

תכונות החומר

האטומים הם כה זעירים, שבכל נשימה אנו שואפים מיליארדי טריליונים מהם -
 למדע פי טריליון אטומים מחספים של כל בני האדם שהיו כאן מאז ראשית העולם!
 בכל נשימה אנחנו שואפים מיליארדי אטומים שנשם כל אדם ואדם, המדורבים היום בכל
 האוויר שמביבנו. בזופי יש אכן אטומים שהיו בזופו של כל אדם שהי אי-פעם - דניין
 לא המינוקו שזה דגה נולדו הרחק-הרחק מכאן, אך גם אני נשמי, הצדתי,
 ונשפתי כל אחד אחי, ואכן המינוקו והמוקו האלו דשוים לאטומים שהיו פעם
 אלק למני. כך אפשר אולי לומר שבחובן מסוים נולדו ישראלי!



המבנה האטומי של החומר

כל נקודה במפת העולם הזעירה הזאת
מורכבת ממספר אלפי אטומים של זהב.
האטומים הוצבו במקומם באמצעות
מיקרוסקופ מינהור-סורק.

כשיעמדו פעם לרשותכם כמה רגעים שקטים, צאו למסע חלומי. הכרטיס היחיד הדרוש הוא דמיון פורה. דמו לעצמכם שאתם נופלים מכיסאכם אט-אט, ותוך כדי נפילה אתם מתכווצים באיטיות. איזה מין מסע יהיה זה? מה תראו? כשתיפלו ארצה ותתקרבו לרצפה, תתכוונו להתנגשות ברצפה חלקה ומוצקה. אולם ככל שתתקרבו לרצפה, תוך כדי התכווצות איטית, תגלו שהרצפה אינה כה חלקה כפי שציפיתם, וכי נפערו בה סדקים גדולים. אלו הן אי-הסדירויות המיקרוסקופיות הקיימות בכל המשטחים הנראים חלקים כביכול. בנפלכם לתוך אחד מאותם בקיעים, הנראים כערוצים עמוקים, ובעודכם ממשיכים להתכווץ, ממתניים להתנגשות בקרקע, תיווכחו שגם תחתית הערוץ מורכבת מרבבות סדקים וחגווים. בזמן הנפילה לאחד הסדקים הללו, תוך המשך ההתכווצות, תבחינו שהקירות המוצקים הפכו למשטחים מעורפלים, רוטטים ומקומטים. כשתתבהר התמונה תבחינו בכך שהקירות הרועדים בנויים מבועות מעורפלות, רובן כדוריות, מקצתן דמויות ביצה, מקצתן גדולות מהאחרות, החדרות אחת לרעותה ויוצרות שרשרות ארוכות בעלות מבנים מורכבים. המשיכו ליפול והיכונו להתנגשות באחד מאותם כדורי ערפל ו... הפתעה! - תגלו שחדרתם ליקום חדש. אתם נמצאים עתה בים של ריקנות, המאוכלס בכתמים מזדמנים שסובבים וחולפים על פניכם במהירויות עצומות. אתם בתוך תוכו של האטום, הריק מחומר כמו מערכת השמש. גיליתם שהרצפה המוצקה שנפלתם

לתוכה אינה אלא מרחב ריק, פרט לכתמי חומר אי-פה, אי-שם. אם תמשיכו ליפול, אתם עשויים לעבור קילומטרים רבים בטרם תתנגשו ישירות בכתם תת-אטומי.

החומר כולו, מוצק ומגובש ככל שייראה, מורכב מאבני בניין זעירות, שאף הן ברובן הגדול חלל ריק. אלה הם האטומים - אטומים המתרכבים ויוצרים מולקולות. המולקולות עצמן מתרכבות ויוצרות תרכובות, המהוות את כל החומר שמסביבנו. בפרק זה נלמד על טבעו האטומי של החומר, ובפרקים הבאים נמשיך בחקירת תכונותיו של החומר במצביו השונים - מוצק, נוזל, גז ופלסמה.

אטומים

כל הדברים לסוגיהם - נעל, ספינה וחותמת שעווה, מלפפונים ומלכים - כל עצם שנחשוב עליו מורכב מאטומים. לכאורה, אפשר היה לחשוב שיש צורך במספר עצום של סוגי אטומים שונים ליצירת המגוון העשיר של החומרים שמסביבנו, אך למעשה המספר קטן להדהים. כל מגוון החומרים העצום אינו תולדה של מספר רב של אטומים, אלא של מגוון האופנים שבהם האטומים מתחברים - ממש כשם שבהדפסת תמונה צבעונית נדרשים רק שלושה צבעים ליצירת כמעט כל הצבעים העולים בדעתנו. כיום (1996) אנו מכירים 109 **אטומים** שונים. אלו הם היסודות הכימיים. בטבע נמצא רק 90 יסודות; את האחרים ניתן ליצור במעבדה באמצעות מאיצים רבי אנרגיה וכורי גרעין. האטומים הכבדים הללו אינם יציבים (הם רדיואקטיביים) ועל כן אינם נמצאים בטבע בכמויות משמעותיות.

המימן היה, ככל הנראה, היסוד הראשוני בטבע, וגם כיום הוא עדיין מהווה למעלה מ-90 אחוז מהאטומים ביקום המוכר. היסודות הכבדים ממימן נוצרו בליבות הכוכבים, שבהן הטמפרטורות הגבוהות והלחצים האדירים גורמים להיתוך המימן לאטומים של יסודות כבדים יותר. כל היסודות הקיימים בטבע, פרט לחלק מהמימן ולכמויות זעומות של יסודות קלים אחרים, הם שאריות של כוכבים שהתפוצצו זמן רב לפני שנוצרה מערכת השמש.

שאריות כוכבים אלה הן אבני הבניין של החומר כולו. וכל החומר, חי או דומם, מורכב בצורה זו או אחרת מיסודות אלו. במזווה המכיל כמאה מגירות, שבכל אחת מהן יסוד אחר, נמצא כל הדרוש לבניית כל חומר המצוי בעולמנו. כתריסר יסודות מרכיבים את רוב הדברים שאנו רואים מדי יום; רוב היסודות אינם קיימים בכמויות גדולות, וחלקם נדירים ביותר*. היצורים החיים מורכבים בעיקר מארבעה יסודות: פחמן (C), מימן (H), חמצן (O) וחנקן (N). האותיות בסוגריים הן הסימון הכימי של יסודות אלו.

האטומים נשארים צעירים לעד. האטומים בגופנו קיימים מראשית הזמן, ומוחזרו שוב ושוב אין-ספור פעמים, בחי ובדומם כאחד. כשאנו נושמים, למשל, רק חלק מהאטומים שאנו שואפים נפלטים בנשיפה. שאר האטומים נשארים

* רוב החומרים הנפוצים מורכבים מצירופים של שניים או יותר מהיסודות הנפוצים: מימן (H), פחמן (C), חנקן (N), חמצן (O), נתרן (Na), מגנזיום (Mg), אלומיניום (Al), צורן (Si), זרחן (P), גופרית (S), כלור (Cl), אשלגן (K), סידן (Ca), וברזל (Fe).

