

שינויים במצב הצבירה



החומר בסביבתנו קיים בארבעה מצבי צבירה (מופעים). קרח, למשל, הוא המצב המוצק של H_2O . אם נוסיף לו אנרגיה תתוסיף תנועה למבנה המולקולרי הקשיח, שתגרום לשבירת מבנה זה וליצירת H_2O במצב הנוזל - מים. אם נמשיך להוסיף אנרגיה ישתנה המצב הנוזלי למצב הגז. הוספת עוד אנרגיה תגרום לפירוק המולקולות ליונים ולאלקטרונים וליצירת מצב הפלסמה. מצב הצבירה של החומר תלוי בטמפרטורה שלו ובלחץ המופעל עליו. כדי להביא לשינויים במצב הצבירה נדרשים שינויים בטמפרטורה, בלחץ או בשניהם - או, באופן כללי יותר, דרושה העברת אנרגיה.

מים במכל פתוח יתאדו בסופו של דבר, או יתייבשו. הנוזל שנעלם הופך לאדי מים באוויר. **אידי** הוא שינוי מצב הצבירה מנוזל לגז; אם הוא מתרחש על פני הנוזל הוא מכונה התנדפות.

הטמפרטורה של חומר קשורה לאנרגיה הקינטית הממוצעת של תנועת המולקולות בו. במצב הנוזלי המולקולות נעות במהירויות שונות, בכל הכיוונים, ומתנגשות זו בזו. בהתנגשויות מתוספת אנרגיה קינטית לחלק של המולקולות וחלקן מאבדות אנרגיה. האנרגיה של מולקולות בפני השטח של הנוזל עשויה להספיק לשחרורן מהנוזל כתוצאה מאנרגיה קינטית שנוספה להן בעקבות פגיעת מולקולות הנמצאות מתחתיהן. במצב זה הן יכולות לעזוב את פני הנוזל ולנוע למרחב שמעליו, ובדרך זו הן הופכות למולקולות גז.

אידי

האנרגיה הקינטית הנוספת למולקולות המשתחררות בהתנגשויות כאלה מקורה במולקולות הנוותרות בנוזל. זוהי "פיסיקה של כדורי הביליארד". כשכדורים מתנגשים זה בזה, מקצתם זוכים בכמות מסוימת של אנרגיה קינטית ומקצתם מאבדים אותה כמות. המולקולות העוברות מהמצב הנוזלי למצב הגזי הן המרוויחות אנרגיה, ואילו המולקולות שמפסידות אנרגיה נותרות בנוזל. האנרגיה הקינטית הממוצעת של תנועת המולקולות הנוותרות פוחתת - אידיוי הוא תהליך של קירור.

המימייה שבאיור 16.1 שומרת על קור המים שבתוכה בזכות ההתאדות מעטיפת הבד הרטובה. כאשר מולקולות מים מהירות משתחררות מהעטיפה, הטמפרטורה שלה יורדת. הכיסוי, שהתקרר בעקבות האידוי, מקרר בדרך ההולכה את מימיית המתכת, וזו מקררת את המים שבתוכה. כך עובר חום מהמים שבמימייה לאוויר שבחוץ, ובדרך זו המים מתקררים לטמפרטורה הנמוכה במידה ניכרת מהטמפרטורה החיצונית.

תוכלו לחוש בבירור בתופעת הקירור באידוי אם תטפטפו מעט כוהל על גב היד. הכוהל מתאדה מהר מאוד ומקרר במהירות את שטח הפנים של הגוף. ככל שההתאדות מהירה יותר, קצב הקירור מהיר יותר.

כאשר גופנו מתחמם יתר על המידה, בלוטות הזיעה מייצרות זיעה. זהו חלק מהתרמוסטט הטבעי, מפני שאידוי הזיעה עוזר לגופנו לשמור על טמפרטורה יציבה. לבעלי חיים רבים אין בלוטות זיעה והם נאלצים לקרר את עצמם בדרכים אחרות (איורים 16.2 ו-16.3).



איור 16.1

הרטבת עטיפת הבד מסייעת לקירור המימייה. כאשר מולקולות המים הנעות במהירות מתאדות מהבד הלח, טמפרטורת הבד יורדת ומקררת את המתכת, המצננת את המים שבמימייה לטמפרטורה הנמוכה במידה ניכרת מטמפרטורת האוויר.

איור 16.2 (למטה)

לכלבים אין בלוטות זיעה (פרט לבלוטות המצויות בין בהונותיהם). הם מקררים את עצמם בהלחתה - נשימות מהירות בלשון מושטת. בדרך זו מתרחש אידוי בפה ובמערכת הסימפונות.



איור 16.3

לחזירים אין בלוטות זיעה ואין הם יכולים להתקרר באידוי של זיעה. במקום זאת הם מתפלשים בבוץ כדי להתקרר.



שאלה

האם היתה ההתאדות משמשת כמנגנון קירור אילו היתה האנרגיה הקינטית של מולקולה הנמצאת בפני השטח של נוזל שווה לפני ההתנגשות במולקולות אחרות ולאחריה?

עיבוי

התהליך ההפוך לאידוי הוא **עיבוי** - שינוי המצב מגז לנוזל. כאשר מולקולות גז הסמוכות לפני הנוזל נמשכות אליו, הן פוגעות בפני הנוזל באנרגיה קינטית מוגדלת והופכות לחלק ממנו. האנרגיה הקינטית נמסרת לנוזל ומגדילה את הטמפרטורה שלו. אם כן, עיבוי הוא תהליך של חימום.

דוגמה מאלפת לחימום הנובע מעיבוי היא האנרגיה שמוסר קיטור מתעבה - ניסיון שעשוי להיות מכאיב ביותר אם העיבוי מתרחש על גופנו. כוויית קיטור היא כווייה מסוכנת יותר מכוויית מים רותחים באותה טמפרטורה, שכן הקיטור בהתעבותו מוסר אנרגיה רבה מאוד. שחרור אנרגיה זה משמש לחימום במערכות קיטור.

אדי המים המתעבים אינם חייבים להיות חמים כקיטור כדי למסור אנרגיה בעת התעבותם. לאחר מקלחת, אם תישארו בתוך המקלחון הלח, תתחממו בעיבוי - גם במקרה שהתקלחתם במים קרים. בצאתכם מן המקלחון תחושו מיד בהבדל. מחוץ לאזור הלח מתרחש אידוי מהיר וחשים בהתקררות. אם תישארו בתוך המקלחון, גם כשהברז סגור, השפעת החימום של ההתעבות תבטל את השפעת הקירור של ההתאדות. אם כמות הלחות המתעבה שווה לכמות המתאדה לא תחושו שינוי בטמפרטורת גופכם. אם ההתעבות עולה על ההתאדות, תתחממו. אם ההתאדות עולה על ההתעבות, תתקררו. עכשיו אתם מבינים מדוע נעים יותר להתייבש במגבת בתוך המקלחון. להשלמת הניגוב רצוי לעבור לאזור לח פחות.

בואו לבלות בירושלים, שבה ההתאדות עולה על ההתעבות, בצהרי יום בחודש יולי. בשל האידוי הניכר תחושו בקרירות רבה יותר משתחושו באותה טמפרטורה בתל אביב. במקומות לחים ההתעבות עולה במידה ניכרת על ההתאדות, וכשאדי המים שבאוויר מתעבים על גופכם אתם חשים בחימום. באופן ציורי ניתן לומר שמולקולות המים הפוגעות בכם ממש נדבקות אליכם, או במילים אחרות, אתם מתחממים מעיבוי אדי המים שבאוויר על עורכם.



איור 16.4

כאשר הקיטור מתעבה בתוך המקלחון הוא פולט חום.



