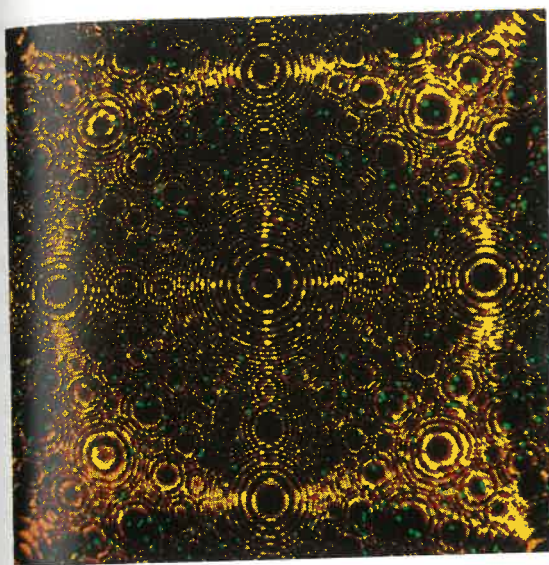


מוצקים



1ני האדם החלו לסווג מוצקים ככל הנראה כבר בימי קדם, כשניסו להבחין בין אבן המתאימה לבניית מחסה לבין אבן שניתן ליצור ממנה כלי עבודה. מאז ועד ימינו אלה הלכה וגדלה ללא הרף רשימת החומרים המוצקים המשמשים את האדם. עם זאת, הקשר שבין תכונות המוצקים לבין מבנם הפנימי לא התברר אלא רק בתחילת המאה ה-20.

לפני כן סברו כי טיב החלקיקים הבונים את המוצק הוא הקובע את תכונותיו - את קשיותו של היהלום, את רכותה של העופרת, את התכונות המגנטיות של הברזל ואת המוליכות החשמלית של הנחושת. האמינו כי שינוי תכונותיו של מוצק כרוך בהכרח בשינוי תכולתו. כיום אנו יודעים כי את מאפייניהם של מוצקים ואת תכונותיהם קובע המבנה, כלומר - הסדר שבו ערוכים אטומי החומר והקשרים ביניהם.

העברת הדגש מחקר תכולתם של חומרים מוצקים לחקר המבנה שלהם הביאה לשינוי תפקידם של החוקרים ממגלי חומרים חדשים למתכנני המבנה של חומרים בעלי תכונות חדשות ושימושים יוצאי דופן.

דוגמה מרשימה למבנהו של חומר מוצגת באיור למעלה. התמונה היא תצלום-זיעור שנעשה לראשונה ב-1958 בידי ד"ר ארווין מילר. מילר השתמש במחט פלטינה חדה ביותר, שהקצה שלה עשוי כחצי-כדור בקוטר 4 מיליוניות המילימטר. את המחט הוא סגר בשפופרת שהכילה גז הליום קלוש, והפעיל עליה מתח חיובי גבוה ביותר (25,000 וולט). בהשפעתו של מתח חשמלי כה גבוה, אטומי הליום ש"נחתו" על חוד המחט התיווננו מיד ונקרעו כיונים חיוביים, שניתזו מכל נקודה שבה פגעו בכיוון מאונך כמעט למשטח הפנים של החוד. יונים אלה פגעו אחר כך במסך פלואורסצנטי ויצרו עליו תמונה של חוד

המחט, הנראה כאן מוגדל פי 750,000 בקירוב. ברור שלפליטנה מבנה גבישי, והאטומים בה ערוכים כתפוזים על דוכן הירקן. אף שאין זה תצלום של האטומים עצמם, הוא מגלה את מקומם של האטומים וחושף, בקנה המידה המיקרוסקופי, את מבנה המוצקים הבונים את עולמנו.

מבנה גבישי

סמוך לסוף המאה ה-19 התברר כי מוצקים רבים מורכבים מגבישים. עם התבססות התורה האטומית של החומר, הועלתה גם הסברה שהגבישים עצמם בנויים ממערכים שונים של אטומים. סברה זו אושרה ב-1912, עם תחילת השימוש בקרני X (קרני רנטגן). האטומים בגביש סמוכים מאוד זה לזה; במרבית המקרים המרחק ביניהם הוא מ-30 עד 100 ננומטר*, בערך כאורך הגל של קרני X. הפיסיקאי הגרמני מאקס פון-לאואה גילה כי אלומה של קרני X שמכוונים אותה לעבר גביש עוברת תהליך של עקיפה ונוצרת תבנית - תבנית התאבכות - המאפיינת את מבנה הגביש (איור 11.1). תבניות ההתאבכות שיוצרות קרני X על סרט צילום מגלות שהגביש הוא פסיפס נאה של אטומים הממוקמים על סריג מסודר, בדומה ללוח שחמט תלת-ממדי או משחק "איקס-מיקס-דריקס" תלת-ממדי. מבנה הגביש של מתכות דוגמת ברזל, נחושת או זהב הוא מבנה פשוט יחסית. המבנה של בדיל וקובלט מסובך מעט יותר. כל המתכות האלה בנויות מגבישונים משולבים זה בזה, שכל אחד מהם הוא בעל מבנה מושלם כמעט וכולם בעלי אותו סריג סדיר, אך הם מונחים בנטיית שונות האחד ביחס לשכנו. אפשר לראות את גבישוני המתכת הללו כשמשתמשים בחומצה לצריבת משטח המתכת (איור 11.2). ניתן להבחין בגבישונים גם על משטח של ברזל מגולוון שנחשף להשפעות מזג האוויר או על ידיה של דלת מפלזי שנצרבה מזיעת הידיים שאחזו בה.

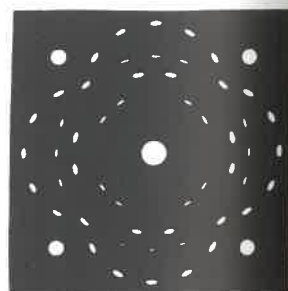
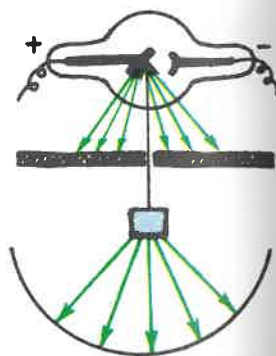
התצלומים של תבניות התאבכות בקרני X שערך פון-לאואה הקסימו זוג מדענים אנגלים, וויליאם הנרי בראג ובנו וויליאם לורנס בראג. על סמך הניסויים שערכו הם הצליחו לפתח נוסחה מתמטית שהראתה בדיוק כיצד אמורות קרני X להתפזר משכבות האטומים המרווחות זו מזו באורח סדיר בגבישים השונים. בסיועה של נוסחה זאת, תוך ניתוח מערך הכתמים שבתבנית ההתאבכות, הם הצליחו לקבוע מה עוביין של שכבות האטומים, כלומר - למדוד את המרחקים שבין האטומים בגביש.

איור 11.1

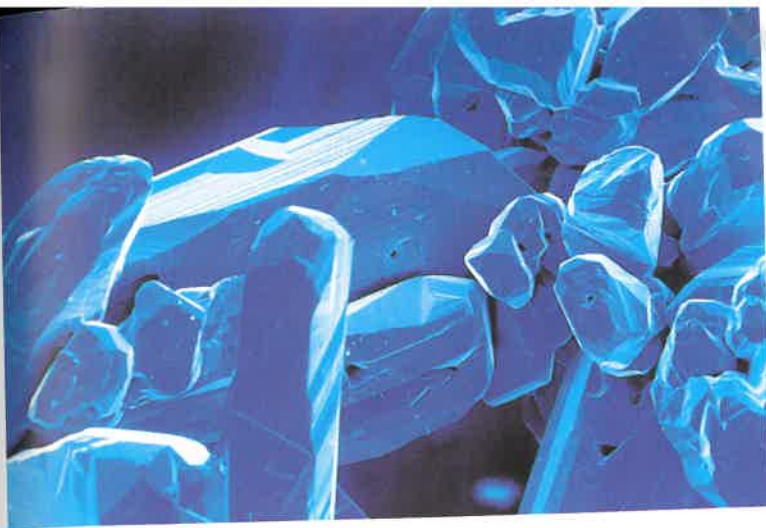
קביעת מבנה הגביש באמצעות קרני X. צילום זה של מלח הוא תוצר של התאבכות קרני X. קרניים משפופרת קרני X נחסמות באמצעות מחיצת עופרת, מלבד אלומה צרה הפוגעת בגביש של נתרן כלורי (מלח בישול רגיל). הקרינה שחוזרת מבעד לגביש ופוגעת בסרט הצילום יוצרת את התבנית הנראית באיור. הכתם הלבן שבמרכז הוא האלומה המרכזית של קרני X, שלא עברה פיזור. גודלם של הכתמים האחרים וסידורם נובע מן המערך הסריגי של אטומי הנתרן והכלור שבגביש. לכל מבנה גבישי יש תמונת התאבכות בקרני X הייחודית לו. גביש של נתרן כלורי ייתן תמיד אותה תבנית.

