

חום

טמפרטורה ואם הם מושגים שונים בגבול. הטמפרטורה גבוהה באנייה
הקניטה הממוצעת של המולקולות - המצוי והמבט שבמחנה טמפרטורה גבוהה
מפני שהדנקה אנייה גבוהה המולקולות שלהם. אם הוא האנייה הצולמת
ממקום למקום בשל הפיט בטמפרטורה - אם רב יותר ידבר אל כל יוני המצוי אם
מאז מאשר המצוי אם פחות. אך שיעור המום המצויק שיעור אלו גאוני גם
במולקולות: האוויר הוא מוליק גרוד, ולכן גרוד כמות קטנה בזבז של אם אלו יוני
אם אכנים אורה ארנד אלל המצוי האוהט. גם על הוא מוליק גרוד, ולכן אני יכול
להחיש את המבט האוהט בזבז העל שלה בלו להינצק. האוהט אנוס שגרנו
ברזאוס ומפוא על פמלו על מלובניק וצבר לא קרה להם, מאורה סיבה. העל -
קר או אוהט - הוא מוליק אם גרוד.



טמפרטורה, חום והתפשטות



החומר כולו מורכב מאטומים וממולקולות השרויים בתנועה מתמדת. הגורם הקובע אם האטומים והמולקולות יימצאו במצב של מוצק, נוזל, גז או פלסמה הוא קצב התנועה של המולקולות. בשל תנועה זו, למולקולות ולאטומים בחומר יש אנרגיה קינטית. האנרגיה הקינטית הממוצעת של כל חלקיק קשורה ישירות לתכונה שכל אחד מכם יכול לחוש בה: דרגת החום של הגוף. כשעצם כלשהו מתחמם, האנרגיה הקינטית של חלקיקיו גדלה. אם נכה בפטיש על מטבע מתכת, המטבע יתחמם, מפני שמכות הפטיש גורמות להגברת מהירות תנועתן של המולקולות. אם נקרב להבה לנוזל, הוא יתחמם. דחיסה מהירה של אוויר בעזרת משאבה תגרום גם היא להתחממות האוויר. כאשר מוצק, נוזל או גז מתחממים, מהירות תנועתם של האטומים והמולקולות שבהם עולה, כלומר, האנרגיה הקינטית של האטומים או המולקולות גדלה*.

המדד לדרגת החום או הקור של גוף לפי תקן מסוים נקרא **טמפרטורה**. טמפרטורת החומר מיוצגת באמצעות מספר התואם את דרגת חומו ביחס לסולם שבחורים בו.

טמפרטורה

* האנרגיה הקינטית של אטומים או מולקולות בחומר נקראת לרוב אנרגיה תרמית. במונח זה נכללת לעיתים גם האנרגיה הפוטנציאלית הנובעת מהכוחות הפועלים בין מולקולות החומר. מכיוון שאנרגיה תרמית היא מונח שאינו חד-משמעי, אנו נמנעים מלהשתמש בו.

כמעט כל החומרים מתפשטים עם עליית הטמפרטורה שלהם ומתכווצים עם ירידתה. התרמומטר* הוא מכשיר שכיח למדידת טמפרטורה, המבוסס על התפשטות והתכווצות של נוזל - לרוב כספית או אלקוהול צבוע - עם השינויים בטמפרטורה.



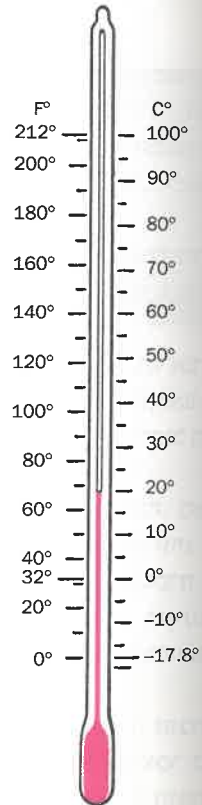
איור 14.1

האם יכולים אנו לסמוך על חושינו בהבחנה בין חם לקר? האם נחוש בשתי האצבעות אותה תחושת חום כשנשים אותן במים הפושרים?

בסולם הטמפרטורות המקובל ניתן הערך 0 לטמפרטורה שבה המים קופאים והערך 100 לטמפרטורה שבה המים רותחים (בלחץ אטמוספירי תקני). התחום שביניהם מחולק ל-100 חלקים שווים המכונים מעלות. סולם מעלות זה נקרא סולם צלסיוס, על שמו של האסטרונום השוודי אנדרס צלסיוס (1701-1744), שהיה הראשון שהציע סולם זה.

בכמה מדינות, ובכללן ארה"ב, נהוג עדיין סולם פארנהייט, שבו ניתן הערך 32 לטמפרטורת הקיפאון של המים והערך 212 לטמפרטורת הרתיחה שלהם. הסולם נקרא על שם הפיסיקאי גבריאל דניאל פארנהייט (1686-1736). ואולם, גם במדינות שבהן נהוג סולם זה, המגמה היא להנהיג את השימוש בסולם צלסיוס, המקובל במערכת היחידות הבינלאומית.

סולם טמפרטורות אחר, המשמש בעיקר ביישומים מדעיים, הוא סולם קלווין, המכונה כך על שמו של הפיסיקאי הסקוטי לורד קלווין (1824-1907). סולם זה לא נקבע על פי טמפרטורת הקיפאון וטמפרטורת הרתיחה של המים, אלא על פי אנרגיית חלקיקי החומר עצמה. הערך 0 ניתן לטמפרטורה הנמוכה ביותר האפשרית - **האפס המוחלט**, שבו אין לחומר כל אנרגיה קינטית שהוא יכול למסור. האפס המוחלט מתאים לטמפרטורה -273 מעלות בסולם צלסיוס. היחידות בסולם קלווין שוות בגודלן למעלות בסולם צלסיוס, כך שהטמפרטורה של קרח בנקודת ההיתוך היא +273 קלווין. בסולם קלווין אין מספרים שליליים. אנו נשוב לדון בסקלה זו בפרק 17, כשנלמד את נושא התרמודינמיקה.



איור 14.2

סולם הטמפרטורות של צלסיוס וסולם פארנהייט בתרמומטר.

בעזרת נוסחאות חשבוניות פשוטות ניתן להמיר ערכים מסולם טמפרטורות אחד למשנהו. ידיעת נוסחאות אלו אינה מוסיפה הבנה בפיסיקה והסיכוי שתיפול לידכם ההזדמנות להשתמש בהן קטן, לכן לא נעסוק בהן כאן. המרות מדויקות למדי ניתן לערוך בעזרת שתי הסקלות המופיעות זו בצד זו באיור 14.2.