איור 10.1

בנויה מאבק כוכבים - הפחמן, החמצן, החנקן ושאר האטומים המרכיבים את גופה של הנערה שבתמונה, מקורם בכוכבים קדומים שהתפוצצו לפני שנים רבות.

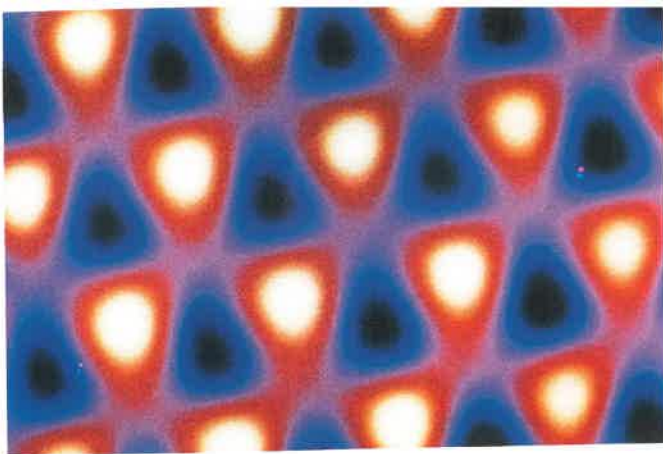


בגופנו והופכים לחלק ממנו. רק מאוחר יותר הם עוזבים את גופנו בדרכים שונות. אין אנו "בעלי" האטומים היוצרים את גופנו; אנו שואלים אותם. אנו שותפים לאותו מאגר אטומים הנודדים לנצח מסביבנו, בתוכנו ודרכנו. חלק מהאטומים שגירדת היום באפך, ייתכן שהיו אתמול חלק מאוזנו של שכנך! לא זו בלבד שכולנו בנויים מאותם סוגים של אטומים, אנו עשויים מאותם אטומים עצמם - אטומים העוברים מאדם לאדם כשאנו נושמים, מזיעים או פולטים את הבל פינו.

האטומים הם זעירים; כה קטנים, שמספר האטומים הקיים באוויר שבריאותינו בכל רגע ורגע הוא כמספר נשימות האוויר באטמוספירה שלנו*. הואיל והאוויר הנפלט בכל נשיפה מתערבב באופן אחיד (בתוך 6 שנים) באטמוספירה, הרי שכל אדם בעולם שואף בממוצע בכל נשימה אטום אחד שנשפת - בכל אחת מנשימותיך! הואיל והאנשים בעולם נושפים בנשימותיהם אלפי נשימות, הרי שבריאותינו יש בכל רגע ורגע אטומים רבים שהיו ברגע מסוים בריאותיו של כל אחד מהאנשים שחיו אי-פעם. למעשה אנו נושמים זה את אוויר ראותיו של זה.

קשה לדמיין עד כמה קטנים הם האטומים. הם כה זעירים, שלא ניתן לראותם בעזרת אור נראה, כי - כפי שנלמד בהמשך, בפרק 31 - האטומים קטנים מאורך הגל של האור הנראה. גם אם נערום מיקרוסקופ על גבי מיקרוסקופ, לעולם לא "נראה" אטום. תמונות של אטומים, כמו זו שבאיור 10.2, מתקבלות במיקרוסקופ מינהור-סורק - מכשיר שאינו מצריך שימוש באור לשם קבלת תמונה. תמונות מפורטות יותר ניתן לקבל באמצעות סוגים חדשים יותר של מכשירי הדמיה, המחוללים כיום מהפכה במיקרוסקופיה.

* יש בערך 10^{22} אטומים בליטר אוויר בלחץ אטמוספירי, ו- 10^{22} ליטרים של אוויר באטמוספירה.



איור 10.2

תמונה של אטומי הפחמן
בגרפיט, שהתקבלה
במיקרוסקופ מינהור-סורק.

את העדות הישירה הראשונה לקיומם של אטומים גילה, שלא במתכוון, הבוטנאי הסקוטי רוברט בראון ב-1827, כשחקר נבגים של אבקת צמחים בעזרת מיקרוסקופ. הוא הבחין שהנבגים שרויים בתנועה מתמדת, נעים וזעים. בתחילה חשב שהנבגים הם צורות-חיים נעות, אך לאחר מכן גילה שגם חלקיקים דוממים כגרגרי אבק או חלקיקי עשן שרויים בתנועה דומה. התזוזה המתמדת של חלקיקים אלו - הנקראת **תנועה בראונית** - היא תוצאה של התנגשויות בין חלקיקים ואטומים שכנים, הקטנים מכדי להיראות.

שאלה

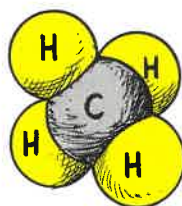
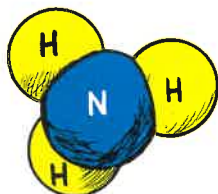
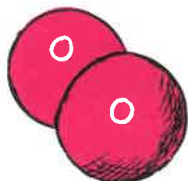
האם קיימים במוחותיהם של חבריך לכיתה אטומים שהיו פעם במוחו של אלברט איינשטיין?

אטומים מתחברים ויוצרים **מולקולות** (איור 10.3). שני אטומי מימן (H_2) מתחברים לאטום אחד של חמצן (O) ויוצרים מולקולה של מים (H_2O). מולקולה יכולה להיות פשוטה בהרכבה, כמו זו המתקבלת בחיבור של שני אטומי חמצן (O_2) או חנקן (N_2), או מורכבת כמולקולת הסליל הכפול של חומצת הגרעין דנ"א (DNA), המכילה מיליוני אטומים ומהווה את אבן הבניין לחיים.

מולקולות

איור 10.3

דגם של מולקולות פשוטות.
האטומים במולקולה אינם
פשוט מעורבים זה בזה אלא
מחוברים זה לזה במבנים
מוגדרים היטב.



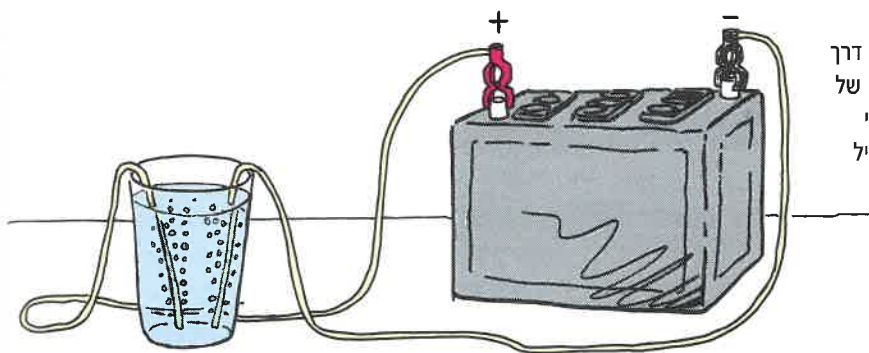
תשובה:

כן, וגם ממוחו של צ'רלי צ'פלין, אלא שהם נמצאים עתה בהרכבים שונים! בפעם הבאה שתחושו שלא תגיעו לדולות, אולי תוכלו להתנחם במחשבה שהאטומים שכיום מרכיבים אתכם יחיו לנצח בגופם של כל האנשים העתידיים לחיות על פני האדמה.

