

פיזיקלית וכימיה אנליטית. בשנים האחרונות התפתחו דיסציפלינות יותר ממוקדות, כגון נוירוכימיה.

## קצת היסטוריה

שאלת מבנה החומר, כלומר השאלה מהן אבני הבניין של שפע החומרים הסובבים אותנו, העסיקה את האדם כבר מהעת העתיקה. בתחילה לאור העובדה שהיינו מוגבלים מאוד בדרך בה ניתן היה לראות את החומר דרך זכוכית מגדלת רווחה האמונה שלפיה ניתן לחלק את החומר ליחידות הולכות וקטנות, עד אינסוף. בהמשך התחזקה יותר ההשארה כי החומר עשוי מיחידות נפרדות סופיות הקרויות **יסודות כימיים (Chemical Elements)**. רעיון פילוסופי זה שמקורו ביוון העתיקה ובהודו, נכנס לזרם המרכזי במדע כאשר תגליות בתחום הכימיה הראו כי החומר אכן מתנהג כעשוי מחלקיקים. בראשית המאה ה-19 פיתח ג'ון דלטון את **התיאוריה האטומית (Atomic Theory)** שלו, שבה טען כי כל יסוד כימי מורכב מאטומים (Atoms) מסוג אחד ויחיד, אשר אינם ניתנים לשינוי או להשמדה, אך עשויים להתאחד על מנת ליצור מבנים מורכבים יותר. לא ברור כיצד בדיוק הגיע דלטון לתיאוריה שלו, אך בכל מקרה, היא אפשרה לו להסביר מגוון של תגליות חדשות בכימיה שנעשו בידי ובידי עמיתיו.

## האטום

**אטום (Atom)** הוא היחידה הבסיסית של יסוד כימי. אטום הוא החלק הקטן ביותר של החומר ששומר על התכונות הכימיות של היסוד כגון אלקטרו שליליות, אנרגיית יינון, מצב חמצון מועדף, מספר קווארדינציה, סוג הקשרים שהוא נוטה ליצור כגון קשר מתכתי, קשר יוני, וקשר קוולנטי.

השם אטום מקורו מהמילה היוונית "אטומוס", שפירושו "בלתי ניתן לחלוקה". שם זה ניתן לחלקיק הבסיסי שמרכיב את היסודות, מאחר שהכימאים האמינו באותה תקופה כי לא ניתן לחלקו יותר. ובכל זאת, בתחילת

## הקדמה

אם נסתכל סביבנו נמצא דברים רבים. שולחנות, כסאות, ספרים, עטים, חלונות, אנשים, וצמחים, ואפילו דברים שלא ניתן לראות כמו אוויר. כולם עשויים מחומר. השולחנות עשויים מעץ או פלסטיק, הספרים עשויים מנייר, החלונות עשויים מאלומיניום וזכוכית, גופם של בעלי החיים והצמחים מורכב ממים, משומנים, ומרקמות. סלעים עשויים מגיר, צור, בזלת, חול. אוויר מכיל חמצן, חנקן, אדי מים, פחמן דו-חמצני ועוד. אך מהו עץ? מהו גיר או בזלת? כל אלו הם חומרים.

## מהו חומר?

**חומר (Matter)** מוגדר ככל דבר אשר תופס נפח ויש לו מסה. אין זה משנה כלל מה מצב הצבירה של החומר, האם הוא ירוק או אדום, חמוץ או מתוק, נעים למגע, או ערב לחיך, כולם בלי יוצא מין הכלל מוגדרים כחומר. אז מה בעצם מבדיל בין חומר אחד לשני? לשם כך עלינו להבין ממה מורכב החומר.

## מהי כימיה?

**כימיה (Chemistry)** היא המדע העוסק בהרכב החומר, מבנהו, תכונותיו והשינויים החלים בו במהלך תגובות כימיות. כימיה היא דיסציפלינה מדעית הקשורה לחקר של אטומים, מולקולות, גבישים וצברים אחרים של חומר, בין אם הם מצויים בהרכב מסוים או בצורה מבודדת.