הטמפרטורה קשורה לתנועתן האקראית של המולקולות בחומר. במקרה הפשוט ביותר, זה של גז אידיאלי, קיים יחס ישר בין הטמפרטורה לבין האנרגיה הקינטית הממוצעת למולקולה של תנועת ההעתק המולקולרית (כלומר, תזוזת המולקולות לאורך קו ישר או עקום). במוצק ובנוזל, שהמולקולות בהם מוגבלות יותר בתנועתן ובעלות אנרגיה פוטנציאלית, היחס בין הטמפרטורה לאנרגיה הקינטית מסובך יותר. עם זאת, בדרך כלל יש קשר בין הטמפרטורה לאנרגיה הקינטית הממוצעת של תנועת ההעתק המולקולרית.

* בעברית מדחום, אך מונח זה משמש בעיקר במשמעות המדחום הרפואי (המתרי).

חשוב להבין שהטמפרטורה אינה מדד לאנרגיה הקינטית הכוללת של המולקולות בחומר. בשני ליטרים של מים רותחים, למשל, כמות האנרגיה הקינטית המולקולרית כפולה מזו שבליטר אחד של מים רותחים - אולם הטמפרטורה בשני המקרים שווה, כיוון שהאנרגיה הקינטית הממוצעת למולקולה שווה בשניהם. עניין זה מבואר באיור 14.3.

מעניין לציין שתרמומטר מראה את הטמפרטורה שלו עצמו. כשתרמומטר נמצא במגע תרמי עם גוף כלשהו שאת הטמפרטורה שלו אנו רוצים למדוד, אנרגיה עוברת בין השניים עד שהטמפרטורות שלהם משתוות ומושג שיווי משקל תרמי. אם יודעים מהי הטמפרטורה של התרמומטר במצב זה, הרי שיוודעים גם מהי הטמפרטורה של הגוף הנמדד. צריך להיות קטן במידה מספקת, כך שלא ישנה את טמפרטורת הגוף הנמדד באורח מהותי. אם מודדים את טמפרטורת האוויר בחדר, הרי שהתרמומטר קטן דיו. אולם, אם מודדים טיפת מים, הטמפרטורה שלה לאחר תהליך המדידה עשויה להיות שונה מהותית מהטמפרטורה ההתחלתית שרצינו למדוד.



איור 14.3

האנרגיה הקינטית המולקולרית בדלי המלא במים חמים גדולה מזו שבספל הקטן, המלא במים חמים יותר.

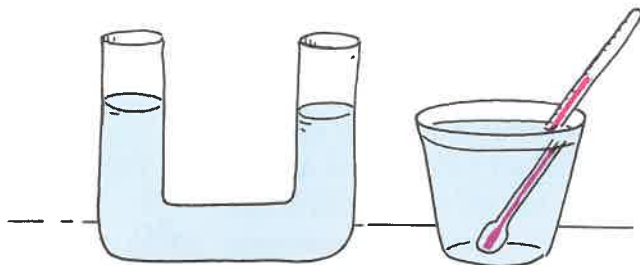
אם תיגעו בתנור חם תעבור אנרגיה מהתנור אל ידכם, משום שטמפרטורת התנור גבוהה יותר מזו של היד. לעומת זאת, אם תיגעו בקוביית קרח, תעבור אנרגיה מהיד אל הקרח (בעל הטמפרטורה הנמוכה יותר). כיוון המעבר של האנרגיה הוא תמיד מהחם אל הקר. האנרגיה המועברת מחומר אחד למשנהו בשל הפרשי טמפרטורה ביניהם נקראת **חום**.

חשוב לציין שחומר אינו מכיל חום. חומר מכיל אנרגיה קינטית מולקולרית, לא חום. חום זורם והוא האנרגיה המועברת. מרגע שהחום הועבר לגוף או לחומר, הוא הופך לאנרגיה פנימית.

אנרגיה פנימית היא סכום כל האנרגיות שבתוך חומר. נכללת בה אנרגיה פוטנציאלית שמקורה בכוחות הפועלים בין המולקולות או האטומים, ואנרגיה קינטית שמקורה בתנועת האטומים והמולקולות. לפיכך, חומר אינו מכיל חום, הוא מכיל אנרגיה פנימית.

כשחומר פולט חום או קולט חום, האנרגיה הפנימית בו משתנה. בשעה שחום נקלט, הגידול באנרגיה הפנימית עשוי להתבטא בתנועה מהירה יותר של האטומים והמולקולות, אך לא בהכרח. במקרים מסוימים, כמו במקרה של קרח ניתך, החומר קולט אנרגיה בלא שתחול עלייה באנרגיה הקינטית המולקולרית. במקרה זה חל שינוי במצב הצבירה של החומר. תהליכים כאלה נבחן בפירוט בפרק 16.

כשגופים מצויים במגע תרמי, חום עובר מהחומר בטמפרטורה הגבוהה יותר אל החומר בטמפרטורה הנמוכה יותר, אולם לא דווקא מהחומר בעל האנרגיה הפנימית הגדולה יותר אל החומר בעל האנרגיה הפנימית הנמוכה יותר. לדוגמה, בקערה של מים חמים האנרגיה הפנימית רבה יותר מאשר במסמר מלווץ; אך אם נטבול את המסמר במים, לא יעבור חום מהמים אל המסמר. החום יעבור מהמסמר החם אל המים הקרירים יחסית. חום



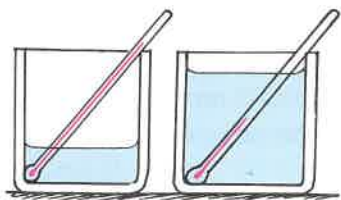
איור 14.4
 בדומה לשאיפת המים בכלים השלובים להגיע לגובה שווה (באופן שהלחץ בקרקעית ישתווה בכל מקום), כך שואפים התרמומטר וסביבתו הקרובה לטמפרטורה שווה (שבה שווה האנרגיה הקינטית הממוצעת לשניהם).

לעולם לא יזרום בכוחות עצמו מחומר בטמפרטורה נמוכה אל חומר בטמפרטורה גבוהה ממנו (איור 14.4).

כמות החום שתעבור תלויה לא רק בהפרשי הטמפרטורה שבין החומרים אלא גם בכמות החומר. למשל, מים מלוא החבית יעבירו לחומר קר חום רב יותר ממלוא הכוס מים באותה טמפרטורה. בכמות גדולה יותר של מים יש יותר אנרגיה פנימית.

שאלות

1. נניח שאנו מחממים ליטר אחד של מים בעזרת להבה ובכך מעלים את הטמפרטורה שלהם ב-2 מעלות צלסיוס. אם נשתמש באותה להבה לחימום 2 ליטרים של מים, בכמה תעלה הטמפרטורה שלהם?
2. במצב שבו גולה שנעה במהירות פוגעת בקבוצת גולות איטיות, האם הגולה המהירה בדרך כלל מאיטה או מגבירה מהירות? למי אובדת אנרגיה קינטית ולמי מתוספת אנרגיה קינטית, לגולה המתחילה כמהירה או לאלו המתחילות כאיטיות? כיצד קשורות שאלות אלו לעניין כיוונה של זרימת החום?