ניתן לפרק מולקולה לאטומים בעלי תכונות כימיות משלהם. תוכלו לערוך ניסוי פשוט ולהיווכח בכך. הכניסו שני תילים המחוברים להדקיה של סוללה לכוס המכילה מי-מלח (איור 10.4). הניחו את קצות התילים בצדדים נגדיים של הכוס לבל ייגעו זה בזה, ותראו בועות גז הנוצרות על התילים. אם תאספו את הגזים, תגלו שהם בעלי תכונות כימיות השונות לחלוטין מתכונות אדי-מים. אחד הגזים הוא מימן והאחר - חמצן. אם מערבבים את הגזים ומציתים אותם בגפרור (אל תנסו זאת!) תתרחש התפוצצות עזה. ההתפוצצות היא התהליך המהיר של התרכבות המימן והחמצן מחדש ליצירת מים. כמות האנרגיה המשתחררת שווה לכמות האנרגיה שנלקחה באיטיות מהסוללה כדי להפריד בין הגזים.

איור 10.4

כשמעבירים זרם חשמל דרך מי-מלח, נוצרות בועות של חמצן על התיל השמאלי ובועות של מימן על התיל הימני.



האנרגיה המשתחררת בבעירה רגילה מקורה בהתחברות של אטומי פחמן וחמצן ליצירת פחמן חד-חמצני (CO) או פחמן דו-חמצני (CO_2). אטום פחמן מושך אטום חמצן יותר מאשר פחמן מושך פחמן או חמצן מושך חמצן. בהתחברות המהירה של החמצן והפחמן משתחררת אנרגיה, ממש כשם שדלת נטרקת משמיעה קול. בדרך כלל, החום הנוצר בהתחברות זו בא לידי ביטוי בתנועת המולקולות של הגז החם, אך לעיתים החום כה רב שנפלט אור. כך נוצרות להבות.

אם הבעירה איטית דיה, כמו בעירת העץ באה, אטום פחמן מתחבר לשני אטומים של חמצן ונוצר פחמן דו-חמצני (CO_2). כשהבעירה מהירה מאוד, כמו במנוע מכונית, נוצר הפחמן החד-חמצני הרעיל (CO). (האם האוויר לא היה בריא יותר אילו בעירת הדלק היתה איטית יותר?) בתגובות אלו ואחרות משתחררות כמויות גדולות של אנרגיה, ונוצרות להבות והתפוצצויות. כל תהליך שבו אטומים מסתדרים מחדש ויוצרים מולקולות שונות נקרא **תגובה כימית**.

גם המולקולות קטנות מכדי להיראות במיקרוסקופ-אור, אך בעזרת חוש הריח ניתן להבחין גם בכמויות קטנות ביותר של מולקולות. איברי ההרחה מזהים בבירור גזים מזיקים כגופרית דו-חמצנית, אמוניה או אתר. ריח הבושם

הוא תוצאה של מולקולות המתנדפות במהירות (עוברות ממצב נוזלי לגז; ראו פרק 16) ונעות באקראי באוויר עד שמקצתן מגיעות במקרה לתוך נחירינו. ממיליארדי המולקולות הנודדות אנה ואנה ללא מטרה, רק מולקולות ספורות חודרות לאפינו. תוכלו להעריך את מהירות התנועה של מולקולות אלו באוויר אם תזכרו שגם בהיותכם בחדר השינה, ריח העוגה הנאפית במטבח, בתנור שדלתו נפתחה, מגיע במהירות לאפכם.

עדות ישירה יותר לקיומן של מולקולות מוצגת בתמונה של מולקולות נגיף המכילות אלפי אטומים, שצולמה במיקרוסקופ אלקטרוניים (איור 10.5). גם מולקולות הענק הללו קטנות מכדי להיראות באור נראה. בפרק 30 נלמד שניתן לראות אטום או מולקולה, שאינם נראים באור רגיל, באמצעות אלומות אלקטרוניים בעלת אורך-גל קצר יותר.

לעיתים טוענים כי לראות משמע להאמין. אולם לא תמיד הכרחי לראות דברים על מנת להאמין בקיומם. לא צריך להציץ בקופסת קרטון סגורה, שקשה להרימה, כדי לדעת שדבר-מה מצוי בתוכה. נוכל למדוד את מסתה בלי להיעזר באור. אטומים ומולקולות קטנים מכדי להיראות בעזרת אור, אך אין הדבר מונע מאיתנו את האפשרות למדוד את מסותיהם בדיוק רב.

מסות של אטומים ומולקולות נמדדו לראשונה בתחילת המאה ה-19. כדוגמה למדידה כזאת, נתבונן בגזי המימן והחמצן הנוצרים באלקטרוליזה מפירוק מים (איור 10.6). מסת המים לפני הפירוק שווה לסכום המסות של הגזים הנוצרים. המים מורכבים משני אטומים של מימן לכל אטום של חמצן, ומכאן נוסחתם הכימית H_2O . כאשר משווים את מסות התוצרים, מתברר שלכל 2 גרם של מימן שנוצר מתקבלים 16 גרם של חמצן. מכיוון שמספר מולקולות המימן כפול ממספר מולקולות החמצן, הרי שמסת מולקולת החמצן גדולה פי 16 ממסת מולקולת המימן. הנחת המפתח בניתוח זה היא שמספר מולקולות המימן הנוצרות כפול ממספר מולקולות החמצן. התצפיות מוכיחות שנפח המימן הנוצר כפול מנפח החמצן. הנחתנו היא, אם כך, שנפחים שווים של גז (באותם תנאי טמפרטורה ולחץ) מכילים מספר שווה של מולקולות.

רעיון זה העלה לראשונה הפיסיקאי האיטלקי אֶמֶדֶאיו אֶבּוֹגֶדֶרו. עקרון אבוגדרו קובע שבנפחים שווים של גז, באותם תנאי טמפרטורה ולחץ, יש מספר שווה של מולקולות, ללא תלות בגודל המולקולות. הנחה זו מובנת אם מכירים בכך שמולקולות הגז מרוחקות זו מזו. בקיטור (אדי-מים) המרחק בין המולקולות גדול בערך פי 12 מקוטר המולקולות, ולכן המולקולות בגז תופסות נפח הגדול בערך פי 1700 ($12^3 = 1728$) מנפח הנוזל, שבו המולקולות כמעט "נוגעות" זו בזו.