תחומים שונים בתוך עולם הכימיה מחולקים בדרך כלל לפי סוג החומר הנחקר או לפי סוג המחקר. תחומים אלו כוללות **כימיה אי-אורגנית (Inorganic Chemistry)**, שהיא חקר תרכובות אי-אורגניות, **כימיה אורגנית (Organic Chemistry)**, החוקרת חומרים אורגניים, **ביוכימיה (Biochemistry)**, שהיא חקר החומרים הנמצאים בבעלי החיים, ועוד תחומים שונים כמו כימיה

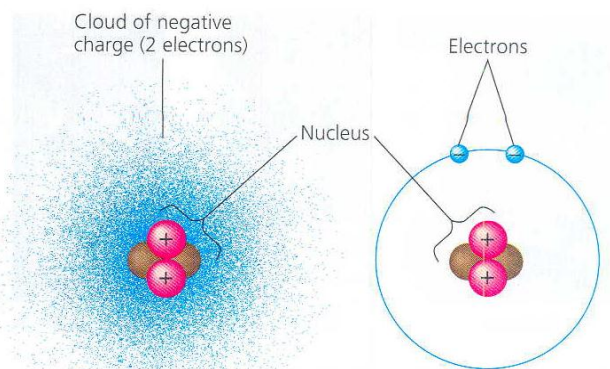
המאה ה-20 באמצעות ניסויים שונים בתחום האלקטרומגנטיות והרדיואקטיביות, גילו פיזיקאים כי האטום הבלתי ניתן לחלוקה הוא גוש של חלקיקים תת-אטומיים. זאת ועוד, בתנאים קיצוניים כגון טמפרטורות גבוהות במיוחד ולחץ קיצוני מונעים מהאטומים להתקיים מלכתחילה, וקיימים רק החלקיקים התת-אטומיים. התחום במדע אשר חוקר את החלקיקים התת-אטומיים הוא פיזיקת החלקיקים, והפיזיקאים העוסקים בו מקווים לגלות את טיבו היסודי האמתי של החומר.

הרכב האטום  
האטום מורכב מתת-חלקיקים קטנים יותר. אלקטרונים, פרוטונים וניטרונים. הפרוטון (Proton) שמתורגם מיוונית, ופירושו "ראשון", הינו נוקליאון (Nucleon) בעל מטען חשמלי חיובי השווה בגודלו ומנוגד בסימנו למטען האלקטרון. ניטרון (Neutron) שפירושו בלטינית "שאינו נוטה לשום צד" הוא נוקליאון ללא מטען חשמלי. ואילו האלקטרון (Electron) מקיף את גרעין האטום שמכיל את הפרוטונים והניטרונים. מטענו החשמלי של האלקטרון שלילי, ושווה בגודלו לזה של הפרוטון. מסתו זניחה ביחס למסת הפרוטון או הנייטרון.



## הרכב האטום

היסודות בגופינו  
על פי הטבלה המחזורית קיימים למעלה ממאה יסודות כימיים, אולם גוף האדם מכיל רק כרבע מהם. ארבעת היסודות העיקריים שמהם אנו בנויים מהווים כ-99.3% מכלל היסודות בגוף, וכוללים 63% מימן, 26% חמצן, 9% פחמן, וכאחוז אחד של חנקן. יסודות מינרליים אחרים נמצאים בכמות הקטנה מאחוז וכוללים סידן, פוספור, גפרית, כלור, ומגנזיום. בנוסף, בגופינו יסודות אחרים בכמות מזערית של פחות ממאת האחוז וכוללים, ברזל, יוד, נחושת, אבץ, מנגן, קובלט, כרומיום, סלניום, פלואור וסיליקון.



