים בסיכות.  
מעמידים את אחת הסיכות על היד, משנים את מיקום היד ביחס לסליל  
ורואים האם הסיכה משנה את כיוונה.

הסיכות שבמרכז הסליל נעמדות כי הזרמים שבכל כריכות הסליל  
זורמים באותו הכיוון והשדות המגנטיים שהם יוצרים מתחברים יחד  
לשדה מגנטי חזק לאורך ציר הסליל.

השדה המגנטי של כדור הארץ נוצר עקב זרמים חשמליים במעבדה  
האדמה בעומק רב מתחת לקו המשווה. צורתו של שדה זה היא  
כצורת שדה הנוצר על ידי מגנט ענק שקצותיו נמצאים בקוטב הצפוני  
ובקוטב הדרומי.

# טבעת קופצת

כשנורת החיווי נדלקת, לוחצים על הכפתור ומעיפים את הטבעת.

הקבלים שמתחת לסליל נטענים במתח חשמלי, האנרגיה הנאגרת בהם גדלה לפי ריבוע המתח.

הטבעת קופצת כי דרך הסליל מוזרם זרם גבוה היוצר שדה מגנטי. שדה זה משרה זרמים חשמליים (זרמי מערבולת) בטבעת. זרמים אלו יוצרים שדה מגנטי נגדי הגורם לכך שהטבעת תקפוץ.

זרמי מערבולת נוצרים בכל מוליך הנמצא בשדות מגנטיים משתנים וגורמים לחימומו.

יש התקנים כמו שנאים, בהם חימום זה גורם להפסד ומנסים להקטין אותם. בהתקנים אחרים, כמו כיריים אינדוקטיביות דווקא מנצלים אותם לחימום הסירים.



# שנאי ידני

לוחצים לחיצה קצרה על אחד הכפתורים בדגם השנאי שמשמאל.  
מתבוננים בנורה ושמים לב לכיוון הזרם במד הזרם בסלילים.  
לוחצים ומשחררים את שני הכפתורים לסירוגין מהר ככל שניתן.  
שמים לב שהנורה דולקת רק כאשר לוחצים או עוזבים את הלחצן.  
בלחיצה רצופה הנורה אינה דולקת.

זהו עקרון הפעולה ומגבלתו של השנאי - הוא פועל רק בזרם חילופין,  
כלומר זרם המשתנה עם הזמן - אם אין שינוי בכיוון הזרם והזרם הוא  
זרם ישר הנורה לא תידלק.

השימוש בשנאי הוא גם הסיבה לכך שכמעט כל רשתות החשמל בעולם  
פועלות בזרם חילופין ולא בזרם ישר.



# שנאי אוטומטי

לוחצים לחיצה ממושכת על הכפתור בדגם שמימין.  
מתבוננים בכיוון הזרם המשתנה ובעוצמות האור שבמנורות.  
רואים איזו מהן מאירה באור חזק יותר ולאיזה סליל היא מחוברת.

בסליל הגדול יש יותר כריכות ולכן נוצר בו מתח גבוה יותר והלד  
המחוברת אליו מאירה חזק יותר. בסליל עם מעט הליפופים נוצר מתח  
נמוך יותר. זה גם מקור השם "שנאי" - הוא משנה את המתח החשמלי  
התאם ליחס בין מספר הכריכות בשני הסלילים.

משתמשים בשנאים ברשתות החשמל הארציות והעירוניות כי  
בעזרתם ניתן להעלות את המתח בקווים המעבירים חשמל למרחקים  
ארוכים כדי להקטין את ההפסדים, ולהורידו למתח נמוך לשימוש ביתי  
מטעמי בטיחות.



# דגם מנוע

לוחצים על אחד הכפתורים בדגם השמאלי ושמים לב לתנועת הציר שעליו נמצאים המגנטים.

לוחצים על אחד הכפתורים הנוספים ורואים כיצד נע הציר כעת. מנסים ללחוץ על הכפתורים לסירוגין בתזמון המתאים כדי שהציר יסתובב לאותו הכיוון ברציפות ובודקים לאיזה קצב סיבוב מגיעים.

