עודכן לאחרונה: November 1, 2026

🗺️ מפת דרכים לארבע שנים · שנה 1, סתיו

על הקורס

לקורס החינמי הזה יש 5 יחידות ו-3 מעבדות. אלה המספרים האמיתיים, לא תוכנית ארוכה יותר שקוצרה.

בדיקה היא מספר או תוצאת קוד בעמוד קורס שסקריפט מחשב מחדש לפני הפרסום. המספר המודפס והמספר שחושב מחדש חייבים להתאים.

זהו מתווה של קורס חינמי ללימוד עצמי שנכתב על ידי Saving Planets. הוא אינו קורס אוניברסיטאי, אינו מעניק נקודות זכות אקדמיות, ואף מוסד לימודים אינו מעורב בו.

ההיקף שלו עוקב אחרי הסמסטר הראשון של כימיה כללית במכללה, כפי שהוא נלמד בחומרים פתוחים כמו OpenStax Chemistry 2e ו־MIT OpenCourseWare, שאליהם אנחנו מקשרים לאורך הקורס. הארגונים האלה אינם מאשרים את הדף הזה.

עברו עליו לפי הסדר. בכל יחידה יש מטרות, רעיונות מרכזיים, משוואות, דוגמאות שלב אחר שלב, תרגול עם תשובות, טעויות נפוצות, כרטיסיות ובוחן. ההתקדמות שלכם נשמרת רק בדפדפן הזה.

איך הקורס הזה עוזר להציל את כדור הארץ

הכימיה עומדת מאחורי רבים מהפתרונות ב־Saving Planets: מדידת גזי חממה ממסלול, בדיקת מים, הפיכת CO_2 לאבן ובניית דלקים ורקטות נקיים יותר.

כל יחידה מסתיימת בקטע קצר עם מקורות שמראה איך הרעיונות שלה עוזרים גם לאנשים וגם לטבע.

למורים

אפשר ללמד את הקורס הזה, או לתת לתלמיד לעבור אותו לבד. הוא חינם. Saving Planets לא נותנת ציון ולא נקודות זכות.

- העמוד הזה הוא כל הקורס: 5 יחידות ו-3 מעבדות (CHEM 110 + CHEM 110L).
- תכננו 15 שבועות, בערך 6 עד 9 שעות בשבוע, כולל שבועות המעבדה.
- עקבו אחרי לוח 15 השבועות. קראו את היחידה, פתרו על הנייר, ואז פתחו את התשובה. בשבוע מעבדה עשו את המעבדה או את הגרסה הביתית.
- בדיקה היא מספר או תוצאת קוד בעמוד שסקריפט מחשב מחדש לפני הפרסום. המספר שרואים והמספר שחושב מחדש חייבים להתאים.
- השתמשו בהדפסת העמוד, או הורידו את מדריך הלימוד ב-PDF. דף הנוסחאות נמצא לקראת הסוף.
- שאלו: איך היחידה הזו עוזרת לאנשים ולכוכב? בכל יחידה יש תיבה ירוקה עם עובדה ומקור.

- העתיקו את תבנית המדריך למורה וכתבו את שם הכיתה, הזמן שיש לכם, והשאלות שתשאלו. פתיחת תבנית המדריך למורה

לפני שמתחילים

ידע מוקדם

- אלגברה: פתרון עבור נעלם אחד, סידור מחדש של נוסחאות, יחסים ואחוזים.
- כתיב מדעי ולוגריתמים (בבסיס 10). תשתמשו ב־log עבור pH ובליעה.
- יחידות: המרת גרמים לקילוגרמים, mL ל־L, °C ל־K.
- מחשבון מדעי. מחשבון הטלפון במצב מדעי מתאים.