איור 16.5

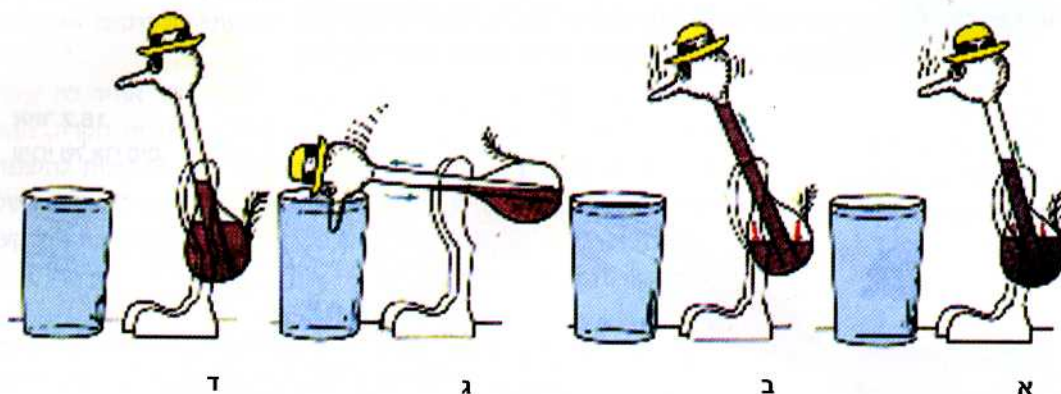
אם תחושו צינה מחוץ למקלחת חזרו אל בין דפנותיה והתחממו שם מעיבוי אדי המים העודפים.

לא. אם בעת התנגשות המולקולות לא היה מעבר של אנרגיה קינטית, לא היה חל שינוי בטמפרטורה. התקררות מתרחשת רק כאשר חלה ירידה באנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולות הנוזל. הדבר קורה כאשר מהירותן של חלק מהמולקולות (בדומה לכדורי ביליארד) גדלה על חשבון מולקולות אחרות, שמהירותן פוחתת. המולקולות העוזבות (המתאדות) הן שזוכות בתוספת אנרגיה, ואילו המולקולות הנותרות בנוזל מפסידות והאנרגיה הקינטית הממוצעת שלהן פוחתת.

תשובה:

שאלה

אם גובה פני המים בקערה אינו משתנה מיום ליום, האם תוכלו להסיק מכך שלא מתרחשת התעבות או התאדות?



איור 16.6

פעולתו של צעצוע הציפור השווה מבוססת על אידוי אֶתֶר בתוך גוף הציפור ואידוי מים מצידו החיצוני של ראשה. החלק התחתון של גוף הציפור מכיל אתר נוזלי המתאדה במהירות בטמפרטורת החדר. כאשר (א) האתר מתאדה, הוא (ב) יוצר לחץ (החיצים הפנימיים), הדוחף את האתר מעלה לתוך הצינור. האתר בחלק העליון אינו מתאדה כי הראש מקורר על ידי אידוי המים מחלקם החיצוני של הראש והמקור המכוסים לבד. כאשר משקל האתר בראש גדול דיו, הציפור (ג) נוטה קדימה ומאפשרת לאתר לנוע בחזרה לגוף. עם כל תנועה נרטב משטח הלבד שעל המקור והראש, והמחזור מתחיל מחדש.

עיבוי באטמוספירה

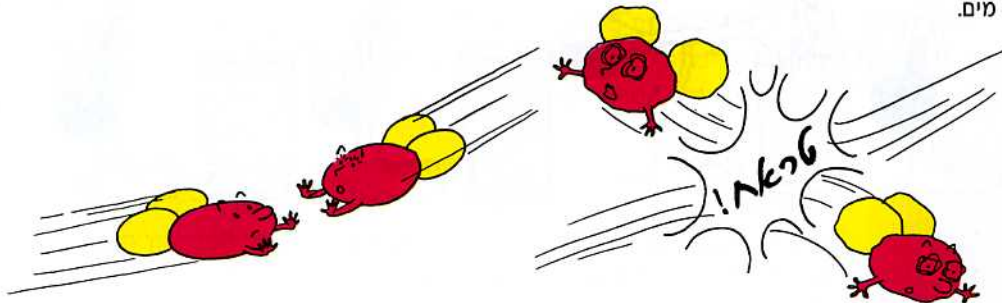
באוויר יש תמיד אדי מים. שיעור אדי המים שבאוויר תלוי בזמינות המים ובטמפרטורת האוויר. באוויר חם ישנן יותר מולקולות מים בצורת אדים מאשר באוויר קר. נוכל להמחיש זאת בעזרת דוגמה של זבוב הנוגע נגיעה קלה בנייר דבק ללכידת זבובים. אם מהירות הזבוב גבוהה במידה מספקת, די בתנוע

תשובה:

כלל וכלל לא – ברמה המולקולרית מתרחשת פעילות רבה. הן התעבות והן התאדות מתרחשות בהתמדה. העובדה שגובה פני המים נותר קבוע מוכיחה רק שקצב האידוי וקצב העיבוי שווים. מספר המולקולות הנפלטות מפני השטח באידוי שווה למספר המולקולות החוזרות למים בעיבוי, כך שבסך הכול אין עיבוי או אידוי. שני התהליכים מבטלים זה את זה.

ובאנרגיה שלו כדי לאפשר לו להירתע מהנייר מבלי להידבק אליו, אך כשמהירותו נמוכה סיכוייו להילכד גבוהים. בדומה לכך, כאשר מולקולות אדי המים מתנגשות במהירות גבוהה, סביר יותר שהן יירתעו זו מזו ויישארו כאד. אולם במהירויות נמוכות סביר יותר שהן ייצמדו זו לזו ויהפכו לחלק מהנוזל (איור 16.7). ככל שמולקולות אדי המים במצב הגזי נעות מהר יותר, כן קטנים סיכוייהן להתעבות וליצור טיפות. עתה נוכל להבין מדוע באוויר חם יש יותר מולקולות מים בצורת אדים מאשר באוויר קר.

איור 16.7
עיבוי של אדי מים.



מולקולות H_2O הנעות מהר נרתעות זו מזו בעקבות התנגשות



מולקולות H_2O הנעות לאט נצמדות זו לזו בעקבות התנגשות

בטמפרטורה נתונה יש גבול למידת הלחות האפשרית באוויר. מעבר לגבול זה, אדי המים שבאוויר מתעבים לנוזל. שיעור הלחות המרבי מתקבל כשהאוויר מכיל את הכמות המרבית האפשרית של אדי מים - כלומר, כאשר האוויר רווי. כאשר החזאים מדווחים על הלחות היחסית הם משווים בין כמות אדי המים שבאוויר בטמפרטורה נתונה לכמות אדי המים במצב רוויה. לחות יחסית של 100 אחוז פירושה אוויר רווי, ואילו לחות יחסית של 50 אחוז פירושה שכמות אדי המים שבאוויר שווה למחצית הכמות של אדי מים שיימצאו באוויר רווי באותה טמפרטורה. עבור האדם הממוצע, מזג האוויר האידיאלי הוא טמפרטורה של כ- 20°C צלסיוס ולחות יחסית שבין 50 ל-60 אחוז. כאשר הלחות היחסית גבוהה יותר, ההתעבות מבטלת את אידוי הזיעה ואנו אומרים שמזג האוויר לח והביל.

ערפל ועננים

אוויר חם עולה למעלה. כשהאוויר עולה הוא מתפשט. כאשר הוא מתפשט, הוא מתקרר. כשהוא מתקרר, מולקולות אדי המים המתנגשות נצמדות זו לזו במקום להירתע זו מזו. אם קיימים חלקיקים או יונים גדולים יותר שנעים לאט יותר, אדי המים יתעבו על חלקיקים אלו וייווצר ענן. אם אין בנמצא חלקיקים כאלה, ניתן לעורר היווצרות עננים בדרך של "זריעת" חלקיקים או יונים מתאימים באוויר.

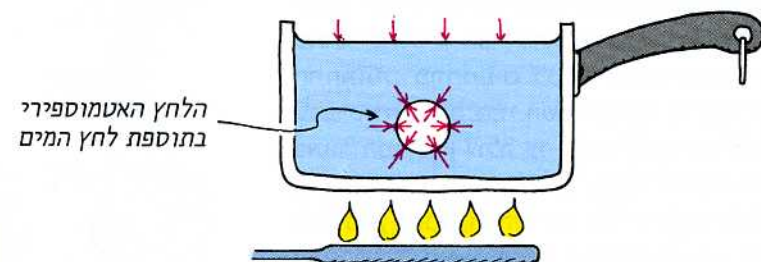
רוחות קלות וחמימות מנשבות מעל מאגרי מים. כאשר אוויר לח עובר ממים חמים יותר למים קרים יותר או ממים חמים לאדמה הקרה, הוא מתקרר. עם התקררות האוויר, מולקולות אדי המים שבו מתחילות להיצמד ואינן נרתעות עוד זו מזו. בקרבת הקרקע מתרחש עיבוי ונוצר ערפל. ביסודו של דבר, ערפל וענן נבדלים זה מזה בגובהם. ערפל הוא ענן הנוצר בקרבת הקרקע. טיסה דרך ענן דומה לנהיגה בערפל.



