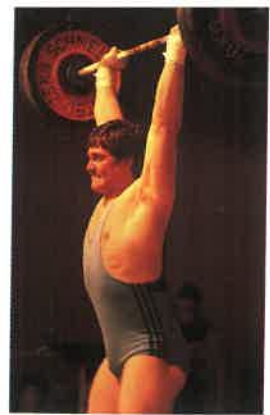


אנרגיה היא כנראה המושג המרכזי ביותר במדעי הטבע. היקום הוא שילוב של חומר ואנרגיה. את מהות החומר ניתן להבין בנקל, שכן חומר אפשר לראות, להריח ולמשש. לחומר יש מסה ונפח. לעומת זאת, האנרגיה היא מושג מופשט. את רוב צורות האנרגיה לא ניתן לראות, להריח או למשש. אולי תופתעו לדעת שמושג האנרגיה לא היה מוכר לאיזק ניוטון, ועוד במחצית המאה ה-19 היה עצם קיומו שנוי במחלוקת. אף על פי שאנרגיה היא מילה המוכרת לכולנו, קשה להגדירה, כי אנרגיה אינה רק "דבר", אלא דבר ופעולה בעת ובעונה אחת - כאילו היתה בו-זמנית שם עצם ופועל. לאנשים ולחפצים יש אנרגיה, אך אנו מבחינים בה בתהליכים בלבד - רק כשחלים בה שינויי צורה. את האנרגיה המגיעה בגלים אלקטרומגנטיים מהשמש לכדור הארץ אנו חשים כחום; היא נבלעת בצמחים ומאפשרת התרחשותם של תהליכים כימיים שונים בהם. אנרגיה זו מצויה במזון שאנו אוכלים ומועברת לגופנו בתהליך העיכול. את לימוד האנרגיה נפתח בהכרת מושג הקשור בה: עבודה.

בפרק הקודם ראינו שהשינויים החלים בתנועתו של גוף נקבעים הן על ידי הכוח הפועל עליו והן על ידי משך פעולתו של הכוח. לגודל "כוח X זמן" קראנו מתקף. אך ניתן להתייחס גם למרחק שהכוח פעל לאורכו. כאשר אנו דנים בגודל כוח X דרך אנו עוסקים בגודל השונה לחלוטין ממתקף, גודל הנקרא - **עבודה**.



איור 6.1

בהרמת המשקולת נעשית עבודה. אילו היה מרים המשקולות גבוה יותר, היה עליו לבצע עבודה גדולה יותר בהרמת המשקולת.



איור 6.2

האיש שבתמונה אולי משקיע אנרגיה בדחיפת הקיר, אך מכיוון שהקיר אינו נע, לא נעשית עליו עבודה.

כאשר מרימים משא, נעשית עבודה (איור 6.1). ככל שהמשא כבד יותר או מורם גבוה יותר, העבודה המבוצעת גדולה יותר. בכל מקרה שבו מבוצעת עבודה צריכים להתקיים שני תנאים: (1) מופעל כוח ו-(2) כוח זה מניע גוף כלשהו. במקרה הפשוט ביותר, כאשר הכוח קבוע והתנועה היא תנועה על קו ישר, בכיוון פעולתו של הכוח*, נגדיר את העבודה הנעשית על הגוף באמצעות הכוח המופעל עליו כמכפלת הכוח בדרך שלאורכה נע הגוף. ובקיצור:

$$\text{דרך} \times \text{כוח} = \text{עבודה}$$

$$W = Fd$$

אם מעלים שתי משקולות זהות קומה אחת, העבודה הנעשית כפולה מזו הנעשית בהעלאת משקולת אחת, מפני שהכוח המופעל כפול. באופן דומה, אם נעלה את אחת המשקולות שתי קומות במקום קומה אחת, העבודה תוכפל כי הדרך הוכפלה.

בהגדרת העבודה נכללים, אם כן, הן כוח והן דרך (איור 6.2). מרים משקולות המחזיק מעל לראשו מוט שבקצותיו משקולות, השוקל 1000 ניוטון, אינו עובד עבודה על המוט. האדם יתעייף מהמאמץ, אך אם המוט אינו מונע על ידי הכוח שהאיש מפעיל עליו, הרי שהאיש אינו מבצע עבודה על המוט. ייתכן שנעשית עבודה על שרירי מרים המשקולות במתיחת השרירים ובכיווץ, שהיא מכפלת הכוח במרחקי המתיחה או הכיווץ הביולוגיים, אולם זו אינה עבודה הנעשית על המוט המוחזק. המצב שונה כאשר מרים המשקולות מרים את המוט מהרצפה: אזי, הוא עובד עליו עבודה.

יחידת המדידה לעבודה היא מכפלת יחידת הכוח (ניוטון) ביחידת הדרך (מטר); יחידת העבודה היא הניוטון-מטר, הנקראת גם ג'ול. עבודה בשיעור של ג'ול אחד נעשית כאשר כוח של 1 ניוטון מופעל לאורך דרך של 1 מטר. למדידת ערכים גדולים יותר של עבודה ניתן להשתמש בקילו-ג'ול (1000 ג'ול) או במגה-ג'ול (מיליון ג'ול). עבודתו של מרים המשקולות המופיע באיור 6.1 היא מסדר גודל של קילו-ג'ול, ואילו האנרגיה המשתחררת בבעירת 1 קילוגרם של דלק מוערכת במגה-ג'ולים.

הגדרת העבודה אינה מתייחסת למשך הזמן שבו נעשתה העבודה. אותה כמות של עבודה נעשית כאשר אנו מעלים משא בגרם מדרגות בין בהליכה ובין בריצה. אם כך, מדוע אנו מתעייפים יותר מריצה במעלה המדרגות הנמשכת שניות מספר, מאשר בעלייה מתונה הנמשכת דקות מספר? כדי להבין את ההבדל בין שני מקרים אלו, נגדיר גודל שימדוד את קצב עשיית העבודה - **הספק**. ההספק שווה לכמות העבודה המבוצעת ביחידת זמן:

$$\frac{\text{העבודה שבוצעה}}{\text{משך זמן ביצוע העבודה}} = \text{הספק}$$

מנוע שהספקו גדול מסוגל לבצע עבודה במהירות רבה. מכונית שהספק מנועה או כפול מהספק מנועה של מכונית אחרת אינה מבצעת בהכרח עבודה כפולה או

* במקרה הכללי, עבודה היא מכפלת רכיב הכוח על ציר תנועתו של הגוף בדרך שהגוף עבר.

נעה בהכרח במהירות כפולה. הספק כפול פירושו שהמכוננית תוכל לבצע אותה עבודה במחצית הזמן או לבצע עבודה כפולה באותו פרק זמן. יתרונה העיקרי של מכוננית שהספק מנועה גדול הוא ביכולת ההאצה הגבוהה שלה. מכוננית כזו יכולה להאיץ למהירות מסוימת בפרק זמן קצר יותר מזה הדרוש למכוננית שהספק מנועה קטן יותר.

דרך אחרת להסביר את מושג ההספק היא לומר שבשריפת ליטר אחד של דלק נקבל כמות מסוימת של עבודה, אולם ההספק שיתקבל ישתנה בהתאם לקצב הבעירה. אותו ליטר יוכל ליצור 50 יחידות הספק למשך חצי שעה במכוננית, או 90,000 יחידות הספק במשך שנייה אחת במטוס בואינג 747.

יחידת ההספק היא ג'ול בשנייה, המוכרת כוואט (על שמו של ג'יימס וואט, ממציא מכונת הקיטור, בן המאה ה-18). וואט אחד הוא ההספק הנוצר כאשר עבודה של ג'ול אחד נעשית במשך שנייה אחת. קילוואט אחד שווה ל-1000 וואט. מגה-וואט שווה מיליון וואט. בארצות מסוימות, בארה"ב למשל, נוהגים למדוד הספקי מנועים בכוחות-סוס ואילו הספקי מכשירים חשמליים - בקילוואטים. ניתן כמובן להשתמש בשתי שיטות הסימון. בשיטה המטרית, גם הספקי מנועי מכוניות נמדדים בקילוואטים. (כוח-סוס אחד שווה לכשלושת-רבעי קילוואט, כלומר, מנוע שהספקו 134 כוחות-סוס הוא מנוע בעל הספק של 100 קילוואט.)

כאשר מרימים פטיש כבד נעשית עליו עבודה, המעניקה לו את היכולת לבצע עבודה בנפלו על יתד המוצב מתחתיו. עבודת קשת במתיחת הקשת מאפשרת לה לבצע עבודה על החץ. העבודה הנעשית כאשר מותחים מנגנון קפיצי מאפשרת לקפיץ להניע את גלגלי השיניים שיפעילו שעון, יצלצלו בפעמון או ישמיעו אזעקה. בכל אחד מהמקרים האלה נרכשת יכולת מסוימת - "משהו ייחודי", המאפשר לגוף לבצע עבודה. יכולת זו עשויה לבוא לידי ביטוי בדחיסת האטומים בחומר שממנו עשוי גוף, בהרחקת גופים הנמשכים זה לזה או בארגון מחדש של מטענים חשמליים במולקולות של חומר נתון. "משהו" זה, המאפשר לגוף לבצע עבודה, מכונה אנרגיה*. גם אנרגיה, כמו עבודה, נמדדת בג'ולים. אנרגיה מופיעה בצורות רבות, שעליהן נדון בפרקים הבאים. בשלב זה נתמקד באנרגיה מכנית - שהיא צורת האנרגיה הקשורה למצב (אנרגיה פוטנציאלית) או לתנועה של מסה (אנרגיה קינטית). צורות האנרגיה המכנית הן איפוא אנרגיה פוטנציאלית או אנרגיה קינטית.