איך ללמוד

- קראו את היחידה, סגרו אותה ונסו לפתור לבד את הדוגמאות הפתורות לפני שבודקים כל שלב.
- פתרו כל תרגיל על נייר לפני שפותחים את התשובה. לטעות קודם ולתקן זה מה שמקבע את השיטה.
- שמרו תמיד על היחידות לאורך החישוב. אם הן לא מצטמצמות לתשובה הרצויה, ההצבה שגויה.
- בדקו ספרות משמעותיות: התשובה לא צריכה להיות מדויקת יותר מהמדידה הכי פחות מדויקת שלכם.
- השתמשו בכרטיסיות 10 דקות ביום (תרגול מרווח עדיף על שינון ארוך אחד).
- עשו את הבוחן של היחידה רק כשאתם מרגישים מוכנים. מתחת ל־80 אחוז, חזרו על התפיסות השגויות ונסו שוב מחר.
- הסבירו רעיון אחד בקול בכל יום, כאילו אתם מלמדים אותו. איפה שנתקעים, את זה צריך לחזור וללמוד.

ציוד מעבדה (למעבדות הרטובות)

- מאזניים דיגיטליים (עד 0.001 g)
- מד pH או אלקטרודת pH
- ספקטרופוטומטר או קולורימטר עם קובטות
- ביורטה, פיפטות מדידה וכלים מדודים
- כור היתוך, מכסה, משולש חרס ומבער
- משקפי מגן, כפפות וחלוק מעבדה

לוח זמנים מוצע ל־15 שבועות

כ־6 עד 9 שעות בשבוע: קריאה, תרגילים, ובשבועות המעבדה גם המעבדה.

שבוע	יחידה	נושאים	קריאה
1	תורת האטום ומספרים קוונטיים	אטומים, איזוטופים ומסה אטומית ממוצעת	OpenStax 2.2–2.3
2	תורת האטום ומספרים קוונטיים	אור, פוטונים ומודל בוהר של המימן	OpenStax 6.1–6.2
3	תורת האטום ומספרים קוונטיים	מספרים קוונטיים, מערכי אלקטרונים, מגמות מחזוריות	OpenStax 6.3–6.5
4	סטויכיומטריה	המול, המסה המולרית והנוסחאות	OpenStax 3.1–3.2
5	סטויכיומטריה	איזון משוואות וסטויכיומטריה · מעבדה A	OpenStax 4.1, 4.3

שבוע	יחידה	נושאים	קריאה
6	סטויכיומטריה	מגיב מגביל, תפוקה, מולריות ומיהול · מעבדה B	OpenStax 3.3, 4.4–4.5
7	גאומטריה מולקולרית וקשרים	קשרים יוניים וקוולנטיים, אלקטרושליליות, מבני לואיס	OpenStax 7.1–7.4
8	גאומטריה מולקולרית וקשרים	צורות VSEPR וקוטביות מולקולרית	OpenStax 7.6
9	גאומטריה מולקולרית וקשרים	כוחות בין־מולקולריים · מערך תרגול לאמצע הקורס	OpenStax 10.1
10	מצבי צבירה: גזים ותמיסות	חוקי הגזים וחוק הגז האידיאלי	OpenStax 9.1–9.3
11	מצבי צבירה: גזים ותמיסות	תערובות גזים, לחץ חלקי, תורה קינטית־מולקולרית	OpenStax 9.3–9.5
12	מצבי צבירה: גזים ותמיסות	תמיסות ומסיסות גזים · מעבדה C	OpenStax 11.1–11.3
13	תרמודינמיקה	אנרגיה, חום, קיבול חום סגולי וקלורימטריה	OpenStax 5.1–5.2
14	תרמודינמיקה	אנתלפיה, חוק הס, מבוא לאנטרופיה ולאנרגיית גיבס	OpenStax 5.3, 16.1–16.4
15	חזרה	חזרה, כרטיסיות ומערך תרגול מסכם	כל היחידות

ההתקדמות שלכם

סמנו יחידות ומעבדות כשאתם מסיימים אותן, ועשו את הבחנים. ההתקדמות והציונים נשמרים רק בדפדפן הזה ולעולם לא נשלחים אלינו.

יחידות

תורת האטום ומספרים קוונטיים

ממה עשויים אטומים, איך מסודרים האלקטרונים, ולמה כל יסוד פולט צבעי אור משלו.