איור 16.8

מדוע נוטים עננים להיווצר במקומות שבהם קיימת תנועת אוויר חם ולח כלפי מעלה?

בתנאים מתאימים, התאידות יכולה להתרחש גם מתחת לפני הנוזל. בועות של אדים נוצרות ועולות לפני השטח של הנוזל ומשם נמלטות ממנו. שינוי זה במצב הצבירה המתרחש בכל נפח הנוזל ולא רק בפני השטח נקרא **רתיחה**. הבועות יכולות להיווצר בנוזל רק כשלחץ האדים בבועות גדול דיו להתנגד ללחץ המים שמסביבן וללחץ האטמוספירי. אם לחץ האדים בבועות אינו גדול דיו, הלחצים שמסביב יגרמו לקריסת כל בועה שתיווצר. בטמפרטורות הנמוכות מטמפרטורת הרתיחה לחץ האדים בבועות אינו גדול דיו, ולכן הן אינן נוצרות מתחת לנקודת הרתיחה. בטמפרטורת הרתיחה, שעבור מים בלחץ אטמוספירי היא 100° צלסיוס, אנרגיית המולקולות גבוהה דיה והן מפעילות לחץ המשתווה ללחץ האטמוספירי (איור 16.9).



איור 16.9

תנועת המולקולות בבועת הקיטור (המתוארת כאן בהגדלה מרובה) יוצרת לחץ של גז הנוטה לאזן את הלחץ החיצוני שמופעל על הבועה – הלחץ האטמוספירי ולחץ המים.

אם הלחץ האטמוספירי גדל, המולקולות שבאדים צריכות לנוע מהר יותר כדי להפעיל בתוך הבועה לחץ גדול דיו לאיזון הגידול בלחץ האטמוספירי. פירוש הדבר הוא שאם מגדילים את הלחץ על פני הנוזל, נקודת הרתיחה של הנוזל תעלה. פעולתו של סיר לחץ מבוססת על עיקרון זה. לסיר הלחץ יש מכסה צמוד שאינו מאפשר יציאת אדים (איור 16.10). כאשר מצטברים אדים בתוך



איור 16.10
סיר לחץ.

הסיר האטום, הלחץ על פני הנוזל גדל ומונע את רתיחתו. בועות שהיו נוצרות בתנאים רגילים נמחצות. הוספת חום מעלה את הטמפרטורה ליותר מ- 100° צלסיוס. כל עוד לחץ האדים בבועות אינו עולה על הלחץ שמופעל על המים, לא מתרחשת רתיחה. נקודת הרתיחה עולה. ולהיפך - הקטנת הלחץ (במקומות גבוהים, למשל) מורידה את נקודת הרתיחה של הנוזל. הרתיחה תלויה איפוא לא רק בטמפרטורה אלא גם בלחץ.

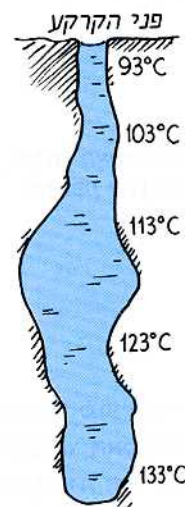
במקומות גבוהים המים רותחים בטמפרטורה נמוכה יותר. בירושלים, למשל, המים רותחים ב- 98° צלסיוס ולא בטמפרטורת הרתיחה האופיינית לגובה פני הים - 100° . אם תנסו לבשל מזון במים הרותחים בטמפרטורה נמוכה יותר, תיאלצו להמתין זמן ממושך יותר עד שהמאכל יתבשל כהלכה. אם תבשלו ביצה בירושלים במשך 3 דקות, היא תהיה רכה מאוד. אם טמפרטורת המים הרותחים נמוכה מדי, האוכל לא יתבשל כלל. חשוב לציין שבישול המזון מתאפשר בשל הטמפרטורה הגבוהה של המים ולא בשל הרתיחה עצמה.

גייזרים

גייזר דומה לסיר לחץ המתפרץ במחזוריות. הוא מורכב מנזקיק אנכי ארוך וצר שלתוכו מחלחלים זרמים תת-קרקעיים. עמוד המים מתחמם מלמטה בחום וולקני לטמפרטורות של יותר מ- 100° צלסיוס. הסיבה לכך היא שעמוד המים האנכי מפעיל לחץ על המים שמתחתיו ומעלה בכך את נקודת הרתיחה שלהם. מאחר שהנזקיק הצר מונע התפתחותם של זרמי ערבול, המים שבחלקים התחתונים מתחממים לטמפרטורות גבוהות יותר מהמים שבפני השטח. טמפרטורת המים בפני השטח נמוכה מ- 100° , אך טמפרטורת המים שמתחת, באזור המחומם, עולה על 100° , וטמפרטורה זו מאפשרת את רתיחת המים בתחתית לפני רתיחת המים שבפני השטח. הרתיחה מתרחשת איפוא סמוך לתחתית, והבועות העולות דוחקות את עמוד המים שמעליהן ומתחילה ההתפרצות. כאשר המים מזנקים החוצה, הלחץ על המים הנוותרים קטן וכתוצאה מכך הם רותחים במהירות ומתפרצים בעוצמה רבה.

הרתיחה כתהליך קירור

אידיה היא תהליך של קירור מפני שאנרגיה מופחתת מהנוזל. כך הדבר גם ברתיחה. לכאורה, הרעיון שרתיחה היא תהליך של קירור נראה תמוה - אולי מפני שבתודעתנו קיים קשר הדוק בין רתיחה לחימום. אך חימום מים הוא דבר אחד, ורתיחה היא דבר אחר. כאשר מים השרויים בלחץ אטמוספירי רותחים ב- 100° צלסיוס, הם נמצאים בשיווי-משקל תרמי. המים מתקררים בעת



איור 16.11
מבנהו של גייזר אופייני.

הרתיחה במידה השווה למידת התחממותם באמצעות האנרגיה שנוספת להם ממקור החום (איור 16.12). אילולא היה מתרחש קירור, הרי שהוספת החום לסיר המים הרתחים היתה גורמת העלאה רצופה של הטמפרטורה שלהם. הטמפרטורה בסיר לחץ ממשיכה לעלות משום שהרתיחה נמנעת, ובכך למעשה נמנע הקירור.

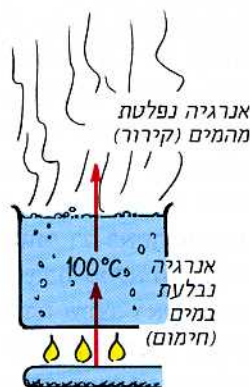
שאלה

מכיוון שרתיחה היא תהליך של קירור, האם רעיון טוב הוא לצנן את ידך החמות והדביקות בהכנסתם למים רותחים?

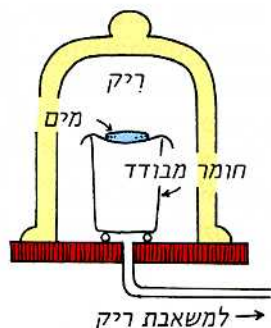
רתיחה וקפיאה בו-זמנית

בדרך כלל אנו מרתיחים מים על ידי הוספת חום, אך ניתן להרתיח מים גם בדרך של הורדת הלחץ האטמוספירי. ניתן להמחיש את ההשפעה המקררת של האידוי והרתיחה אם מכניסים מים בטמפרטורת החדר לתוך צנצנת ריק (ואקום) (איור 16.13). אם מקטינים באיטיות את הלחץ בצנצנת בעזרת משאבת ריק, המים יתחילו לרתוח. בתהליך הרתיחה נלקח חום מהמים שנוותרים בכלי והם מתקררים - הטמפרטורה שלהם יורדת. כאשר ממשיכים להקטין את הלחץ, עוד ועוד מולקולות שנועו לאט רותחות. המשך הרתיחה מביא לירידת הטמפרטורה עד לנקודת הקיפאון, בקרבת 0°C צלסיוס. המשך הקירור בסיוע הרתיחה גורם להיווצרות קרח על פני המים המבעבעים. רתיחה וקפיאה מתרחשות בו-זמנית! צריך לראות זאת כדי להתרשם. בועות קפואות של מים רותחים הן חזיון מדהים.