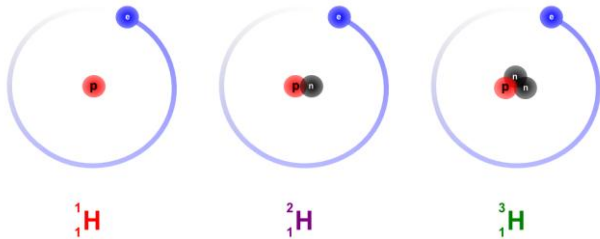
## השוני בין אטומים

הטבלה המחזורית  
התיאור הנוח ביותר של יסוד כימי מוצג בטבלה המחזורית (Periodic Table) המאגדת את היסודות לפי מספרם האטומי. הודות למבנה הייחודי שלה הטורים עמוד 2 מתוך 7

## הטבלה המחזורית

עמוד 2 מתוך 7  
נכתב ונערך ע"י אודי גלבשטיין עבור מגן דוד בישראל. © כל הזכויות שמורות.

הקרני דאוטריום. בריאקציות גרעיניות נוצר איזוטופ נוסף של מימן הקרוי טריטיום, ולו שני נויטרונים בגרעין.



## מולקולה

כאשר אטומים מתחברים להם יחדיו, נוצרת מולקולה, או פרודה. מולקולה עשויה להיות מורכבת ממספר אטומים זהים כמו מולקולת חמצן,  $\text{O}_2$ , מעשרות אטומים שונים כמו מולקולת סוכר,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , או ממיליוני אטומים כמו מולקולת DNA.

מולקולה היא החלק הקטן ביותר (מלבד אטום) של כימיקל טהור השומר על תכונותיו הכימיות, כלומר, היכולת לעבור סדרת תגובות כימיות מוגדרת עם כימיקלים אחרים. מולקולות יכולות להיות ניטרליות מבחינה חשמלית בניגוד ליונים. המולקולות הן בדרך כלל קבוצה של אטומים הקשורים בקשר קוולנטי, כך שהמבנה הכולל ניטרלי מבחינה חשמלית וכל אלקטרוני הקשר מזווגים עם אלקטרונים אחרים בקשר כימי או שהם נמצאים במולקולה כאלקטרונים בלתי קושרים.

אחת מהתכונות העיקריות של מולקולה היא הגיאומטריה שלה המכונה לעתים גאומטריה מולקולרית. בעוד שהמבנה של מולקולות דו-אטומיות, תלת-אטומיות וארבע-אטומיות עשוי להיות טריוויאלי (קווי, זוויתי או פירמידה), המבנה של מולקולות רב-אטומיות, שהן מולקולות המורכבות מ-6 אטומים ומעלה (או מספר יסודות שונים), עשוי להשפיע במידה רבה על המאפיינים הכימיים.

## מספר אטומי

מספר אטומי (Atomic Number) הוא התכונה הבסיסית ביותר של היסוד הכימי. תכונה זו מתארת את מספר הפרוטונים שבגרעין האטום, ולכן גם את מספר האלקטרונים שבאטום במצבו הניטרלי. אופיו הכימי של האטום נקבע לחלוטין על ידי מספר זה. לדוגמה, המספר האטומי של חמצן הוא 8. והמספר האטומי של ברזל הוא 26.

## משקל אטומי

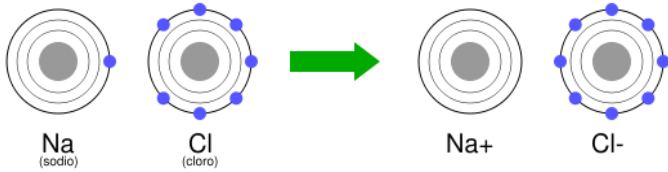
המשקל האטומי של יסוד שווה בקירוב למספר הנוקליאונים של האטום. מספר הפרוטונים והנויטרונים גם יחד קובע את המשקל האטומי של האטום. משקל האלקטרונים קטן פי 1820 ממשקל הפרוטון או הנויטרון ולכן זניח. לפיכך, משקלו של אטום חמצן שמספרו 8 יהיה שווה למספר הפרוטונים (8) ועוד מספר הנויטרונים (8), מסה השווה ל-16. יחידות המסה האטומית היא דלתון, הידועה גם כיחידת מסה אטומית, ושווה ל-1.66 כפול 10 בחזקת -27- קילוגרם.