אנרגיה פוטנציאלית

לגוף יכולה להיות אנרגיה בשל מיקומו או מצבו. האנרגיה שיש לגוף במקרה זה נקראת **אנרגיה פוטנציאלית**, מפני שלגוף יש יכולת (פוטנציאל) לעשות עבודה. לדוגמה, קפיץ מתוח או מכוון יכול לעשות עבודה. לקשת מתוחה יש אנרגיה פוטנציאלית (איור 6.4) וכך גם לגומייה מתוחה, ואם זו מחוברת לקלע היא תוכל לבצע עבודה.

* ליתר דיוק, לא את כל האנרגיה המצויה בגוף ניתן להפוך לעבודה. האנרגיה המאפשרת לגוף לבצע עבודה היא האנרגיה הזמינה שבו.

איור 6.3

בקצב שריפת דלק של 3400 ק"ג בשנייה, הספק שלושת המנועים הראשיים של מעבורת החלל הוא 33,000 מגה-וואט. הספק זה שקול להרבת בריכת שחייה ממוצעת ב-20 שניות.



אנרגיה מכנית

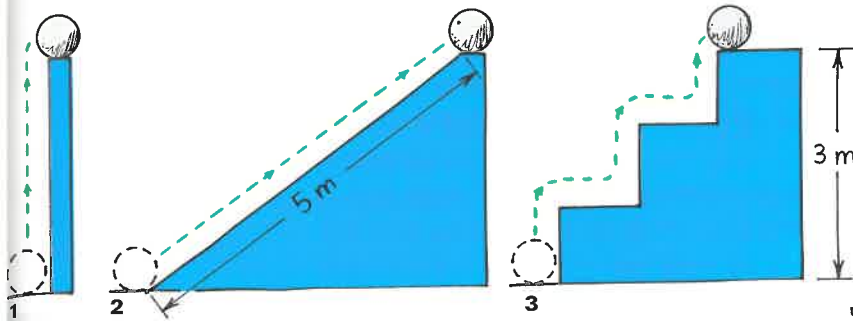
איור 6.4

האנרגיה הפוטנציאלית של הקשת שווה לעבודה (הכוח הממוצע \times הדרך) שהנערה עבדה במתיחת הקשת. כשהחץ ישוחרר, האנרגיה הפוטנציאלית של הקשת המתוחה תהפוך לאנרגיה הקינטית של החץ.



איור 6.5

האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור שמשקלו 10 ניוטון שווה בשלושת המצבים ל-30 ג'ול, שכן העבודה הנעשית בהרמת הכדור לגובה של 3 מטר שווה, בין אם (1) הכוח המרים שווה ל-10 ניוטון, (2) הגוף נדחף בכוח של 6 ניוטון במעלה המישור המשופע שאורכו 5 מטר או (3) הגוף מועלה על ידי כוח של 10 ניוטון במדרגות שגובהן 1 מטר. בהזחה החיכוך לא נעשית עבודה.



האנרגיה הכימית המצויה בדלקים היא אנרגיה פוטנציאלית, כי מנקודת מבט של מבנהו הפנימי של החומר, היא אנרגיה של מצב. אנרגיה פוטנציאלית מצויה בדלקים השונים, בסוללות ובמזון שאנו אוכלים. אנרגיה זו ניתנת לניצול כאשר חלים שינויים במקומותיהם של המטענים החשמליים בתוך המולקולות ומחוץ להן, כלומר, כאשר מתרחשות תגובות כימיות. כל חומר המסוגל לבצע עבודה בעזרת תהליכים כימיים מכיל אנרגיה פוטנציאלית.

כדי להרים גופים יש לבצע עבודה כנגד כוח הכובד. האנרגיה הפוטנציאלית שיש לגופים במצבם המוגבה נקראת אנרגיה פוטנציאלית כובדית. למים הנמצאים במאגר גבוה או לפטיש מורם יש אנרגיה פוטנציאלית כובדית. כמות האנרגיה הפוטנציאלית שיש לגוף במצבו המוגבה שווה לעבודה שנעשתה כנגד כוח הכובד בהרמת הגוף, ועבודה זו שווה למכפלת הכוח הנדרש לשם הרמת הגוף בהעתק האנכי של הגוף $(W = Fd)$. הכוח שיש להפעיל להרמת הגוף שווה למשקלו של הגוף mg , ולכן העבודה הנעשית בהרמת הגוף לגובה h נתונה במכפלה mgh .

אנרגיה פוטנציאלית כובדית = גובה \times משקל הגוף

$$mgh = \text{אנרגיה פוטנציאלית כובדית}$$

שימו לב שהגובה h נמדד ביחס לנקודת ייחוס, למשל הקרקע או רצפת החדר. לכן, האנרגיה הפוטנציאלית mgh היא גודל יחסי, התלוי בבחירת משטח הייחוס, והיא נקבעת על ידי mg והגובה h . באיור 6.5 רואים שהאנרגיה הפוטנציאלית של הכדור הנמצא בראשו של מבנה תלויה רק בגובהה של נקודת הימצאו ולא במסלול שהביאו לנקודה זו.

שאלות

- מהי העבודה הנעשית בהזחה אופקית של כדור שמשקלו 75 ניוטון למרחק של 10 מטר?
- מהי העבודה הנעשית בהרמת אותו כדור לגובה של 1 מטר? מהו ההספק, אם העבודה בוצעה במשך שנייה אחת?
- מהי האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור המורם?

תשובות:

- בהזחה האופקית של הכדור לא נעשית עבודה, כי לא מופעל כוח בכיוון התנועה (פרט לכוח המזערי הדרוש להתחלת התנועה). במהלכה של תנועה זו האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור אינה משתנה.
- העבודה שנעשית בהרמת הכדור לגובה של 1 מטר שווה ל-75 ג'ול ($75 \text{ ג'ול} = 75 \text{ ניוטון} \cdot \text{מ'}$). ההספק הוא 75 וואט.
- ערכה של האנרגיה הפוטנציאלית תלוי בבחירת נקודת הייחוס. ביחס לנקודת המוצא, היא שווה ל-75 ג'ול; ביחס לנקודה אחרת ערכה יהיה שונה.

אנרגיה קינטית

אם נדחף גוף - הוא ינוע. ליתר דיוק, אם נבצע עבודה על גוף, נשנה את אנרגיית התנועה שלו. הודות לתנועתו יוכל הגוף לבצע עבודה. אנרגיית התנועה נקראת **אנרגיה קינטית**. האנרגיה הקינטית של גוף תלויה במסתו ובמהירותו, ושווה למחצית מכפלת המסה בריבוע המהירות.

$$\frac{1}{2} \times (\text{מסה} \times \text{מהירות} \times \text{מהירות}) = \text{האנרגיה הקינטית}$$

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

כשכדור נזרק, נעשית עליו עבודה המקנה לו אנרגיה קינטית. הכדור הנע יכול לפגוע בדבר מה ולדחפו תוך שהוא מבצע עליו עבודה. האנרגיה הקינטית של הגוף הנע שווה לעבודה שנעשתה בהבאתו ממנוחה למהירותו הסופית או, לחלופין, לעבודה שהגוף הנע יכול לבצע עד עצירתו*:

$$\text{אנרגיה קינטית} = \text{כוח שקול} \times \text{מרחק}$$

$$Fd = \frac{1}{2} mv^2$$

באופן אחר נוכל לומר שהעבודה הנעשית שווה לשינוי באנרגיה הקינטית:

$$\Delta E_k = \text{עבודה}$$

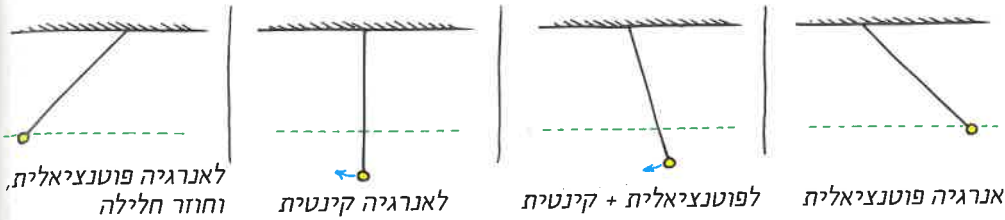


איור 6.6
האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף המורם הופכת בנופלו לאנרגיה קינטית.