(מתוך: Experimental Chemistry, 6/e by M. J. Sienko et al. Copyright © 1984

McGraw-Hill, Inc. מודפס ברשות המו"ל).



* 1 ננומטר = מיליונית המילימטר = 10^{-9} מטר.



מוצק עשוי להיות גבישי או אמורפי. במצב האמורפי האטומים והמולקולות מצויים במערך אקראי, כשהם מתנוודים סביב אתרים קבועים. במצב השכיח יותר, הגבישי, האטומים ערוכים במבנה מסודר תלת-ממדי - סריג גבישי של אטומים (איור 11.3). כל אטום מתנווד מסביב למקומו הקבוע ואינו יכול לנוע חופשית במרחבי הסריג. בסריג כזה האטומים קשורים אלה לאלה באמצעות כוחות חשמליים.

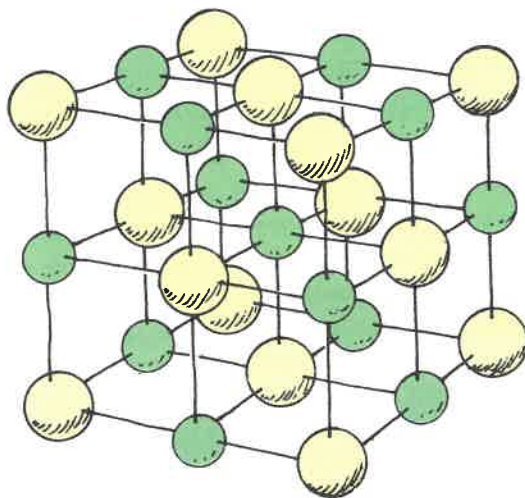
לא נעסוק עתה בפרטי תורת הקשר האטומי, ורק נציין כי קיימים ארבעה סוגי קשרים עיקריים במוצקים: יוני, קוֹלֵנְטִי, מתכתי, והחלש ביותר, קשר ון-דר-ואלס. עוד מידע על סוגי קשרים אלה אפשר למצוא כמעט בכל ספר כימיה.

איזה סוג של כוח יסודי קושר את האטומים זה לזה ליצירת מולקולות ועומד ביסוד הקשר האטומי במוצקים?

שאלה

איור 11.3

גבישי נתרן כלורי: הכדורים הגדולים מייצגים יוני כלור.



תשובה: הכוח החשמלי (עוד על כך בפרק 21).

מסותיהם של האטומים והמרווחים שביניהם קובעים את **צפיפות** החומרים. אנו מתייחסים לצפיפות כאל "הקלות" או "הכבדות" של חומרים שונים בעלי נפח שווה. הצפיפות היא מדד ל"יעילות האריזה" של החומר, כלומר - כמה מסה נדחסה לנפח נתון; זו כמות החומר ליחידת נפח:

$$\frac{\text{מסה}}{\text{נפח}} = \text{צפיפות}$$

הצפיפויות של חומרים אחדים נתונות בטבלה 11.1. המסה נמדדת בגרמים או בקילוגרמים והנפח בסנטימטרים מעוקבים (ס"מ³) או במטרים מעוקבים (מ³). גרם של חומר מוגדר ככמות השווה לסנטימטר מעוקב אחד של מים בטמפרטורה של 4°C צלסיוס*. צפיפות המים היא, איפוא, 1 גרם לסנטימטר מעוקב. זהב, שצפיפותו 19.3 גרם לס"מ מעוקב, הוא בעל מסה גדולה פי 19.3 ממים בנפח שווה. אוסמיום, יסוד מתכתי קשה שגונו לבן-כחלחל, הוא החומר בעל הצפיפות הגדולה ביותר על פני כדור הארץ. אף כי מסתו של אטום



טבלה 11.1
צפיפויות של
חומרים אחדים

החומר	גרמים לס"מ מעוקב	קילוגרמים למטר מעוקב
מוצקים		
אוסמיום	22.5	22 480
פלטינה	21.5	21 450
זהב	19.3	19 320
אוראניום	19.1	19 050
עופרת	11.3	11 344
כסף	10.5	10 500
נחושת	8.9	8 920
פלז	8.6	8 560
ברזל	7.8	7 800
בדיל	7.3	7 280
אלומיניום	2.7	2 702
קרח	0.92	917
נוזלים		
כספית	13.5	13 546
גליצרין	1.26	1 260
מי ים	1.03	1 025
מים ב-4°C	1.00	1 000
בנזין	0.90	899
כוהל אתילי	0.81	806

איור 11.4

כשמקטינים את נפחה של
כיכר הלחם, צפיפות הלחם
גדלה.

* מטר מעוקב הוא יחידת נפח גדולה למדי, המכילה מיליון סנטימטרים מעוקבים, ולכן ישנם מיליון גרם (או אלף קילוגרם) מים במטר מעוקב. לכן, 1 ג'אס"מ³ = 1000 ק"ג/מ³.

אוסמיום בודד קטנה מזו של אטום זהב, כספית, עופרת ואוראניום, הרי שבגלל המרווחים הקטנים בין אטומי היסוד אוסמיום בצורתו הגבישית, צפיפותו היא הגדולה ביותר. בס"מ מעוקב של אוסמיום יש אטומים רבים יותר משיש בס"מ מעוקב של יסודות אחרים, שבהם מסת האטומים גדולה יותר אך סידורם מרווח יותר.

שאלות

1. מהי הצפיפות של 100 ק"ג מים?
2. למה צפיפות גדולה יותר – ל-10 ק"ג עופרת או ל-100 ק"ג אלומיניום?
3. למה צפיפות גדולה יותר – לגולת אוראניום שקוטרה ס"מ אחד או לכדור הארץ כולו?

כאשר כוח חיצוני פועל על עצם כלשהו, חלים בו בדרך כלל שינויים בגודל, בצורה או בשניהם. השינויים תלויים במערך האטומים בחומר ובאופי הקשרים ביניהם.

משקולת התלויה בקפיץ גורמת למתיחתו. אם נתלה בקפיץ משקולת נוספת יימתח הקפיץ עוד יותר. אם נסיר את המשקולות יחזור הקפיץ לאורכו ההתחלתי. אומרים שהקפיץ אלסטי, או גמיש. כאשר מחבט פוגע בכדור, הכדור משנה את צורתו לפרק זמן קצר (איור 11.5). כאשר קשתים יורים חץ מקשת הם מכופפים תחילה את הקשת לאחור, וזו חוזרת בבת אחת לצורתה המקורית עם שחרור החץ. הקפיץ, הכדור והקשת הם דוגמאות לעצמים אלסטיים. **אלסטיים** היא התכונה של גוף המשנה את צורתו כשפועל עליו כוח מְצוּת חיצוני, וחוזר לצורתו המקורית כשהכוח המעוות חדל מלפעול. לא כל החומרים חוזרים לצורתם המקורית כשהכוח המעוות חדל לפעול. חומרים שאינם חוזרים לצורתם המקורית לאחר שחל בהם עיוות נקראים חומרים אי-אלסטיים. גבס רך, פלסטלינה ובצק הם דוגמאות לחומרים אי-אלסטיים. גם עופרת היא חומר אי-אלסטי, מפני שקל ליצור בה עיוות קבוע.

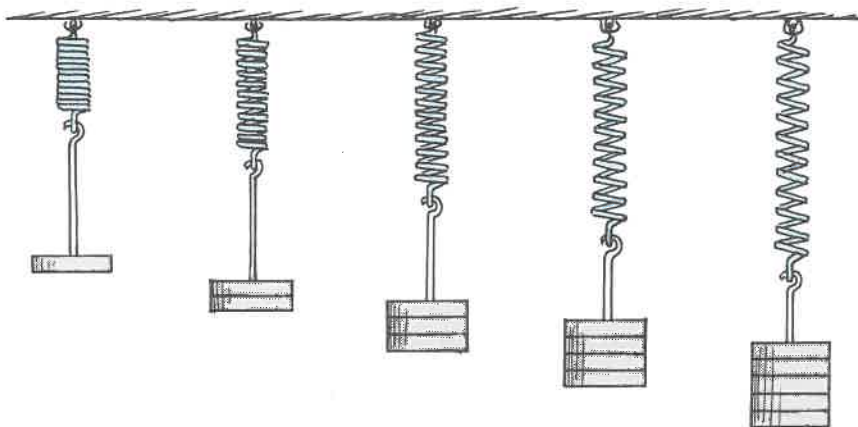


איור 11.5
כדור אלסטי.