## איזוטופ

למדנו שהאטום בנוי מגרעין, המורכב מפרוטונים ונויטרונים, ומאלקטרונים הסובבים סביב אותו. למדנו גם כי תכונה האטומית המבדילה בין חומר אחד למשנהו, היא מספר הפרוטונים שבגרעין. מספר הנויטרונים שבגרעין, לעומת זאת, יכול להשתנות מבלי לשנות את תכונותיו הכימיות של החומר. הצורה הנפוצה של החומר בטבע היא "הצורה הטבעית" שלו, אך לעתים קרובות ניתן למצוא אטומים של החומר עם מספר שונה של נויטרונים מן הצורה הטבעית. צורה זו של החומר נקראת איזוטופ (Isotope).

בצורה הטבעית של גרעין המימן, למשל, יש פרוטון אחד, ואין נויטרון. בנוסף קיימים אטומים של מימן להם יש נויטרון בגרעין, בנוסף לפרוטון - זהו איזוטופ של מימן

## תרכובות



לעיתים משתמשים במונח **תרכובת (Compound)** כדי לתאר חומר הבנוי משני אטומים או יותר, הקשורים ביניהם בקשר כימי כלשהו וביחס קבוע של כמויותיהם. לתרכובת תכונות כימיות משל עצמה, השונות מתכונות מרכיביה. למשל, מלח ביסול הוא תרכובת של נתרן וכלור. מספר התרכובות הידועות למדע הוא עצום ועולה מעל ל-30,000,000 תרכובות שונות.

## אלקטרוליטים

אלקטרוליט הוא כל חומר המכיל יונים חופשיים ופועל כמדיום מוליך חשמלי. בדרך כלל אלקטרוליטים הם יונים בתמיסה, ולכן ידועים גם בכינוי "תמיסות יוניות". אלקטרוליטים הם בדרך כלל תמיסות של חומצה, בסיס או מלח. כאשר מציבים אלקטרודות בתמיסה המכילה חומר יוני ויוצרים הפרש מתח חשמלי, האלקטרוליט יוליך זרם חשמלי.

יש להבדיל בין תרכובת לבין תערובת, המכילה מספר אטומים או תרכובות יחדיו, אך ללא קשר כימי ביניהם, כך שכל חומר שומר על תכונותיו הכימיות והיחס בין מרכיביה אינו בהכרח קבוע. כמו כן, יש להבחין בין סגסוגת לבין תרכובת. סגסוגת היא תערובת של מתכות ולא תרכובת. בסגסוגת מתיכים מתכות שונות באופן כזה שהמבנה היסודי של המתכת, גביש המשתרע לכל גודלו של גרעין מתכת, נשאר ללא פגיעה.

היונים האלקטרוליטיים העיקריים בגוף האדם הם נתרן ( $\text{Na}^+$ ), אשלגן ( $\text{K}^+$ ), סידן ( $\text{Ca}^{+2}$ ), מגנזיום ( $\text{Mg}^{+2}$ ), כלוריד ( $\text{Cl}^-$ ), פוספט ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), ומימן קרבונט ( $\text{HCO}_3^-$ ). כולנו זקוקים לאיזון ולשמירה על הפרש מדויק של האלקטרוליטים בין הסביבה הפנים תאית לסביבה החוץ-תאית. הפרשים אלו הנקראים גרדיאנטים אלקטרוליטיים, מווסתים את ההידרציה של הגוף, את חומציות הדם, ובעלי חשיבות עליונה לפעילות עצבית ושרירית, אותם נלמד בהמשך.