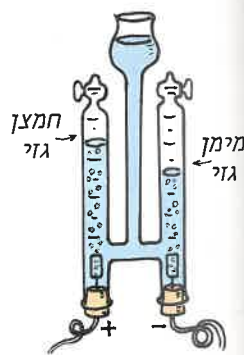
התיאוריה על המסות היחסיות של המולקולות נובעת מהנחת אבוגדרו. אנו פשוט שוקלים נפחים שווים של גזים ומשווים בין מסותיהם. היחס בין המסות של הגזים שווה ליחס בין המסות של המולקולות הבודדות המרכיבות את הגז. למשל, אם לגז אי מסה כפולה מלגז ב' בעל אותו נפח, אזי למולקולה אי מסה כפולה מלמולקולה ב'. אם ידועה הנוסחה הכימית של המולקולה, ניתן לקבוע את המסות היחסיות של האטומים המרכיבים אותה.



איור 10.5

תמונה של מולקולות נגיף שצולמה במיקרוסקופ אלקטרוניים.

מסות אטומיות ומסות מולקולריות



איור 10.6

באלקטרוליזה של מים, נפח המימן הנאסף כפול מנפח החמצן.

כדי שאפשר יהיה להשוות בין המסות של היסודות השונים, נקבע שלאטום אחד של מימן (היסוד הפשוט ביותר בהרכבו) יש בדיוק **יחידת מסה אטומית** אחת (בקיצור, **ימ"א**)*. המסות של אטומי היסודות האחרים נקבעו על פי יחסי המסות בינם לבין המימן. וכך, מסת אטום הפחמן היא 12 ימ"א, מסת החמצן 16 ימ"א, ומסת האוראניום, אחד היסודות הכבדים ביותר, 238 ימ"א.

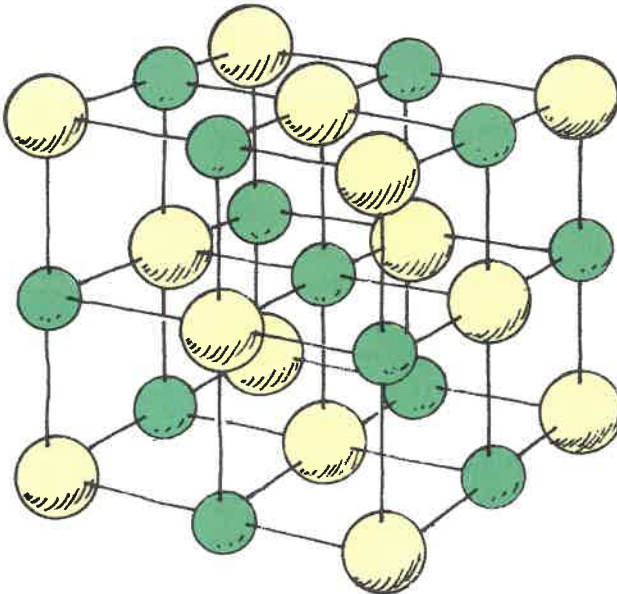
חומרים מסוימים - מוצקים כגון זהב, נוזלים ככספית וגזים כניאון - מורכבים מיסוד אחד. חומרים אלה נקראים יסודות, מפני שהם מורכבים מסוג אחד של אטומים. חומרים אחרים - מוצקים כמלח השולחן, נוזלים כמים וגזים כמתן - בנויים מיסודות שהתרכבו כימית. הם נקראים **תרכובות**. יש חומרים הבנויים ממולקולות. מים ופחמן דו-חמצני הם תרכובות הבנויות ממולקולות. לעומתם, מלח שולחני (NaCl) עשוי מסוגים שונים של אטומים המסודרים במבנה קבוע. כל אטום של כלור מוקף בשישה אטומי נתרן (איור 10.7). לחלופין, כל אטום של נתרן מוקף בשישה אטומי כלור. בסך הכול, יש במלח אטום אחד של נתרן לכל אטום של כלור, אך אין קבוצות נפרדות של נתרן-כלור שניתן לזהותן כמולקולות.

לתרכובות תכונות שונות מאשר ליסודות המרכיבים אותן. נתרן הוא מתכת המגיבה נמרצות במגע עם מים, וכלור הוא גז ירקרק ורעיל, אבל תרכובתם של

יסודות, תרכובות ותערובות

איור 10.7

מלח שולחן הוא תרכובת שאינה בנויה ממולקולות. אטומי הנתרן והכלור מסודרים במבנה מחזורי שבו כל אטום מוקף בשישה אטומים מהסוג השני.



* לאחר מכן, מסיבות שאינן מעניינות, נבחר אטום הפחמן כבעל 12 ימ"א בדיוק, וליסודות האחרים מספרי הימ"א כמעט שלמים. למימן, למשל, 1.008 ימ"א, לחמצן - 15.999 ולאוראניום 238.029 (לאיזוטופים שונים של היסודות הללו מסות אטומיות שונות, ולכן המסות האטומיות המופיעות בטבלה המחזורית שונות במקצת מהערכים הנ"ל).

שני יסודות אלו (NaCl) היא גביש לבן בלתי מזיק, שאותו אנו זורים על תפוח אדמה. בטמפרטורת החדר, מים (H_2O) הם נוזל, אך מימן וחמצן שניהם גזים. חומרים המעורבים זה בזה מבלי להגיב כימית נקראים **תערובות**. הגזים מימן וחמצן יוצרים תערובת עד להבערתם, ובהצתתם נוצרת התרכובת מים. חול מעורב במלח הוא תערובת. התערובת הנפוצה ביותר היא חנקן המעורב בחמצן, עם ריכוז קטן של פחמן דו-חמצני ועם שמץ של גזים נדירים כניאון. זהו האוויר שאנו נושמים.

שאלה

בהצתת תערובת של הגזים מימן וחמצן תיווצר התרכובת מים. כמה גרמים של חמצן יש לערבב עם 1 גרם של מימן כדי לקבל מים בלבד?

מבנה האטום

רובה של מסת האטום מרוכז בגרעין, התופס רק מספר מיליוניות-המיליארדית (10^{-15}) של נפח האטום. לפיכך צפיפות הגרעין גבוהה ביותר. אילו ניתן היה לצופף חומר גרעיני לגולה שקוטרה 1 ס"מ (כגודל אפון גדול), משקלה היה 120,000,000 טון! כוחות דחייה חשמליים אדירים מונעים ריכוז כזה של גרעיני אטומים. רק בנסיבות מיוחדות ניתן להביא שני גרעינים או יותר למגע, וכשהדבר קורה, עלולה להתרחש תגובה עזה. תגובה כזאת מתרחשת בפצצת מימן, ובתגובה זו נדון בפרק 33.