כיריים בוברים

איור 14.5
 אף שלשני המכלים נוספת אותה כמות חום, הטמפרטורה עולה יותר במכל שבו כמות המים הקטנה יותר.

תשובות:

1. הטמפרטורה תעלה במעלה אחת בלבד, כיוון שמספר המולקולות בשני ליטרים של מים הוא כפול, וכל מולקולה מקבלת רק מחצית מכמות האנרגיה בממוצע. כך שהאנרגיה הקינטית הממוצעת, ולפיכך הטמפרטורה, עולה במחצית משיעורה הקודם.
2. גולה שנעה במהירות תאט כשתפגע בגולות איטיות יותר. היא תמסור חלק מהאנרגיה הקינטית שלה לגולות האיטיות. כך קורה גם בעת זרימת החום. מולקולות בעלות אנרגיה קינטית רבה יותר, הבאות במגע עם מולקולות בעלות אנרגיה פחותה, יפסידו חלק מהאנרגיה הקינטית שלהן למולקולות הפחות אנרגטיות. כיוון העברת האנרגיה הוא מהחם אל הקר. עם זאת, האנרגיה הכוללת - הן של הגולות והן של המולקולות - תהיה שווה לפני ההתנגשות ואחריה.

כמות החום

חום הוא איפוא האנרגיה הפנימית העוברת מגוף אחד לגוף אחר כתוצאה מהפרשי טמפרטורה ביניהם. כמות החום המועברת בתהליך כזה נמדדת באמצעות שינוי מסוים המלווה את התהליך. למשל, כדי לקבוע את הערך האנרגטי של מזון, כמות האנרגיה הפנימית העשויה להשתחרר ממנו כחום נמדדת באמצעות שריפתו. את הדלקים נהוג לדרג על פי כמות האנרגיה המשתחררת בעת שריפתם.

יחידת החום מוגדרת כאנרגיה הנדרשת ליצירת שינוי קבוע ומוסכם מראש. היחידה הנפוצה ביותר למדידת חום היא הקלוריה. הקלוריה מוגדרת ככמות החום הנדרשת להעלאת הטמפרטורה של גרם אחד של מים במעלת צלסיוס אחת.

הקילו-קלוריה היא 1000 קלוריות (החום הדרוש לחימום קילוגרם אחד של מים במעלת צלסיוס אחת). יחידת החום המשמשת למדידת ערך תזונתי היא למעשה הקילו-קלוריה, המכונה גם קלוריה גדולה. חשוב לזכור שקלוריה וקילו-קלוריה הן יחידות של אנרגיה. שמותיהן הם שרידים מהתקופה שבה נתפס החום כנוזל בלתי נראה - הקלוריק. תפיסה זו רווחה כמעט עד המאה ה-19, אך כיום אנו יודעים שחום הוא צורה של אנרגיה. במערכת היחידות הבינלאומית (SI), כמות החום נמדדת בג'יוליס; הגיול הוא היחידה הבינלאומית לכל צורות האנרגיה. היחס בין קלוריות לגיולים הוא 1 קלוריה = 4.187 ג'ול.

חום סגולי

האם הבחנתם כי יש מזונות הנשארים חמים זמן רב יותר בצלחת, בעוד אחרים מתקררים מהר יותר? תבשיל דלעת ובצלים, למשל, הוא בדרך כלל חם מכדי לאכול מיד ולעומתו מחית תפוחי אדמה, אם אינה לחה מדי, אפשר לאכול כמעט בלי לחכות. בעוגת תפוחים חמה, המילוי עלול לגרום לכווייה בלשון, אך לרוב לא ציפוי הבצק הפריך, אפילו אם העוגה הוצאה זה עתה מהתנור. לחם קלוי ראוי לאכילה כמה שניות לאחר שהוצא מהמזנס, אך יש לחכות כמה דקות לפני שאוכלים מרק חם - גם אם היה בטמפרטורת הלחם הקלוי.

חומרים שונים הם בעלי יכולות שונות לאגור אנרגיה פנימית. אם נחמם סיר מלא מים על הכיריים, יידרשו אולי 15 דקות להביאו מטמפרטורת החדר לטמפרטורת הרתיחה, אך רק 2 דקות יידרשו לחימום משה שווה של ברזל בהפרש טמפרטורות שווה על אותה להבה. כדי לחמם כסף, תידרש פחות מדקה. לחומרים שונים נדרשות איפוא כמויות חום שונות להעלאת הטמפרטורה של משה מסוימת של החומר במספר מסוים של מעלות. חומרים שונים קולטים אנרגיה בצורות שונות. האנרגיה עשויה להגדיל את התנועה התנדודתית של המולקולות, המתבטאת בעליית הטמפרטורה. לחלופין היא עשויה להגביר את התנועה והסיבוב הפנימיים של המולקולות, באופן שהטמפרטורה אינה עולה. לרוב מתקיימות שתי ההשפעות יחדיו.

לגרם מים נדרשת קלוריה אחת של אנרגיה להעלאת הטמפרטורה במעלת צלסיוס אחת. כדי להעלות את הטמפרטורה של גרם ברזל באותו אופן, נדרשת



איור 14.6

לשומרי המשקל, בוטן מכיל 10 קילו-קלוריות; לפיסיקאי, 10,000 קלוריות (או 41,870 ג'וליס) של אנרגיה משתחררת בעת עיכול הבוטן או בשריפתו.



איור 14.7

המילוי של עוגת תפוחים חמה עשוי להיות חם מכדי לאכול, אך לא כן ציפוי המאפה.

רק שמינית כמות האנרגיה. מים נזקקים לכמות גדולה יותר של חום לעלייה שווה בטמפרטורה. אומרים שלמים יש **קיבול חום סגולי*** גבוה יותר (ובקיצור, פשוט - חום סגולי גבוה יותר).

החום הסגולי של חומר מוגדר ככמות החום הנדרשת לשינוי הטמפרטורה של יחידת מסה של החומר במעלה אחת.

כושרם של המים לאגור אנרגיה גבוה בהרבה מזה של כל יתר החומרים, להוציא מספר קטן של חומרים לא שכיחים. כמות קטנה יחסית של מים קולטת כמות גדולה של חום תוך כדי עלייה מעטה בטמפרטורה. לכן, מים הם נוזל קירור יעיל מאוד ומשתמשים בהם במערכות קירור של מנועי מכוניות ושל מנועים אחרים. אילו השתמשו במערכות הקירור בנוזל בעל חום סגולי קטן יותר, היתה הטמפרטורה שלו עולה הרבה יותר בעת קליטת כמות שווה של חום.

שאלה

למי מהשניים קיבול חום סגולי גדול יותר - למים או לחול?