איור 6.7
לאחר ירידה תלולה מגיעה רכבת ההרים למהירות גבוהה בתחתית המורד, והאנרגיה הקינטית שרכשה מאפשרת לה לטפס למרומי הפסגה הבאה.

* נוסחה זאת מתקבלת באופן הבא: אם נכפול את שני צידי הקשר $F = ma$ (החוק השני של ניוטון) ב- d , נקבל $Fd = mad$. בפרק 2 קיבלנו: $d = \frac{1}{2}(at^2)$, ולכן נוכל לומר כי: $Fd = ma \cdot \frac{1}{2}(at^2) = \frac{1}{2}m(at^2)$ ובהצבת הקשר $v = at$, נקבל: $Fd = \frac{1}{2}(mv^2)$

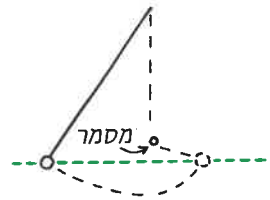


איור 6.8

מעברי אנרגיה במטוטלת.

שימו לב, שבנוסחת האנרגיה הקינטית מופיע ריבוע המהירות, ולכן, כאשר מהירותו של הגוף מוכפלת, האנרגיה הקינטית שלו גדלה פי ארבעה ($2^2 = 4$) והגוף יכול לבצע עבודה גדולה פי ארבעה. כדי לעצור גוף שמהירותו כפולה ממהירותו של גוף אחר בעל אותה מסה, יש לבצע עבודה גדולה פי ארבעה. חוקרי תאונות דרכים מודעים לעובדה שהאנרגיה הקינטית של מכונית הנעה במהירות של 100 ק"מ/שעה גדולה פי ארבעה מהאנרגיה הקינטית שהיתה לה אילו נעה במהירות של 50 ק"מ/שעה בלבד. פירושו של דבר, שמרחק ההחלקה של מכונית הנעה במהירות של 100 ק"מ/שעה שבלמיה ננעלו, יהיה ארוך פי ארבעה ממרחק ההחלקה שלה כאשר מהירותה 50 ק"מ/שעה. כל זאת בגלל העובדה שהאנרגיה הקינטית תלויה בריבוע המהירות.

אנרגיה קינטית מונחת גם ביסודן של צורות אנרגיה אחרות, שנראות לכאורה שונות ממנה, כמו חום, קול ואור. את תנועתן האקראית של המולקולות אנו חשים כחום, תנועת מולקולות המתנדדות בתבניות קצובות נקלטת כקול, וזרמים חשמליים הם אלקטרוניים נעים. גם האור מקורו בתנועת אלקטרוניים באטומים. בהמשך נגלה מה רב המשותף בין צורות האנרגיה השונות שנכיר.



איור 6.9

המטוטלת תחזור לגובה נקודת המוצא בנוכחות המסמר ובלעדי.

1. פי כמה גדול מרחק ההחלקה של מכונית הנעה במהירות של 90 ק"מ/שעה שגלגליה ננעלו ממרחק ההחלקה של מכונית הנעה במהירות של 30 ק"מ/שעה?
2. האם יכולה להיות אנרגיה לגוף כלשהו?
3. האם יכולה להיות עבודה לגוף כלשהו?

שאלות

השאלה מהי אנרגיה אולי מעניינת, אך חשוב יותר להבין איך היא מתנהגת - כיצד היא מתגלגלת מצורה לצורה. יקל עלינו להבין תהליכים או שינויים המתרחשים בטבע אם נסביר אותם כתמורות של אנרגיה מצורה אחת לאחרת או כמעברי אנרגיה ממקום למקום.

שימור אנרגיה

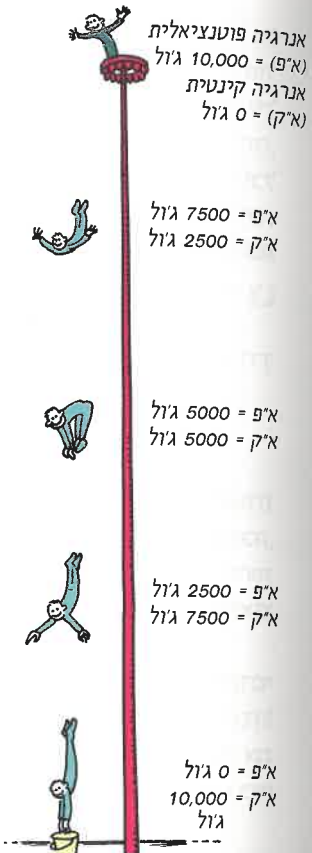
תשובות:

1. פי 9. כאשר המכונית נעה במהירות גדולה פי 3, האנרגיה הקינטית שלה גדולה פי 9: $\frac{1}{2} m(3v)^2 = \frac{1}{2} m9v^2 = 9 (\frac{1}{2} mv^2)$ כוח החיכוך בדרך כלל יהיה שווה בשני המקרים; ולכן, כדי לעשות עבודה גדולה פי 9, יידרש מרחק החלקה גדול פי 9.
2. כן, אך במובן יחסי. לגוף מורם למשל, יש אנרגיה פוטנציאלית יחסית לרצפה שמתחתיו, אך לא ביחס לנקודה הנמצאת בגובה שלו. באופן דומה, כמות האנרגיה הקינטית תלויה בבחירת מערכת הייחוס, שהיא בדרך כלל פני כדור הארץ. בהמשך נראה שלגופים חומריים יש אנרגיה בשל עצם קיומם - האנרגיה האגורה במסתם. כדאי להמשיך לקרוא!
3. לא. שלא כמו תנע ואנרגיה, לגוף אין עבודה. עבודה היא דבר מה שהגוף יכול לעשות על גוף אחר. גוף יוכל לבצע עבודה רק אם יש לו אנרגיה.

כשאנו מסיטים לאחור אבן בכף קלע, אנו מבצעים עבודה על רצועת הגומי ומעניקים לה אנרגיה פוטנציאלית. עם שחרור האבן, חל שינוי שבמהלכו האבן רוכשת אנרגיה קינטית השווה לאנרגיה הפוטנציאלית שהיתה לרצועת הגומי. את האנרגיה הזו מוסרת האבן למטרה - קרש בגדר עץ, למשל. מכפלת המרחק הזעיר שזו הקרש בכוח הממוצע שפעל בהתנגשות אינה שווה לאנרגיה הקינטית של האבן; מאזן האנרגיה מופר כביכול. ואולם, אם נמשיך בחקירתנו נגלה שהאבן והקרש התחממו קמעא. מהו שיעור ההתחממות? ההפרש במאזן. האנרגיה מחליפה צורות ללא הפסד או רווח כלשהם. חקירת צורותיה השונות של האנרגיה ותמורותיהן הובילה לאחת ההכללות החשובות ביותר בפיסיקה - **חוק שימור האנרגיה**:

אנרגיה אינה יכולה להיווצר או להתכלות; היא יכולה לשנות את צורתה, אך הכמות הכוללת של האנרגיה אינה משתנה לעולם.

כאשר אנו דנים במערכת כלשהי בשלמותה, בין במערכת פשוטה כגון מטוטלת ובין במערכת מורכבת כגלקסיה מתפוצצת, גודל אחד ייוותר ללא שינוי: האנרגיה. היא יכולה לשנות את צורתה או לעבור ממקום אחד למשנהו, אך למיטב ידיעתנו, מאזן האנרגיה הכולל יישאר קבוע. כאשר אנו מחשבים מאזן זה עלינו לזכור שגם באטומים המרכיבים את החומר אגורה אנרגיה. כאשר ליבת האטום - הגרעין - מסתדרת מחדש, עשויות להשתחרר כמויות עצומות של אנרגיה. השמש מאירה מכיוון שחלק מאנרגיה זו הופך לקרינה. בכורים גרעיניים רוב האנרגיה הזאת משתחררת כחום. כוחות כבידה עצומים הפועלים בחלקה הפנימי, הלוהט, של השמש גורמים לגרעיני מימן להפוך לגרעיני הליום. התהליך שבו גרעיני אטומים מתחברים נקרא היתוך תרמו-גרעיני. בתהליך זה משתחררת אנרגיה בצורת קרינה, וחלקה מגיע לכדור הארץ. חלק מן האנרגיה הזאת נקלט בצמחים וחלקה הופך, ברבות השנים, לפחם. חלק אחר מאנרגיית השמש המגיעה לכדור הארץ מאפשר, דרך שרשרת המזון המתחילה בצמחים, את קיום החיים עלי אדמות, וחלק אחר ממנה הופך לדלק. חלק מאנרגיית השמש גורם לאידוי מי הימים, אך מוחזר בחלקו לכדור הארץ במי הגשמים, שניתן לאגורם באמצעות סכרים. למים אלה יש אנרגיה בשל מיקומם, ובאנרגיה הזאת ניתן להשתמש להפעלת תחנת כוח, שתהפוך אותה לאנרגיה חשמלית. אנרגיה זו תועבר בכבלי חשמל לבתים, ובהם היא תשמש לתאורה, לחימום, לבישול ולהפעלת מכשירי חשמל. כמה מפליאים הם התהליכים שבהם אנרגיה לובשת צורה ופושטת צורה!