מטרות הלמידה

בסוף היחידה הזו תוכלו:

- למצוא פרוטונים, נייטרונים ואלקטרונים מסמל של איזוטופ, ולחשב מסה אטומית ממוצעת.
- להשתמש ב־c = λν וב־E = hν כדי לעבור בין אורך גל, תדירות ואנרגיית פוטון.
- למצוא את אורך הגל של האור הנפלט כשאלקטרון של מימן יורד בין רמות.
- למנות את המספרים הקוונטיים המותרים (n, l, m_l, m_s) ולזהות צירופים בלתי אפשריים.
- לכתוב מערכי אלקטרונים ודיאגרמות אורביטלים, כולל יונים וכתיב מקוצר לפי גז אציל.
- להסביר את המגמות המחזוריות ברדיוס האטומי ובאנרגיית היינון.

מושגי מפתח

- לאטום יש גרעין זעיר של פרוטונים ונייטרונים ואלקטרונים סביבו. המספר האטומי Z סופר פרוטונים; מספר המסה A סופר פרוטונים ונייטרונים יחד.
- איזוטופים הם אטומים של אותו יסוד עם מספר נייטרונים שונה. המסה האטומית בטבלה המחזורית היא ממוצע משוקלל של האיזוטופים המצויים בטבע.
- אור מתנהג כגל (אורך גל λ, תדירות ν) וכחלקיקים הנקראים פוטונים, שכל אחד מהם נושא אנרגיה E = hν.
- לאלקטרונים באטום יכולות להיות רק אנרגיות מסוימות. כשאלקטרון יורד לרמה נמוכה יותר הוא פולט פוטון שהאנרגיה שלו שווה להפרש, ולכן לכל יסוד יש ספקטרום קווים משלו.
- ארבעה מספרים קוונטיים מתארים כל אלקטרון: n (קליפה, 1, 2, 3…), l (צורת תת־הקליפה, מ־0 עד n − 1, המכונה s, p, d, f), m_l (כיוון, מ־−l עד +l) ו־m_s (ספין, +½ או −½).
- עקרון האיסור של פאולי: אין שני אלקטרונים באטום שחולקים את כל ארבעת המספרים הקוונטיים, ולכן אורביטל מכיל לכל היותר שני אלקטרונים, עם ספינים הפוכים.
- עקרון אאופבאו: ממלאים קודם את האורביטלים בעלי האנרגיה הנמוכה ביותר (1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p…). כלל הונד: באורביטלים שווי אנרגיה מציבים אלקטרונים אחד־אחד עם ספינים מקבילים לפני שמזווגים אותם.
- לאורך מחזור האטומים קטנים ואנרגיית היינון בדרך כלל עולה, כי המטען הגרעיני שהאלקטרונים החיצוניים חשים גדל. במורד קבוצה האטומים גדלים ואנרגיית היינון יורדת.

משוואות מפתח

$$c = \lambda\nu$$

מהירות האור = אורך גל × תדירות ($c = 2.998 \times 10^8$ m/s)

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

E=hν=(hc)/()

אנרגיה של פוטון אחד (h = 6.626 × 10⁻³⁴ J·s)

$$E_n = -\frac{k}{n^2}, \qquad k = 2.179 \times 10^{-18}\ \mathrm{J}$$

`E_n=-(k)/(n^2), k=2.179×10^-18\ J`

רמות האנרגיה של בוהר באטום המימן

$$|\Delta E| = k\left(\frac{1}{n_{\text{low}}^2} - \frac{1}{n_{\text{high}}^2}\right)$$

`|Δ E|=k(1n_low^2-1n_high^2)`

אנרגיית הפוטון במעבר בין שתי רמות של מימן

$$\bar{m} = \sum_i (\text{fraction}_i)(m_i)$$

`=_i (fraction_i)(m_i)`

מסה אטומית ממוצעת משכיחות האיזוטופים

דוגמאות פתורות שלב אחר שלב

דוגמה 1.1 באיזה אורך גל פולט אטום מימן כשהאלקטרון שלו יורד מ־n = 3 ל־n = 2?

1. הפרש האנרגיה: |ΔE| = k(1/2² − 1/3²) = 2.179 × 10⁻¹⁸ J × (1/4 − 1/9) = 2.179 × 10⁻¹⁸ J × 5/36 = 3.026 × 10⁻¹⁹ J.
2. סדרו מחדש את E = hc/λ ל־λ = hc/E.
3. λ = (6.626 × 10⁻³⁴ J·s × 2.998 × 10⁸ m/s) ÷ 3.026 × 10⁻¹⁹ J = 6.564 × 10⁻⁷ m.
4. המירו: 6.564 × 10⁻⁷ m = 656 nm.