למים נדרש גם זמן ארוך יותר להתקרר, עובדה המסבירה את המנהג להשתמש בבקבוקי מים חמים בלילות חורף קרים (בארצות העשירות הוחלפו רובם בכריות, בשמיכות ובסדינים חשמליים). עמידותם זו של המים בפני שינויים בטמפרטורה משפרת את האקלים במקומות רבים בעולם. בפעם הבאה שתבוננו בגלובוס העולם, שימו לב עד כמה צפונית היא אירופה. אילו לא היה למים קיבול חום גבוה, היו ארצות אירופה קרות כאזוריה הצפון-מזרחיים של קנדה, שכן בערך אותה כמות של אור שמש לק"מ רבוע מגיעה הן לקנדה והן לאירופה. הזרם האטלנטי הידוע בכינויו זרם הגולף מעביר מים חמים צפונית-מזרחית מהים הקריבי. חלק גדול מהאנרגיה הפנימית שלו נישא הרחק ומגיע עד לצפון האוקיינוס האטלנטי, סמוך לחופי אירופה, שם הוא מתקרר. האנרגיה המשתחררת - קלוריה אחת לכל גרם של מים מתקררים - נישאת עם הרוחות המערביות לעבר יבשת אירופה ומחממת אותה. תופעה דומה מתרחשת בארה"ב. הרוחות ברוחב הגיאוגרפי של אמריקה הצפונית הן מערביות. בחוף המערבי של אמריקה האוויר נע מהאוקיינוס השקט אל היבשה. בגלל

תשובה:

קיבול החום הסגולי של המים הוא הגבוה יותר. טמפרטורת המים עולה פחות משעולה טמפרטורת החול באותו אור שמש. קיבול החום הנמוך של החול, המתבטא בהתחממותו המהירה בשמש הבוקר ובהתקררותו המהירה בלילה, משפיע על האקלים המקומי.

* אם ידוע החום הסגולי c של חומר מסוים, הנוסחה לכמות החום Q הדרושה להעלאת הטמפרטורה של מסה m של חומר זה בשיעור ΔT היא $Q = mc\Delta T$. ובמילים: כמות החום המועבר = המסה \times החום הסגולי \times שינוי הטמפרטורה.

קיבול החום הסגולי הגבוה של המים, טמפרטורת האוקיינוס אינה משתנה במידה רבה בין הקיץ לחורף. המים חמים מן האוויר בחורף וקרים ממנו בקיץ. בחורף המים מחממים את האוויר, אשר נע מעליהם ומחמם את אזורי החוף של צפון אמריקה. בקיץ המים מקררים את האוויר, והוא מצנן את אזורי החוף. בחוף המזרחי האוויר נע מהיבשה אל האוקיינוס האטלנטי. האדמה, בעלת החום הסגולי הנמוך, מתחממת בקיץ אולם מתקררת במהירות בחורף. בשל החום הסגולי הגבוה של המים וכיווני הרוחות, עיר החוף המערבי סן פרנציסקו חמה יותר בחורף וקרירה יותר בקיץ מעיר החוף המזרחי וושינגטון, אף ששתיהן נמצאות באותו קו רוחב.

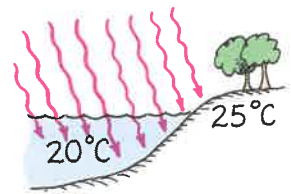
באיים ובחצאי איים, המוקפים במים, לא קיימים הפרשי טמפרטורה קיצוניים כגון אלה שלהם אנו עדים במרכזי יבשות. הסיבה לטמפרטורות הקיץ הגבוהות ולטמפרטורות החורף הנמוכות השכיחות במרכזי היבשות היא בעיקר העדרם של מאגרי מים גדולים בסביבתן. תושבי אירופה, יושבי איים ואנשים החיים באזורים שרוחות האוקיינוסים מגיעות אליהם נהנים מאקלים נוח במידה רבה הודות לקיבול החום הסגולי הגבוה של המים!

כשטמפרטורת החומר עולה, המולקולות והאטומים שבו מגבירים את קצב תנועתם ומתרחקים זה מזה בממוצע. התוצאה היא התפשטות החומר. להוציא חומרים אחדים, החומר בכל מצבי הצבירה - מוצק, נוזל, גז ופלסמה - מתפשט כאשר מחממים אותו ומתכווץ עם קירורו.

במקרים רבים קשה להבחין בשינויים אלו, אולם בחינה מדוקדקת תסייע לכם לאתרם. ביום קיץ חם חוטי הטלפון ארוכים יותר מאשר ביום חורף קר. פעמים רבות ניתן לשחרר מכסי מתכת הדוקים מעל צנצנות לאחר שחוממו בזרם מים חמים. חימומו או קירורו של חלק מסוים בכלי זכוכית בשיעור רב יותר מחלק צמוד לו עלול לגרום לשבירת הזכוכית. הדבר נכון בעיקר בזכוכית עבה. הרכבה של זכוכית פיירקס תוכנן במיוחד כך שתפשט בשיעור מזערי עם עליית הטמפרטורה.

בעת בניית מבנים או מכשירים מכל סוג שהוא יש להתחשב בהתפשטות החומר. רופא השיניים משתמש בחומר מילוי שיניים שתכונות ההתפשטות שלו זהות לאלו של חומר השן. בוכנות האלומיניום במנועיהן של מכוניות מסוימות קטנות בקוטרן מצילינדר הברזל בדיוק במידה המאפשרת קצב התפשטות מהיר יותר לאלומיניום. להכנת בטון משורין, מהנדס אזרחי ישתמש במתכת שקצב התפשטותה שווה לזה של הבטון. בגשרי ברזל ארוכים יש בדרך כלל קצה אחד קבוע וקצה שני נייד (איור 14.9), כדי לאפשר לגשר להתפשט ולהתכווץ. הלוחות שמהם מורכב הגשר מחוברים גם הם במחברי לשון-מגרעת, הנקראים מחברי התפשטות (איור 14.10). גם כבישים ומדרכות העשויים בטון בנויים לוחות שביניהם מרווחים, המלאים לעיתים בזפת, כך שהבטון יכול להתפשט בחופשיות בקיץ ולהתכווץ בחורף.

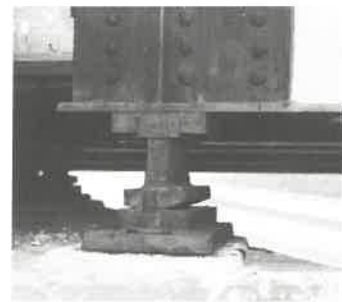
חומרים שונים נבדלים זה מזה בקצב התפשטותם. כשתי רצועות מתכת שונות - האחת מנחושת והאחרת מברזל, למשל - מולחמות או ממוסמרות זו לזו, ההתפשטות הגדולה יותר של אחת מהן תגרום לעיקום הנראה באיור 14.11. מוט צר ומורכב שכזה נקרא רצועת זז-מתכת. כאשר הרצועה מתחממת, צידה



איור 14.8

למים קיבול חום סגולי גבוה והם שקופים, לכן הזמן הנדרש להם כדי להתחמם ארוך יותר מזה הנדרש לאדמה. אנרגיית שמש הפוגעת באדמה מרוכזת על פני השטח, אולם במים היא מתפזרת ונמהלת מתחת לפני השטח.