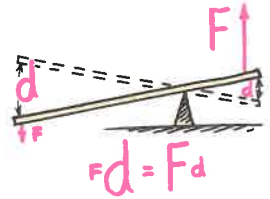
איור 6.10
 לולוין בקרקס יש אנרגיה פוטנציאלית של 10,000 ג'ול כאשר הוא עומד בראש העמוד. בעת נפילתו האנרגיה הפוטנציאלית הופכת לאנרגיה קינטית. שימו לב, האנרגיה הכוללת נותרת קבועה לאורך כל המסלול.

שאלה האם צריכת הדלק במכונית עולה כאשר המזגן מופעל? כאשר האורות דולקים? כאשר הרדיו פועל בזמן חניה?

תשובה: התשובה לשלוש השאלות חיובית, כי האנרגיה הנצרכת בשלושת המקרים מקורה בסופו של דבר בדלק. גם האנרגיה הנצרכת מהמזגן מוחזרת אליו באמצעות מחולל זרם החלופין - האלטרנטור - שאותו מפעיל המנוע, הניזון מאנרגיית הדלק. אין ארוחות חינם!

מכונות

מכונה היא התקן המשמש להכפלת כוחות או לשינוי כיוונם. פעולתה של כל מכונה מבוססת על עקרון שימור האנרגיה במכונות. נתבונן באחת המכונות הפשוטות ביותר: **המנוף** (איור 6.11). בשעה שעובדים עבודה בקצהו האחד של המנוף, נעשית בקצהו השני עבודה על המשא. אנו רואים שכיוון הכוח משתנה, כי אם נדחף מטה צד אחד של המנוף, המשא שבצידו השני יורם. אם נוכל להזניח את החוס שנוצר מפעולת כוחות החיכוך, אזי תשווה העבודה המושקעת לעבודה המופקת.



עבודה מושקעת = עבודה מופקת

מכיוון שעבודה שווה למכפלת הכוח בדרך, הרי שמכפלת הכוח המושקע בדרך שלאורכה הוא פעל שווה למכפלת הכוח המופק בדרך שלאורכה הוא פעל:

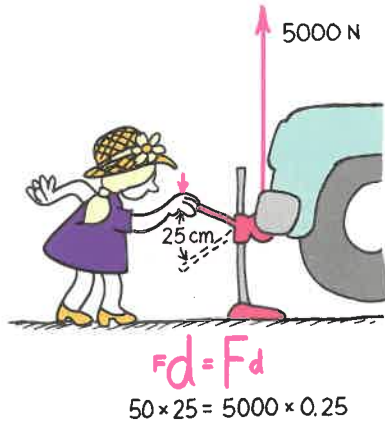
$$(כוח \times דרך)_{מופק} = (כוח \times דרך)_{מושקע}$$

איור 6.11 המנוף

אם נקודת המשען של המנוף קרובה למשא, כוח מושקע קטן יגרום ליצירת כוח מופק גדול. הסיבה לכך היא שהכוח המושקע פועל לאורך דרך ארוכה, בעוד המשא נע לאורך דרך קצרה יחסית. באופן כזה, המנוף יכול להכפיל כוחות פי כמה. אך אין מכונה שתוכל להגדיל את העבודה או האנרגיה. זו כמובן תמציתו של עקרון שימור האנרגיה.

כל ילד יודע ליישם את עקרון הפעולה של המנוף לצורך הרמת חלקו הקדמי של רכב. על ידי הפעלת כוח קטן לאורך דרך ארוכה מתקבלת פעולת כוח גדול לאורך דרך קצרה. נתבונן בדוגמה שבאיור 6.12. כל אימת שהילדה דוחפת את ידית המגבה מטה ב-25 ס"מ, המכוננית מתרוממת במאית המרחק הזה אך בכוח גדול פי 100.

גלגלת או מערכת גלגלות היא מכונה פשוטה המכפילה את הכוח על חשבון הדרך. ניתן להפעיל כוח קטן יחסית לאורך דרך ארוכה יחסית ולהרים משא כבד לגובה יחסית קטן. בגלגלת האידיאלית המתוארת באיור 6.13, האיש מושך בחבל בכוח של 50 ניוטון לאורך דרך של 10 מטרים ומרים משא של 500 ניוטון לגובה של מטר אחד. האנרגיה שהוא משקיע במשיכת החבל שווה לגידול באנרגיה הפוטנציאלית של המשא בן ה-500 ניוטון. האנרגיה פשוט ממירה את צורתה.



איור 6.12 הכוח המושקע \times הדרך המושקעת = הכוח המופק \times הדרך המופקת.

כל מכונה המגדילה את הכוח עושה זאת על חשבון הדרך. באותו אופן, כל מכונה שמכפילה את הדרך, כמו למשל, במבנה האמה והמרפק, עושה זאת על חשבון הכוח. לא קיימים מכונה או מכשיר שבאמצעותם ניתן להפיק אנרגיה גדולה מזו המושקעת. אין מכונה היכולה לייצר אנרגיה; מכונות יכולות רק להמיר את האנרגיה מצורה לצורה.

שלוש הדוגמאות הקודמות היו של מכונות אידיאליות; 100 אחוזים של העבודה שהושקעה הפכו לעבודה מופקת. נצילות מכונה אידיאלית זו היא 100 אחוזים. למעשה, מצב כזה אינו קיים במציאות, ואל לנו לצפות שיתקיים אי-פעם. בכל תמורה של אנרגיה, חלקה הופך לאנרגיה קינטית של מולקולות החומר, כלומר לאנרגיית חום. כתוצאה מכך המכונה מתחממת.

אפילו במנוף פשוט, חלק זעיר מהאנרגיה המושקעת הופך לחום עקב החיכוך בציר. במצב כזה, כשנשקיע עבודה בשיעור של 100 גיול ייתכן שנפיק רק 98 גיול של עבודה. נצילות המנוף תהיה איפוא 98 אחוז, ולחום יתבזבו 2 גיול בלבד מהעבודה המושקעת. אם הילדה שבאיור 6.12 תשקיע 100 גיול של עבודה ובכך תגדיל את האנרגיה הפוטנציאלית של המכונת ב-60 גיול, אזי נצילות המגבה היא 60 אחוז; 40 גיול של העבודה המושקעת הופנו כנגד כוחות החיכוך והפכו לחום. במערכת גלגלות, חלק גדול יותר מהאנרגיה המושקעת יתפזר לחום. אם נשקיע 100 גיול של עבודה, ייתכן שכוחות החיכוך, הפועלים לאורך דרכי הסיבוב של הגלגלות המתחככות בצירים, יגרמו לבזבוז של 60 גיול לחום. במקרה זה, העבודה המופקת תהיה בשיעור של 40 גיול בלבד ונצילות מערכת הגלגלות תהיה 40 אחוז. ככל שנצילות המכונה קטנה יותר, חלק גדול יותר מהאנרגיה המושקעת יתבזבו כחום.

בזבוז קיים בכל מקרה שבו אנרגיה מתגלגלת מצורה אחת לצורה אחרת. ניתן להגדיר את הנצילות באמצעות המשוואה

$$\text{נצילות} = \frac{\text{העבודה שבוצעה}}{\text{האנרגיה המושקעת}}$$

מנוע של מכונת היא מכונה ההופכת את האנרגיה הכימית האגורה בדלק לאנרגיה מכנית. בתהליך שריפת הדלק עם החמצן שבאוויר מתפרקים הקשרים הכימיים שבמולקולות הדלק. אטומי הפחמן מתחברים לאטומי החמצן ויוצרים פחמן חד-חמצני, וכמות האנרגיה האגורה בקשר זה פחותה מהאנרגיה האגורה בקשרים שבמולקולות הדלק. חלק מההפרש באנרגיה זו מנוצל להפעלת המנוע. אנו כמובן היינו מעוניינים להפוך את האנרגיה הזאת בשלמותה לאנרגיה מכנית; כלומר, היינו רוצים במנוע שנצילותו 100 אחוז. אך הדבר אינו אפשרי, מפני שחלק מהאנרגיה יוצא עם הגזים הלוהטים הנפלטים מהמפלט, ומחצית מהאנרגיה מתבזבזת בחיכוך בין חלקיו הנעים של המנוע. בנוסף לבזבוזים הללו, גם שריפת הדלק עצמה אינה מושלמת וחלק מהאנרגיה הנמצאת בדלק אינו מנוצל.