## יונים ומלחים

יון הוא אטום או מולקולה בעלי מטען חשמלי שאיבדו או קלטו אלקטרון אחד או יותר. היונים נושאים מטען חשמלי, כיוון שכמות האלקטרונים בהם שונה מכמות הפרוטונים. זאת בשונה מאטום ניטרלי, שבו כמות האלקטרונים והפרוטונים שווה. ביון חיובי, כמות האלקטרונים קטנה מכמות הפרוטונים. הוא נקרא קטיון מפני שהוא נמשך לקתודה (האלקטרודה השלילית). ביון שלילי, כמות האלקטרונים גדולה מכמות הפרוטונים, והוא נקרא אניון מפני שהוא נמשך לאנודה (האלקטרודה החיובית). תהליך הוצאת אלקטרון מאטום, היוצר קטיון, נקרא יינון. התהליך ההפוך, הוספת אלקטרון לאטום היוצרת אניון, נקרא זיקה אלקטרונית. יונים הנמצאים במצב צבירה גזי ידועים כפלזמה.

## איך מודדים?

הצורך להמציא יחידה המגדירה מספר גדול של חלקיקים בא לענות על חוסר הנוחות שנבע מחישובים בכימיה ובפיזיקה, אשר הצריכו שימוש במספרים עצומים. למשל, מיליליטר אחד של מים מכיל כ-30 אלף מיליארד כפול מיליארד מולקולות. היות שבתגובה כימית אטומים מגיבים עם אטומים אחרים, ללא קשר למסתם ולגודלם, נוח להשתמש ביחידה המתייחסת למספר החלקיקים.

**מול (Mol)** הוא יחידת מידה סטנדרטית המגדירה כמות חומר על פי מספר קבוע של חלקיקים. מספר זה ידוע כמספר אבוגדרו. ערכו הוא 6.02 כפול 10 בחזקת 23

## סידור האלקטרונים באטומים השונים

האלקטרונים בניגוד לניטרונים ולפרוטונים אינם נמצאים בגרעין האטום אלא סובבים סביבו במעגלים תלת ממדיים, הנקראים **אורביטלים**. לפי תורת הקוונטים ככל שעולה מספרו האטומי של האטום כך מתרבים המעגלים שסביב גרעינו. לכל קליפת אלקטרונים באטום מספר אלקטרונים מרבי הניתן לאכלוס בה. בראשונה 2 אלקטרונים, בשנייה 8, בשלישית 8, וברביעית 18. כאשר הקליפה מתמלאת הקליפה שמעליה מאוכלסת. חוק זה נקרא "אוקטט". סידור זה, ובמיוחד כמות האלקטרונים בקליפה החיצונית חשוב מאד לצורה שבה עוברים האטומים ריאקציות כימיות.

## קשר כימי

קשר כימי הוא מושג המסייע להבין כיצד **אטומים מחוברים זה לזה**. האנרגיות והמיקום של האלקטרון מגדירות את יכולתו להיקשר לאטום אחר. הפוטנציאלים הללו יוצרים את האינטראקציות המחזיקות את האטומים במולקולות ובגבישים. בתרכובות פשוטות רבות ניתן לעשות שימוש בתיאוריות המסבירות את אופי הקשר הכימי על מנת לנבא את המבנה המולקולארי וההרכב.

## קשר קוולנטי

קשר קוולנטי הנוצר בין שני אטומים כתוצאה **משיתוף הדדי של האלקטרונים בקליפה החיצונית**. האלקטרונים המהווים חלק מקשר קוולנטי נקראים **אלקטרונים קושרים**. קשר קוולנטי יכול להיות לא שוויוני, באופן שהאלקטרונים יתקרבו יותר לאחד האטומים, וייצרו קוטב במולקולה. לקשרים קוולנטיים חשיבות מרכזית בכימיה אורגנית. קשר קוולנטי **משולש** חזק יותר מקשר קוולנטי **כפול**, כמו כן קשר כפול חזק מיחיד.

יחידות חומר למול. מספר זה הוא חסר יחידות ולפיכך הוא יכול לתאר כל סוג של אובייקט יסודי.

המסה של מול אחד של חלקיקים נקראת **מסה מולרית**. לכל יסוד יש מסה מולרית משלו, הנכתבת לעתים קרובות לצידו בטבלה המחזורית. המסה המולרית נמדדת **בגרם למול**. **מספר המולים של חומר בליטר אחד של תמיסה ידוע כמולריות**. מולריות היא היחידה הנפוצה לבטא ריכוז כימי של תמיסה בכימיה פיזיקאלית.