אבן הבניין היסודית של הגרעין היא הנוקליאון, שמורכב מחלקיקים יסודיים הנקראים קוורקים. נוקליאון הנמצא במצב נייטרלי מבחינה חשמלית נקרא נייטרון; נוקליאון טעון חשמלית הוא פרוטון. כל הפרוטונים זהים זה לזה. כך הדבר גם ביחס לניטרונים; כל נייטרון זהה לכל נייטרון אחר. כל גרעיני האטומים המוכרים בנויים מנוקליאונים אלה, ומספרם נע מ-1 עד לכ-260. בגרעינים הקלים יחסית, מספרי הפרוטונים ומספרי הניטרונים שווים בקירוב זה לזה. בגרעינים הכבדים יותר מספר הניטרונים גדול ממספר הפרוטונים. לפרוטונים יש מטען חשמלי חיובי. מטענים חשמליים חיוביים דוחים מטענים חשמליים חיוביים ומושכים מטענים שליליים. כלומר, מטענים חשמליים שווי-סימן דוחים זה את זה ומטענים מנוגדי-סימן מושכים זה את זה. המטען החיובי של הפרוטונים שבגרעין הוא המושך ענן של חלקיקים טעונים שלילית, הנקראים אלקטרונים, שמקיפים את הגרעין ועימו הם מהווים את האטום.

האלקטרונים הם החלקיקים הנעים במעגלים חשמליים. הם קלים מאוד ומסתם קטנה כמעט פי 2000 ממסת הנוקליאון, ולכן תרומתם למסת האטום זעומה. אלקטרון באטום אחד זהה לכל אלקטרון אחר הנמצא באטום כלשהו

תשובה:

8 גרם. בכל מולקולת H_2O יש שני אטומים של מימן על כל אטום של חמצן. יחסי המסות של H ו- O הם 1 ל-16. במים יש 2 גרם של מימן על כל 16 גרם של חמצן. כאשר שני יסודות או יותר מתרכבים ויוצרים מולקולה, הם שומרים תמיד על אותו יחס מסות ביניהם. הדבר נקרא **חוק היחסים הקבועים** ובמים יחס זה שווה ל-8 גרם של O לכל גרם של H .

או מחוצה לו. כאמור, האלקטרונים טעונים שלילית ודוחים זה את זה, אך נמשכים לגרעינים, הטעונים חיובית.

מספר הפרוטונים בגרעין מאוזן חשמלית על ידי האלקטרונים הסובבים את הגרעין. האטום הוא ניטרלי, ולכן בדרך כלל הוא אינו מושך או דוחה אטומים אחרים. אך כאשר האטומים קרובים זה לזה, נוצר חוסר איזון מסוים בכוחות החשמליים - ייתכן שהאלקטרונים השליליים של אטום אחד יתקרבו לגרעין החיובי של האטום האחר. כתוצאה מכך תיווצר בסך הכול משיכה בין האטומים, ובגללה חלק מהאטומים מתחברים זה לזה ויוצרים מולקולות.

כמו במערכת השמש, גם באטום רוב הנפח הוא חלל ריק. הגרעין והאלקטרונים הסובבים אותו תופסים רק חלק זעיר מנפח האטום. ללא הדחייה החשמלית בין האלקטרונים של אטומים סמוכים, צפיפות החומר המוצק היתה הרבה יותר גדולה. אנו, והרצפה המוצקה שעליה אנו עומדים, ברובנו חלל ריק, מפני שהאטומים היוצרים אותנו ואת כל העצמים הם ברובם חלל ריק. כוחות הדחייה החשמליים מונעים מאיתנו ליפול דרך הרצפה המוצקה. הכוחות החשמליים הם המונעים מאטומים שהופעל עליהם לחץ לחדור זה לתוך זה. אטומים קרובים מדי ידחו זה את זה (אם הם אינם מתחברים ויוצרים מולקולות), אך כאשר מרחקם הוא מספר קטרים אטומיים, הכוחות החשמליים הפועלים ביניהם זניחים.

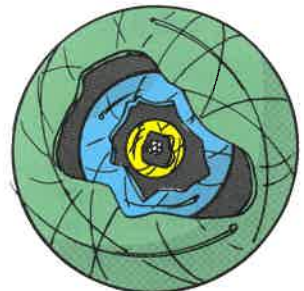
התכונה העיקרית המבדילה בין האטומים השונים היא מספר האלקטרונים החגים סביב הגרעין (או לחלופין, מספר הפרוטונים הנמצאים בגרעין). המימן, שהוא היסוד הפשוט ביותר, בנוי מאלקטרון אחד הסובב פרוטון אחד. להליום שני אלקטרונים הסובבים זוג פרוטונים וזוג ניטרונים. לליתיום שלושה אלקטרונים, וכך מתמשכת הרשימה - לכל יסוד עוקב פרוטון נוסף בגרעין ואלקטרון נוסף בענן האלקטרונים (איור 10.8). בשל השוויון בין מספר הפרוטונים למספר האלקטרונים, האטום ניטרלי מבחינה חשמלית.

המספר האטומי, שלפיו מסווגים האטומים, שווה למספר הפרוטונים בגרעין. המספר האטומי של המימן הוא 1, של הליום 2, וכך בסדרה עולה עד

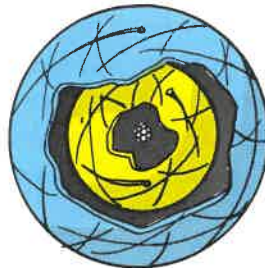
איור 10.8

על פי המודל הקלאסי, האטום בנוי מגרעין זעיר המוקף באלקטרונים שנעים במסלולים מעגליים הערוכים בקליפות. כאשר מטען הגרעין ונפחו גדלים, האלקטרונים נמשכים אליו יותר וגודל הקליפות קטן.

אלומיניום -
13 אלקטרונים
ב-3 קליפות



ליתיום -
3 אלקטרונים
ב-2 קליפות



מימן -
1 אלקטרון
ב-1 קליפה אחת



הליום -
2 אלקטרונים
ב-1 קליפה אחת



ליסוד האחרון המצוי בטבע, אוראניום, שמספרו 92. מספרי היסודות שמעבר לאוראניום, המופקים במעבדה, עולים עד למספרו של היסוד האחרון המוכר בזמן כתיבת שורות אלה - 109. מסידור היסודות לפי מספריהם האטומיים מתקבלת **הטבלה המחזורית***. ראו בצידה הפנימי של הכריכה הקדמית.