כשתולים משקולת בקפיץ, פועל עליה כוח (כוח הכובד). מידת המתיחה (או הכיווץ) של הקפיץ תהיה ביחס ישר לגודלו של הכוח המופעל (איור 11.6). קשר זה, שהבחין בו באמצע המאה ה-17 הפיסיקאי הבריטי רוברט הוק, בן זמנו

תשובות:

1. צפיפות המים, בכל כמות שהיא, היא 1000 ק"ג/מ³, ומשמעות הדבר היא שכמות המים שהיתה ממלאת בדיוק מכל של מטר מעוקב אחד היא 1000 ק"ג. האם ברור לכם של-100 ק"ג מים נפח של עשירית מטר מעוקב? וכי 100 ק"ג/מ³ = 0.1 מ³ = 1000 ק"ג/מ³?
2. הצפיפות היא היחס בין המסה לנפח. יחס זה גדול יותר בכל כמות של עופרת מאשר בכל כמות של אלומיניום – ראו טבלה 11.1.
3. לגולת האוראניום. רק אילו היה כדור הארץ בנוי כולו מאטומי אוראניום ארוזים במרווחים שווים לאלה שבגולה, רק אז היו הצפיפויות שוות.



איור 11.6
שיעור המתיחה של
הקפיץ נמצא ביחס
ישר לכוח המופעל
עליו. אם מכפילים
את המשקל התלוי,
הקפיץ נמתח
כפליים.

של ניוטון, נקרא **חוק הוק**. שיעור המתיחה או הכיווץ (השינוי באורך), Δx , נמצא ביחס ישר (כלומר - הוא מתכונתי) לכוח המופעל F . ובקיצור:

$$F \sim \Delta x$$

אם מותחים או מכווצים חומר אלסטי מעבר לשיעור מסוים, הוא לא יחזור למצבו המקורי אלא יישאר מעוות. המרחק שמעבר לו ייותר עיוות קבוע בחומר נקרא גבול האלסטיות. חוק הוק תקף רק כל עוד הכוח אינו מותח או מכווץ את החומר מעבר לגבול האלסטיות שלו.

שאלות

1. תולים משקולת שמסתה 20 ק"ג בקצהו של קפיץ. כתוצאה מכך הקפיץ נמתח בשיעור 10 ס"מ. אם יתלו בקצה הקפיץ משקולת שמסתה 40 ק"ג, מה יהיה שיעור המתיחה של הקפיץ? ומה אם יתלו משקולת שמסתה 60 ק"ג?
2. כוח של 10 ניוטון מותח קפיץ מסוים בשיעור של 4 ס"מ. מה יהיה שיעור המתיחה של הקפיץ אם יפעל עליו כוח של 15 ניוטון?

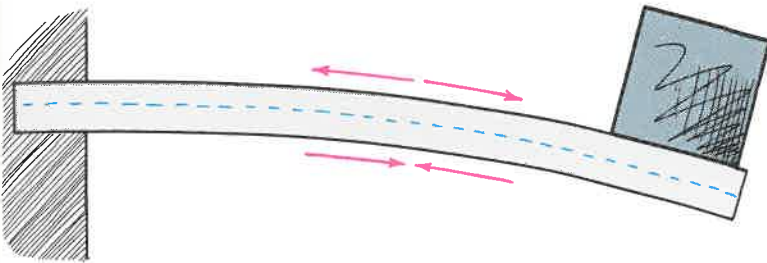
תשובות:

1. משקלה של משקולת שמסתה 40 ק"ג כפול מזה של משקולת בת 20 ק"ג. לפי חוק הוק, $F \sim \Delta x$, כוח מופעל גדול פי שניים יגרום למתיחה גדולה פי שניים. הקפיץ יימתח איפוא 20 ס"מ. משקולת בת 60 ק"ג תגרום למתיחה גדולה פי שלושה, כלומר 30 ס"מ. (כל זאת בהנחה שאף אחת ממשקולות אלה אינה גורמת למתיחת הקפיץ מעבר לגבול האלסטיות).
2. הקפיץ יימתח 6 ס"מ, מפני שהיחס בין 10 ניוטון ל-4 סנטימטרים שווה ליחס שבין 15 ניוטון ל-6 סנטימטרים. היחס שבין הכוח לבין שיעור המתיחה נקרא קבוע הקפיץ וסימונו k (בדוגמה שלנו $k = 2.5$ נ"ס"מ), ולפיכך חוק הוק מובע בנוסחה: $F = k \Delta x$.

מתיחה ולחיצה

כשמפעילים כוח מושך על עצם הוא נמצא במצב מתיחה. כשמפעילים עליו כוח לחץ הוא נמצא במצב לחיצה (או דחיסה). לחיצה גורמת לגופים להתקצר ולהיעשות עבים יותר, ואילו מתיחה גורמת להם להתארך ולהיעשות דקים יותר. עובדה זו אינה ניכרת בגופים קשיחים, מפני שהתקצרותם או התארכותם זעירות ביותר.

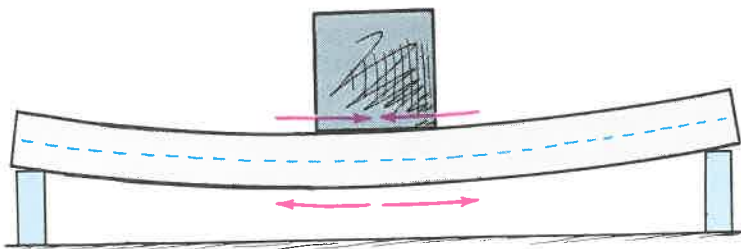
פלדה היא חומר אלסטי מעולה מפני שאפשר למתוח וללחוץ אותה בקלות יחסית. בשל חוזקה ותכונותיה האלסטיות, הפלדה משמשת לא רק להכנת קפיצים, אלא גם להתקנת קורות שדרה בשלדי מבנים. עמודי פלדה אנכיים המשמשים בבניית בניינים רבי קומות מתכווצים רק בשיעור מועט. עמוד פלדה אופייני כזה שאורכו כ-25 מטרים נלחץ בשיעור של מילימטר אחד בקירוב כשמעמיסים אותו במשא של כ-10 טון. עיקר העיוות נוצר בקורות אופקיות, הנוטות להתכופף ולהתקצר בהשפעת העומס הכבד.



איור 11.7

חלקה העליון של הקורה נמתח וחלקה התחתון נלחץ. מה מתרחש בחלקה האמצעי, בין השכבה העליונה לתחתונה?

כשקורה אופקית נתמכת בקצה אחד או בשני קצותיה, היא נתונה במתיחה ובלחיצה כאחד בהשפעת משקלה והעומס שהיא נושאת. באיור 11.7 מתוארת קורה אופקית הנתמכת בקצה אחד (היא נקראת קורה שלוחה). היא מתכופפת בגלל משקלה העצמי ובהשפעת המשא שהיא נושאת בקצה. אם נקדיש לכך מעט מחשבה ניווכח שחלקה העליון של הקורה נמתח. האטומים שם נוטים להתרחק זה מזה. עקב העיוות, החלק העליון ארוך מעט יותר מאורכו המקורי. הוא נמצא במצב מתיחה. אם נקדיש עוד מעט מחשבה לעניין ניווכח שחלקה התחתון של הקורה נמצא במצב לחיצה. האטומים מתקרבים זה אל זה. החלק התחתון קצר מעט יותר בשל האופן שבו הוא מכופף. חלקה העליון של הקורה נמצא, איפוא, במצב מתיחה וחלקה התחתון נמצא במצב לחיצה. התוכלו להבחין כי אי-שם בין חלקה העליון של הקורה לחלקה התחתון ישנו אזור שבו לא קורה דבר, שאין בו לא מתיחה ולא לחיצה? זאת השכבה הניטרלית.

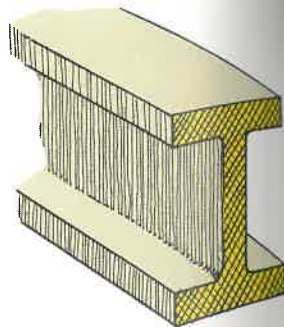


איור 11.8

חלקה העליון של הקורה נלחץ וחלקה התחתון נמתח. היכן נמצאת השכבה הניטרלית (שאינה נתונה להשפעת מאמץ, לא מתיחה ולא לחיצה)?