מפעילים בלחיצה את הדגם השני (האוטומטי) ובודקים לאיזה קצב סיבוב מגיעים.

ציר דגם המנוע מסתובב כי הסלילים יוצרים שדות מגנטיים שמושכים או דוחים את המגנטים המורכבים עליו הציר.

בדגם האוטומטי הפעלת הסלילים נעשית על ידי חיישנים המזהים את הזווית בה נמצא הציר ומפעילים בדיוק את הסליל שיגרום לסיבוב.

במנועים חשמליים אמיתיים יש גם מספר סלילים, אך קימות שיטות רבות לשלוט על עוצמת וכיוון הזרם הזורם בהם. במנועים המופעלים בזרם חילופין (כמו אלו שבמכשירים רבים בבית) הזרם הוא זרם חילופין המשנה את כיוונו כל הזמן.



# אלקטרומגנט

מסובבים מהר את הידית ומנסים להעלות כמה שיותר מכוניות מתכת.

הידית מחוברת לגנרטור המפיק זרם חשמלי העובר לאלקטרומגנט התלוי בקצה חוט, מנוע המושך את החוט ומצמד (קלאץ') המחבר בין המנוע לגלגלת החוט.

כאשר מפסיקים לסובב האלקטרומגנט מפסיק לפעול והמכוניות נופלות, המנוע מפסיק להסתובב, המצמד משתחרר והאלקטרומגנט יורד חזרה למטה.

אלקטרומגנט בנוי מסליל בעל כריכות רבות המלופף על גרעין ברזל, וכמו מגנט רגיל מושך אליו חומרים המכילים ברזל, אך רק כאשר זורם בו זרם.

אלקטרומגנטים מיוצרים כמעט בכל גודל ומשמשים במכשירים רבים. ממנעולי דלתות חשמליים ועד מנופי ענק המעלים מכוניות במגרשי גרוטאות. אפילו המצמד שבמוצג מבוסס על פעולת אלקטרומגנט המצמיד שתי דסקיות.



# העתיד כבר כאן

## קשה לנבא, במיוחד את העתיד

החשש ממחסור באנרגיה, הביא מדינות רבות (כולל ישראל) להשקיע משאבים במחקה, בהסברה ובחקיקה, במטרה להגיע ל"בטחון אנרגטי". במקביל נכתבו תחזיות לגבי עתיד נקי ובטוח, שיתבסס על טכנולוגיות (שאת חלקן תוכלו לפגוש בתערוכה) לשימוש יעיל במקורות אנרגיה קיימים ופיתוח מקורות נוספים.

אך רוב התחזיות התבדו, פרט לאלו של צריכת האנרגיה, ההולכת וגדלה משנה לשנה. קידמה וטכנולוגיה מבוססות על שימוש במכשירים המחליפים את פעולת השרירים. קורקינטים חשמליים במקום הליכה ברגל ומעלית במקום מדרגות. שואב האבק, מייבש הכביסה, וכל

שאר המכשירים המקלים על חיינו, גם הם וגם המפעלים המייצרים אותם, צורכים אנרגיה. קידמה היא גם מיליוני חקלאים בסין ובהודו המחליפים חמורים ותעלות השקיה בטרקטורים ובמשאבות. ירידה בצריכת האנרגיה, וגידול בפיתוח טכנולוגיות המסייעות לכך, מתרחשים בתקופות משבר: עליית מחירי הדלק או מגיפות (בהן אין נסיעות וטיסות).

כשאין משבר, התנור מחמם והמזגן מקרר, והסוללה או הדלק אינם נגמרים באמצע הנסיעה. האם יהיה צורך במשברים נוספים בעתיד כדי שנשנה את מגמת ואופן השימוש באנרגיה? כי העתיד אולי כבר כאן? (והמשבר מעבר לפינה...)