## מצב צבירה

לחומר ארבעה מצבי צבירה אפשריים. **מוצק, נוזל, גז ופלזמה**, הטמפרטורה המשמשת חומרים שונים במעבר ממצב צבירה אחד לאחר מהווה נקודות זיהוי לחומרים אלו, ולכל חומר טמפרטורה אופיינית למעבר בין מצב צבירה אחד למשנהו. לא כל החומרים מופיעים בכל מצבי הצבירה. נייר, לדוגמא, לא יכול להיות גז כי הוא נשרף. הוא משנה את מבנהו הכימי והופך לפיח. מים, לעומת זאת, יכולים להיות בשלושה מצבי הצבירה.

במוצק המולקולות של החומר מסודרות והרווחים ביניהן קטנים מאוד. לחומר במצב זה צורה מוגדרת, להבדיל מנוזל ומגז שלהם אין צורה מוגדרת, ויש להם נפח מוגדר.

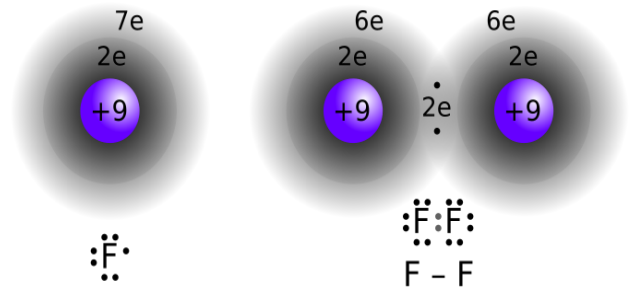
בנוזל מולקולות החומר אינן מסודרות אבל הרווח ביניהן קטן. תנועת המולקולות אינה רבה כמו בגז, אבל אינה מעטה כמו במוצק.

בגז המולקולות אינן צמודות, ישנו ריק ביניהן, והן נעות בחופשיות. גז, בדומה לנוזל, מסוגל לזרום, ואינו מתנגד לשינוי בצורתו. בניגוד לנוזל, לגז אין נפח קבוע, והוא נוטה להתפשט כדי למלא את כל הנפח שהוקצב לו.

בפלזמה חלק או כל האלקטרונים שבחומר מתנתקים ממנו והמולקולות הופכות להיות טעונות חשמלית.

בדרך כלל יצירה או שבירה של קשרים כימיים.

ניתן לתאר תגובה כימית באמצעות שימוש ב**משוואה כימית**. רצף השלבים שבהם הקשרים הכימיים מתארגנים מחדש במהלך התגובה נקרא מנגנון התגובה. ניתן לחזות שתגובה כימית תתרחש במספר שלבים מוגדר, כאשר כל אחד מהם מתרחש במהירות שונה.



## כתיבה כימית

כתיבה כימית היא אוסף של כללים ומוסכמות בהם משתמשים בכימיה לתיאור אטומים, מולקולות, מבנים כימיים אחרים, תגובות כימיות ומנגנונים של תגובות כימיות.

## סמל כימי

הסמל מורכב מאחת או יותר אותיות לטיניות המהוות את קיצור שמו של היסוד, במקרים רבים בלטינית. האות הראשונה תמיד גדולה, ושאר האותיות, אם ישנן, הן קטנות. כגון: Fe, Ag, Ca.

## מספר מסה

מופיע בכתב עילי משמאל לסמל הכימי, ומציין את הכמות הכוללת של הנוקליאונים (הפרוטונים והנייטרונים) הנמצאים בגרעין האטום. את מספר המסה מציינים כשיש צורך להדגיש את סוג האיזוטופ. לדוגמה,  $^4\text{He}$  האיזוטופ השכיח של הליום, ו- $^{14}\text{C}$  שהוא איזוטופ נדיר של פחמן.