הקורה האופקית שבאיור 11.8 (הידועה גם בשם קורה פשוטה) נתמכת בשני קצותיה ונושאת משא (עומס) באמצעה. הפעם הלחיצה היא בחלקה העליון של הקורה והמתיחה היא בחלקה התחתון. וגם כאן ישנה שכבה ניטרלית בחלקה האמצעי של הקורה לכל אורכה.

עתה יכולים אנו להבין מדוע לקורות פלדה חתך בצורת האות I ("חתך קמציים", איור 11.9). רובו של החומר בקורות-I כאלה מרוכז באוגן העליון ובאוגן התחתון; החלק האמצעי, המקשר בין האוגנים ומכונה דופנית, דק הרבה יותר. וכך, כאשר קורה כזאת מוצבת אופקית בתוך מבנה, רובו של המאמץ פועל באוגן העליון ובאוגן התחתון, ולא בחלק המרכזי. אוגן אחד נדחס בעוד האחר נמתח. בין האוגן העליון לתחתון נמצא אזור ללא מאמץ, שתפקידו העיקרי לקשר בין האוגן העליון לתחתון. זו השכבה הניטרלית, שבה דרושה כמות קטנה יחסית של חומר. האוגנים הם הנושאים למעשה את כל המאמצים שבקורה. קורת-I חזקה כמעט כמו קורה מלבנית מלאה ששטח החתך שלה כשטח החתך החיצוני של קורת ה-I, ואולם, משקלה של קורת-I קטן במידה משמעותית. קורת פלדה ריבועית מלאה וגדולה המשולבת במבנה כלשהו עלולה לקרוס תחת משקלה העצמי, ואילו קורת-I בגודל שווה מסוגלת לשאת עומס רב נוסף.



איור 11.9

קורת-I דומה לקורה מלבנית מלאה שגירדו חלק מן הפלדה באמצעה, שם היא נחוצה פחות. כך הקורה נעשית קלה יותר מבלי לאבד כמעט מחוזקה.

אילו נתבקשתם לקדוח חור דרך אחד משלושת ענפי העץ האופקיים שבתצלום באיור 11.10, במקום שבו תגרמו להחלשה מזערית של הענף, האם הייתם קודחים את החור דרך חלקו העליון של הענף, דרך חלקו האמצעי או דרך חלקו התחתון?

שאלה

איור 11.10

חלקו העליון של הענף נמצא במתיחה עקב משקלו, ואילו חלקו התחתון נמצא במצב לחיצה. התוכלו לומר היכן הענף אינו מתוח וגם לא מכווץ?



תשובה

המקום הטוב ביותר לקידוח הוא באמצע הענף, דרך השכבה הניטרלית. הסיבים בחלקו העליון של הענף נמתחים, כך שקדיחת החור בחלק זה עלולה לגרום לקריעתו. הסיבים בחלקו התחתון נלחצים, וקדיחת החור שם עלולה לגרום לשבירת הענף בשל הלחיצה. באמצע, בשכבה הניטרלית, החור כמעט שלא ישפיע על חוזק הענף, מפני שסיבי העץ שם אינם מתוחים ואינם לחוצים.

איור 11.11

אסור שלוחות האבן
האופקיים של הגג
יהיו ארוכים מדי,
מפני שהאבן נשברת
בקלות בהשפעת
מתיחה. לכן דרושים
עמודים אנכיים כה
רבים לנשיאת הגג.

**קשתות**

אבנים נשברות ביתר קלות בהשפעת מתיחה מאשר בהשפעת לחיצה. גגותיהם של מבני אבן שהקימו המצרים בתקופת הפירמידות נבנו מלוחות אבן אופקיים רבים. מכיוון שלוחות אלה היו חלשים יחסית, נאלצו הבנאים להציב עמודי אבן אנכיים רבים שתמכו בגג. כך נבנו גם מקדשי האבן שהקימו היוונים בעת העתיקה (איור 11.11). משהוחל בבניית קשתות התמעט מספר העמודים.

בבתים ישנים רבים, בעיקר בערים עתיקות כמו ירושלים, יפו ועכו, חלקם העליון של החלונות בנוי בצורת קשת. כך גם בגשרים עתיקים הבנויים אבן. כשמציבים עומס על מבנה המבוסס על קשת שנבנתה כראוי (איור 11.12), לא זו בלבד שהלחיצה אינה מחלישה את המבנה אלא היא אף מחזקת אותו. האבנים נלחצות זו אל זו בחוזקה ונצמדות בעוצמה רבה יותר עקב כוחות הלחיצה. למעשה, אפילו מלט אינו נחוץ במבנים אלה, שלא כבמבנים שאינם קשתות, שבהם הוא נחוץ בהחלט.

**איור 11.12**

משקלו של העומס שמעל לחלון אינו יוצר מתיחה אלא לחיצה בלבנים הבונות את הקשת. לבנים, בדומה לאבן, נשברות בקלות בהשפעת מתיחה, אך הן חזקות ביותר בהשפעת לחיצה.

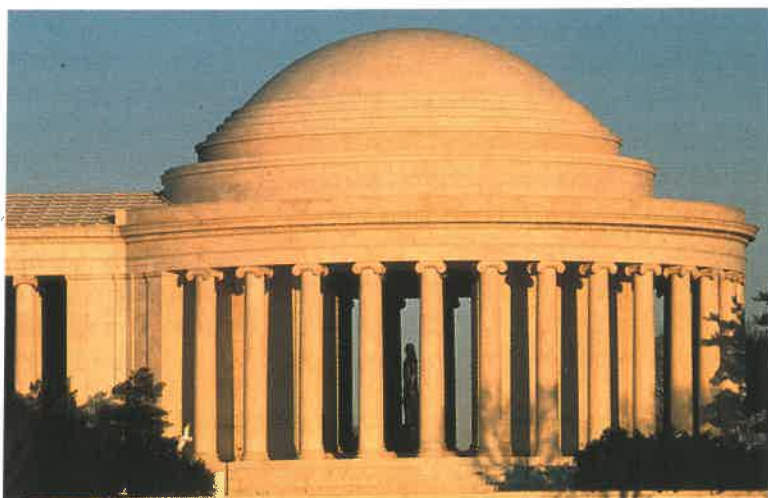
**איור 11.13**

הקשתות הרבות במוביל המים (האקוודוקט) הרומי תורמות תרומה חשובה לחוזקו.

אם נסובב קשת סביב ציר העובר בקודקודה, נקבל כיפה. בדומה לקשת, גם משקלה של הכיפה גורם לדחיסה. כיפות הנבנות בימינו, כמו זאת שבאיור 11.14, מסוגלות לכסות חלל גדול מאוד מבלי שיהיה צורך לקטוע אותו בעמודים. ישנן כיפות רדודות, האחרות גבוהות ועמוקות. בניית כיפות אינה המצאה חדשה - עוד זמן רב לפני הבנאים המודרניים בנו האסקימואים את בתי האיגלו בעלי כיפת הקרח.

שאלה

לאפרוח השרני עדיין בתוך קליפת הביצה קל לנקר את דרכו החוצה, אך אפרוח הנמצא בחוץ יתקשה לנקר חור פנימה. מדוע?



איור 11.14

משקלה של הכיפה גורם ללחיצה, לא למתיחה, לכן אין צורך בעמודים לתמיכה במרכזה.

האם אי-פעם שמתם לב לכוחה העצום של הנמלה יחסית לגודלה? נמלה מסוגלת לשאת משקל של כמה וכמה נמלים, ואילו פיל חזק אינו מסוגל לשאת על גבו אפילו משקל של פיל אחד. מה היה כוחה של הנמלה אילו הגדלנו אותה לגודלו של פיל? האם כוחה של "סופר-נמלה" כזאת היה עולה פי כמה וכמה על זה של הפיל? למרבה הפלא התשובה שלילית. נמלה כזאת לא היתה מסוגלת להרים אפילו את משקלה העצמי מעל הקרקע. רגליה היו דקות מכדי לשאת את כובד גופה המוגדל, וקרוב לוודאי שהיו נשברות.