תשובה: 656 nm, אור אדום. זהו הקו האדום הבוהק בספקטרום של מימן, שבו אסטרונומים משתמשים כדי לאתר גז מימן בחלל.

דוגמה 1.2 כתבו את מערך האלקטרונים של ברזל (Fe, Z = 26) ושל היון Fe²⁺. כמה אלקטרונים לא מזווגים יש ל־Fe?

1. מלאו לפי הסדר עם 26 אלקטרונים: 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d⁶.
2. כתיב מקוצר: לארגון יש 18 אלקטרונים, ולכן Fe = [Ar] 4s² 3d⁶.
3. כלל הונד עבור 3d⁶: חמשת אורביטלי ה־d מקבלים אלקטרון אחד כל אחד, ואז אחד מזדווג. נשארים 4 אלקטרונים לא מזווגים.
4. מתכות מעבר מאבדות קודם את אלקטרוני ה־4s כשהן יוצרות יונים, ולכן Fe²⁺ = [Ar] 3d⁶.

תשובה: Fe = [Ar] 4s² 3d⁶ עם 4 אלקטרונים לא מזווגים; Fe²⁺ = [Ar] 3d⁶.

דוגמה 1.3 כלור הוא 75.76% כלור־35 (34.969 u) ו־24.24% כלור־37 (36.966 u). מהי המסה האטומית הממוצעת שלו?

1. המירו את האחוזים לשברים: 0.7576 ו־0.2424.
2. הכפילו כל מסה בחלק שלה: 0.7576 × 34.969 u = 26.49 u; 0.2424 × 36.966 u = 8.961 u.
3. מחברים: 26.49 u + 8.961 u = 35.45 u.

תשובה: 35.45 u, התואם את הערך של כלור בטבלה המחזורית.

תרגילים

פתרו כל אחד קודם על נייר, ואז בדקו.

1. כמה פרוטונים, נייטרונים ואלקטרונים יש באטום אחד של פחמן־14?

   6 פרוטונים, 8 נייטרונים (14 − 6) ו־6 אלקטרונים.

2. ללייזר ירוק אורך גל של 532 nm. מצאו את התדירות שלו ואת האנרגיה של פוטון אחד.

   $\nu = c/\lambda = (2.998 \times 10^{8}\ \text{m/s}) \div (532 \times 10^{-9}\ \text{m}) = 5.64 \times 10^{14}\ \text{Hz}$. $E = h\nu = 6.626 \times 10^{-34}\ \text{J·s} \times 5.64 \times 10^{14}\ \text{Hz} = 3.73 \times 10^{-19}\ \text{J}$.

3. מנו את ערכי m_l המותרים כאשר $l = 2$.

   +2, +1, 0, −1, −2 (חמישה אורביטלי d).

4. איזה צירוף מספרים קוונטיים בלתי אפשרי: (a) $n = 2, l = 1, m_l = -1$; (b) $n = 2, l = 2, m_l = 0$; (c) $n = 3, l = 0, m_l = 0$?

   (b). l חייב להיות קטן מ־n, ולכן $n = 2$ מאפשר רק $l = 0$ או 1.

5. מהו המספר המרבי של אלקטרונים בקליפה $n = 3$?

   $2n^2 = 2 \times 3^2 = 18$ (3s מכיל 2, 3p מכיל 6, 3d מכיל 10).

6. כתבו את מערך האלקטרונים של גופרית ($Z = 16$) וספרו את האלקטרונים הלא מזווגים שלה.

   [Ne] $3s^2\ 3p^4$. ארבעת אלקטרוני ה־3p מתמלאים ↑↓ ↑ ↑, ולכן 2 לא מזווגים.

7. מה גדול יותר, אטום נתרן או אטום כלור? למה?

   נתרן. שניהם במחזור 3, אבל לכלור יש עוד 6 פרוטונים שמושכים את אותה קליפת אלקטרונים קרוב יותר.

תפיסות שגויות נפוצות

מיתוס: האלקטרונים מקיפים את הגרעין במעגלים מסודרים, כמו כוכבי לכת.