רססו כמה טיפות קפה לתוך תא ריק וגם הן ירתחו עד שיקפאו. גם לאחר שקפאו, מולקולות המים ימשיכו לרתוח עד שייוותרו גבישים זעירים של קפה מוצק. בדרך זו מייצרים גבישי קפה מיובש בהקפאה. הטמפרטורה הנמוכה של גבישי הקפה הקטנים נוטה למנוע שינוי במבנה הקפה המוצק. כאשר מוסיפים מים חמים, חלק מטעמו המקורי של הקפה נשמר. רתיחה היא אכן תהליך של קירור!



איור 16.12
הלהבה מחממת את המים והרתיחה מקררת אותם.

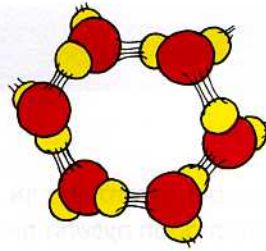


איור 16.13
מכשיר להדגמת רתיחה וקיפאון בו-זמניים בריק (ואקום). גרם או שניים של מים מצויים בצלחת המבודדת מהתחתית באמצעות כוס קלקר.

תשובה:

לא, לא ולא! כשאנו אומרים שרתיחה היא תהליך של קירור כוונתנו שהמים (ולא הידיים) מתקררים יחסית לטמפרטורה הגבוהה יותר שהיו מגיעים אליה לולא הקירור. כתוצאה מתהליך הקירור הם נותרים בטמפרטורה של 100°C במקום להמשיך ולהתחמם. טבילת הידיים במים ב- 100°C תהיה מאוד בלתי נעימה לידך!

התכה וקפיאה



איור 16.14

המבנה הפתוח של גבישי קרח טהורים המותכים בתנאים רגילים ב- 0°C . כאשר מוכנסים למים מולקולות או יונים אחרים, הם מפריעים להיווצרות הגביש והטמפרטורה של נקודת הקיפאון יורדת.

נניח שאתם אווזים בידי של מישוה ושניכם מתחילים לקפץ מסביב באורח אקראי. ככל שתקפצו במרץ רב יותר כן יקשה עליכם לאחוז זה בזה. אם תקפצו בתנופות חזקות מאוד לא תוכלו עוד להחזיק ידיים. תהליך דומה מתרחש במולקולות המוצק כאשר מחממים אותו. כשנבלע חום בחומר המולקולות שבו מתנוודות בעוצמה גדלה והולכת. אם תיבלע כמות מספקת של חום, כוחות המשיכה בין המולקולות לא יוכלו להמשיך ולהחזיקן יחד. המוצק יותך.

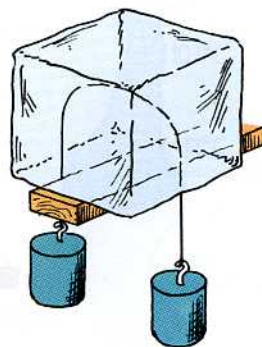
קפיאה היא התהליך ההפוך להיתוך. אם נוטלים אנרגיה מהנוזל, תנועת המולקולות בו מואטת עד שלבסוף מהירות תנועתן הממוצעת כה איטית, שהכוחות השוררים בין המולקולות גורמים לקשירות (קוהזיה). או אז מתחילות המולקולות להתנווד סביב מצבים קבועים - נוצר מוצק.

בתנאי לחץ אטמוספירי מים קופאים ב- 0°C צלסיוס, אך אם מומסים בהם סוכר או מלח נקודת הקיפאון יורדת. כשמלח מומס במים, יוני הכלור "אווזים" באלקטרונים מאטומי המימן שב- H_2O ומונעים היווצרות גביש. בשל העיכוב שגורמים היונים "הזרים" דרושה תנועה איטית עוד יותר להיווצרות המבנה הגבישי של הקרח, בעל שש הצלעות. כשמתחילים להיווצר גבישי קרח העיכוב גדל, מפני שריכוז המולקולות או היונים "הזרים" ביחס למולקולות המים גדל. ההתחברות נעשית קשה יותר ויותר. רק כאשר מהירות תנועתן של מולקולות המים כה איטית שכוחות המשיכה ממלאים תפקיד מרכזי בתהליך הקפיאה - רק אז נשלם התהליך. הקרח שנוצר ראשון הוא כמעט תמיד H_2O טהור. ככלל, הוספת דבר כלשהו למים מורידה את נקודת הקיפאון. שימוש מעשי בתהליך זה הוא הוספת חומרים מונעי קפיאה למי הקירור במכונית.

קפיאה מחדש

במצב המוצק מולקולות H_2O יוצרות מבנה פתוח (איור 16.14). לפיכך, אם מגדילים את הלחץ על קרח, נקודת ההתכה שלו יורדת. הגבישים פשוט נמעכים לנוזל. (הגדלת הלחץ מורידה אך במעט את הטמפרטורה של נקודת ההתכה - ב- 0.007°C לכל אטמוספירה נוספת.) כאשר מסירים את הלחץ הנוסף, המולקולות מתגבשות ומתרחשת קפיאה מחדש. תופעה זו של התכה בהשפעת לחץ וקפיאה חוזרת עם הסרת הלחץ נקראת **קפיאה מחדש**. זוהי אחת התכונות שבהן נבדלים המים מחומרים אחרים.

תופעת הקפיאה מחדש מומחשת היטב באיור 16.15. תיל נחושת דק שמשקולות מחוברות לקצותיו מונח על גוש קרח*. לאט לאט יעבור התיל בקרח, אך ישאיר בעקבותיו קרח מוצק. בסופו של דבר ייפול התיל ארצה אך הקרח ייוותר שלם.



איור 16.15

קפיאה מחדש. התיל עובר באיטיות בתוך הקרח מבלי לחצותו לשניים.

* שינויי מצב צבירה מתרחשים כאשר הקרח מותך וכאשר המים קופאים מחדש, וכפי שנראה בסעיף הבא ובהמשך הפרק, מעברי אנרגיה כרוכים בשינויים אלה. כאשר המים הנמצאים מעל לתיל ובסמוך לו קופאים, הם פולטים אנרגיה. זוהי אנרגיה בכמות שדי בה להמיס אותה כמות של מים בסמוך לתחתית התיל. אנרגיה זו צריכה להיות מועברת דרך עובי התיל. לכן, להדגמה זו דרוש תיל שהוא מוליך חום מעולה. חוט רגיל, למשל, לא יתאים.

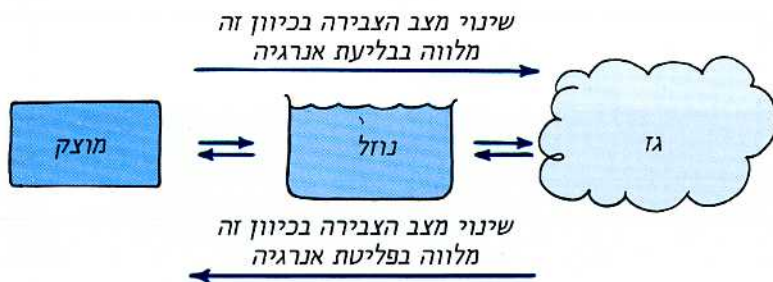
יצירת כדורי שלג היא עוד דוגמה נאה לקפיאה מחדש. כאשר אנו לוחצים על השלג בידינו, אנו גורמים להתכת כמות מסוימת של גבישי הקרח; כאשר מפסיקים את הלחץ מתרחשת קפיאה מחדש, המלכדת את השלג. במזג אוויר קר במיוחד קשה ליצור כדורי שלג, מפני שהלחץ שאנו מפעילים אינו מספיק להתכת השלג.

מחליקים על קרח נעים על גבי שכבה דקה של מים הנוצרת בין הלהב לקרח מלחץ הלהב והחיכוך. כאשר הלחץ נפסק, המים קופאים מחדש.

אם נוסיף ברציפות חום למוצק או לנוזל, הם ישנו, בסופו של דבר, את מצב הצבירה שלהם. אנרגיה נדרשת הן להתכת המוצק והן לאידוי הנוזל. ולהיפך - כדי לשנות את מצב הצבירה של החומר בכיוון ההפוך, מגו לנוזל וממנו למוצק, יש ליטול מן החומר אנרגיה (איור 16.16).