את הבזבוז המתרחש בכל תמורה של אנרגיה ניתן לתאר באופן הבא: בכל שינוי כזה הופכת חלק מהאנרגיה השימושית הזמינה לאנרגיה מבזבזת. כמות

נצילות

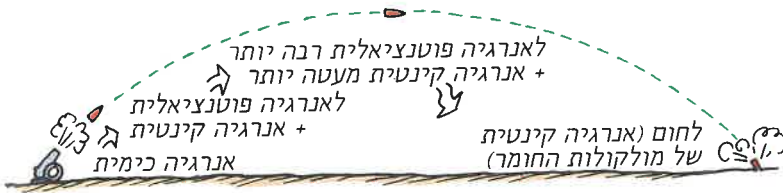
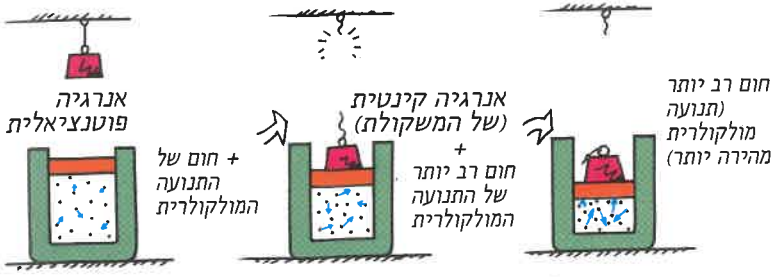


איור 6.13

הכוח המושקע \times הדרך המושקעת = הכוח המופק \times הדרך המופקת.

איור 6.14

מעברי אנרגיה (משמאל לימין). החום הוא בית העלמין של האנרגיה הקינטית.



האנרגיה השימושית קטנה בכל שינוי, ובסופו של דבר היא הופכת לחום. כשנלמד את נושא התרמודינמיקה נראה שניתן להפיק עבודה מאנרגיה המתקיימת בצורת חום רק אם אפשר להעבירה למכל שהטמפרטורה שלו נמוכה יותר. החום הוא בית העלמין של האנרגיה השימושית (איור 6.14).

שאלה

בניח שקיימת מכונית פלאים, בעלת מנוע שניצולתו 100 אחוז, השורפת דלק שתכולת האנרגיה שלו היא 40 מגה-ג'ול לליטר. אם כוחות החיכוך של המכונית עם האוויר ובין חלקיה כשהיא נעה במהירויות גבוהות שווים ל-2000 ניוטון, מהו המרחק המרבי שתוכל המכונית לעבור בשריפת ליטר אחד של דלק?

האנרגיה הקינטית והתנע - שניהם מושגים הקשורים לתנועתם של גופים, אך חשוב להבין במה הם נבדלים. בהתנגשויות של גופים, למשל, ניתן לחבר או לחסר את התנעים, מפני שהתנע, בדומה למהירות, הוא גודל בעל כיוון, ולכן התנעים של שני גופים יכולים לבטל זה את זה. לעומת זאת, אנרגיה קינטית

בין אנרגיה קינטית לתנע*

תשובה:

מההגדרה עבודה = דרך × כוח, נקבל: דרך = עבודה/כוח. אם כל 40 מיליון ג'ולים של האנרגיה שיופקו משריפת ליטר אחד של דלק ינוצלו לביצוע העבודה כנגד כוחות החיכוך, הדרך תהיה:

$$\text{דרך} = \frac{\text{עבודה}}{\text{כוח}} = \frac{40,000,000 \text{ ג'ול/ליטר}}{2000 \text{ נ'}} = \frac{20,000 \text{ מ'ליטר}}{20 \text{ ק"מ/ליטר}}$$

חשוב לציין שאפילו במנוע מושלם יש גבול לאפשרות החיסכון בדלק, שאותו מכתב עקרון שימור האנרגיה.

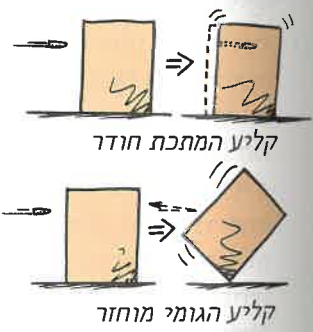
* ניתן לדגל על סעיף זה בלימוד ראשוני של המכניקה.

היא גודל סקלארי, כמו מסה, ולפיכך אנרגיות קינטיות לעולם אינן מתקזזות*. התנעים של שתי מכוניות לפני התנגשות חזיתית עשויים להסתכם לאפס, וגם לגרוטאותיהן שנצמדו זו לזו יהיה תנע כולל השווה לאפס; אך האנרגיות הקינטיות מתחברות, ויעידו על כך שינוי הצורה של כלי הרכב והחום הנפלט לאחר ההתנגשות. אנרגיות יכולות לשנות את צורתן; תנעים אינם משנים את צורתם. הגודל הווקטורי תנע שונה מהגודל הסקלארי אנרגיה קינטית.

עוד הבדל בין שני הגדלים הוא תלותם במהירות: התנע מתכונתי למהירות (mv), ואילו האנרגיה הקינטית מתכונתית לריבוע המהירות. גוף הנע במהירות כפולה ממהירותו של גוף אחר בעל אותה מסה יהיה בעל תנע כפול, אך בעל אנרגיה קינטית גדולה פי ארבעה. הוא יוכל להפעיל מתקף כפול על דבר מה שיעמוד בדרכו, ובה בעת לבצע עבודה גדולה פי ארבעה.

נתבונן בקליע עופרת הנורה לתוך בול עץ גדול מאוד (איור 6.15). כאשר הקליע פוגע בבול העץ הוא מוסר לו את התנע שלו במגמה להופכו. אם אותו קליע פוגע בבול העץ במהירות כפולה, יכולתו להפוך אותו גדולה פי שניים; כלומר, אם לקליע הראשון היה בדיוק התנע הדרוש להפיכת בול העץ, הרי שהקליע השני יפעיל מתקף כפול, ויוכל להפוך בול עץ בעל אותה צורה גיאומטרית, שמסתו כפולה. אך לקליע שמהירותו כפולה יש אנרגיה קינטית גדולה פי ארבעה, ולכן עומק החדירה שלו יהיה גדול פי ארבעה. עוצמת החבטה שלו גדולה פי שניים, אך הנזק שהוא גורם גדול פי ארבעה.

אם הקליע שמדובר בו הוא קליע גומי ולא קליע עופרת, הוא לא יחדור לבול העץ אלא יירתע ממנו. יכולתו של קליע כזה להפוך את בול העץ בהצלחה גדולה יותר. הבה נשקול מדוע. אם לשני הקליעים תנעים שווים ושניהם נעצרים, אזי השינויים בתנעים, ובעקבותיהם גם המתקפים, יהיו שווים; אך למעשה רק קליע העופרת נעצר, בעוד שקליע הגומי נהדף חזרה, ולכן השינוי בתנע והמתקף הנלווה לשינוי זה גדולים יותר, שכן לא זו בלבד שהקליע נעצר, אלא שהוא גם "נזרק חזרה". אם ההתנגשות אלסטית ואין שינוי בגודלה של מהירות הקליע, אזי השינויים בתנע ובמתקף כפולים. עוצמת החבטה במקרה זה גדולה כפליים מעוצמת החבטה של הקליע החודר. ואולם, מכיוון שקליע הגומי אינו חודר, הנזק הנגרם לבול העץ זעום. זאת דוגמה של מקרה אידיאלי. למעשה, התנגשויות מסוג זה אינן התנגשויות אלסטיות. עם זאת, כעת תוכלו להבין מדוע השוטרים המפזרים הפגנות משתמשים בכדורי גומי כדי להקטין את נזקי הפגיעות.



איור 6.16 מדגים זאת בניסוי בטיחותי יותר. כשחרטום החץ העשוי גומי ומצויד בחוד מתכתי פוגע בבול העץ, מתרחשת התנגשות אי-אלסטית והמתקף אינו גדול דיו כדי להטותו. ואולם, כאשר מסירים את חוד המתכת, הכידון אמנם פוגע בבול העץ בתנע שווה, אך הפעם הוא נרתע ממנו. המתקף, המוכפל בקירוב, מסה את הבול.

איור 6.15
קליע הגומי יעיל יותר בהפלת הבול בהשוואה לקליע עופרת בעל אותו תנע, מפני שהוא מוחזר לאחר ההתנגשות. בשל כך השינויים בתנע של קליע הגומי והמתקף שהוא מפעיל על הבול גדולים יותר. איזה קליע גורם נזק רב יותר?

* המתמטיקה מלמדת אותנו שכאשר גודל וקטורי (מהירות) נכפל בגודל סקלארי (מסה), התוצאה היא וקטור. אך ריבוע של גודל וקטורי (מהירות) הוא סקלאר, ולכן אנרגיה קינטית היא סקלאר ואינה ניתנת לקיזוז. אמנם ניתן לחבר תנעים כך שיבטלו זה את זה, אך אין דרך לחבר אנרגיות קינטיות כך שסכומן יתאפס.

שאלה

צייד נתקל ביער בדוב זועם המסתער עליו. איזה קליע יעיל יותר להפלת הדוב, קליע גומי או קליע עופרת – בהנחה שלשניהם אותו תנע?