קני מידה*

אפרוח המנקר בקליפת הביצה מבחוץ גורם למאמץ של לחיצה. במצב זה הקליפה מגלה התנגדות רבה לשבירה. לעומת זאת, בעת הניקור מבפנים נוצר מאמץ מתיחה, שבפניו הקליפה חלשה הרבה יותר. כדי להיווכח עד כמה חזקה הביצה במצב של לחיצה, נסו לשבור ביצה בכך שתלחצו אותה בין כפות הידיים לאורך צירה הארוך. מופתעים? עתה נסו לעשות זאת לאורך הציר הקצר. מופתעים? (עירכו את הניסוי מעל כיור והשתמשו בכפפות גומי כדי להגן על הידיים מפני שבירי קליפה.)

תשובה:

* החומר בסעיף זה מבוסס על שני מאמרים: "On Being the Right Size" מתוך *Possible Worlds* by J. B. S. Haldane, 1928, 1956, וכן "On Magnitude" מתוך *On Growth and Form* by Sir D'Arcy Wentworth Thompson, ברשות המו"לים.

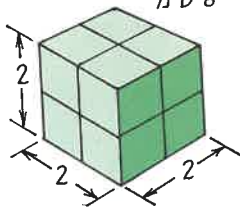
לא בכדי יש לנמלה רגליים דקות ולפיל רגליים עבות. הפרופורציות של הדברים בטבע תלויות בגודלם. כאשר ממדיו של עצם גדלים, שיעור הגידול במשקלו עולה בהרבה על שיעור הגידול בחוזקו. ללא כל קושי תוכלו לאון קיסם שיניים כשהוא נתמך בשני קצותיו מבלי שתבחינו בכל שקיעה במרכזו. אך נסו לתמוך בשני קצותיו עץ שלם מהסוג שממנו עשוי הקיסם, ומיד תגלו כי הוא מתכופף ושוקע במרכזו בשיעור ניכר. בהשוואה לקיסם, העץ כבד הרבה יותר ביחס לחוזקו. חקר **קני המידה** של גופים עוסק בשאלה כיצד משפיעים נפחו של גוף וצורתו על היחס שבין משקלו לחוזקו, ובתוצאות הנובעות מכך שכאשר גוף גדל, נפחו גדל הרבה יותר משגדל שטח פניו.

חוזקו של גוף תלוי בשטח החתך שלו (התלוי בעצמו ב"ריבוע" הגודל הקווי), ואילו המשקל תלוי בנפח (הנמצא ביחס ישר לחזקה השלישית של הגודל הקווי). כדי להבין יחס זה שבין הריבוע לחזקה השלישית, נתבונן במקרה הפשוט ביותר - קובייה מלאה של חומר, שאורך הצלע שלה 1 ס"מ. לקובייה זו, שנפחה 1 ס"מ מעוקב, שטח חתך של 1 ס"מ רבוע. במילים אחרות, אם נבצע את הקובייה במקביל לאחת מפאותיה נקבל פרוסה ששטחה 1 ס"מ רבוע אחד. נשווה זאת לקובייה שגודלה הקווי כפול, כלומר - אורך כל אחת מצלעותיה הוא 2 סנטימטרים. שטח החתך של קובייה זאת הוא $2 \times 2 = 4$ ס"מ רבועים ונפחה $2 \times 2 \times 2 = 8$ ס"מ מעוקבים. אם הצפיפויות שוות, משקלה של קובייה זאת יהיה גדול פי 8. אם נבחן בעיון את איור 11.15 נמצא ששטח החתך (כמו גם שטח הפנים כולו) גדל כריבוע הגידול הקווי, ואילו הנפח והמשקל גדלים כחזקה השלישית של הגידול הקווי.

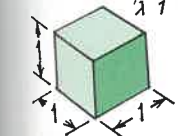
איור 11.15

כשמשתנים ממדיו הקוויים של גוף כלשהו בשיעור מסוים, שטחו משתנה בריבוע השיעור הזה, ונפחו (ולכן גם משקלו) משתנה בחזקה השלישית. אנו רואים כי עם הכפלת המימד הקווי (פי 2) השטח גדל פי $2^2 = 4$, והנפח גדל פי $2^3 = 8$.

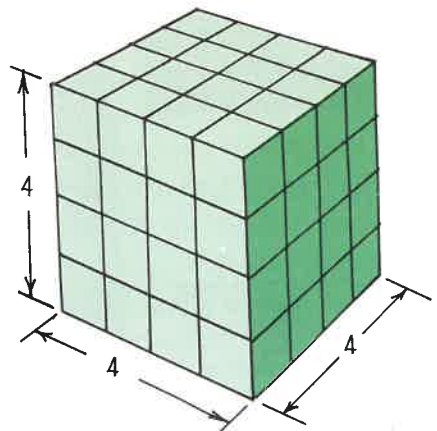
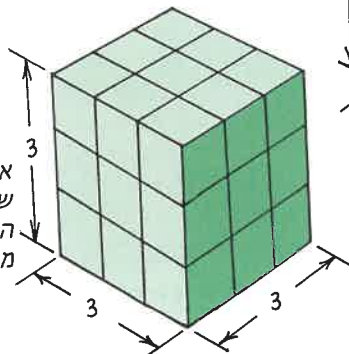
אורך המקצוע = 2 ס"מ
שטח החתך = 4 ס"מ²
הנפח = $(2 \times 2 \times 2) = 8$ ס"מ³
מסה = 8 ג'



אורך המקצוע = 1 ס"מ
שטח החתך = 1 ס"מ²
הנפח = $(1 \times 1 \times 1) = 1$ ס"מ³
מסה = 1 ג'



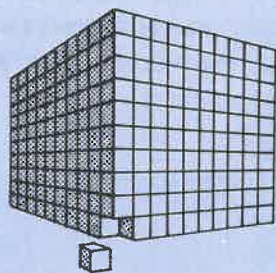
אורך המקצוע = 3 ס"מ
שטח החתך = 9 ס"מ²
הנפח = $(3 \times 3 \times 3) = 27$ ס"מ³
מסה = 27 ג'



אורך המקצוע = 4 ס"מ
שטח החתך = 16 ס"מ²
הנפח = $(4 \times 4 \times 4) = 64$ ס"מ³
מסה = 64 ג'

נפחו של גוף (ולכן גם משקלו) גדל פי כמה וכמה יותר משגדל שטח החתך שלו. אמנם באיור מתואר המקרה הפשוט של קובייה משובללת, אך העיקרון פועל בכל גוף, תהא צורתו אשר תהיה. חישבו על ספורטאי המסוגל לבצע מספר רב של "שכיבות סמיכה". עתה, תארו לעצמכם כי היינו יכולים להגדיל את ממדי הספורטאי פי שניים, כלומר - גובהו יגדל פי 2, רוחבו יוכפל, עצמותיו תהיינה עבות כפליים, בקיצור - כל גודל קווי בגופו יגדל פי 2. האם כעת יהיה הספורטאי חזק פי שניים ומסוגל להרים את עצמו בחצי המאמץ? התשובה היא לא ולא. אמנם לזרועותיו העבות פי 2 יהיה עתה שטח חתך גדול פי 4 ולכן הן יהיו חזקות פי 4, אך גופו של הספורטאי יהיה כבד פי 8. במאמץ דומה לזה שהשקיע לפני שגדל הוא יהיה מסוגל להרים רק מחצית ממשקל גופו. בהשוואה למשקלו הגדול יותר, הוא יהיה חלש מכפי שהיה קודם לכן.

בטבע אנו מוצאים שלבעלי חיים גדולים יש רגליים עבות בהרבה, לא רק באופן מוחלט אלא אפילו יחסית לגודל גופם, בהשוואה לרגליהם של בעלי חיים קטנים. הסיבה לכך היא היחס שבין נפח לשטח - הנפח (ולכן המשקל) גדל בחזקה השלישית של גודל החיה, בשעה שחוזקה (התלוי בשטח החתך) גדל רק כריבוע הגודל. אנו מבינים איפוא מה הסיבה לכך שלעכבישים מסוימים, לצבי וליעל יש רגליים דקות, ואילו לקרנף, להיפופוטם ולפיל יש רגליים עבות. לפיכך, אי אפשר לקבל כהווייתם את הסיפורים על הכוח העצום שמייחסים לקינג קונג ולענקים דמיוניים אחרים. העובדה שבסיפורים כאלה מתעלמים מהתוצאות האמיתיות של שינוי קנה המידה מצביעה על אחד ההבדלים שבין מדע למדע-בדיוני.