מעגל הקירור במקרר הוא דוגמה הממחישה היטב את המושגים המוצגים באיור 16.16. נוזל בעל נקודת רתיחה נמוכה, בדרך כלל פְּרָאוֹן*, נשאב לתוך יחידת קירור שהלחץ בה נמוך, שם הוא הופך לגז תוך כדי נטילת חום מהמצרכים המאוחסנים במקרר. הגז עם האנרגיה שנוספה לו נשאב אל מחוץ ליחידת הקירור, אל מערכת של צינורות סליליים הנמצאים מאחור ונקראים סלילי עיבוי; בצינורות אלה נמסר החום לאוויר בעוד הגז נדחס ומתעבה מחדש לנוזל. מנוע שואב את הזורם דרך המערכת, ובה הוא עובר את התהליך המחזורי של אידוי ועיבוי. בפעם הבאה שתעברו ליד המקרר בבייתכם הניחו את ידכם בקרבת סלילי העיבוי ותחושו בחום שהוצא מבפנים.

אנרגיה ושינויי מצב הצבירה



איור 16.16
שינויי אנרגיה המלווים את השינויים במצבי הצבירה.

גם המזגן פועל לפי אותם עקרונות, ופשוט שואב אנרגיית חום מחלק אחד של הבית לאזור אחר - החוצה. כאשר הופכים את כיוון זרימת החום, המזגן הופך למשאבת חום - למתקן חימום. ראינו איפוא שמוצק חייב לקלוט אנרגיה לשם התכתו ונוזל חייב לקלוט אנרגיה לאידויו. ולהיפך - גז חייב לפלוט אנרגיה לשם ניזולו ונוזל חייב לפלוט אנרגיה לקפיאתו.

* כיום מנסים לפתח תחליפים לפראון בשל השפעתו ההרסנית על שכבת האוזון שבאטמוספירה. שכבת מגן זו בולעת את הקרינה העל-סגולה, ודלדולה מגדיל את סכנת סרטן העור בבני אדם.

שאלה

כאשר אדי מים מתעבים, האם האוויר בסביבתם מתחמם או מתקרר?

ניתן להמחיש את התהליכים שעוברים חומרים רבים בעזרת תיאור השינויים במצבי הצבירה של H_2O . כדי לפשט את המספרים, נתבונן בגרם אחד של קרח הנמצא במכל סגור בטמפרטורה של -50° צלסיוס ומחומם על כירה. התרמומטר (מד המעלות) שבמכל מראה גידול איטי בטמפרטורת הגז עד ל- 0° . ב- 0° הטמפרטורה מפסיקה לעלות למרות העובדה שהחומם נמשך. חום זה מתיך את הקרח. התכת גרם אחד של קרח כרוכה בבליעת 80 קלוריות לתוכו. כל עוד לא הותך הקרח כולו לא תוסיף הטמפרטורה לעלות. לאחר שהסתיימה התכת הקרח, כל קלוריה נוספת שתיבלע במים תעלה את הטמפרטורה שלהם ב- 1° צלסיוס, עד שהמים יגיעו לנקודת הרתיחה - 100° צלסיוס. וכאן יתרחש הדבר שנית - למרות הוספת החום הטמפרטורה נותרת קבועה, ועוד ועוד מים מהכמות המקורית מתאדים ברתיחה והופכים לקיטור. לאידוי של גרם המים כולו, המים צריכים לבלוע 540 קלוריות של חום. לבסוף, לאחר שכל המים יהפכו לקיטור ב- 100° , הטמפרטורה שוב תתחיל לעלות. היא תמשיך לעלות כל עוד ייתוסף חום. גרף התהליך מתואר באיור 16.17.

איור 16.17

גרף המתאר את האנרגיה הכרוכה בחימומו של גרם H_2O ובשינויי מצב הצבירה שלו.



תשובה:

האוויר שמסביבם מתחמם; כשאדי המים מתעבים הם פולטים אנרגיה (איור 16.16). דרך אחרת להבין מדוע האוויר מתחמם היא לחשוב על המולקולות באוויר (תערובת גזים המכילה H_2O) כעל כדורי ביליארד קטנים המתנגשים זה בזה. האנרגיה הקינטית הכוללת לפני ההתנגשות ואחריה שווה. אם מולקולה אחת זוכה בתוספת אנרגיה בעת ההתנגשות, מולקולה אחרת מאבדת אותה אנרגיה. מהירותן של חלק מהמולקולות גדלה; אחרות – מהירותן קטנה. מה קורה כאשר המולקולות המאבדות ממהירותן הן מולקולות H_2O הנמצאות ליד מולקולות H_2O אחרות, שאף הן מסרו חלק מהאנרגיה הקינטית שלהן למולקולות אחרות? התשובה היא שהן נצמדות זו לזו (איור 16.17). הן מתעבות מהאוויר. ומהי פעולתן האחרונה של מולקולות H_2O אלה לפני ההתעבות? פעולתן האחרונה במצב הגזי היא העברת חלק ניכר מהאנרגיה הקינטית שלהן למולקולות אחרות. אם כך, האוויר מתחמם. בכמה? בערך ב-540 קלוריות לכל גרם של H_2O שמתעבה.

540 קלוריות הנדרשות לאידוי גרם אחד של מים הן כמות גדולה יחסית של אנרגיה - היא עולה על כל כמות האנרגיה הדרושה להפיכת גרם אחד של קרח באפס המוחלט למים רותחים ב- 100° . אף שלמולקולות ב- 100° - בקיטור ובמים הרותחים - אותה אנרגיה קינטית ממוצעת, למולקולות הקיטור יש אנרגיה פוטנציאלית רבה יותר מפני שהן משוחררות יחסית זו מזו ואינן קשורות זו לזו כבנוזל. הקיטור מכיל כמות גדולה יותר של אנרגיה שיכולה להשתחרר בעיבוי.

סדרת השינויים במצבי הצבירה שתיארנו היא תהליך הפיך. אם המולקולות שבגרם קיטור יתעבו ויהפכו למים רותחים הן יפלטו 540 קלוריות של אנרגיה לסביבה. כאשר המים מתקררים מ- 100° ל- 0° , הם יפלטו לסביבה 100 קלוריות נוספות. כאשר מי הקרח קופאים לקרח מוצק, עוד 80 קלוריות של אנרגיה מועברות לסביבה. לאידוי מים נדרשות 540 קלוריות לגרם ולהיתוך המים נדרשות 80 קלוריות לגרם*.

שיעור האנרגיה הגבוה של 540 קלוריות לגרם מאפשר להסביר מדוע בתנאים מסוימים מים חמים יקפאו מהר יותר ממים פושרים**. תופעה זו מתרחשת במים שהטמפרטורה שלהם גבוהה מ- 60° צלסיוס, והיא בולטת כאשר שטח הפנים של המים גדול ביחס לכמותם והם מתקררים כתוצאה מאידוי מהיר - למשל בזמן רחיצת מכונת בים חמים ביום חורף קר או בעת הצפת משטח החלקה על קרח במים חמים; המים המפשירים מכסים את המקומות המוחספסים וקופאים שוב במהירות. הסיבה לכך שקצב הקירור המתרחש עקב האידוי הוא כה מהיר היא שגרם אחד של מים שמתאדים נוטל לפחות 540 קלוריות מהמים שנותרו. זו כמות עצומה של אנרגיה בהשוואה לקלוריה אחת לכל מעלה צלסיוס הנלקחת מכל גרם של מים המתקררים בהולכה תרמית. אידוי הוא אכן תהליך של קירור.



איור 16.18

ביום קר, המים החמים קופאים מהר יותר מהמים הפושרים בגלל האנרגיה הנלקחת מהמים החמים במהלך האידוי המהיר.

שאלות

1. כמה אנרגיה מועברת כשגרם אחד של קיטור ב- 100° מתעבה למים ב- 100° ?
2. כמה אנרגיה מועברת כשגרם אחד של מים רותחים ב- 100° מתקררים למי קרח ב- 0° ?
3. כמה אנרגיה מועברת כשגרם אחד של מי-קרח ב- 0° קופא לקרח ב- 0° ?
4. כמה אנרגיה מועברת כשגרם אחד של קיטור ב- 100° הופך לקרח ב- 0° ?