התפשטות



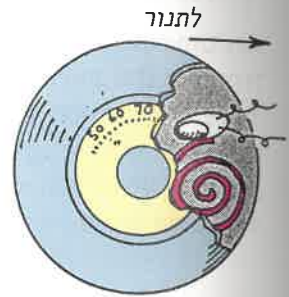
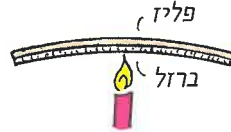
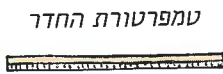
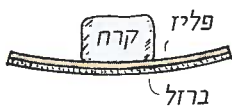
איור 14.9

קצה אחד של הגשר קבוע, בעוד הקצה שבתמונה רוכב על תושבת המאפשרת התפשטות תרמית.



איור 14.10
מרווח זה נקרא מחבר
התפשטות; הוא מאפשר
לגשר להתפשט ולהתכווץ.

האחד נעשה ארוך יותר מצידה האחר ובכך גורם לכיפוף הרצועה ולהתעקמותה. לעומת זאת, כאשר הרצועה מתקררת היא נוטה להתעקם בכיוון ההפוך, וזאת משום שהמתכת שמתפשטת יותר - גם מתכווצת יותר. את תנועת הכיפוף של הרצועה ניתן לנצל להכוונת מחוג, לבקרת שסתום או לסגירת מתג.



איור 14.11
רצועת דו-מתכת. פליז מתפשט (ומתכווץ) יותר מברזל עם חימומו (או קירורו), ולכן הרצועה מתכופפת כמתואר.

יישום מעשי לכך הוא התרמוסטט (איור 14.12). כאשר הסליל הדו-מתכתי מתכופף קדימה ואחורה, הוא סוגר מעגל חשמלי ופותח אותו חליפות. עם התקררות החדר, הסליל מתכופף לכיוון הנחושת וסוגר בכך מתג חשמלי, אשר מפעיל את החימום. כשהחדר מתחמם מעבר למידה הרצויה, הסליל מתכופף לכיוון הברזל, וזה מפעיל מגע חשמלי המנתק את יחידת החימום. במקרים מותקנים תרמוסטטים מיוחדים, שמטרתם למנוע התקררות מופרזת או חימום יתר. רצועות דו-מתכת משמשות בתרמומטרים של תנורים ובמתקנים שונים אחרים.

איור 14.12
תרמוסטט. עם התפשטות הסליל, הכספית מתרחקת מהמגע החשמלי ומנתקת את המעגל. כשהסליל מתכווץ, הכספית נדחקת אל המגעים וסוגרת את המעגל החשמלי.

1. המטוס העל-קולי קונקורד מתארך ב-20 ס"מ בשעת הטיסה. הסבירו את התופעה.
2. במה היה שונה מבנהו של התרמומטר אילו היתה הזכוכית מתפשטת יותר מהכספית עם עליית הטמפרטורה?

שאלות

נוזלים מתפשטים במידה ניכרת עם עליית הטמפרטורה. בדרך כלל, ההתפשטות התרמית של נוזלים גדולה מזו של מוצקים. הבנוין הגולש מפיית מכל הדלק ביום קיץ חם הוא הוכחה לכך. אילו היו המכל ותכולתו מתפשטים

- תשובות:**
1. במהירות השיט (העולה על מהירות הקול), האוויר המתחכך בגוף המטוס מעלה את הטמפרטורה שלו בשיעור ניכר, וזו הסיבה להתפשטות.
 2. במקרה כזה היה סולם המעלות הפוך. האם הבנתם מדוע?

בקצב שווה, הם היו מתפשטים יחד והדלק לא היה גולש. בדומה לכך, אילו היה קצב ההתפשטות של הזכוכית שווה לזה של הכספית, לא היתה הכספית עולה עם עליית הטמפרטורה. הסיבה לעליית הכספית עם עליית הטמפרטורה היא שקצב ההתפשטות של הכספית הנוזלית גדול מזה של הזכוכית.

התפשטות המים

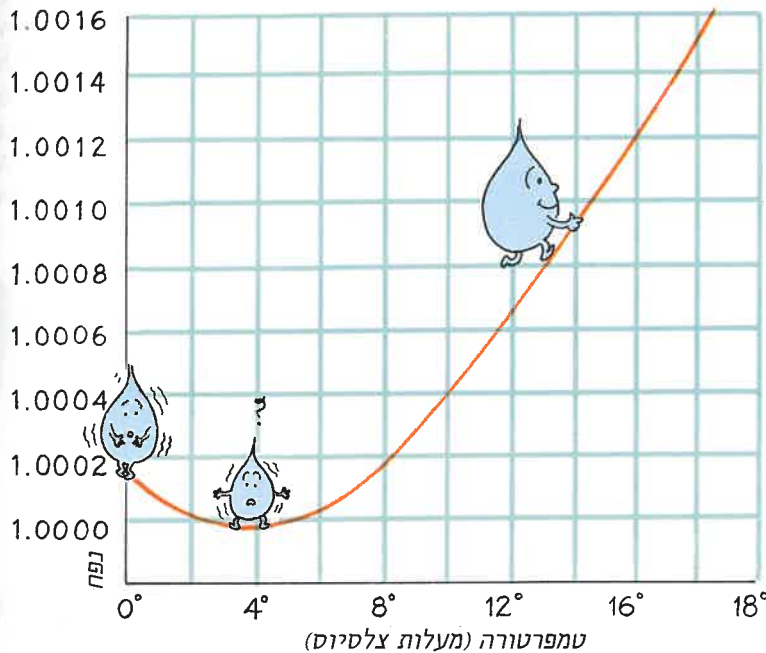
העלו את הטמפרטורה של נוזל כלשהו, והוא יתפשט. לא כן המים בטמפרטורה הקרובה לנקודת הקיפאון. מי-קרח נוהגים בדיוק להיפך! מים בטמפרטורת ההיתוך, 0 מעלות צלסיוס, מתכווצים כשהטמפרטורה שלהם עולה. זו תופעה יוצאת דופן ביותר. עם התחממות המים ועליית הטמפרטורה שלהם, הם ממשיכים להתכווץ עד שהטמפרטורה שלהם מגיעה ל-4 מעלות צלסיוס. עם כל עלייה נוספת בטמפרטורה המים יתפשטו, והתפשטותם תימשך עד לנקודת הרתיחה, 100° צלסיוס. התנהגות משונה זו מתוארת באיור 14.14.

נפחה של כמות מים מסוימת הוא הקטן ביותר - ולכן צפיפותם היא הגדולה ביותר - ב-4 מעלות צלסיוס. נפחה של אותה כמות מים הוא הגדול ביותר - ולכן צפיפותם היא הנמוכה ביותר - בצורתם המוצקת, קרח. (זיכרו, קרח צף במים, וזו עדות לכך שהוא צפוף פחות ממים). נפח הקרח ב-0° אינו מצוין באיור 14.14. (אילו היה נפח זה מתואר באותו איור, באותו קנה מידה, היה הגרף חורג בהרבה מהגבול העליון של הדף.) קירור נוסף של המים לאחר שקפאו לקרח יגרום להתכווצותם.