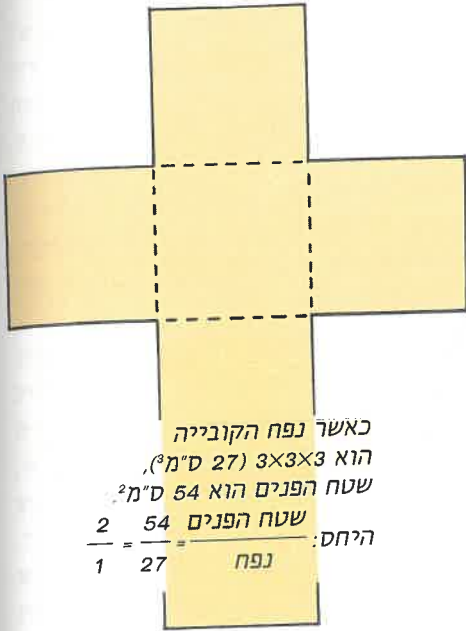


שאלות

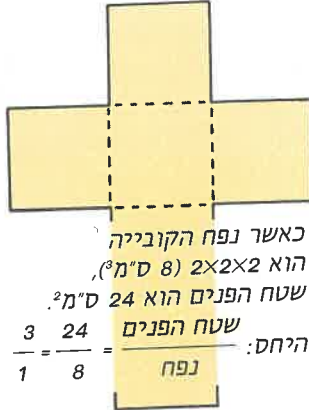
1. קובייה שאורך כל אחד ממקצועותיה 1 ס"מ מוגדלת פי 10, לקובייה שבה אורך כל מקצוע 10 ס"מ.
 - (א) מהו נפח הקובייה המוגדלת?
 - (ב) מהו שטח החתך של הקובייה?
 - (ג) מהו שטח הפנים הכולל של הקובייה?
2. אילו הגדילו את גופכם בדרך כלשהי פי 2 מגודלכם הנוכחי, האם היה לכם קל יותר או קשה יותר לעלות במדרגות?

תשובות:

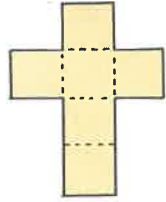
1. (א) נפחה של הקובייה המוגדלת הוא (אורך המקצוע)³ = (10 ס"מ)³, שהם 1000 ס"מ³.
 (ב) שטח החתך המוגדל הוא (אורך המקצוע)² = (10 ס"מ)², שהם 100 ס"מ².
 (ג) שטח הפנים הוא = 6 פיאות × (אורך המקצוע)² = 600 ס"מ².
2. גופכם הגדול פי 2 היה נעשה חזק פי 4 מפני ששטח החתך של העצמות והשרירים, שעוביים הוכפל, גדל פי 4. יכולתם להרים משא כבד פי 4, אך משקלו העצמי של גופכם היה גדל פי 8, כך שביחס למשקלכם המוגדל לא הייתם נעשים חזקים יותר. כאשר אתם חזקים פי ארבעה ביחס לגוף שמשקלו גדל פי שמונה, היחס שבין החוזק למשקל הוא רק מחצית מכפי שהיה קודם לכן. כך שאם כעת אתם מסוגלים עוד בקושי להרים את משקל גופכם, הרי שאם תגדלו כפליים תוכלו להרים רק משקל השווה למחצית משקלכם העצמי. תהיו חזקים יותר, אך היחס שבין חוזקכם למשקל גופכם יקטן. עדיף שתישארו כפי שאתם!



כאשר נפח הקובייה
הוא $3 \times 3 \times 3$ (27 ס"מ³),
שטח הפנים הוא 54 ס"מ².
היחס: $\frac{2}{1} = \frac{54}{27}$ = $\frac{\text{שטח הפנים}}{\text{נפח}}$



כאשר נפח הקובייה
הוא $2 \times 2 \times 2$ (8 ס"מ³),
שטח הפנים הוא 24 ס"מ².
היחס: $\frac{3}{1} = \frac{24}{8}$ = $\frac{\text{שטח הפנים}}{\text{נפח}}$



שטח הפנים (המתואר)
באמצעות המעטפת
הפרושה של קובייה
שנפחה 1 ס"מ³ הוא
6 ס"מ².

היחס: $\frac{6}{1} = \frac{\text{שטח הפנים}}{\text{נפח}}$

חשוב גם להשוות בין שטח הפנים הכולל לבין הנפח. אם נתבוננו בעיון באיור 11.16 תוכלו לראות כי ככל שממדיו הקווים של הגוף גדלים, נפחו של הגוף גדל בשיעור רב יותר משגדל שטח פניו. (הנפח גדל כחזקה השלישית בעוד שטח החתך, כמו גם שטח הפנים, גדלים כריבוע הגידול בממדים הקווים.) וכך, כשגוף גדל, שטח פניו גדל פחות משגדל נפחו. התוצאה היא שהיחס בין שטח הפנים לנפח קטן במילים אחרות, כשגוף כלשהו גדל, הן הנפח והן שטח הפנים של הגוף גדלים, אך שיעור הגידול בשטח הפנים מועט משיעור הגידול בנפח. רבים מתקשים להבין עניין זה על בוריו. הדוגמאות הבאות אולי תסייענה לכם במקצת.

האוזניים הגדולות של הפיל הן פיצוי על היחס הקטן, יחסית, שבין שטח הפנים לנפח בחיה גדולה זו. תפקידן של האוזניים הגדולות אינו לסייע בשיפור השמיעה אלא לשמש כאמצעי קירור. כמות החום שגוף מקרין נמצאת ביחס ישר לשטח פניו. אילו לא היו לפיל אוזניים גדולות כל כך לא היה שטח גופו מספיק כדי לצנן את מסתו העצומה. אוזניו הגדולות של הפיל מגדילות במידה רבה את שטח הפנים של גופו ומאפשרות לו קירור יעיל יותר באקלים החם שבו הוא מצוי (איור 11.18).

ברמה המיקרוסקופית, תא חי חייב להתמודד עם העובדה שהגידול בנפח רב יותר מהגידול בשטח הפנים. תאים חיים ניזונים מחומרים המפעפעים דרך הקרום העוטף אותם. כאשר התא גדל, שטח פניו גדל גם הוא, אך אינו יכול להדביק את הגידול בנפח. כך למשל, אם שטח הפנים של התא גדל פי ארבעה, נפחו גדל פי שמונה. כמות המזון המפעפעת, שגדלה פי ארבעה בלבד, צריכה עתה להזין מסה שגדלה פי שמונה! מסיבה זו יש גבול לממדי הגדילה של התא החי. בפועל, התא אינו גדל ללא גבול אלא מתחלק בשלב מסוים, וכך נוצרים היצורים החיים כפי שהם מוכרים לנו. האין זה נאה?

איור 11.16

כשעצם כלשהו גדל, נפחו גדל בשיעור רב יותר משגדל שטח פניו; כתוצאה מכך, היחס בין שטח הפנים לנפח קטן.



איור 11.17

זנבו הארוך של הקוף מסייע לו – לא רק לשמור על איזון, אלא גם להקרין חום ביעילות רבה יותר.

נאה פחות הוא גורלם של יצורים גדולים כאשר הם נופלים. אכן צודק הפתגם "איש גדול בגדול ייפול", והסיבה לכך היא היחס הקטן שבין שטח הפנים לנפח. התנגדות האוויר לתנועת גוף הנע דרכו נמצאת ביחס ישר לשטח הפנים של הגוף הנע. אם תיפלו מראש עץ, תאוצת הנפילה תהיה קרובה מאוד ל- $1g$ למרות התנגדות האוויר. שטח הפנים של גופנו קטן מדי ביחס למשקלנו - אלא אם כן נשתמש במצנח. לעומת זאת, יצורים קטנים אינם זקוקים למצנח: שטח הפנים של גופם גדול מאוד יחסית למשקלם הזעום, ולפיכך במהירויות נמוכות יחסית כבר משתווה התנגדות האוויר למשקלם (ראו פרק 4). חרק יכול ליפול מראש עץ גבוה אל הקרקע שלמטה מבלי שייגרם לו כל נזק. היחס בין שטח הפנים למשקל פועל לטובת החרק. החרק הוא, למעשה, המצנח של עצמו. עדות ברורה לכך שלעצמים קטנים שטח פנים גדול יחסית לנפחם, למסה שלהם, או למשקלם נוכל למצוא גם במטבח. כל טבח מנוסה יודע כי כאשר מקלפים 5 קילוגרמים של תפוחי אדמה קטנים מתקבלת כמות של קליפות גדולה בהרבה מזו המתקבלת מקילוף 5 קילוגרמים של תפוחי אדמה גדולים. לגופים קטנים שטח פנים גדול יותר לכל קילוגרם. קרח מרוסק ("ברד") יגרם לקירורה של כוס מים במהירות גדולה בהרבה מזו שבה תקר אותה קוביית קרח בודדת בעלת אותה מסה, מפני ששטח המגע בין ה"ברד" למים גדול בהרבה מזה שבין קוביית הקרח למים. צמר פלדה מחליד ומתאכל במהירות גדולה בהרבה מצינור פלדה בעל מסה שווה. החלדה היא תהליך המתרחש על שטח הפנים של החומר. הברזל מחליד כשהוא נחשף לאוויר, אך קצב ההחלדה גדול בהרבה אם הברזל עשוי סיבים קטנים או שבבים. גושי פחם בוערים, ואילו אבקת פחם מתפוצצת כשמציטים אותה. שביבי תפוחי אדמה (ציפס) דקיקים מיטגנים בשמן מהר יותר משביבים עבים. קציצות המבורגר דקות ייטגנו מהר יותר מכדורי בשר עגולים בעלי מסה שווה. עקב התנגדות האוויר, טיפות גשם גדולות נופלות מהר יותר מטיפות קטנות; דגים גדולים שוחים מהר יותר מדגים קטנים. כל אלה הן תופעות הקשורות לעובדה שכשהאורך, הרוחב או הגובה של גוף גדלים, נפחו גדל יותר משגדל שטח הפנים שלו.