תשובות:

1. גרם אחד של קיטור ב- 100° המתעבה למים באותה טמפרטורה מוסר 540 קלוריות של אנרגיה.
2. גרם אחד של מים רותחים, המתקררים מ- 100° והופכים למי-קרח, מוסר 100 קלוריות.
3. גרם אחד של מי-קרח ב- 0° הקופאים לקרח ב- 0° מוסר 80 קלוריות.
4. גרם אחד של קיטור ב- 100° , בהפכו לקרח ב- 0° , מוסר לסביבתו את סכום הערכים הנ"ל - 720 קלוריות.

* גדלים אלה נקראים, בהתאמה, חום האידוי וחום ההיתוך. ביחידות SI, חום האידוי של מים הוא 2.26 מגה-ג'ול לקילוגרם וחום ההיתוך של מים הוא 0.334 מגה-ג'ול לקילוגרם.

** מים חמים לא יקפאו לפני מים קרים, אך הם יקפאו לפני מים פושרים. מים ב- 100° , למשל, יקפאו לפני מים שהטמפרטורה שלהם גבוהה מ- 60° , אך לא לפני מים שהטמפרטורה שלהם מתחת ל- 60° .

שאלה

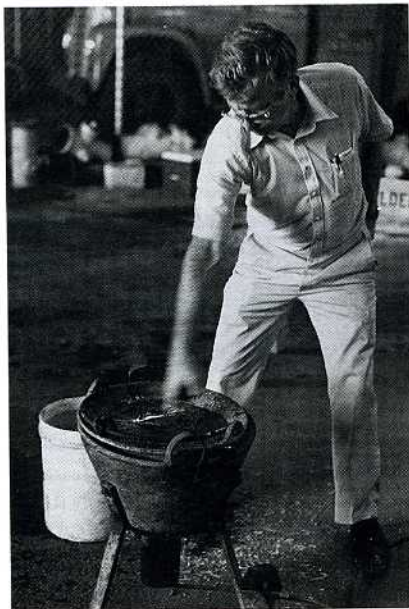
נניח ששפכו 4 גרם של מים רותחים על משטח באופן שגרם אחד מהם התאדה במהירות. מה תהיה הטמפרטורה של שלושת הגרמים הנותרים אם האידוי נוסל מהם 540 קלוריות ואין מעברי חום גוספים?

אל תעזו לגעת באצבע יבשה במחבת חמה המונחת על כיריים לוהטים, אך תוכלו לגעת במחבת לבטה, בלא שייגרם לכם כל נזק, אם תרטיבו קודם את האצבע. כל עוד אצבעכם רטובה, תוכלו לגעת במחבת אפילו כמה פעמים בזו אחר זו. הסיבה לכך היא שהאנרגיה שבמחבת, שבמצב הרגיל היתה גורמת לכווייה באצבע, תגרום עתה לשינוי מצב הצבירה של הלחות שעל האצבע. האנרגיה הופכת את הלחות לאדים, אשר יוצרים שכבת בידוד בין האצבע למחבת. בדרך דומה תוכלו לקבוע את מידת חומו של מגהץ.

פול ריאן, איש המחלקה לעבודות ציבוריות (איור 16.19), משתמש זה שנים רבות בעופרת מותכת לאיטום צינורות בעבודות שרברבות. הוא נוהג להדהים את המתבוננים במעשיו כשהוא מעביר את אצבעו בעופרת המותכת כדי לקבוע את דרגת החום שלה. לפני שהוא עושה זאת הוא דואג לכך שהעופרת תהיה חמה מאוד ושאצבעו תהיה רטובה במידה מספקת. (אל תנסו זאת בעצמכם; אם העופרת אינה חמה דיה היא תדבק לאצבעכם ואתם תאבדו אותה!)

איור 16.19 (משמאל)

פול ריאן בוחן את חום העופרת המותכת בהכנסת אצבעו הרטובה לתוכה.



איור 16.20 (מימין)

ג'רל ווקר צועד יחף על גחלים לוהטות מבלי להיפגע. עץ, קר או לוהט, הוא מוליך חום גרוע, ולכן גם בטמפרטורות גבוהות כמות החום המועברת לרגליים במשך זמן מגע קצר היא נמוכה. הגנה נוספת מעניקה ההזעה הטבעית, שבהתאדותה קולטת חלק מהאנרגיה שעשויה היתה להזיק.

בתנאים אלה, שבהם כל 540 הקלוריות נלקחות מ-3 הגרמים הנותרים (למשל כאשר טמפרטורת הסביבה היא מתחת לנקודת הקיפאון והיא אינה מספקת אנרגיה), המים יהפכו לקרח ב- 0°C . אם 540 הקלוריות נלקחות מ-3 גרמים אזי כל גרם מספק 180 קלוריות. 100 קלוריות הנלקחות מגרם אחד של מים רותחים מורידות את הטמפרטורה שלהם ל- 10°C –80 הקלוריות הנוספות הנלקחות ממנו הופכות אותו לקרח. זוהי הסיבה לכך שבסביבה קפואה מים חמים הופכים לקרח במהירות רבה.

תשובה:

באופן דומה ניתן לצעוד ברגליים יחפות על גחלים לוהטות, כפי שמדגים המורה לפיסיקה גירל ווקר בפני כיתתו (איור 16.20). הגחלים הן מעץ בעל מוליכות חום נמוכה, ולכן מעבר החום מתוך הגחלים אל פניהן ומשם לרגליים הינו איטי. (שימוש בפחמים רגילים יהיה טעות מכאיבה!) להצלחת התרגיל תורמת גם הזיעה שעל כפות רגליו של גירל - התרגשותו מגבירה את ההזעה. פעם, בעקבות הצלחותיו הקודמות, פחתה התרגשותו ועימה גם הזעתו. רגליו נכוו. גירל כינה זאת "מצב נטול יזע."

7. מדוע אנו חשים אי-נוחות ביום חם ולח?

עיבוי באטמוספירה

8. מדוע בדרך כלל יש יותר אדי מים באוויר חם מאשר באוויר קר?

9. מדוע מתעבים אדי המים שבאוויר כאשר הוא מתקרר?

ערפל ועננים

10. מדוע נוצרים עננים באוויר חם ולח העולה למעלה?

11. מהו ההבדל הבסיסי בין ענן לערפל?

רתיחה

12. השוו בין תופעת האידוי לתופעת הרתיחה.

13. מדוע מים הנמצאים בלחץ גבוה אינם רותחים ב- 100° ?

14. מדוע גבוהה יותר נקודת הרתיחה של מים בסיר לחץ?

15. האם הבישול המהיר בסיר לחץ הוא תוצאה של תהליך הרתיחה או של הטמפרטורה הגבוהה יותר?

גייזרים

16. במה דומה גייזר לסיר לחץ?

17. מדוע המים בתחתיתו של גייזר אינם רותחים ב- 100° ?

18. מדוע המים בתחתיתו של גייזר חמים יותר ורותחים לפני המים שבחלקו העליון?

19. מה קורה ללחץ המים בתחתיתו של גייזר כאשר חלק מהמים שמעליהם מתפרצים החוצה?

20. מדוע המים הנוותרים בגייזר מתפרצים בחוצה כאשר חלק מהמים שמעליהם מתפרצים החוצה?

הרתיחה כתהליך קירור

21. מה מתקרב כאשר מתרחשת רתיחה - המים שנפלטים כאדים או המים הנוותרים?

22. אנו מבחינים שטמפרטורת המים הרותחים אינה עולה כשמוסיפים חום. הסבירו מדוע עובדה זאת היא עדות לכך שרתיחה היא תהליך של קירור.

תקציר מונחים

אידוי שינוי מצב הצבירה מנוזל לגז. אם התהליך מתרחש בפני הנוזל הוא נקרא התנדפות. הדבר קורה עקב תנועתן האקראית של המולקולות, שלעיתים מצליחות לברוח מפני השטח של הנוזל. בתהליך האידוי הנוזל מתקרר.

עיבוי שינוי מצב הצבירה מגז לנוזל; התהליך ההפוך לאידוי. בעיבוי, הנוזל מתחמם.

רתיחה אידוי מהיר המתרחש הן בתוך הנוזל והן על פניו. ככל אידוי, גם הרתיחה מלווה בקירור הנוזל.