# טיל מימן

מסובבים את ידית הגנרטור ליצירת זרם חשמלי המפרק את המים ומתבוננים בטיל המשוגר מעלה.

הגנרטור שסובבתם הפיק חשמל שפירק את המים למימן וחמצן בתהליך אלקטרוליזה. בתהליך זה האנרגיה החשמלית מושקעת בפירוק הקשרים הכימיים. האנרגיה של מולקולת מימן חופשית גדולה יותר מזו של מולקולת המים.

לאחר שהמימן והחמצן עוברים דרך הצינורות והמיכל השקוף הקטן (הבבלי בו רואים את הבועות) לבקבוק, ניצוץ חשמלי גורם למיזוג מחדש של המימן והחמצן ול"החזרת" האנרגיה בצורת אור חום ורעש - פיצוץ המעיד את הטיל.

מימן הוא מתווך אנרגטי העוזר באגירת אנרגיה והעברתה ממקום למקום ומשמש כיום כדלק להפעלת מנועים. יתרונו בצפיפות האנרגיה הגבוהה שלו (לכן משמש בעיקר לטילים), ביכולת השינוע ובכך שאינו מזהם כלל (תוצרי הפיצוץ הם רק מים). אך בניגוד לדלקים אחרים הקיימים בטבע, צריך לייצר אותו ממקורות אנרגיה אחרים.



# מאיץ מעגלי

לוחצים על הלחצנים בתזמון הנכון כך שהכדור יסתובב במהירות על המסלול. ניתן ללחוץ ברציפות על הכפתור האוטומטי ולהשוות את מהירות הסיבוב.

לחיצה על אחד הלחצנים מזרימה זרם בסליל המתאים, היוצר שדה מגנטי שמושך אליו את הכדור (העשוי ברזל). משיכה זו חזקה רק למרחק קצר ולכן חשוב ללחוץ על הכפתור בדיוק בזמן המתאים. בהפעלה האוטומטית - חיישנים המותקנים ליד הסלילים מזהים מתי הכדור מתקרב ומפעילים את הסליל בזמן המתאים ומאיצים אותו לסליל הבא.

על עקרון זה פועלים מאיצי חלקיקים - כוח חשמלי או מגנטי הפועל על חלקיקים גורם להם להאיץ ולהגיע למהירויות גבוהות בהרבה. משתמשים בהם למחקר בתחום הגרעין והאנרגיות הגבוהות או לחילופין בטיפולים רפואיים בקרינה.



# טיל אוויר דחוס

אוחזים בפיית הבקבוק ולוחצים בחזקה כלפי מטה. בעזרת הגרף, עוקבים אחר לחץ האוויר הנאגר בבקבוק, וכשמצטבר מספיק לחץ עוזבים את הבקבוק וצופים בו עף מעלה.

דחיסת האוויר בבקבוק אוגרת בתוכו אנרגיה פוטנציאלית, המשתחררת והופכת לאנרגיית תנועה של הבקבוק ואנרגיית גובה כאשר הבקבוק עולה למעלה. כמות האנרגיה תלויה בנפח הבקבוק ובכמות האוויר הדחוסה בו או במילים אחרות בלחץ אליו דוחסים אותו.

אגירת אנרגיה באוויר דחוס נעשית כיום בעיקר במדחסים (קומפרסורים) המשמשים להפעלת כלי עבודה וציוד פניאומטי. הצורך באגירת אנרגיה ממקורות מתחדשים הביא לפיתוח טכנולוגיות דחיסת אוויר ומתקני אגירה בקנה מידה תעשייתי.

יתרונות השימוש באוויר דחוס כמאגר ומקור אנרגיה הם במשקלו הנמוך ומחירו הזול. אך כדי לאגור כמות משמעותית של אנרגיה יש צורך בנפחים ובלחצים גבוהים. דחיסת אוויר למערות וחללים בקרקע (במקום במכלי מתכת ענקיים ויקרים) היא דוגמה יפה לאחד הפתרונות למגבלות אלו.