איור 14.13

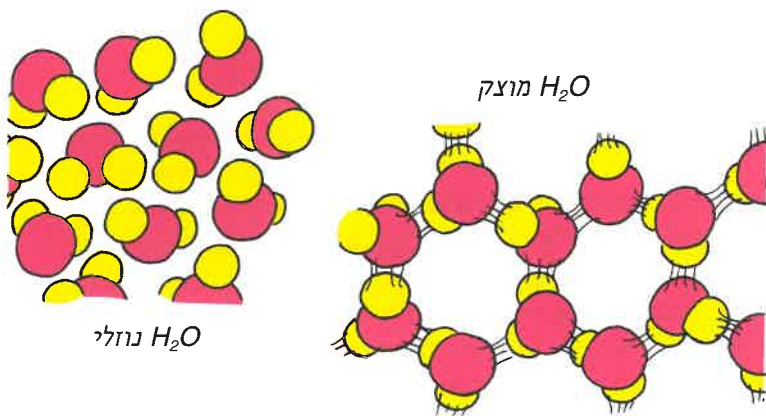
אם תניחו במים חמים כדור פינג-פונג שנלחץ, הוא יחזור לצורתו הכדורית. מדוע?



איור 14.14

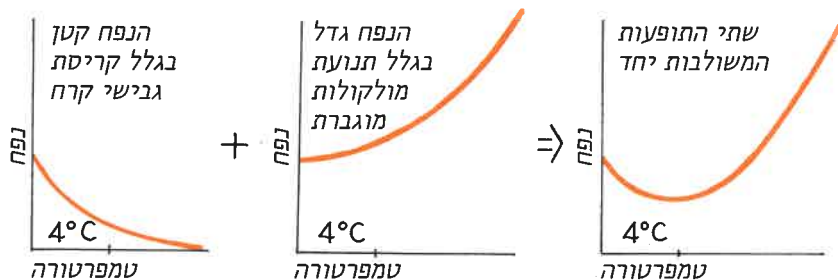
התפשטות מים עם עליית הטמפרטורה.

לקרח מבנה גבישי. גבישיהם של רוב המוצקים בנויים כך שבמצב המוצק הם תופסים נפח קטן יותר מאשר במצב הנוזלי. אולם לקרח מבנה גבישי פתוח (איור 14.15). מבנה זה מקורו בצורה הזוויתית של מולקולות המים ובעובדה שהכוחות הקושרים את מולקולות המים זו לזו חזקים יותר בזוויות מסוימות. מולקולות מים במבנה פתוח כזה תופסות נפח גדול יותר מאשר במצב הנוזלי. לכן, קרח צפוף פחות ממים.



איור 14.15
למולקולות מים בצורתן הגבישית מבנה משושה פתוח, הגורם להתפשטות המים בעת קפיאתם. לכן קרח צפוף פחות ממים.

הסיבה לשקע בעקומה שבאיור 14.14 היא התרחשות שני סוגים של שינויי נפח. גבישי המבנה הפתוח המרכיבים את הקרח קיימים, אם כי במידה פחותה בהרבה, גם במי-קרח - מעין "שלג מיקרוסקופי". ב-10 מעלות לערך, כל גבישי הקרח כבר קרסו. הגרף השמאלי באיור 14.16 מתאר כיצד משתנה נפחם של מים קרים עם קריסתם של גבישי הקרח המיקרוסקופיים. בו בזמן שהגבישים קורסים עם עליית הטמפרטורה, תנועה מולקולרית מוגברת גורמת להתפשטות. תופעה זו נראית בגרף האמצעי באיור 14.16. אם המים מכילים גבישי קרח ואם לאו, תנועה תנודתית מוגברת של המולקולות מגדילה את נפחם. כאשר אנו משלבים את תופעת ההתכווצות עם ההתפשטות, העקומה המתקבלת נראית כמו הגרף הימני שבאיור 14.16 (או כמו באיור 14.14).



איור 14.16
קריסת גבישי מים בנוסף לתנועה מולקולרית מוגברת עם עליית הטמפרטורה גורמות למים להיות צפופים ביותר ב-4° צלסיוס.

לתכונה זו של המים חשיבות מכרעת בטבע. מה היה קורה אילו היתה צפיפות המים מרבית בנקודת הקיפאון (כזה הוא המצב ברוב הנוזלים)? במצב זה היו המים הקרים יותר שוקעים לקרקעית ואגמים היו קופאים מן הקרקעית כלפי מעלה, ובחודשי החורף היו נשמדים היצורים החיים במים. למזלנו אין אלה פני הדברים. טמפרטורת המים בעלי הצפיפות הגדולה יותר, השוקעים לתחתית האגם, היא 4° מעלות צלסיוס - גבוהה מטמפרטורת הקיפאון. מים בנקודת הקיפאון, 0° , דחוסים פחות ולפיכך "צפים". מכאן שהקרח מצטבר על פני השטח בשעה שמתחתיו המים נשארים כנוזל. נבחן תופעה זו לפרטיה: תהליך התקררות המים מתרחש על פני השטח שלהם, כאשר טמפרטורת האוויר נמוכה מטמפרטורת המים. כששכבת המים העליונה מתקררת צפיפותה גדלה והיא שוקעת לקרקעית. השכבה העליונה תמשיך להתקרר רק אם תמשיך לצוף מעל המים, ולשם כך צפיפותה צריכה להיות שווה לזו של השכבות שמתחתיה או פחותה ממנה.

שערו בנפשכם אגם מים בטמפרטורה של 10° מעלות צלסיוס. המים אינם יכולים להגיע ל- 0° בלא שיגיעו קודם ל- 4° . מים ב- 4° צלסיוס יכולים להישאר על פני השטח ולהמשיך להתקרר רק אם למים שמתחתיהם צפיפות שווה לפחות - כלומר, רק אם טמפרטורת המים שמתחתיהם גם היא 4° . אם למים שמתחת לפני השטח טמפרטורה שונה מ- 4° , המים שעל פני השטח דחוסים יותר ושוקעים. אם כך, תנאי הכרחי להיווצרות קרח הוא התקררות כל המים ל- 4° צלסיוס. רק כשתנאי זה מתקיים יכולים המים שעל פני השטח להתקרר לטמפרטורות של 3° , 2° , 1° ו- 0° צלסיוס בלא לשקוע. אז יכול להיווצר קרח.