איור 11.18

היחס בין שטח העור בגופו של הפיל האפריקני למשקלו קטן יחסית לבעלי חיים אחרים. אוזניו הגדולות מגדילות במידה משמעותית את השטח המקרין חום ובכך משפרות את מנגנון הקירור שלו.

מעניין לציין שקצב פעימות הלב של היונקים נמצא ביחס ישר לגודלם. פעימות הלב של חדף זעיר מהירות פי עשרים מאלה של הפיל. ככלל, חיי היונקים הקטנים מהירים, והם מתים צעירים; חייהם של בעלי החיים הגדולים נינוחים יותר וארוכים יותר. אל תאשימו את עצמכם בכך שהאוגר שגידלתם כחיית מחמד מת צעיר יותר מכלבו של חברכם. לרוב היצורים בעלי הדם החם אורך חיים שווה בקירוב - לא במונחים של שנים, אלא במספר הממוצע הכולל של פעימות הלב (כ-800 מיליון). רק בני האדם יוצאים מן הכלל: חיינו ארוכים פי שניים עד פי שלושה מחייהם של יונקים אחרים שגודלם דומה לגודלנו.

מבנה גבישי

2. במה שונה מערך האטומים בחומר גבישי מזה שבחומר לא-גבישי?

3. אילו ראיות תוכלו להביא לאופיים הגבישי המיקרוסקופי של חומרים מסוימים? לאופיים הגבישי המקרוסקופי?

צפיפות

4. מה קורה לנפחה של כיכר לחם כשדוחסים אותה? מה קורה למסה שלה? ומה קורה לצפיפותה? (מדוע שונות שלוש התשובות זו מזו?)

5. מה קורה לצפיפותה של טבלת שוקולדה כשחוצים אותה?

6. אטום האוראניום הוא האטום הכבד בטבע. מדוע אין המתכת אוראניום בעלת הצפיפות הגדולה ביותר בטבע?

7. לאיזה מהעצמים הבאים צפיפות גדולה יותר - למטיל כבד של זהב טהור או לטבעת זהב טהור? נמקו את תשובתכם.

8. הסבירו את ההבדל בין צפיפות לבין משקל סגולי.

אלסטיות

9. התוכלו להוכיח את הטענה כי כדור טניס הינו אלסטי?

10. הצביעו על חומר אי-אלסטי. מה ההוכחה לכך?

11. מהו חוק הוק, ומה הוא קובע בקשר לגופים שניתן לכונצם ולמתוח אותם?

12. למה הכוונה במונח גבול האלסטיות של חומר מסוים?

13. אם משקולת שמסתה 1 ק"ג מותחת קפיץ בשיעור 2 ס"מ, בכמה יתארך הקפיץ אם נתלה בו משקולת בת 3 ק"ג? (הניחו שהקפיץ אינו מגיע לגבול האלסטיות).

מתיחה ולחיצה

14. הסבירו את ההבדל בין מתיחה ללחיצה.

15. מהי השכבה הניטרלית בקורה התומכת במשא?

16. מדוע בנויות קורות מתכת כך שלחתכן צורת האות I ולא צורת מלבן מלא?

תקציר מונחים

קשר אטומי חיבורם זה לזה של האטומים הבונים את החומר המוצק. סוגי הקשר הם: קשר יוני, קשר קוולנטי, קשר מתכתי וקשרי ון-דר-ואלס.

צפיפות המסה ליחידת נפח של חומר:

$$\frac{\text{מסה}}{\text{נפח}} = \text{צפיפות}$$

לעיתים מעדיפים להשתמש במושג המשקל הסגולי, שהוא המשקל ליחידת נפח:

$$\frac{\text{משקל}}{\text{נפח}} = \text{משקל סגולי}$$

אלסטיות תכונתו של חומר הגורמת לשינוי צורתו בהשפעת כוח מעוות הפועל עליו, ולחזרתו לצורתו המקורית עם הפסקת פעולת הכוח.

חוק הוק שיעור המתיחה (או הלחיצה) של חומר אלסטי נמצא ביחס ישר לכוח המופעל עליו.

חקר קני מידה תחום המחקר שבו נבדקות ההשפעות שיש לגודלו של גוף על יחסי הגומלין שבין משקלו, חוזקו, נפחו ושטח פניו.

לקריאה נוספת

פלאוארס ב' ה', וא' מנדוזה. תכונות החומר. האוניברסיטה הפתוחה, 1977.

שאלות חזרה

1. האם תכונותיו של מוצק נקבעות על פי סוג האטומים המרכיבים אותו או על פי אופי הקשרים ביניהם?

קשתות

17. מדוע נדרשו עמודים רבים כל כך לתמיכת גגותיהם של מבני אבן במצרים וביוון בעת העתיקה?
18. מה גורם לחיזוקה של קשת התומכת במשא כבד, מתיחה או לחיצה?
19. מדוע אין צורך בעמודי תמיכה באמצען של כיפות גדולות במבנים בעלי כיפות ענק?

קני מידה

20. הסבירו את משמעות היחס בין החזקה השנייה (בריבוע) לחזקה השלישית לגבי קני המידה של גופים.
21. הסבירו את ההבדל בין גודל קווי, שטח ונפח של גוף.
22. אם מכפילים את ממדיו הקווים של גוף פי 2, פי כמה יגדל שטח פניו? פי כמה יגדל נפחו?
23. כשגדל נפחו של גוף, גם שטח פניו גדל. האם קטן היחס שבין השטח במטרים רבועים לבין הנפח במטרים מעוקבים? נמקו.
24. מה יחליד מהר יותר: חתיכת ברזל או כמות שווה של ברזל בצורת "צמר פלדה"? מדוע?
25. לגופו של מי שטח עור רב יותר, לגוף הפיל או לגוף העכבר? למי יש יותר עור לכל יחידת משקל של גופו, לפיל או לעכבר?

מטלות בית

1. אם אתם גרים בירושלים, בגליל העליון או במקום אחר שבו יורד מדי פעם שלג, נסו לאסוף כמה פיתית שלג על בד שחור, מבלי למעוך אותם, והתבוננו בהם מבעד לזכוכית מגדלת. תוכלו לראות שלכל הצורות המגוונות יש מבנה גבישי משושה, ותצפו באחד מן המראות המרהיבים שבטבע.
2. עירכו הדמיה של אריות אטומים צפופה בעזרת עשרים או שלושים מטבעות של שקל (או של 5 אגורות). סדרו את המטבעות במבנה ריבועי באופן שכל מטבע שאינו בהיקף יגיע בארבעה מטבעות אחרים. אחר כך סדרו אותם במבנה משושה, כך שייוצר מגע עם שישה מטבעות אחרים. השוו את השטח שתופס מספר שווה של מטבעות הארוזים באריזה צפופה בשני האופנים.
3. האם אתם מעט ארוכים יותר כשאתם שוכבים מאשר גבוהים כשאתם עומדים? נסו למדוד את עצמכם ובידקו.

4. אם תחברו ארבעה מקלות זה לזה במסמרים לצורת מלבן, תוכלו לעוות אותו למקבילית ללא מאמץ רב. אך אם תחברו שלושה מקלות בצורת משולש, לא תצליחו לשנות את הצורה מבלי לשבור את המקלות או את המסמרים. המשולש הוא החזק שבצורות הגיאומטריות, וזו הסיבה לכך שמבנים משולשים משמשים לתמיכת גשרים, למשל. עירכו את הניסוי וחפשו משולשים המשמשים לתמיכת מבנים.