בפועל: אורביטל הוא אזור שבו סביר למצוא אלקטרון, לא מסלול. המעגלים של מודל בוהר מתאימים רק לרמות האנרגיה של מימן.

מיתוס: אלקטרוני ה־4s נשארים במקומם כשמתכת מעבר יוצרת יון, כי 4s התמלא ראשון.

בפועל: מתכות מעבר מאבדות את אלקטרוני ה־4s לפני ה־3d. Fe^{2+} הוא $[Ar]\ 3d^6$, לא $[Ar]\ 4s^2\ 3d^4$.

מיתוס: לאור בתדירות גבוהה יותר יש אורך גל ארוך יותר.

בפועל: תדירות ואורך גל ביחס הפוך ($c = \lambda\nu$). תדירות גבוהה יותר פירושה אורך גל קצר יותר ויותר אנרגיה לכל פוטון.

מיתוס: המסה האטומית בטבלה המחזורית היא המסה של כל אטום של היסוד.

בפועל: הטבלה מציגה ממוצע משוקלל של האיזוטופים הטבעיים. לכל אטום בודד יש את המסה של האיזוטופ שלו.

כרטיסיות

מספר אטומי (Z)

מספר הפרוטונים בגרעין; הוא מגדיר את היסוד.

איזוטופ

אטומים של אותו יסוד שמספר הנייטרונים בהם שונה.

$E = h\nu$

האנרגיה של פוטון שווה לקבוע פלאנק כפול התדירות שלו.

עקרון האיסור של פאולי

אין שני אלקטרונים באטום עם אותם ארבעה מספרים קוונטיים; לכל היותר שניים לאורביטל.

כלל הונד

למלא אורביטלים שווי אנרגיה אחד־אחד, עם ספינים מקבילים, לפני הזיווג.

ערכי l מותרים

מ-0 עד $n - 1$ ($s = 0, p = 1, d = 2, f = 3$).

אנרגיית יינון

האנרגיה הדרושה להוצאת אלקטרון מאטום בפאזה גזית; עולה לאורך מחזור.

ספקטרום קווים

אוסף אורכי הגל שיסוד פולט; טביעת אצבע שמשמשת לזיהוי שלו.

בוחן לבדיקה עצמית

1. איזה פוטון נושא הכי הרבה אנרגיה?

- אור אדום, 700 nm
- אור ירוק, 530 nm
- אור על־סגול, 250 nm
- אור אינפרה־אדום, 1,000 nm

אור על־סגול, $\lambda = hc/E$. 250 nm, ולכן לאורך הגל הקצר ביותר (250 nm) יש הכי הרבה אנרגיה.

2. כמה אורביטלים יש בתת־קליפה p?

1

3

5

7

3. $l = 1$ נותן $m_l = -1, 0, +1$: שלושה אורביטלים.

3. מהו מערך האלקטרונים של חמצן (Z = 8) במצב היסוד?

$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

$1s^2\ 2s^4\ 2p^2$

$1s^2\ 2p^6$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$. $2 + 2 + 4 = 8$ אלקטרונים, הממלאים את 1s, אחר כך 2s ואחר כך 2p.

4. לאורך מחזור 3, מ־Na עד Ar, אנרגיית היינון הראשונה בדרך כלל…

יורד

עולה

נשאר אותו דבר

יורד לאפס ב־Ar

עולה. המטען הגרעיני גדל בעוד הקליפה נשארת אותה קליפה, ולכן האלקטרונים מוחזקים חזק יותר.

5. איזה צירוף מספרים קוונטיים מותר?

$n = 1, l = 1$

$n = 3, l = 2, m_l = -3$

$n = 4, l = 3, m_l = +2$

$n = 2, l = 0, m_l = +1$

$n = 4, l = 3, m_l = +2$. עבור $l = 3$, m_l יכול לנוע בין -3 ל־$+3$, ו־$l = 3$ קטן מ־$n = 4$.

לנסות שוב את הבוחן

איך זה עוזר להציל את כדור הארץ

כל גז בולע ופולט אור באורכי גל משלו, וזה הרעיון שמאחורי ספקטרום הקווים האטומי. ספקטרומטרים בלוויינים משתמשים בטביעות האצבע האלה כדי למדוד גזים ממסלול.