איור 6.16

(א) דוד משחרר את החץ, הנעצר בהיצמדו לבול העץ (ב), דוד מסיר את חוד המתכת, (ג) הוא שב ומשחרר את החץ מאותו גובה. (ד) החץ מוחזר מהבול, שהפעם נטה על צידו. אומר דוד: "כשהחץ מוחזר המתקף גדול יותר, מפני שהחץ לא רק נעצר, אלא גם נזרק חזרה". מוסיפה אילנה: "במושגי תנע, אם נאמר שלחץ הפוגע היה תנע חיובי, הרי שלחץ המוחזר היה תנע שלילי. השינוי מתנע חיובי לשלילי כשהחץ מוחזר גדול מהשינוי מתנע חיובי לאפס כשהחץ נצמד. השינוי הגדול יותר בתנע בא לידי ביטוי במתקף גדול יותר."



ב



א



ד



ג

נניח שאתה מגלגל כדורגל במגרש ועומד להתנגש בשחקן הקבוצה היריבה הנע לקראתך בתנע השווה בגודלו לתנע שלך, אך מנוגד לו בכיוונו. התנע הכולל שלך ושל השחקן המתקרב אליך הוא אפס, ובעקבות ההתנגשות הבלתי נמנעת תיעצרו במסלוליכם. החבטה או הזעזוע שתפעילו איש על רעהו יהיו שווים אם תתנגש בשחקן כבד-משקל הנע באיטיות ואם תתנגש בשחקן קליל הנע במהירות. אם מכפלת המסה של השחקן המתנגש בך במהירותו שווה לזו שלך, תיעצר במקום. אך כוח הבלימה הוא רק צד אחד של העניין, ומה בדבר הנזק שייגרם? כל שחקן כדורגל יודע שמכאיב יותר להיעצר כתוצאה מהתנגשות בשחקן צנום הנע במהירות, מלהתנגש בשחקן כבד-משקל הנע באיטיות. מדוע? משום שלשחקן קל-משקל הנע באותו תנע כשחקן כבד-משקל יש אנרגיה קינטית גדולה יותר. אם לשניהם אותו תנע, אך מסתו של השחקן הקליל היא מחצית ממסתו של השחקן הכבד, הרי שמהירותו כפולה. אם מהירותו כפולה, האנרגיה הקינטית שלו אמנם אינה גדולה פי ארבעה - מפני שמסתו קטנה פי שניים - אך היא עדיין גדולה פי שניים מזו של השחקן הכבד*. לפיכך, העבודה

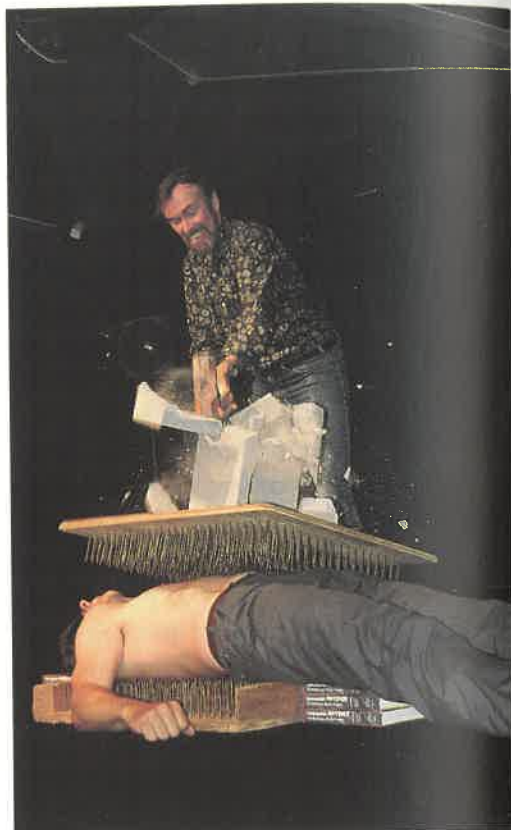
השימוש בקליע גומי יעיל יותר להפלת הדוב, אך מומלץ לנסות ולברוח עוד בטרם יספיק הדוב לקום.

תשובה:

* לפי נוסחת האנרגיה הקינטית, $(\frac{1}{2})(m/2)(2v)^2 = mv^2$. תוצאה זו גדולה פי שניים מ- $(\frac{1}{2})mv^2$, האנרגיה הקינטית של השחקן בעל המסה הגדולה יותר m והמהירות v .



1



2

איור 6.17

המחבר מוסר לפטיש אנרגיה קינטית ותנע. הפטיש פוגע בבלוק המונח על מיטות מסמרים שביניהן שוכב מורה לפיסיקה. המורה אינו ניזוק. מדוע? פרט לחלקי הבטון הניתזים, התנע של הפטיש ברגע הפגיעה נמסר למורה ובסופו של דבר לשולחן ולכדור הארץ, התומכים בו. אך התנע קובע רק את עוצמת החבטה: האנרגיה היא שקובעת את מידת הניזוק. רוב האנרגיה הקינטית אינה מועברת למורה אלא בחלקה מנוצלת לפירוק הבלוק ובחלקה הופכת לחום. האנרגיה הנותרת מתחלקת בין למעלה מ-200 מסמרים הנוגעים בגוף המורה. הכוח הדוחף כל מסמר אינו גורם אפילו לשריטת העור.

שיעשה עליך השחקן הצנום כפולה מזו שיעשה עליך השמן, והנוק שייגרם לך יהיה גם הוא, בדרך כלל, כפול. גורו לכם מהשחקנים הקלילים והמהירים!

כל צמח, בעל חיים ותא חי הוא מכונה חיה, וככל מכונה אחרת הם זקוקים לאספקת אנרגיה. כדלק ליצורים החיים על כדור הארץ משמשות תרכובות פחמימניות שונות המשחררות אנרגיה בהתרכבן עם חמצן. כמו בדוגמת שריפת הדלק במכונית שדנו בה קודם, גם בקשרים הכימיים שבין הפחמנים, המימנים והחמצנים שבמזון אגורה אנרגיה רבה יותר מזו המוכללת בתוצרים של תהליכי העיכול - פחמן דו-חמצני ומים. ההפרש מקיים את החיים עלי אדמות.

אנרגיית החיים

ההבדל העיקרי בין שריפת המזון בתהליכי העיכול ובין שריפת הדלק במנועים המכניים הוא בקצב התגובה הכימית. בתהליך העיכול התגובות איטיות, והאנרגיה משתחררת לפי הצורך. כמו בבעירת דלקים, משהחלה התגובה היא ממשיכה להתרחש: פחמן מתרכב עם חמצן ונוצר פחמן דו-חמצני. התהליך ההפוך קשה יותר לביצוע. רק בצמחים הירוקים תיתכן התרכבות של פחמן דו-חמצני עם מים ליצירת פחמימות, כמו סוכר למשל. זהו תהליך הפוטוסינתזה, והאנרגיה הדרושה לקיומו מקורה בקרינת השמש. סוכר הוא מרכיב המזון הפשוט ביותר במבנהו, וכל שאר מרכיבי המזון - פחמימות, חלבונים ושומנים - גם הם תרכובות של פחמן, מימן וחמצן. כמה בני מזל אנחנו, שהאנרגיה המאוחסנת בתרכובות המזון עולה על זו שבתוצרי בעירתן.

בשרשרת המזון נפגוש את הנצילות בהתגלמותה. יצורים גדולים ניזונים מיצורים קטנים מהם, אלו אוכלים יצורים קטנים יותר, וכן הלאה לאורך שרשרת המזון, המתחילה בצמחי האדמה והים, שהשמש היא ספק האנרגיה לקיומם. בעלייה בשלבי שרשרת המזון קיים בזבוז. בערבות אפריקה, 10 ק"ג של עשב נחוצים כדי לקיים קילוגרם אחד של צבי ו-10 ק"ג של צבי נדרשים כדי לכלכל קילוגרם אחד של אריה. אנו רואים שכל שינוי המתרחש באנרגיה לאורך שרשרת המזון תורם לבזבוז הכולל. מעניין לציין כי כמה מבעלי החיים הגדולים ביותר על פני כדור הארץ, הפיל והלווייתן הכחול, ניזונים מתחתית שרשרת המזון, וכיום, אפילו בין בני האדם הולך וגדל מספרם של אלה הרואים בשמרים ובאצות רכיבי תזונה יעילים.

שימור אנרגיה במכונות כמות העבודה המופקת ממכונה כלשהי אינה יכולה לעלות על כמות העבודה המושקעת. במכונה אידיאלית, ששום חלק של האנרגיה אינו הופך בה לחום:

עבודה מופקת = עבודה מושקעת

ובמשוואה:

$$\text{מופק (Fd)} = \text{מושקע (Fd)}$$

נצילות אחוז העבודה המושקעת ההופך לעבודה מופקת.

הקציר מונחים

עבודה מכפלת הכוח בדרך שלאורכה הוא פעל:

$$W = Fd$$

הספק קצב ביצוע עבודה:

$$\text{הספק} = \frac{\text{עבודה}}{\text{זמן}}$$

אנרגיה תכונה של מערכת, המאפשרת לה לבצע עבודה.

אנרגיה פוטנציאלית האנרגיה האגורה בגוף בשל מצבו.