גילינו שהאלקטרונים נעים מסביב לגרעין במסלולים או כגלים על קליפות משותפות-מרכז הנמצאות במרחקים שונים מהגרעין**. בקליפה הפנימית ביותר נמצאים לכל היותר שני אלקטרונים; בקליפה השנייה - שמונה, ובשלישית - שמונה-עשר. באטומים בעלי יותר משמונים ושישה אלקטרונים יש שבע קליפות. הקליפות מצוינות בטבלה המחזורית באמצעות השורות. שימו לב, שבשורה העליונה ביותר מופיעים רק שני יסודות, מימן והליום. האלקטרונים בהליום ממלאים את הקליפה הפנימית ביותר. השורה השנייה, הכוללת שמונה יסודות, מתחילה בליתיום ומסתיימת בניאון, שהאלקטרונים שלו ממלאים גם את הקליפה השנייה כולה, וכך הלאה. באטומים הכבדים יותר הסדר שבו מתמלאות הקליפות (ותת-הקליפות) הבאות הוא מורכב יותר. בטבלה המחזורית מסודרים היסודות במאונך, בהתאם להיערכות האלקטרונים, שבאה לידי ביטוי בדמיון בתכונות הפיסיקליות והכימיות של היסודות ושל תרכובותיהם. באופן ציורי ניתן לומר, שהיערכות האלקטרונים בקליפה החיצונית של האטום היא המעניקה את הצבע והחיים לעולמנו. היערכות האלקטרונים החיצוניים קובעת האם יתקשרו האטומים אלה לאלה וייצרו מולקולות, ואם כן - כיצד. היערכות זו גם קובעת מה תהיה טמפרטורת הקיפאון והרתיחה של החומר, מה תהיה מוליכותו החשמלית, וכמו כן את הטעם, המרקם, הצורה והצבע של החומרים.

שאלה

כמה גרעיני אטום ישנם באטום חמצן? במולקולת חמצן?

לעומת החומר, הבנוי מאטומים בעלי גרעין טעון חיובית ואלקטרונים טעונים שלילית, **אנטי-חומר** בנוי מגרעין הטעון שלילית ומאלקטרונים שמטענם חיובי, הנקראים פוזיטרונים (איור 10.9).

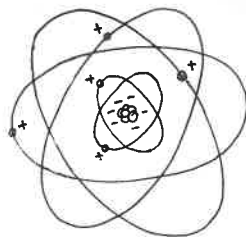
הפוזיטרונים נתגלו לראשונה ב-1932 בקרינה הקוסמית הפוגעת באטמוספירת כדור הארץ. כיום יוצרים באופן סדיר, בניסויי מעבדה בפיסיקת הגרעין, חלקיקי אנטי-חומר מכל הסוגים. לפוזיטרון מסה השווה למסת האלקטרון ומטען השווה בגודלו למטען האלקטרון, אך מנוגד לו בסימנו.

אנטי-חומר

תשובה:

באטום חמצן (O) יש גרעין אחד ובמולקולת החמצן (O_2), הבנויה משני אטומי חמצן - שני גרעינים.

* המאמץ הרב והחוכמה האנושית שהושקעו במציאת החוקיות והמבנה של היסודות הכימיים יצרו סיפור בלשי מרתק שניתן לקרוא אודותיו בספרי הלימוד בכימיה.
** באופי הגלי של האלקטרונים נדון בפרק 31.



איור 10.9

לאטום של אנטי-חומר יש גרעין טעון שלילית, המוקף בפוזיטרונים.

לאנטי-פרוטונים אותה מסה כמו לפרוטונים אך הם טעונים שלילית. לאנטי-חלקיקים אותה מסה כמו לחלקיקים והם נבדלים מהם רק בתכונות האלקטרומגנטיות. לכל החלקיקים התת-אטומיים נתגלו חלקיקי אנטי-חומר ותואמים. קיימים אפילו אנטי-קוורקים.

כוחות הכבידה אינם מבדילים בין חומר לאנטי-חומר - שניהם מושכים זה את זה. אין גם דרך להבחין אם דבר-מה עשוי מחומר או מאנטי-חומר באמצעות האור הנפלט ממנו. נוכל לקבוע זאת רק על-ידי מגע, כי כאשר חומר ואנטי-חומר נפגשים, הם מחסלים זה את זה, וכל החומר הופך לאנרגיית קרינה. בתהליך זה, יותר מבכל תהליך מוכר אחר, משתחרר מרב האנרגיה לכל גרם חומר - $E = mc^2$, כלומר, 100 אחוז מהמסה מומרת לאנרגיה. (לעומת זאת, בביקוע גרעיני ובהיתוך גרעיני, פחות מאחוז אחד של המסה מומר לאנרגיה). לא ייתכן שבסביבתנו הקרובה יימצאו גם חומר וגם אנטי-חומר, לפחות לא בכמויות משמעותיות או לפרקי-זמן ממושכים, שכן עצם העשוי מאנטי-חומר, בנוגעו בחומר היה הופך כולו לאנרגיה. בתהליך הזה הוא היה גורם גם לכמות שווה של חומר רגיל להפוך לאנרגיה. אילו הירח, למשל, היה עשוי מאנטי-חומר, אזי פרץ של אנרגיה היה נפלט בעת נחיתתן של חלליות מכדור הארץ על פניו. הן החללית והן כמות שווה של אנטי-חומר ירחי היו נעלמות בהתפרצות עצומה של אנרגיה. כך יודעים אנו שהירח אינו אנטי-חומר. אך מה בדבר גלקסיות אחרות? ייתכן שאבני הבניין היסודיות של חלקים אחרים ביקום עשויות מאנטי-חומר ממש כשם שבסביבתנו הן עשויות מחומר. ייתכן שלא - איננו יודעים.

החומר קיים בארבעה מצבי צבירה: מוצק, נוזל, גז ופלסמה. בכל אחד ממצבים אלה האטומים שרויים בתנועה מתמדת. במוצק, האטומים והמולקולות מתנוודים סביב מקומות קבועים. כאשר קצב התנוודות גדל במידה מספקת, המולקולות משתחררות ומתחילות לנוע בכל החומר, תוך שהן מתנוודות סביב מקומות משתנים. צורת החומר אינה נותרת קבועה, והוא מקבל את צורת כלי הקיבול. זהו המצב הנוזלי. אם מושקעת אנרגיה נוספת בחומר וקצב תנודתן של המולקולות גדל עוד, הן עשויות להינתק זו מזו ולעבור למצב הגזי. H_2O הוא דוגמה מקובלת לשינויים במצבי הצבירה. כמוצק הוא קרח. כשנחמם את הקרח, תנועתן המוגברת של המולקולות מנתקת אותן ממקומותיהן הקבועים, ומתקבלים מים. אם נחמם את המים, נגיע למצב שבו התנוודות המולקולריות המוגברות יביאו להפרדת מולקולות המים ויתקבל קיטור. המשך החימום יגרום לפירוק המולקולות לאטומים; אם נחמם את הקיטור לטמפרטורות העולות על 2000 מעלות צלסיוס, האטומים עצמם ייפרדו וייצרו גז של אלקטרונים חופשיים וגרעינים חשופים, הנקרא **פלסמה**.

אף שמצב הפלסמה פחות מוכר לנו בחיי יומיום, למעשה זה המצב השכיח של החומר ביקום; השמש וכוכבים אחרים וכן חלק ניכר מהחומר הבין-כוכבי קיימים כפלסמה.