המכשיר EMIT של נאס"א בתחנת החלל הבינלאומית משתמש בספקטרוסקופיית הדמיה כדי לאתר פלומות מתאן גדולות, וכך עוזר לאנשים למצוא ולתקן דליפות. זה מגן על האקלים, לטובת אנשים וטבע כאחד.

הלוויין OCO-2 של נאס"א מודד פחמן דו־חמצני לפי כמות אור השמש שה־CO_2 בולע באורכי גל מסוימים.

ב־EMIT: Saving Planets: מתאן ממסלול · OCO-2: מדידת CO_2

מקורות: מדעי כדור הארץ של נאס"א: שינויי אקלים (באנגלית) (https://science.nasa.gov/climate-change/)

מקורות לימוד חינמיים

- OpenStax Chemistry 2e, 6.3 Development of Quantum Theory (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/6-3-development-of-quantum-theory): פרק מספר לימוד חינמי עם דוגמאות ותרגילים בסוף הפרק.
- OpenStax Chemistry 2e, 6.4 Electron Configurations (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/6-4-electronic-structure-of-atoms-electron-configurations): אאופבאו, כלל הונד וחריגים.
- PhET: Build an Atom (https://phet.colorado.edu/en/simulations/build-an-atom): סימולציה חינמית: הוסיפו פרוטונים, נייטרונים ואלקטרונים.
- PhET: Models of the Hydrogen Atom (https://phet.colorado.edu/en/simulations/models-of-the-hydrogen-atom): להשוות בין מודל בוהר למודל הקוונטי.
- MIT OpenCourseWare 5.111SC Principles of Chemical Science (באנגלית) (https://ocw.mit.edu/courses/5-111sc-principles-of-chemical-science-fall-2014/): הרצאות וידאו ודפי תרגילים חינמיים.

סיימתי את היחידה הזו

סטויכיומטריה

המתמטיקה של תגובות כימיות: ספירת אטומים בשקילה, איזון משוואות וחיזוי כמה תוצר מקבלים. תשתמשו בזה בהמשך לבעירה ולהנעת רקטות.

מטרות הלמידה

בסוף היחידה הזו תוכלו:

- להמיר בין מסה, מולים ומספר חלקיקים בעזרת מסה מולרית ומספר אבוגדרו.
- איזון משוואות כימיות בניסוי וטעייה, כולל תגובות בעירה.
- להשתמש ביחסי מולים כדי למצוא מסה של תוצר או מגיב.
- לזהות את המגיב המגביל ולחשב תפוקה תאורטית ותפוקה באחוזים.
- לחשב מולריות ולפתור בעיות מיהול.

מושגי מפתח

- מול הוא 6.02214076 × 10²³ חלקיקים (מספר אבוגדרו, מדויק לפי ההגדרה). המסה המולרית ב־g/mol שווה למסת הנוסחה ביחידות מסה אטומית.
- במשוואה מאוזנת יש אותו מספר אטומים מכל סוג בשני הצדדים. שנו רק את המקדמים, לעולם לא את המספרים התחתונים.
- המקדמים נותנים יחסי מולים, לא יחסי מסות. המירו תמיד גרמים למולים לפני השימוש.
- המגיב המגביל נגמר ראשון וקובע את כמות התוצר המרבית (התפוקה התאורטית). התפוקה באחוזים משווה בין מה שקיבלתם בפועל לבין המקסימום הזה.
- מולריות (M) היא מספר המולים של המומס לליטר תמיסה. מיהול שומר על מספר המולים של המומס, ולכן $M_1V_1 = M_2V_2$.
- בבעירה מלאה פחמימן מגיב עם חמצן ונותן פחמן דו־חמצני ומים. החמצן מגיע מהאוויר, ולכן ה־CO_2 שנוצר שוקל יותר מהדלק שנשרף.