אנרגיה קינטית אנרגיה של תנועה, מתוארת באמצעות הנוסחה:

$$\text{אנרגיה קינטית} = \frac{1}{2} mv^2$$

שימור האנרגיה אנרגיה אינה נוצרת ואינה מתכלה; היא יכולה לשנות את צורתה, אך כמות האנרגיה הכוללת לעולם אינה משתנה.

שאלות חזרה

1. היכן קל להבחין בקיומה של אנרגיה?

עבודה

2. כוח גורם לגוף לנוע. כאשר כופלים את הכוח במשך הזמן של פעולתו מתקבל גודל - הנקרא מתקף - שמשנה את התנועה של הגוף. כיצד נקראת המכפלה כוח \times דרך ומהו הגודל שהיא גורמת לשינויו?

16. לתפוח המחובר לעץ אנרגיה פוטנציאלית. כאשר התפוח נופל, למה הופכת האנרגיה הפוטנציאלית שלו לפני פגיעתו בקרקע? ולאחר הפגיעה?
17. הסבירו כיצד האנרגיה האגורה בעלה ירוק היא בעצם אנרגיה של קרינת השמש.
18. הסבירו כיצד ייתכן שהאנרגיה המפעילה מברשת שיניים חשמלית היא לאמיתו של דבר אנרגיה של היתוך תרמו-גרעיני.

מכונות

19. האם יכולה מכונה להכפיל את הכוח המופעל? את הדרך? את האנרגיה המושקעת?
20. כוח של 50 ניוטון מופעל בקצהו האחד של מנוף ומזיז אותו מרחק מסוים. אם קצהו השני של המנוף נע מחצית ממרחק זה, מהו הכוח שיפעל בקצה הזה?
21. אם האישי שבאיור 6.13 מושך את החבל כלפי מטה מטר אחד בכוח של 100 ניוטון, והמשא עולה ב-10 ס"מ, מהו המשא המרבי שניתן להרים?

נצילות

22. בנתוני השאלה הקודמת, מהי הנצילות של מערכת הגלגלות, אם משקלו של המשא 500 ניוטון?
23. בנתוני השאלה הקודמת, מהי העבודה שהאישי משקיע? מהי האנרגיה הפוטנציאלית שרוכש המשא המורם? מה קרה להפרש?
24. מהי העבודה המופקת בהשוואה לעבודה המושקעת במכונה שנצילותה 30 אחוז?
25. דונו בשאלה האם תיתכן מכונה שנצילותה גדולה מ-100 אחוז.

בין אנרגיה קינטית לתנע

26. מה פשר הקביעה שתנע הוא גודל וקטורי ואנרגיה קינטית היא גודל סקלארי?
27. האם יכולים תנעים לבטל זה את זה? האם אנרגיות יכולות לבטל זו את זו?
28. אם מהירותו של גוף נע מוכפלת, פי כמה גדל התנע שלו? פי כמה גדלה האנרגיה הקינטית שלו?
29. אם מהירותו של גוף נע מוכפלת, פי כמה גדל המתקף (עוצמת החבטה) שהגוף יוכל להפעיל על גוף שבו הוא יתנגש? פי כמה תגדל כמות העבודה (מידת הנזק) שהגוף יוכל לבצע?

אנרגיית החיים

30. האנרגיה המשמשת לקיומנו מקורה באנרגיה הפוטנציאלית הכימית שאגורה במזון, המשתנה בתהליך

3. תנו דוגמה לכוח הפועל על גוף אך אינו עובד עליו עבודה.
4. מהי כמות העבודה המתבצעת כאשר כוח שגודלו 1 ניוטון מזיז ספר למרחק של 2 מטר?
5. איזו פעולה דורשת עבודה גדולה יותר, הרמת שק שמסתו 50 ק"ג לגובה של 2 מטר או הרמת שק שמסתו 25 ק"ג לגובה של 4 מטר?

הספק

6. השוו בין ההספקים הנדרשים להרמת השקים כמתואר בבעיה הקודמת, בהנחה שמשך הזמן שנדרש להרמת שניהם היה שווה. באיזה משני המקרים יהיה ההספק גדול יותר, אם הרמת השק הקל נמשכה מחצית מזמן ההרמה של השק הכבד?
7. כמה ואטים של הספק מושקעים כאשר כוח של 1 ניוטון מזיז ספר למרחק של 2 מטר במשך 1 שנייה?

אנרגיה מכנית

8. מה בדיקת יכולה אנרגיה לעשות?

אנרגיה פוטנציאלית

9. מכונית מורמת במוסך לגובה מסוים ולכן יש לה אנרגיה פוטנציאלית ביחס לרצפה. מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית של המכונית אם נעלה אותה לגובה כפול?
10. שתי מכוניות מורמות במוסך לגובה שווה. בהנחה שלמכונית אחת מסה כפולה מלדעותה, השוו בין האנרגיות הפוטנציאליות של המכוניות.
11. חשבו כמה גיולים של אנרגיה פוטנציאלית יש לספר שמסתו 1 ק"ג כאשר הוא מורם לגובה של 4 מ'! לגובה של 8 מ'!

אנרגיה קינטית

12. כמה גיולים של אנרגיה קינטית יש לספר שמסתו 1 ק"ג הנע בחדר במהירות של 2 מ'ש"י? כמה אנרגיה יקנה הספר לקיר אם יתנגש בו?
13. למכונית נעה יש אנרגיה קינטית. אם נגדיל את מהירותה של המכונית פי ארבעה, פי כמה תגדל האנרגיה הקינטית שלה? בהשוואה למקרה הראשון, פי כמה גדולה עבודת הבלמים הנדרשת לעצירת המכונית כאשר המהירות גדלה פי ארבעה?
14. לאיזו מכונית אנרגיה קינטית גדולה יותר - למכונית הנעה במהירות של 30 ק"מ/שעה או למכונית שמסתה מחצית ממסת המכונית הראשונה ומהירותה 60 ק"מ/שעה?

שימור אנרגיה

15. מה תהיה האנרגיה הקינטית של חץ שנורה מקשת בעלת אנרגיה פוטנציאלית של 40 ג'ול?

6. אתם נמצאים במטוס ומשחקים עם הדיילת משחק מסירות בכדור בשעת הטיסה. האם תלויה האנרגיה הקינטית של הכדור במהירות המטוס? הסבירו בדקדקנות.

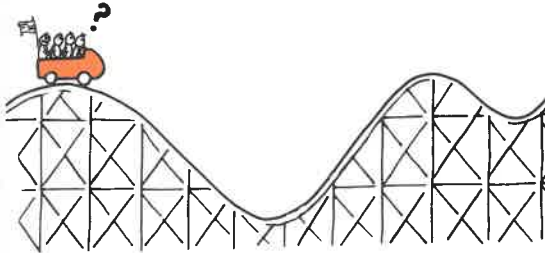
7. האם ייתכן מצב שבו לגוף יש אנרגיה אך לא תנע? הסבירו. האם ייתכן מצב שבו לגוף יש תנע אך לא אנרגיה? פירוט.

8. באיזו נקודה במסלולה של מטוטלת האנרגיה הקינטית מרבית? באיזו נקודה במסלולה האנרגיה הפוטנציאלית מרבית? מהי האנרגיה הפוטנציאלית של המטוטלת כאשר האנרגיה הקינטית שלה היא מחצית מהאנרגיה המרבית?



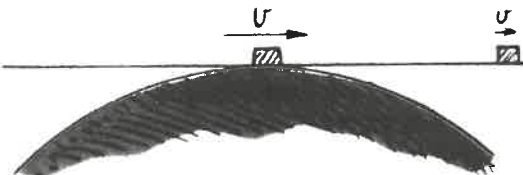
9. מורה לפיסיקה מדגים את עקרון שימור האנרגיה על ידי שחרור מטוטלת כבדה, כמתואר באיור. מה יקרה אם מרוב התלהבות הוא יעניק למטוטלת דחיפה קלה בעוזבה את קצה אפו? מדוע?

10. תוך התייחסות לעקרון שימור האנרגיה, דונו בתכונה של רכבת ההרים הנראית באיור.



11. נניח שאתם וחבריכם לכיתה דנים בתכנון רכבת ההרים. אחד טוען שכל פסגה חייבת להיות נמוכה מקודמתה. האחר אומר שדי בכך שהפסגה הראשונה תהיה הגבוהה מכולן, וגובה האחרות אינו משנה. מה דעתך?

12. תאר את תנועתו של גוף המתחיל להחליק במהירות קטנה ממהירות המילוט על משטח חלק אינסופי המשק לפני כדור הארץ, כבאיור. (האם הגוף יגיע לנצח במהירות קבועה? האם הוא ייעצר? באיזה מובן יהיה שינוי האנרגיה שלו דומה למתרחש במטוטלת?)



העיכול לצורות אחרות של אנרגיה. דונו בקצרה בשאלות הבאות: מה קורה לאדם שהעבודה שהוא מבצע קטנה מהאנרגיה שהוא קולט במזונו? לאדם שהעבודה שהוא מבצע גדולה מהאנרגיה שהוא קולט? האם אדם שנמצא במצב של תת-תזונה יוכל לבצע עבודה מאומצת ללא תוספת מזון?