קפיאה מחדש תהליך של היתוך כתוצאה מהפעלת לחץ וקפיאה מחדש המתרחשת עם הסרת הלחץ.

שאלות חזרה

1. מהם ארבעת מצבי הצבירה של החומר?

אידוי

2. האם לכל המולקולות או האטומים בנוזל יש פחות או יותר אותה מהירות, או שמא מהירויותיהם שונות זו מזו במידה ניכרת?

3. מהו אידוי ומדוע הוא תהליך של קירור? מה בדיוק מתקרב?

4. מדוע כשלכלב חם הוא מלחית (נושם בכבדות כשלשונו בחוץ)?

עיבוי

5. מהו עיבוי ומדוע הוא תהליך של חימום? מה בדיוק מתחמם?

6. מדוע הנזק הנגרם מכוויית קיטור גדול מהנזק שגורמת כוויית מים רותחים באותה טמפרטורה?

רתיחה וקפיאה בזמן

23. מתי ירתחו מים בטמפרטורה שמתחת ל- 100° ?

24. אנו יכולים להוסיף חום למים ולהפכם לאדים. האם אין סתירה לכך בטענה שאנו יכולים להרתיח מים ליצירת קרח? הסבירו.

היתוך וקפיאה

25. מדוע גורמת העלאת הטמפרטורה של מוצק להתכתו?

26. מדוע גורמת הורדת הטמפרטורה של נוזל לקפיאתו?

27. מדוע אין המים קופאים ב- 0° כאשר יש בהם מולקולות השונות מ- H_2O ?

28. מה קופא בטמפרטורה נמוכה יותר, מים מזוקקים או מי-מלח?

קפיאה מחדש

29. מה קורה למבנה המשושה הפתוח של הקרח כאשר מופעל עליו לחץ חזק במידה מספקת?

30. מה קורה למים שנוצרו מריסוק גבישים בלחץ עם הסרת הלחץ?

31. מדוע תיל העובר דרך גוש קרח אינו חותכו לשניים?

אנרגיה ושינויים במצב הצבירה

32. האם נוזל ההופך לגז קולט אנרגיה או פולט אנרגיה? האם נוזל ההופך למוצק קולט אנרגיה או פולט אנרגיה?

33. האם גז ההופך לנוזל קולט אנרגיה או פולט אנרגיה?

34. האם מוצק ההופך לנוזל קולט אנרגיה או פולט אנרגיה?

35. האם איור 16.16 תואם את הקביעה שהן אידיאלי והן רתיחה הם תהליכי קירור ושעיבוי הוא תהליך חימום, או שמא הוא סותר אותה? נמקו את תשובתכם.

36. האם המזון במקרר מתקרר כתוצאה מאידוי של נוזל הקירור או בשל עיבוי?

37. כמה קלוריות נחוצות לשינוי הטמפרטורה של 1 גרם של מים ב- 1° צלסיוס? להתכת 1 גרם של קרח ב- 0° ? לאידוי 1 גרם של מים רותחים ב- 100° ?

38. מדוע כשמוסיפים חום לקרח בשלב התכתו הטמפרטורה שלו אינה עולה?

39. מדוע כשמוסיפים חום למים רותחים הטמפרטורה שלהם אינה עולה?

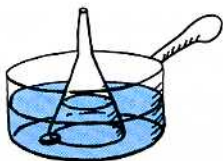
40. מדוע גדול יותר קצב הקירור של מים חמים באידוי מקצב הקירור של מים פושרים בהולכת חום?

41. מדוע חשוב שהאצבע תהיה רטובה כשנוגעים נגיעה קלה במגהץ לוהט?

42. בפרק 4, כשדנו בתאוצה ובמהירויות הגבוהות שתרכשו בנפילה מגובה רב, לא הזהרנו אתכם לבל תנסו זאת בעצמכם עקב הסכנה הכרוכה בדבר. מדוע בפרק זה אנו מזהירים אתכם מהליכה ברגליים יחפות על גחלים לוהטות ומהכנסת אצבעותיכם לעופרת מותכת?

מטלות בית

1. הניחו משפך פיירקס בתוך סיר מלא מים באופן שהפייה תבלוט מעל פני המים. הניחו חלק משפת המשפך על מסמר או על מטבע כך שמים יוכלו לחדור פנימה. חממו את הסיר על גבי כיריים והתבוננו ברתיחת המים. היכן נוצרות הבועות בתחילה? מדוע? כאשר הבועות עולות, הן מתפשטות במהירות ודוחפות את המים שבדרכן.



המשפך תוחם את המים ומאלצם לעלות בפייה ולצאת מחלקה העליון. האם כעת אתם מבינים כיצד פועלים גייזר ופרקולטור להכנת קפה?

2. התבוננו בפיית קומקום שמים רותחים בו. שימו לב כי אינכם יכולים לראות את האדים היוצאים מהזרבובית. הענן שנראה במרחק מה מהפתח אינו אדים, אלא טיפות מים שהתעבו. החזיקו נר דולק בענן האדים שהתעבו. התוכלו להסביר את תצפיתכם?

3. תוכלו ליצור גשם במטבח. מייזגו כוס מים למחבת פיירקס או לקנקן קפה וחממו אותם באיטיות על להבה נמוכה. כאשר המים חמים, שימו מעליהם קערית מלאה קוביות קרח. כשהמים מתחת מתחממים, נוצרות בתחתית הקערית הקרה טיפות מים המתחברות זו לזו עד שנוצרת טיפה הגדולה דיה ליפול; ה"גשם" נמשך כל עוד המים מתחת מתחממים לאט. במה דומה הדבר לדרך שבה נוצר גשם טבעי ובמה הוא שונה?



4. השוו בין טמפרטורת הרתיחה של מים לטמפרטורת הרתיחה של תמיסת מים ומלח.

9. בקבוק משקה הנעטף בפיניק בדד רטוב יצוץ לעיתים יותר מאשר במקרה שיוכנס לדלי ובו מים קרים. מדוע?

10. גוף האדם מסוגל לשמור על דרגת החום הרגילה שלו, 37° צלסיוס, גם כשטמפרטורת הסביבה גבוהה מ- 40° . כיצד?

11. מדוע מכוסים הרים מושלגים לעיתים מזומנות בערפל?

12. כיצד עוזר איור 16.7 להסביר את היווצרותה של לחות על צידן הפנימי של שמשות המכונית בלילה קר?

13. כולנו יודעים ששמשות החלונות בביתנו נרטבות ביום קר. אך האם יתלחלו שמשות החלונות מבחוץ ביום חם כשפנים ביתכם קר? מה ההבדל?

14. מדוע לעיתים מזומנות נוצרים עננים על פסגות הרים? (רמז: תנו דעתכם לעליית האוויר.)

15. מדוע נוטים עננים להיווצר מעל איים שטוחים או הרריים בלב האוקיינוס? (רמז: תנו את דעתכם להבדל בין החום הסגולי של האדמה לזה של המים ולזרמי ההסעה באוויר שנוצרים עקב כך.)

16. מדוע נשארת הטמפרטורה של מים רותחים קבועה כל עוד נמשכים חימום המים והרתיחה?

17. מים בריק - למשל, על הירח - ירתחו מעצמם. האם תוכלו לבשל ביצה במים רותחים אלו? הסבירו.

18. ידידנו הממציא מציע כלי בישול המאפשרים רתיחת מים בטמפרטורה נמוכה מ- 100° , כך שניתן יהיה לבשל מזון בהשקעה קטנה יותר של אנרגיה. דונו בהצעתו.

19. המורה מושיט לכם בקבוק חתום ובו מים בטמפרטורת החדר. כאשר אתם אווזים בבקבוק, חום הידיים גורם למים שבבקבוק לרתוח. מרשים ביותר! כיצד נעשה הדבר?

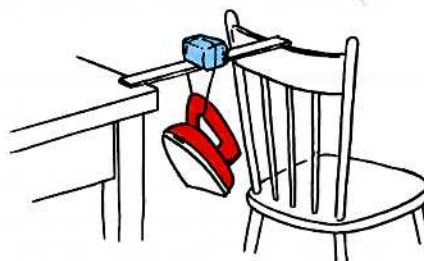
20. האם משך הבישול יתקצר אם תבשלו תפוחי אדמה במים הרותחים בעוצמה רבה במקום במים הרותחים מתונות? (בהוראות לבישול ספגטי נאמר להשתמש במים הרותחים בעוצמה - לא כדי לקצר את משך הבישול, אלא כדי למנוע דבר אחר. אם אינכם יודעים מהו, שאלו טבח.)