כל חומר ניתן להעביר ממצב אחד למשנהו. שלושת הפרקים הבאים דנים במצבי הצבירה של החומר. ואילו את סיפורו של האטום נמשיך בפרק 31.

מצבי הצבירה של החומר

שאלות חזרה

אטומים

1. מהו היסוד המוכר הנפוץ ביותר ביקום?
2. כמה יסודות מוכרים כיום?
3. מהו גילם של רוב האטומים בהשוואה לגילה של מערכת השמש?
4. מהו מקור היסודות?
5. מהם ארבעת היסודות שגוף החי בנוי מהם?
6. מהו בקירוב מספר האטומים באוויר שבראותיך בהשוואה למספר נשימות האוויר באטמוספירה כולה?
7. מדוע לא ניתן לראות אטומים בודדים בעזרת אור נראה?
8. מהו הגורם לתנועה הבראונית של חלקיקי אבק ועשן?

מולקולות

9. מהו ההבדל בין אטום למולקולה?
10. כמה יסודות מרכיבים מולקולת מים? כמה אטומים מרכיבים מולקולת מים?
11. השוו בין כמות האנרגיה המשתחררת כשמימן וחמצן מתחברים ויוצרים מים לכמות האנרגיה הנדרשת לפירוק אותם מים. (מהו העיקרון הפיסיקלי המודגם כאן?)
12. האם אנרגיה מושקעת או משתחררת כאשר מתרכבים אטומי חמצן ופחמן?
13. כיצד ניתן לדעת, עם פתיחת תנור האפייה, שמולקולות עוגת התפוחים הנאפית בו מצויות בתנועה?

מסות אטומיות ומסות מולקולריות

14. מדוע כפול נפח המימן הגזי המשתחרר בפירוק מים מנפח החמצן הגזי המשתחרר?
15. בפירוק מים מתקבלים על כל 2 גרם H, 16 גרם O. האם ניתן להסיק, מהנפח הכפול של H, כי אם מסתו של נפח מסוים של O היא 16 גרם, אזי מסתו של נפח שווה של H תהיה 1 גרם?
16. אם בנפחים שווים של גז באותה טמפרטורה ובאותו לחץ יש מספר שווה של מולקולות, האם פירושו של דבר

תקציר מונחים

אטום החלקיק הזעיר ביותר של יסוד שניתן בכל התכונות הכימיות של היסוד.

תנועה בראונית התנועה האקראית של חלקיקים זעירים הנמצאים בגז או בנוזל, הנגרמת בשל התנגשויות החלקיקים במולקולות המהירות של הגז או הנוזל.

מולקולה החלקיק הזעיר ביותר של חומר כלשהו שניתן בכל התכונות הכימיות של החומר. אטומים מתקשרים ויוצרים מולקולות.

תגובה כימית התהליך של סידור מחדש של אטומים ממולקולה אחת לאחרת.

עקרון אבוגדרו נפחים שווים של כל הגזים הנמצאים באותה טמפרטורה ולחץ מכילים מספר שווה של מולקולות.

יחידת מסה אטומית (ימ"א) היחידה התקנית למסה אטומית, השווה לאחד חלקי שנים-עשר ממסתו של אטום הפחמן השכיח, שלמסתו נקבע באופן שרירותי הערך 12.

תרכובת חומר כימי המורכב מאטומים של שני יסודות שונים או יותר שנקשרו ביחס קבוע.

תערובת חומרים המעורבבים בלא שנוצר קשר כימי ביניהם.

מספר אטומי מספר הפרוטונים בגרעין האטום; זהו גם מספר האלקטרונים הסובבים את הגרעין. המספר האטומי של אטום מציין את מקומו בטבלה המחזורית של היסודות.

הטבלה המחזורית רשימה שערוכים בה היסודות על פי מספרם האטומי ומערך האלקטרונים בהם, כך שאטומים בעלי תכונות כימיות דומות ממוקמים באותה עמודה. (ראו החלק הפנימי של הכריכה הקדמית.)

פלסמה מצב הצבירה הרביעי של החומר, בנוסף למצבים המוצק, הנוזל והגז. במצב זה גרעיני האטומים חשופים והאלקטרונים חופשיים.

אנטי-חומר חומר המורכב מאטומים שגרעיניהם בעלי מטען שלילי והאלקטרונים שלהם חיוביים.

שהמסה של מולקולת חמצן גדולה פי 16 מזו של מולקולת מימן?

17. מולקולות החמצן והמימן, H_2 ו- O_2 , בנויות משני אטומים. האם ניתן להסיק שמסתו של אטום בודד של חמצן גדולה פי 16 ממסתו של אטום בודד של מימן?

18. מה הקשר בין עקרון אבוגדרו ובין שתי השאלות האחרונות?

19. מהו הקשר בין המסות המולקולריות של שני גזים שווים-נפח, שמסתו של האחד גדולה פי שלושה ממסתו של האחר? מהו הקשר בין המסות האטומיות אם המולקולות של כל אחד מהגזים בנויות מאותו מספר של אטומים?

20. מטר הוא יחידת האורך התקנית, ק"ג הוא יחידת המסה התקנית ושנייה היא יחידת הזמן התקנית. מהי יחידת המסה האטומית התקנית?

יסודות, תרכובות ותערובות

21. מהי תרכובת? תנו שלוש דוגמאות.

22. מהי תערובת? תנו שלוש דוגמאות.

מבנה אטומי

23. היכן מרוכזת רוב מסתו של האטום?

24. מה בין פרוטון לניטרון? מהו השם המשותף לשניהם?

25. מהו הכלל לקביעת סוג הכוחות, משיכה או דחייה, הפועלים בין מטענים חשמליים חיוביים ושלייליים?

26. מהי מסתו של אלקטרון בהשוואה למסתו של נוקליאון?

27. מהו הקשר בין מספר האלקטרונים למספר הפרוטונים באטום ניטרלי?

28. מדוע טוענים שרוב נפחו של האטום הוא "חלל ריק"?

29. אם רוב נפחם של האטומים ריק, מדוע אין החומרים העשויים מאטומים נופלים זה דרך זה?

30. מה מבדיל בין אטום מסוג אחד למשנהו?

31. מהו המספר האטומי של אטום? מהו המספר האטומי של מימן? ברזל? זהב? אוראניום?

32. מהי הטבלה המחזורית?

33. מהן קליפות אטומיות?

אנטי-חומר

34. מה ההבדל בין חומר לאנטי-חומר?

35. מה קורה כאשר חלקיק חומר פוגש חלקיק אנטי-חומר?

36. כמה חומר נותר כאשר גרם אנטי-חומר פוגש קילוגרם חומר?

מצבי הצבירה של החומר

37. מהו הקשר בין הטמפרטורה לבין ארבעת מצבי הצבירה של החומר?

38. מה הקשר בין האנרגיות הפנימיות של מים כאשר הם במצב של קרח, מים וקיטור?