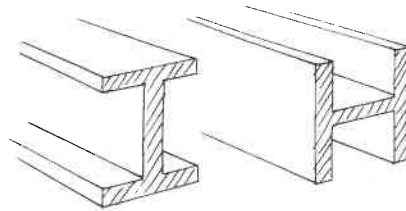
תרגילים

1. צורן (סיליקון) הוא הרכיב העיקרי הן בזכוכית והן בהתקנים אלקטרוניים של מוליכים למחצה. עם זאת, התכונות הפיסיקליות של זכוכית שונות מאוד של התקני מוליכים למחצה. הסבירו.
2. אילו הוכחות תוכלו להביא לאישוש הטענה שגבישים מורכבים מאטומים המסודרים במערך מסוים?
3. האם ברזל בהכרח כבד יותר משעם? הסבירו.
4. מה קורה למסתה של כיכר לחם כשמווצים אותה? מה קורה לנפחה? לצפיפותה?
5. אטום האוראניום הוא האטום הכבד ביותר ובעל המסה הגדולה ביותר מבין היסודות השכיחים בטבע. מדוע, אם כן, אין מטיל של אוראניום המתכת הצפופה ביותר?
6. קפיץ התלוי אנכית נמתח יותר בחלקו העליון מאשר בחלקו התחתון. מדוע?

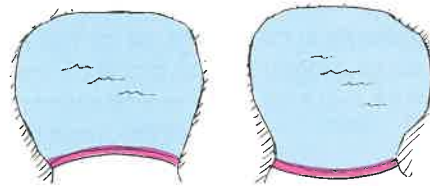


7. חבל עבה חזק יותר מחבל דק העשוי מאותו חומר. בכמה חזק יותר חבל ארוך כפליים?
8. כשקורה אופקית נתמכת חלקית, חלים בה הן מתיחה והן לחיצה בהשפעת משקלה או משא המועמס עליה. עירכו שרטוט פשוט המראה כיצד יש לתמוך את הקורה כך שהמתיחה תתרחש בחלקה העליון והלחיצה בחלקה התחתון. שרטטו מקרה אחר שבו הלחיצה מתרחשת בחלק העליון והמתיחה בחלק התחתון.

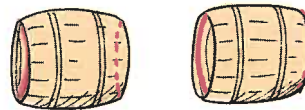
9. מתי תהיה קורת-I קשיחה יותר, כאשר הדופנית (החלק האמצעי) אופקית או כאשר היא אנכית? נמקד.



10. באיורים הבאים מתואר מבט מלמעלה על סכר המיועד לעצירת גשם. איזה משני המבנים עדיף? מדוע?



11. נתבונן בחביות הענק מן הסוג המשמש ביקב. מה צריכה להיות צורתו של הבסיס - קעורה או קמורה? מדוע?



12. מדוע, לדעתכם, ערוכות קורות התמיכה של גשרים ומבנים אחרים בצורת משולשים? (השוו את יציבותם של שלושה מקלות המחוברים במסמרים לצורת משולש ליציבותם של ארבעה מקלות המחוברים לריבוע, או ליציבותם של מספר אחר של מקלות היוצרים מצולע אחר. נסו ותראו!)

13. השוו בין שני גשרים השווים זה לזה בכל פרט לפרט שהאחד גדול בדיוק פי שניים בכל ממדיו - הוא ארוך פי 2, הקורות בו עבות פי 2 וכן הלאה. איזה משני הגשרים חזק יותר?

14. יצרן ממתקים, המייצר תפוחים מצופים בשכבת סוכר צבעונית, החליט להשתמש ב-100 ק"ג של תפוחים גדולים ולא ב-100 ק"ג של תפוחים קטנים כפי שנהג בעבר. האם הפעם יצטרך להכין יותר תמיסת סוכר לציפוי התפוחים, או שמא פחות?

15. איש אחד כבד כפליים מחברו. אם ילכו שניהם לשפת הים, האם יצטרך האיש הכבד ליותר מכפליים מחברו קרם להגנה מפני השמש, או לפחות מכפליים?

16. מדוע קל יותר להבעיר מדורה בעזרת זרדים דקים מאשר באמצעות קרשים עבים מאותו סוג עץ?

17. מדוע בוער גוש פחם כשמדליקים אותו ואילו אבקת פחם מתפוצצת?

18. תגובת שרשרת גרעינית אינה מתרחשת בעוצמה רבה בפיסות קטנות של אוראניום שאינן קרובות מדי זו לזו. אך אם יקבצו לפתע את הפיסות לגוש אחד, התוצאה עלולה להיות פיצוץ גרעיני. מה הסיבה לכך?

19. מה הסיבה לכך שמוטות הבליעה הממתנים בכור גרעין הם ארוכים ודקים ולא קצרים ועבים?

20. מדוע מאבד מבנה כיפתי פחות חום משמאבד מבנה דומה בעל גג ישר?

21. מדוע יעיל יותר החימום בבית מגורים רב-דירות מבית חד-משפחתי?

22. מדוע מיטגנים סוגנים (צ'יפס) דקים מהר יותר מאשר סוגנים עבים?

23. מדוע מתבשלות קציצות המבורגר דקות מהר יותר מכדורי בשר בעלי משקל שווה?

24. אם תשתמשו בכמות מסוימת של בצק עוגה כדי לאפות עוגיות ולא עוגה, אך תשאירו אותן בתנור למשך הזמן המומלץ לאפיית עוגה, מה תהיה התוצאה?

25. בקור נוטים בעלי חיים רבים להצטופף יחד. מדוע?

26. אילו חלקים בגוף הם המועדים ביותר לכוויות קור? מדוע?

27. מדוע על פי רוב קטן קצב פעימות הלב של יצורים גדולים מזה של יצורים קטנים?

28. חומרי התזונה נקלטים בגוף מן המזון דרך שטח הפנים הפנימי של המעיין. מדוע, אם כן, ליצור קטן, כדוגמת תולעת, יש צינור מעיים פשוט וישר יחסית, ואילו ליצור גדול, כדוגמת האדם, יש צינור מעיים מפותל?

29. נפח הריאות של האדם הוא כ-4 ליטרים בלבד, אך שטח פנייה הפנימי מגיע - עקב חלוקה למספר עצום של חללים זעירים - לכ-100 מטרים רבועים. מהי חשיבותה של עובדה זאת?

30. מדוע שווה בקירוב גודלם של התאים בגוף הלווייתן לאלה שבגוף העכבר?

31. אילו טיפות גשם נפלות מהר יותר, גדולות או קטנות?

32. מדוע יכול דג גדול לשחות מהר יותר מדג קטן?

33. האם הגורמים התלויים בקנה המידה מסייעים או מפריעים לשחיין קטן-ממדים בנבחרת השחייה?

4. קפיץ מתארך בשיעור 4 ס"מ כשתולים בו משקולת בת 10 ניוטון. בכמה יתארך הקפיץ אם יקצצו את מחציתו ויתלו את אותה המשקולת בחצי הנותר?

5. אם מקטינים את ממדיו הקווים של מכל אגירה למחצית מערכם הקודם, בכמה יקטן שטח הפנים הכולל של המכל? בכמה יקטן נפחו?

6. חישובו על שמונה כדורוני כספית קטנים בקוטר 1 מ"מ כל אחד. אם יתלכדו וייצרו כדור אחד, מה יהיה גודלו? מהו היחס בין שטח הפנים של הכדור הגדול לשטח הפנים הכולל של שמונת הכדורים הקטנים?

34. מדוע אין הצופית הזעירה דואה כנשר ומדוע אין הנשר מרפרף בכנפיו כצופית?

בעיות

1. מהי צפיפותו של גליל מלא שמסתו 5 ק"ג, גובהו 10 ס"מ ורדיוסו 3 ס"מ?

2. קפיץ מסוים מתארך בשיעור 3 ס"מ כשתולים בו משקולת בת 15 ניוטון. בכמה יתארך הקפיץ אם יתלו בו משקולת בת 45 ניוטון (מבלי שיגיע לגבול האלסטיות)?

3. קפיץ מסוים מתארך בשיעור 4 ס"מ כשתולים בו משקולת בת 10 ניוטון. בכמה יתארך הקפיץ (ביחס לאורכו המקורי) אם המשקולת תיתלה בשני קפיצים זהים במקביל, כמתואר באיור 1, ובכמה יתארך אם יתלו את שני הקפיצים בזה אחר זה בטור כבאיור 2? (התעלמו ממשקל הקפיצים).