# מהעבר אל העתיד

מכוונים את המתג לנורה אותה רוצים להדליק ומסובבים את הידית.

מכוונים את המתג לנורה השנייה ומסובבים שוב.

בודקים איזו נורה קשה יותר להדליק ואיזו מאירה בעוצמה גבוהה יותר.

בנורת הליבון האנרגיה החשמלית מומרת לחום המלהיט חוט מתכת הפולט אור. אך רק כ-10% מהאנרגיה הופך לאור הנראה לעין, הרוב "מתבזבז" כחום.

בנורת לד הפקת האור נעשית באופן כמעט ישיר על ידי מעבר אלקטרונים מרמות אנרגיה בתהליך של ינון ועירור.

נורות אלו הן דוגמאות להתפתחות טכנולוגיות שנועדה לענות על צורך בסיסי (אור) שלא השתנה עם השנים. מדורות הוחלפו לעששיות שמן, נרות ומנורות גז, שהיו מזהמות ומסוכנות. במאה ה-19 עברנו לשימוש בחשמל ונורות הליבון, ובמאה ה-20 ללדים.

איזה מנורות יאירו את חיינו בעתיד?



# סרטון ניהול אנרגיה

לאורך ההיסטוריה האדם למד לנצל מקורות אנרגיה שונים, חלקם מקומיים ופשוטים וחלקם דורשים כרייה ושינוע מורכבים, מה שהרחיק אותנו מהבנת ההשלכות הסביבתיות והבריאותיות של השימוש בהם. למרות שאנרגיה מניעה כמעט כל פעולה יומיומית שלנו, איננו מודעים לתלות העמוקה שלנו בה. סרטון האנימציה נועד להציג בקצרה את תפקידי האנרגיה בחיינו, להכיר מקורות אנרגיה רלוונטיים, להסביר את שיקולי הבחירה ביניהם ואת ההשפעות שלהם על הסביבה, הבריאות והתחממות כדור הארץ, ולהדגיש כי גם בחירות אישיות וגם מדיניות ציבורית מעצבות את המערכת האנרגטית.



# עמדות מידע

2 עמדות מידע ממוחשבות ובהן מאמרי הרחבה על נושאים רלוונטיים, ביאור מושגים והרחבה על ציר הזמן המאויר על הקיר.



# קרדיטים

אוצרות ופיתוח מוצגים: ד"ר אמיר בן שלום

אוצרת שותפה: ליאורה רוזין

עיצוב התערוכה: פרופ' חנן דה לנגה

עיצוב המוצגים האינטראקטיביים: איל פוגל

עיצוב גרפי: נבו ארן ללזה, אביב חן

ניהול צוות בית מלאכה: אורי סיני

**פיתוח ובניית מוצגים:** צוות בית המלאכה של מוזיאון המדע: אורון רמתי, איליה פורטוס, איתן גל, ברוך אונגר, ברוך מאירוביץ, גיא קלינגר, גנאדי ימליאנוב, דימיטרי פולונסקי, דני שלם, יוסי אנטקוליא, יותם דור, יעקב רוזנברג, נתן סבג, סאמר עאסלה, עומר יצחקוב, עידו הופמן, רונן בן זאב, שמוליק אוליאל

איור: נדב מצ'טה

סרט אנימציה: סטודיו גוזמא

עריכת וידאו: מדלן וזה

תכנות: אמיתי בן שלום, דולב הראל, ראם אברמוביץ

פיתוח ובניית סביבת מידע: מתן בן דוד

תרגומים ועריכה לשונית: שלומית עוזיאל, שרי

פייגלסון, קורן טקסט

ייעוץ מדעי: ד"ר חגית טישלר, ד"ר מיכל יובל

ניהול פרויקט: נעמה כהן מופקדי

תודות: משרד האנרגיה והתשתיות

Bloomfield  
Science Museum  
Jerusalem

متحف العلوم  
على اسم بلومفيلد  
القدس

מוזיאון המדע  
ע"ש בלומפילד  
ירושלים