משוואות מפתח

$$n = \frac{m}{M}$$

```
n=m/M
```

מולים = מסה ÷ מסה מולרית

$$N = n\,N_A, \qquad N_A = 6.02214076 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$$

```
N=n N_A, N_A=6.02214076×10^23\ mol^-1
```

מספר החלקיקים

$$\text{percent yield} = \frac{\text{actual yield}}{\text{theoretical yield}} \times 100\%$$

```
percent yield= yieldtheoretical yield×100\%
```

תפוקה באחוזים

$$M = \frac{n_{\text{solute}}}{V_{\text{solution}}\ (\text{L})}$$

```
M=_soluteV_solution\ (L)
```

מולריות

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

```
M_1V_1=M_2V_2
```

מיהול

דוגמאות פתורות שלב אחר שלב

דוגמה 2.1 מתאן בוער: $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$. אזנו את המשוואה, ואז מצאו את מסת ה־CO_2 שנוצרת משריפת 1.00 kg מתאן.

1. איזון C: $1\ CH_4$ נותן $1\ CO_2$. איזון H: 4 H דורשים $2\ H_2O$. איזון O: 2 (ב־CO_2) + 2 (ב־$2\ H_2O$) = 4 אטומי O, ולכן $2\ O_2$.
2. מאוזנת: $CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$.
3. מולי CH_4: $1000\ \text{g} \div 16.04\ \text{g/mol} = 62.34\ \text{mol}$.
4. יחס מולים $CH_4 : CO_2 = 1 : 1$, ולכן $62.34\ \text{mol}\ CO_2$.
5. מסת CO_2: $62.34\ \text{mol} \times 44.01\ \text{g/mol} = 2{,}744\ \text{g}$.

תשובה: כ־2.74 kg של CO_2 מ־1.00 kg מתאן. המסה הנוספת היא חמצן שנלקח מהאוויר.

דוגמה 2.2 מנועי רקטה של מימן–חמצן פועלים לפי $2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$. אם $10.0\ \text{g}$ של H_2 מגיבים עם $64.0\ \text{g}$ של O_2, מי המגביל, כמה מים נוצרים ומה נשאר?

1. מולים: $H_2 = 10.0\ \text{g} \div 2.016\ \text{g/mol} = 4.960\ \text{mol}$; $O_2 = 64.0\ \text{g} \div 32.00\ \text{g/mol} = 2.000\ \text{mol}$.
2. כדי לנצל את כל $2.000\ \text{mol}$ ה־O_2 צריך $2 \times 2.000 = 4.000\ \text{mol}$ של H_2. יש לכם $4.960\ \text{mol}$, ולכן O_2 נגמר ראשון: O_2 הוא המגביל.
3. מים: $2\ \text{mol}\ H_2O$ לכל מול O_2, ולכן $4.000\ \text{mol}\ H_2O \times 18.02\ \text{g/mol} = 72.1\ \text{g}$.
4. נותר: $4.960 - 4.000 = 0.960\ \text{mol}\ H_2 \times 2.016\ \text{g/mol} = 1.94\ \text{g}$ של H_2.
5. בדיקה: $72.1\ \text{g} + 1.94\ \text{g} = 74.0\ \text{g}$, כמו $64.0\ \text{g} + 10.0\ \text{g}$. המסה נשמרת.

תשובה: O_2 הוא המגביל; נוצרים $72.1\ \text{g}$ מים ונותרים $1.94\ \text{g}$ של H_2.

דוגמה 2.3 איך מכינים $250.0\ \text{mL}$ של NaOH בריכוז $0.100\ \text{M}$ מתמיסת אם בריכוז $1.00\ \text{M}$?

1. השתמשו ב־$M_1V_1 = M_2V_2$ עם $M_1 = 1.00\ M$, $M_2 = 0.100\ M$, $V_2 = 250.0\ mL$.
2. $V_1 = (0.100\ M \times 250.0\ mL) \div 1.00\ M = 25.0\ mL$.
3. מדדו 25.0 mL תמיסת אם בפיפטה מדודה לתוך בקבוק מדידה של 250.0 mL והוסיפו מים עד הסימן.

תשובה: 25.0 mL של תמיסת אם, מדוללים ל־250.0 mL.

תרגילים

פתרו כל אחד קודם על נייר, ואז בדקו.

1. אזנו: $C_3H_8 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ (בעירת פרופאן).

   $C_3H_8 + 5\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ H_2O$.

2. אזנו את בעירת האוקטאן, C_8H_{18}.

   $2\ C_8H_{18} + 25\ O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 18\ H_2O$.