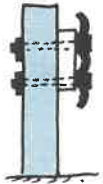
מטלות בית

1. מלאו שתי קערות של מערביל מזון במי ברז קרים ומידדו את הטמפרטורה שלהם. הפעילו את אחד המערבלים למשך דקות מספר. עתה השוו בין טמפרטורות המים בשתי הקערות.
2. שיפכו חול לקופסת שימורים בעלת מכסה ונערו אותה נמרצות במשך דקות מספר. השוו בין הטמפרטורות של החול לפני הניעור ולאחריו.

תרגילים

1. מדוע קל יותר לבלום משאית בעלת מטען מועט ממשאית עמוסה לעייפה הנעה באותה מהירות?
2. לשתי משאיות תנע שווה. על איזו משאית יש לבצע עבודה רבה יותר לבלימתה - על משאית שמטענה מועט או על משאית עמוסה?

3. כיום נהוג עיצוב שונה בגדרות ההפרדה שבין המסלולים בכבישים מהירים. בעבר נהוג להשתמש בפסי מתכת, כמתואר מימין, ועתה משתמשים בגדר בטון שצורתה עוצבה בקפידה, כמתואר משמאל. מהו יתרון העיצוב החדש בבלימת מכונית הפוגעת בגדר?



4. אם לצורך חישוב האנרגיה הפוטנציאלית של הקשת המתוחה שבאיור 6.4 נכפול את הכוח המופעל כדי להחזיק את הקשת במצבה המתוח בדרך שעברה הקשת במתיחתה, האם האומדן שנקבל לאנרגיה הפוטנציאלית יהיה קטן או גדול מערכה האמיתית? מדוע אמרנו שהעבודה המבוצעת שווה לכוח הממוצע \times הדרך?

5. כאשר יורים ברובה ארוך-קנה, כוחם של הגזים המתפשטים פועל לאורך דרך ארוכה יותר. כיצד משפיעה עובדה זו על מהירותו של הקלע הנפלט? (האם כעת מובן לכם מדוע לתותחים ארוכי טווח יש קנים כה ארוכים?)

ומשחררים אותם, התנע נשמר כאשר לאחר ההתנגשות מתחילים שני הכדורים בצידה השני של המטוטלת להתרום במהירות השווה למהירות הפגיעה של שני הכדורים ששחררו. אך התנע היה נשמר גם אם בסיום ההתנגשות כדור אחד היה נע במהירות כפולה. הסבר מדוע מצב זה לא יתרחש לעולם? (ומדוע תרגיל זה מופיע בפרק 6 ולא בפרק 5?)

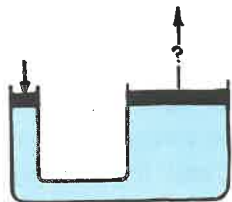


24. האם תהיה מכונית שנצילותה 100 אחוז חמה למגע? האם יחממו הגזים הנפלטים מהמפלט את סביבתה? האם היא תשמיע קולות? האם היא תתנדוד? האם יישאר חלק מהדלק שלה בלתי מנוצל?

בעיות

1. הרי שאלה אופיינית למבחנים עיוניים בנחיה: אם מכונית שמהירותה 50 ק"מ/שעה מחליקה 15 מטר כאשר בלמיה נעולים, לאיזה מרחק תחליק מכונית שגלגליה נעולים כשהיא נעה במהירות של 150 ק"מ/שעה?

2. חשבון החשמל שלכם ניתן בקילוואט-שעה, שהיא כמות האנרגיה המסופקת אם משתמשים בהספק של קילוואט אחד במשך שעה אחת. כמה גיילים של אנרגיה קיבלתם בקילוואט-שעה אחד?



3. במכונה ההידרולית שבאיור, כאשר הבוכנה הקטנה נדחפת מטה ב-10 ס"מ, הבוכנה הגדולה נעה מעלה 1 ס"מ. אם הכוח שפועל על הבוכנה הקטנה הוא 100 ניוטון, מהו הכוח שתוכל להפעיל הבוכנה הגדולה?

4. התבוננו בהתנגשות האי-אלסטית של שני קרונות המשא בפרק הקודם (איור 5.10). התנעים לפני ההתנגשות ואחריה שווים, אך האנרגיה הקינטית לאחר ההתנגשות פחותה

13. האם צריכת הדלק של מכונית גדלה כשאורתייה דולקים? האם מצב המנוע - פועל או כבוי - משנה צריכה זו? נמקו את קביעתכם.

14. ניתן למחור חומר ללא כל הפחתה בכמותו. האם גם אנרגיה ניתנת למיחזור באותו אופן? הסבירו.

15. על מכונה שנצילותה נמוכה אומרים כי היא "מבזבזת אנרגיה". האם באמת ובתמים אובדת אנרגיה? הסבירו.

16. מה תשיבו לחבר, שסיפרתם לו כי אין בנמצא מכונה המפיקה יותר אנרגיה מזו המושקעת בה, אם יטען שבכור גרעיני תפוקת האנרגיה עולה על האנרגיה המושקעת?

17. השאלה הבאה נראית לכאורה כשאלה פשוטה: באיזה כוח פוגעת בקרקע אבן שמשקלה 10 ניוטון לאחר שהופלה ממצב של מנוחה, מגובה של 10 מ'? לשאלה זו אין תשובה מספרית. מדוע?

18. חברך נבון, כי לדעתו הרעיונות הנזכרים בפרק 4 סותרים את הרעיונות שבפרק זה. בפרק 4 נאמר, למשל, כי סכום הכוחות על מכונית הנעה במהירות קבועה על כביש אופקי מתאפס, ואילו בפרק זה נטען שעל המכונית נעשית עבודה. חברך שואל: "כיצד ייתכן שמבוצעת עבודה, כאשר שקול הכוחות הוא אפס?" מהו הסברך?

19. בהזנחת החיכוך, לגוף הנזרק אנכית מעלה באנרגיה קינטית מסוימת תהיה אותה אנרגיה קינטית בשובו לנקודת המוצא. אם השפעת החיכוך נלקחת בחשבון, האם ישוב הגוף לנקודת המוצא באנרגיה קינטית גדולה מן האנרגיה הקינטית שהיתה לו ברגע הזריקה, קטנה ממנה או שווה לה? האם יש סתירה בין התשובה לחוק שימור האנרגיה? נמקו את קביעתכם.

20. ילד העומד בקצה הגג זורק כדור אחד למטה וכדור שני כלפי מעלה. הכדור השני מתרומם, ואחר כך שב ונופל ופוגע בקרקע. השוּו בין מהירויות הפגיעה של שני הכדורים בקרקע, בהנחה שהחיכוך עם האוויר זניח ושגודלי מהירויות הזריקה כלפי מעלה וכלפי מטה שווים. (בתתון תרגיל זה, התבססו על חוק שימור האנרגיה.)

21. למספריים לחיתוך נייר להבים ארוכים וידיעות קצרות, ואילו למספריים לחיתוך מתכת להבים קצרים וידיעות ארוכות. לקוצץ תיל ידיעות ארוכות מאוד ולהבים קצרים מאוד. מדוע?

22. תארו מה היה עולה בגורלו של המורה לפיסיקה בין שתי המיטות המסומרות (איור 6.17). אילו הבלוק היה קל יותר ובלתי שביר ומספר המסמרים במיטות היה קטן יותר.

23. התבוננו במערכת המטוטלות הבנויה מכמה כדורים שווי מסה (משחק המנהלים). אם מרימים שני כדורים

ואחריה ישתוו, פי כמה צריך להיות התנע של כדור הכדורת גדול מהתנע של כדור הגולף? לאיזה כדור אנרגיה קינטית גדולה יותר?

6. כמה קילומטרים לליטר דלק תיסע מכונית שנצילותה 25 אחוז ופועל עליה כוח מעכב של 1000 ניוטון? הניחו שתכולת האנרגיה של ליטר דלק היא 40 מגה-ג'ול.

7. מהי נצילותה של מערכת גלגלות המסוגלת להרים משא של 1000 ניוטון לגובה של מטר אחד כאשר מושקעת בה עבודה של 3000 ג'ול?

8. מהי נצילותה של רוכבת אופניים אשר בהשקעת הספק של 1000 וואט מוסרת לאופניה אנרגיה בקצב של 100 וואט?

מהאנרגיה הקינטית לפניו. בכמה פחתה האנרגיה הקינטית, ומה קרה להפרש זה?

5. כדור גולף מושלך לעבר כדור כדורת (באולינג) כבד מאוד השרוי במנוחה, ופוגע בו. לאחר ההתנגשות, לאיזה כדור יש תנע גדול יותר? (רמז: כדור הגולף מוחזר בתנע שלמעשה שווה בגודלו לתנע שהיה לו בעת הפגיעה, אך בכיוון מנוגד. כדי שהתנעים הכוללים לפני ההתנגשות