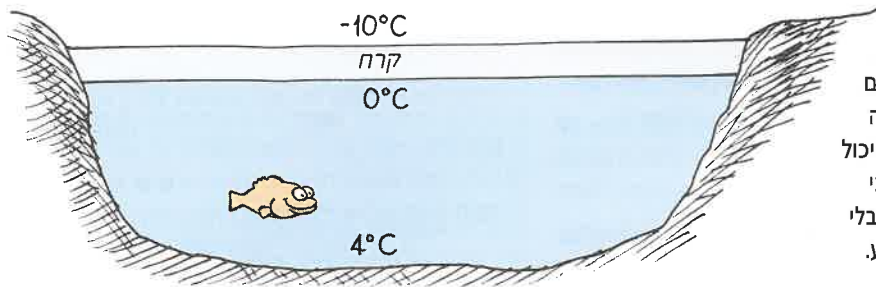
שאלה

מה היתה הטמפרטורה המדויקת בתחתית נהר מישיגן בערב השנה החדשה ב-1901?

מכאן ששכבת המים העליונה היא הראשונה לקפוא. כאשר ממשיך אגם המים להתקרר, קופאים גם המים הסמוכים לקרח. אגמים קופאים מפני השטח כלפי מטה. בחורף עז יהיה הקרח עבה יותר מאשר בחורף מתון יותר. אגמים עמוקים מאוד לא יעטו שכבת קרח גם בחורף הקר ביותר. תופעה זו מוסברת בכך שעל המים באגם להגיע ל- 4° לפני שיגיעו לטמפרטורות נמוכות יותר. החורף אינו ארוך דיו כדי שכל המים באגם יתקררו ל- 4° צלסיוס. אם רק חלק של המים מגיע ל- 4° , המים מצטברים בקרקעית. למים חום סגולי גבוה ויכולת הולכת חום מוגבלת. תכונותיהם אלה גורמות לכך שבאזורים קרים, טמפרטורת הקרקעית של אגמים עמוקים היא 4° צלסיוס במהלך השנה כולה, למזלם הטוב של הדגים (ראו איור 14.17).

תשובה:

הטמפרטורה בקרקעיתו של כל מאגר מים המכיל גם מים בטמפרטורה של 4° צלסיוס היא 4° . זאת מאותה סיבה שסלעים נמצאים בקרקעית. הן צפיפותם של הסלעים והן צפיפות המים ב- 4° גדולה מצפיפות המים בכל טמפרטורה אחרת. כיוון שמים אינם מוליכי חום טובים, אם מאגר המים עמוק ונמצא באזור אקלים שבו החורף ארוך והקיץ קצר, סביר שטמפרטורת הקרקעית תהיה קבועה - 4° צלסיוס - במשך כל השנה.



איור 14.17
כשהמים מתקררים, הם שוקעים עד שהאגם כולו מגיע לטמפרטורה של 4°C צלסיוס. רק אז יכול להתרחש קירור על פני השטח עד לקיפאון, מבלי שהמים ימשיכו לשקוע.

חום

7. כאשר נוגעים במשטח קר, האם זורם קור מהמשטח אל היד או שמא אנרגיה זורמת מהיד אל המשטח הקר? הסבירו.
8. הסבירו את ההבדל בין טמפרטורה לחום.
9. מה בין חום לאנרגיה פנימית?
10. מה קובע את כיוון זרימת החום?

כמות החום

11. כיצד מוגדר הערך התזונתי של מזון?
12. מהי קלוריה קטנה ומהי קלוריה גדולה?
13. הבחינו בין קלוריה לגיול.

חום סגולי

14. מה מתחמם מהר יותר - ברזל או כסף?
15. מנו שלוש דרכים שבהן יכול חומר לקלוט אנרגיה.
16. האם החום הסגולי של חומר שמתחמם מהר הוא גדול או קטן?
17. השווו בין החום הסגולי של מים לזה של חומרים שכיחים אחרים.
18. התושבים בצפון-מזרח קנדה וברובה של אירופה נהנים, פחות או יותר, מאותה כמות של אור שמש ליחידת שטח. אם כך, מדוע אירופה בדרך כלל חמה יותר בחורף? שטח.
19. אם מתקררים מי הים, האם צריך משהו אחר להתחמם? אם כן, מהו? הסתמכו בתשובתכם על שיקולי אנרגיה.
20. מדוע קבועה, פחות או יותר, הטמפרטורה של מסות יבשה המוקפות גופי מים גדולים?

התפשטות

21. הסבירו לכן שכוס זכוכית תישבר כאשר מוזגים לתוכה מים רותחים גבוהה יותר אם הכוס עבה. מדוע?

תקציר מונחים

טמפרטורה מדד לאנרגיה הקינטית הממוצעת של כל מולקולה בחומר; נמדדת במעלות צלסיוס או ביחידות קלווין.

האפס המוחלט הטמפרטורה הנמוכה ביותר האפשרית - הטמפרטורה שבה האנרגיה הקינטית של המולקולות או של החומר היא מינימלית.

חום האנרגיה הזורמת מחומר בטמפרטורה גבוהה יותר לחומר בטמפרטורה נמוכה יותר; בדרך כלל נמדד בקלוריות או בגיולים.

אנרגיה פנימית סכום כל האנרגיות המולקולריות - קינטיות ופוטנציאליות - שבחומר.

(קיבול) חום סגולי כמות החום ליחידת מסה הדרושה להעלאת הטמפרטורה של חומר מסוים במעלת צלסיוס אחת.

שאלות חזרה

1. מדוע מתחמם מטבע כשמכים בו בפטיש?
2. מה קורה לטמפרטורת האוויר כשדוחסים אותו במהירות?
3. מהן טמפרטורות הקיפאון והרתיחה של מים בסולם צלסיוס?
4. מהן טמפרטורות הקיפאון והרתיחה של מים בסולם קלווין?
5. מדוע אין מספרים שליליים בסולם קלווין?

6. למה מתכוונים כשאומרים שהתרמומטר מודד את הטמפרטורה של עצמו?

האבן ושל המים ישתנו עד להשתוותן: האבן תתקרר והמים יתחממו. האם תתרחש אותה תופעה גם אם תושלך האבן לאוקיינוס האטלנטי? הסבירו.

10. האם תצפו שטמפרטורת המים בתחתית מפלי הניאגרה תהיה גבוהה במעט מהטמפרטורה שבראש המפלי? מדוע?

11. מדוע עולה לחץ הגז הסגור במכל עם עליית הטמפרטורה?

12. אחדים מנמליה המזרחיים של סיביר קופאים בחורף ואילו אחדים מנמליה המערביים של נורבגיה אינם קופאים במשך כל השנה. מדוע?

13. אילו היו הרוחות בקו הרוחב של הערים סן פרנציסקו וושינגטון מגיעות ממזרח ולא ממערב, מדוע בסן פרנציסקו ניתן היה לגדל רק עצי זובדבן ובוושינגטון רק דקלים?

14. בחורף לונדון חמה ממוסקבה. מדוע אין היא חמה ממנה בקיץ?

15. בנוסף לתנודות המולקולה הקשורות לטמפרטורה, מולקולות מסוימות מסוגלות לקלוט כמויות גדולות של אנרגיה בצורת אנרגיה פנימית של המולקולה עצמה. האם ניתן לצפות שחומרים המורכבים ממולקולות כאלה יהיו בעלי חום סגולי גבוה או נמוך? מדוע?