21. מדוע כיסוי של סיר עם מים המונח על כירה מקצר את משך הזמן עד לרתיחה, אך כיסוי לאחר רתיחת המים מקצר רק במעט את משך הבישול?

22. טמפרטורת המים בכור של צוללת גרעינית היא מעל 100° . כיצד ייתכן הדבר?

23. הסבירו מדוע ההתפרצויות בגייזרים רבים חוזרות ונשנות בתדירות קבועה למדי?

5. תלו משקולת כבדה על תיל נחושת המונח על קוביית קרח. בתוך דקות מספר יעבור התיל דרך הקרח. הקרח שמתחת לתיל יימס וזה שמעליו יקפא מחדש, ואם הקרח שוקף מסלול התיל ייראה בתוכו.



6. הניחו במקפיא קערה שטוחה ובה מים קרובים לרתיחה וקערה שטוחה שנייה ובה מים בטמפרטורה שבין 60° לטמפרטורת הרתיחה. בידקו אילו מים קופאים תחילה.

7. אם תתלו מכל מים בתוך מכל גדול ובו מים רותחים, טמפרטורת המים במכל הפנימי תגיע ל- 100° אך המים לא ירתחו. התוכלו להבין מדוע?

תרגילים

1. תוכלו לקבוע את כיוון הרוח אם תרטיבו אצבע ותרימו אותה באוויר. הסבירו.

2. התוכלו לציין שתי סיבות לכך שמרק חם מתקרר כשנושפים עליו?

3. התוכלו לציין שתי סיבות לכך שמזיגת קפה חם מספל לקערת מחישה את קירורו?

4. במשך ימים אחדים גובה פני המים בכוס אינו משתנה. האם הטענה שדבר אינו מתרחש - לא אידיאלי ולא עיבוי - מדויקת?

5. נניח שלכל המולקולות בנוזל מהירות שווה; האם במצב זה יהיה האידוי תהליך של קירור?

6. מהו מקור האנרגיה לפעולת הציפור הטובלת שבאיור 16.6?

7. ממציא טוען שפיתח בושם חדש המאריך זמן רב יותר מפני שאינו מתאדה. דונו בטענתו.

8. הפלאחים בארץ משתמשים בכדי חרס נקבוביים לקירור מים. כאשר כד כזה מוצב במקום שבו נושבת רוח, המים בכד מתקררים במידה ניכרת. הסבירו.

35. חברך סיפר לך שתמורת סכום כסף לא מבוטל לימדו אותו אנשים מסוימים כיצד בשיטות מדיטציה הוא יוכל להלך יחף על גחלים לוהטות ללא פגע. זו אינה בדיחה, כי לאחר הליכה על דשא רטוב ולאחריה על גחלי עץ עשנים רגליו לא נזקקו. הוא מציע לך לחסוך מעט כסף וללמוד את השיטות הנהדרות הללו בעצמך. מהי תשובתך?

בעיות

1. כמות החום Q הדרושה כדי לשנות ב- ΔT את הטמפרטורה של חומר שמסתו m נתונה ב- $Q=mc\Delta T$, כאשר c הוא החום הסגולי של החומר. למשל, עבור H_2O , 1 קלוריהלגרם-מעלה $c = 1$ קילו-קלוריהלק"ג-מעלה. כמות החום Q הדרושה לשינוי מצב הצבירה של מסה m היא $Q=mL$, כאשר L הוא חום ההיתוך או חום האידוי של החומר. למשל, עבור H_2O , חום ההיתוך הוא 80 קללגרי או 80 ק"קל"ג וחום האידוי הוא 540 קללגרי או 540 ק"קל"ג. השתמשו בקשרים אלה לקביעת מספר הקלוריות הנחוצ לשינוי (א) 1 ק"ג של קרח ב- 0° למי-קרח ב- 0° ; (ב) 1 ק"ג של מי-קרח ב- 0° ל-1 ק"ג של מים רותחים ב- 100° ; (ג) 1 ק"ג של מים רותחים ב- 100° ל-1 ק"ג של קיטור ב- 100° ; ו- (ד) 1 ק"ג של קרח ב- 0° ל-1 ק"ג של קיטור ב- 100° .
2. החום הסגולי של קרח הוא כ-0.5 קללגרי-מע" (או 0.5 ק"קל"ג-מע"). חשבו את כמות הקלוריות הנדרשת לשינוי גרם אחד של קוביית קרח באפס המוחלט (-273° צלסיוס) ל-1 גרם של מים רותחים. השוו את מספר הקלוריות שחישבתם למספר הקלוריות הנדרשות לשינוי 1 גרם של מים רותחים ב- 100° ל-1 גרם של קיטור ב- 100° .
3. חשבו מהי המסה של קרח ב- 0° שתותך לחלוטין על ידי 10 גרם של קיטור ב- 100° .
4. חשבו מאיזה גובה יש להפיל גוש קרח ב- 0° כך שיוותך לחלוטין עם פגיעתו בקרקע. הזניחו את התנגדות האוויר והניחו שכל האנרגיה תנוצל להתכת הקרח. (רמז: השוו בין האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית למכפלת מסת הקרח בחום ההיתוך של קרח השווה ל-334,000 ג'ולים לק"ג. האם הבנתם מדוע תשובתכם אינה תלויה במסת הקרח?)
5. כדור ברזל מופל מגובה של 100 מ' על כביש. חשבו את עליית הטמפרטורה של הכדור אם 60 אחוזים לערך מהחום הנוצר בפגיעה נותרים בו. (החום הסגולי של ברזל הוא 460 ג'ולק"ג-מע").

24. האם קפיאה מחדש היתה מתרחשת אלמלא היה לגבישי הקרח מבנה פתוח? הסבירו.
25. קל יותר להחליק על רצפה מלוטשת מאשר על רצפה שאינה מלוטשת, אולם על קרח גבושי תחליקו בקלות רבה יותר מאשר על קרח חלק. מה הסיבה לכך? (רמז: מדוע הקרח חלקלק?)
26. אנשים החיים באזורים ששלג יורד בהם תכופות יאמרו לכם שבימים מושלגים הטמפרטורות גבוהות יותר מבימים בהירים. אחדים מפרשים זאת בטעות בקביעה ששלג אינו יורד בימים קרים מאוד. הסבירו זאת.
27. כיצד משנה התכת קרח את טמפרטורת האוויר שמסביבו?
28. אף על פי שבמזגנים אין כלל מים, לעיתים קרובות רואים מים הנוטפים מהם בימים חמים. הסבירו.
29. בעבר, כשעדיין השתמשו במקרר קרח, היו מי שגילו כי אם עוטפים את הקרח בעיתונים מואטת התכתו. דונו בכדאיות השיטה.
30. מדוע נוצרת לחלוחית על פחית משקה קרה?
31. גיגית מים שתונח בחורף קר במרתף ובו קופסאות שימורים תסייע למניעת קפיאת המזון בקופסאות. מדוע?
32. מדוע התזת מים על עצי פרי לפני קרה שומרת על הפירות מקפיאה?
33. קיימות תיאוריות אחדות המסבירות כיצד עשויה תקופת קרח להתחיל. הביעו את דעתכם על התיאוריה הבאה: אם טמפרטורת העולם תעלה, יגדל שיעור האידוי מהאוקיינוסים וכמות המשקעים והשלגים תגדל. הדבר יגרום לכך שבסוף הקיץ כמות גדולה יותר של שלג תימצא במקומות הקרים; לפיכך, עומק השלגים בחורף יהיה גדול יותר והם יעיקו על השלג שמתחתם ויהפכו אותו לקרח. הקרח מחזיר כמות גדולה יותר של קרינת שמש, שאלמלא כן היתה נבלעת. הדבר יגרום להתקררות נוספת של כדור הארץ, ולקפיאה נוספת. האם תוכלו להמשיך בסדרת השיקולים הללו ולהראות כיצד התהליך מתהפך ותקופת הקרח נסוגה?
34. טיפות מים המונחות על מחבת חמה מתאדות במהירות, אך טיפות על מחבת לוהטת מרקדות עליה לפני התאיידותן במשך זמן ארוך יותר. התוכלו לשער מה הסיבה לכך?