39. מהו מצב הצבירה הנפוץ ביותר ביקום מבין ארבעת מצבי הצבירה?

40. מה ההבדל בין פלסמה לגז?

מטלות בית

נר בוער רק בנוכחות חמצן. האם משך הבעירה של נר הנמצא בתוך צנצנת הפוכה שנפחה ליטר ממשך הבעירה שלו בצנצנת שנפחה חצי ליטר? בידקו והיווכחו.

תרגילים

1. חתול פוסע בחצרך. לאחר שעה, כלב שאפו נושק לקרקע פוסע בעקבות החתול. הסבירו את המתרחש מנקודת מבט מולקולרית.

2. האם גוף מפץ ריח כלשהו אם כל המולקולות שלו נותרות במקומן?

3. המהירות הממוצעת של מולקולת בושם בטמפרטורת החדר היא כ-650 מילש"א, אך מהירות התפשטות הריח קטנה בהרבה. מדוע?

4. אילו אטומים עתיקים יותר, האטומים בגופו של אדם מבוגר או בגופו של תינוק?

5. מה מקורם של האטומים בגופו של תינוק בן-יומו?

6. מדוע ניכרת התנועה הבראנית רק בחלקיקים מיקרוסקופיים?

7. מדוע ניתן לראות אטומים במיקרוסקופ אלקטרוני ולא ניתן לראותם במיקרוסקופ-אור, גם אילו היה אידיאלי?

8. האם שורת היסודות היתה נותרת בעינה, אילו סידרו אותם בסדר עולה של מסתם האטומית ולא על פי מספרם

22. דונו, בהקשר למיחזור האטומים, בהבדל בין שריפת פגר של חיה לבין הטמנתו בקבר בקרקע.

23. באיזה מובן תוכלו לומר שאתם חלק מכל אדם בסביבתכם?

24. מהם הסיכויים שבנשימתכם הבאה תשאפו לפחות אחד מהאטומים שנשמתם בנשימה הראשונה בחייתכם?

25. מישוה טען כי אם ינחת על כדור הארץ יצור מהחלל העשוי מאנטי-חומר, עולמנו כולו יתפוצץ ויהפוך לאנרגיה בלבד. התוכלו לאשר טענה זו או להכחישה?

בעיות

1. באצבעון מלא מים יש בקירוב 10^{23} מולקולות של H_2O . בכל האוקיינוסים שעל כדור הארץ יש כ- 10^{46} מולקולות H_2O . נניח שקולומבוס שפך אצבעון מלא מים לתוך האוקיינוס ובזמן שחלף מאז התערבבו מולקולות אלו באופן אחיד במולקולות האוקיינוס. הראו שאם תמלאו אצבעון במים ממקום כלשהו באוקיינוס, אזי תהיה באצבעון לפחות מולקולות מים אחת מאצבעונו של קולומבוס. (רמז: היחס בין מספר המולקולות באצבעון למספר המולקולות באוקיינוס שווה ליחס בין מספר המולקולות המבוקש לבין מספר המולקולות שבאצבעון.)

2. בנשימה ממוצעת יש בקירוב 10^{22} מולקולות של אוויר ובאטמוספירה כדור הארץ כולה יש בקירוב 10^{44} מולקולות. 10^{22} בריבוע שווה ל- 10^{44} . אם כך, כמה נשימות של אוויר יש באטמוספירה? מהו הקשר בין מספר זה למספר המולקולות בנשימה אחת? בהנחה שכל המולקולות מנשימתו האחרונה של דוד המלך התערבבו בצורה אחידה באטמוספירה, כמה מולקולות כאלה בממוצע אנו שואפים בכל נשימה?

3. הניחו שאוכלוסיית העולם הנוכחית, המונה כ- 4×10^9 בני אדם, היא החלק השלושים ($1/30$) ממספר בני האדם שחיו מעולם. פי כמה גדול מספר המולקולות בנשימה אחת ממספר האנשים שחיו אי-פעם? האם תוכלו להראות שהיחס בין מספר המולקולות בנשימה אחת למספר האנשים שחיו אי-פעם שווה בקירוב ליחס בין מספר האנשים שהיו מעולם לבין אדם אחד?

האטומי: (כדי להשיב על שאלה זו, עיינו בטבלה המחזורית בחלקה הפנימי של הכריכה הקדמית.)

9. כיצד קובע מספר הפרוטונים בגרעין האטום את תכונותיו הכימיות של היסוד?

10. מהם היסודות הטהורים המופיעים ברשימה הבאה: $U, H_2SO_4, NaCl, Na, He, H_2O, H_2$?

11. איזה גרעין יתקבל אם נוציא מגרעין של אטום O שני פרוטונים ושני נייטרונים?

12. אפשר לבלוע גולת גרמניום בלא שיהיו לכך השפעות מזיקות. אך לא נרצה לבלוע את הגולתה, אם נוסיף לכל גרעין גרמניום פרוטון אחד. מדוע? (היעזרו בטבלה המחזורית של היסודות.)

13. איזה יסוד יתקבל מחנקן שאחד הנייטרונים בגרעינו יתפרק בהתפרקות רדיואקטיבית לפרוטון?

14. קיבעו לאיזה מהיסודות הבאים תכונות כימיות הדומות לתכונות הצורן (Si): אלומיניום (Al), זרחן (P) או גרמניום (Ge)? (היעזרו בטבלה המחזורית של היסודות.)

15. כיצד נקבל מזהב חומר יקר-ערך יותר: על ידי הוספת פרוטונים לגרעינו או על ידי גריעתם ממנו? הסבירו.

16. כמה גרם של O יש ב-18 גרם מים?

17. כמה גרם של H יש ב-16 גרם של הגז CH_4 ?

18. גז א' בנוי ממולקולות דו-אטומיות של יסוד מסוים. גז ב' בנוי ממולקולות חד-אטומיות (בכל "מולקולה" אטום אחד) של יסוד אחר. מסתו של גז א' גדולה פי שלושה ממסתו של גז ב' שווה של גז ב' השרוי באותם תנאים של לחץ וטמפרטורה. השוו בין המסות של יסוד א' וב'.

19. כאשר מערבבים 50 סנטימטרים מעוקבים (סמ"ק) של כוהל עם 50 סמ"ק של מים, מתקבלת תערובת שנפחה 98 סמ"ק בלבד. התוכלו להציע הסבר לתופעה זו?

20. מהו המשתנה העיקרי הקובע אם האטומים יהיו במצב מוצק, נוזל, גז או פלסמה?

21. כשטפטפים כפית שמן על בריכה שמימיה רוגעים, השמן מכסה את פני המים בשכבה דקיקה ששטחה כארבעה דונם ועוביה שווה לגודל מולקולה. כיצד ניתן לחשב את גודלה או עוביה של מולקולה השמן, אם ידועים נפח השמן וגודל השטח שהוא מכסה?