16. חול המדבר חם מאוד במהלך היום וקר מאוד בלילה. מה אתם למדים מכך על החום הסגולי שלו?

17. מדוע אבטיח קר נשאר צונן למשך זמן ארוך יותר בהשוואה למצרכים אחרים שתכולת המים שלהם פחותה?

18. מי ירוויח מחימום הגז לפני העברתו במונה הגז, אתם או חברת הגז?

19. כדור מתכת מתאים בדיוק למעבר דרך טבעת מתכת, אולם כשמחממים את הכדור הוא אינו עובר דרך הטבעת. מה היה קורה אילו היינו מחממים את הטבעת במקום את הכדור? האם היה החור גדל, קטן או נותר ללא שינוי?

20. לאחר שמכונאי משחיל במהירות טבעת ברזל ותאמת לוחטת על גליל נחושת קר, אין אפשרות להפריד בין השניים מבלי לפגוע בהם. מדוע?



21. אם תנסו חריץ דק בטבעת ברזל ולאחר מכן תחממו אותה, האם יגדל החריץ או יקטן?

22. כשתרמוטר כספית מתחמם, רמת הכספית יורדת לרגע לפני עלייתה. התוכלו להציע הסבר לכך?

22. כיצד ניתן להשתמש ברצועת דו-מתכת לבקרת טמפרטורה?

23. מה בדרך כלל מתפשט יותר עם עליית הטמפרטורה - מוצק או נוזל?

התפשטות מים

24. בעקבות עלייה קלה בטמפרטורה של מי-קרח, האם הם מתפשטים או מתכווצים?

25. מהי הסיבה שבעטיה קרח צופף פחות ממים?

26. האם הימצאותו של "שלג מיקרוסקופי" במים הופכת אותם צפופים יותר או פחות?

27. מה קורה ל"שלג המיקרוסקופי" במים קרים עם עליית הטמפרטורה?

28. מה קורה למידת התנועה המולקולרית במים עם עליית הטמפרטורה שלהם?

29. באיזו טמפרטורה גורמות השפעות ההתכווצות וההתפשטות לצפיפות מרבית של המים?

30. מדוע קרח צף על פני מים ואינו שוקע לתחתית?

תרגילים

1. בחדר זה (בהנחה שאתם נמצאים כעת בחדר) ישנם עצמים כגון שולחנות, כיסאות, בני אדם אחרים, וכן הלאה. לאילו מהם טמפרטורה (1) נמוכה מטמפרטורת החדר, (2) גבוהה ממנה, (3) שווה לה?

2. איזו עלייה בטמפרטורה גדולה יותר: במעלת צלסיוס אחת או ביחידת קלווין אחת?

3. מדוע לא תצפו לכך שמהירויותיהן של כל המולקולות בנז תהיינה שוות?

4. מדוע לא תוכלו לקבוע אם יש לכם חום גבוה על ידי נגיעה במצחכם?

5. למי מהשניים אנרגיה פנימית רבה יותר - לקרחון או לכוס קפה חם? מדוע?

6. האם ניתן היה להשתמש בתרמומטר כספית רגיל לו זכוכית וכספית היו מתפשטות בקצב שווה עם השינוי בטמפרטורה? מדוע?

7. האם יש משמעות לטמפרטורה בריק (ואקום)?

8. למה משמשת הטמפרטורה מדד?

9. אם תשליכו אבן חמה לתוך דלי מים, הטמפרטורות של

בעיות

1. נניח כי מוט ברזל באורך 1.00 מ' מתפשט לאחר חימומו ב-0.50 ס"מ. חשבו את התוספת לאורכו של מוט באורך 100 מ' העשוי מאותו חומר ומחומם באופן דומה.
2. פלדה מתפשטת בשיעור של חלק אחד ל-100,000 (10^{-5}) לכל עלייה במעלת צלסיוס. חשבו את השינוי באורך הקטע המרכזי בן 1.3 הק"מ של גשר שער הזהב שבמפרץ סן פרנציסקו בארה"ב בעקבות עלייה של 10 מעלות בטמפרטורה. מה היה קורה אילו לא היה הגשר מצויד במחברי התפשטות?
3. שוו בנפשכם צינור פלדה באורך 40,000 ק"מ המהודק סביב כדור הארץ. נניח שאנשים לכל אורכו נושפים עליו כדי לחממו במעלת צלסיוס אחת והצינור מתארך. כמו כן, הוא אינו הדוק עוד. חשבו מה גובהו מעל פני כדור הארץ. (רמז: רדיוס כדור הארץ הוא 6370 ק"מ. התוצאה מפתיעה!)
4. נער משליך בלון מלא בליטר מים מראש מגדל שגובהו 100 מ'. אם התנגדות האוויר זניחה וכמעט כל אנרגיית התנועה מחממת את המים, חשבו את העלייה בטמפרטורת המים כשהם פוגעים במדרכה. (רמז: השוו את mgh בגיזלים לכמות החום $mc\Delta T$ ובטאו את החום הסגולי למים, c , בגיזלים ולא בקלוריות. השתמשו בקבוע המעבר 4187 ג'ולק"ג-מעלה.)

23. אחת הסיבות למחירן הגבוה של הנורות הראשונות היתה העובדה שמוליכי החשמל לנורה היו עשויים פלטינה, שקצב התפשטותה בחום שווה בקירוב לזה של זכוכית. מדוע חשוב ששיעורי ההתפשטות של מוליכי המתכת ושל הזכוכית עצמה יהיו שווים?
24. אם תסמנו גבולות של חלקת אדמה בעזרת סרט נוזייה ממתכת לפי מפה משורטטת, ביום חם מאוד, האם תקבלו חלקה גדולה יותר או קטנה יותר?
25. נניח שבתרמומטר מסוים משתמשים במים ולא בכספית. אם הטמפרטורה מתחילה להשתנות מ- 4° צלסיוס, מדוע אי אפשר לקבוע באמצעות התרמומטר אם הטמפרטורה עולה או יורדת?
26. מהו הקשר בין הנפח הכולל של מיליארדי מיליארדים המבנים המשושים הפתוחים בגביש הקרח לחלקו של הקרח הצף מעל קו המים?
27. מה היתה צורת העקומה באיור 14.14 אילו הצפיפות, ולא הנפח, היתה משורטטת כנגד הטמפרטורה? שרטטו איור חופשי.
28. מדוע חשוב לדאוג לכך שהמים בצינורות לא יקפאו בחורף?
29. אילו היו מאגרי מים מתקררים מן הקרקעית ולא מפני השטח, האם היו אגמים קופאים מהתחתית כלפי מעלה? הסבירו.
30. אילו היה החום הסגולי של המים נמוך יותר, האם היינו מצפים לכך שמאגרי מים יקפאו ביתר קלות או ביתר קושי?