## מספר אטומי

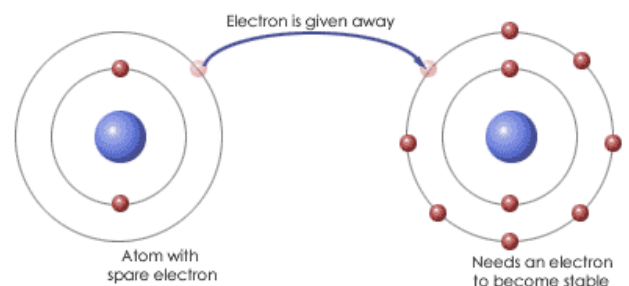
מופיע בכתב תחתי משמאל לסמל היסוד, ומציין את מספר הפרוטונים בגרעין האטום. מספר הפרוטונים של היסוד קובע את מיקומו הסידורי של היסוד בטבלה המחזורית. לדוגמה  $^6\text{C}$  שהוא אטום פחמן, או ברזל,  $^{26}\text{Fe}$  שמספרו האטומי הוא 26.

## קשר יוני

קשר יוני הוא קשר בין יונים בעלי מטענים חשמליים מנוגדים, הנוצר למשל במלח מוצק. קשר זה מאפשר את יצירתו של סריג יוני מסודר, המאפיין את המלחים המוצקים. הקשר היוני הוא קשר חזק יחסית, אך חלש מהקשרים הקוולנטיים, והדבר מתבטא בטמפרטורות ההתכה והרתיחה הגבוהות יחסית של המלחים. הקשר היוני עשוי להתפרק בממסים קוטביים (פולאריים), מאחר שמולקולות המים מצליחות להתגבר על המשיכה בין היונים החיוביים ליונים השליליים. כך, למשל, נמס מלח השולחן במים. החומר היוני מתמוסס ונוצרים יונים ניידים בתמיסה, מסיבה זו תמיסת מלח מוליכה חשמל.

## תגובה כימית

תגובה כימית היא שינוי של כימיקל באמצעות אינטראקציה עם כימיקל אחר, או כתוצאה מאינטראקציה עם אנרגיה. תגובה כימית יכולה להתרחש באופן טבעי או להתבצע במעבדה על ידי כימאים בכלים ייחודיים. התגובה יכולה להסתיים ב**יצירה**, **פירוק** או **ארגון מחדש של המולקולות**. תגובות כימיות כוללות



## יונים

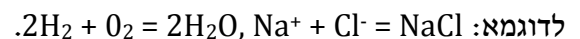
המטען החשמלי של היון מיוצג באמצעות סימן פלוס למטען חיובי או סימן מינוס למטען שלילי. הסימן נכתב מימין ליון ובכתב עילי. לדוגמא:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ .

## נוסחה מולקולארית

נוסחה מולקולרית היא הדרך הבסיסית ביותר לציון כמות האטומים במולקולה. בנוסחה זו נכתבים הסמלים הכימיים של האטומים המרכיבים אותה, ולצידם מספר האטומים מכל סוג. מספר האטומים נכתב מימין לסמל הכימי, בכתב תחתי. לדוגמא:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

## תגובה כימית

בתגובה כימית מוצג השינוי שחל במגיבים ואשר הוביל ליצירת התוצרים. בין המגיבים והתוצרים מוצג חץ אופקי המציין את התרחשות התגובה.



## אנרגיה כימית

תגובה כימית מלווה תמיד בהגדלת או הקטנת כמות האנרגיה שבמערכת. כמות אנרגיה מסוימת עוברת בסביבת המגיבים בצורה של חום, רעש, או אור, ובאופן זה תוצרי התגובה עשויים להכיל יותר או פחות אנרגיה מאשר המגיבים. תגובה כימית היא **אקסותרמית** אם במצב הסופי יש במערכת פחות אנרגיה מאשר במצב ההתחלתי, כלומר היה מעבר אנרגיה מהמערכת לסביבה. התגובה היא **אנדותרמית** כאשר יש במערכת יותר אנרגיה מאשר במצב ההתחלתי, כלומר היה מעבר אנרגיה מהסביבה למערכת.