3. מהי המסה המולרית של אוקטאן, C_8H_{18}?

   $8 \times 12.011 + 18 \times 1.008 = 114.23\ g/mol$.

4. כמה מולקולות יש ב־18.02 g מים?

   $18.02\ g \div 18.02\ g/mol = 1.000\ mol$, כלומר 6.022×10^{23} מולקולות.

5. מהי המולריות של 5.844 g NaCl שהומסו ל־250.0 mL תמיסה?

   $5.844\ g \div 58.44\ g/mol = 0.1000\ mol$; $0.1000\ mol \div 0.2500\ L = 0.4000\ M$.

6. 25.0 mL של HCl בריכוז 6.00 M מדוללים ל־150.0 mL. מהו הריכוז החדש?

   $M_2 = (6.00\ M \times 25.0\ mL) \div 150.0\ mL = 1.00\ M$.

7. התפוקה התאורטית של תגובה היא 72.1 g, אבל אספתם 65.0 g. מהי התפוקה באחוזים?

   $65.0 \div 72.1 \times 100\% = 90.2\%$.

תפיסות שגויות נפוצות

מיתוס: המגיב בעל המסה הקטנה יותר הוא המגביל.
בפועל: השוו את המולים ליחס המולים. בדוגמת הרקטה ל־H_2 הייתה מסה קטנה יותר, אבל O_2 היה המגביל.

מיתוס: אפשר לאזן משוואה על ידי שינוי המספרים התחתונים, למשל לכתוב H_2O_2 במקום H_2O.
בפועל: המספרים התחתונים מגדירים את החומר. שינוי שלהם יוצר חומר אחר. שנו רק מקדמים.

מיתוס: שריפת 1 kg דלק לא יכולה ליצור יותר מ־1 kg תוצרים.
בפועל: החמצן מהאוויר מצטרף לדלק, ולכן התוצרים שוקלים יותר מהדלק לבדו (המסה הכוללת עדיין נשמרת).

מיתוס: מולריות משתמשת בנפח המים שהוספו.

בפועל: מולריות משתמשת בנפח הסופי של התמיסה, ולכן ממלאים את בקבוק המדידה עד הסימן.

כרטיסיות

מול

$6.02214076 \times 10^{23}$ חלקיקים (ערך מדויק).

מסה מולרית

המסה של מול אחד של חומר, ב־g/mol.

מגיב מגביל

המגיב שנצרך ראשון; הוא קובע את התפוקה התאורטית.

תפוקה תאורטית

כמות התוצר המרבית הצפויה לפי המגיב המגביל.

מולריות

מולי מומס לליטר תמיסה (mol/L).

מיהול

$M_1V_1 = M_2V_2$; מולי המומס נשארים אותו דבר.

בעירה מלאה של פחמימן

דלק $+ O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$.

יחס מולים

היחס בין המקדמים במשוואה מאוזנת.

בוחן לבדיקה עצמית

1. כמה מולים יש ב־88.0 g של CO_2 (44.01 g/mol)?

0.500 mol

1.00 mol

2.00 mol

3.87×10^{3} mol

2.00 mol. 88.0 g ÷ 44.01 g/mol = 2.00 mol.

2. בתגובה $C_3H_8 + 5\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ H_2O$, כמה מולי O_2 מגיבים עם 2 mol של C_3H_8?

5

10

2.5

7

10. היחס הוא $5\ O_2$ לכל C_3H_8, ולכן $2 \times 5 = 10$ mol.

3. מה $M_1V_1 = M_2V_2$ שומר קבוע?

נפח

ריכוז

מולי המומס

מסת המים

מולי המומס. הוספת ממס משנה את הנפח ואת הריכוז, אבל לא את מספר המולים של המומס.

4. התפוקה התאורטית נקבעת לפי…

המגיב העודף

המגיב המגביל

הזרז

התוצר הכבד ביותר

המגיב המגביל. התוצר מפסיק להיווצר כשהמגיב המגביל נגמר.

5. מהי המסה המולרית של H_2O?

10.0 g/mol

16.00 g/mol

17.01 g/mol

18.02 g/mol

$2 \times 1.008 + 16.00 = 18.02$ g/mol. 18.02 g/mol.

לנסות שוב את הבוחן

איך זה עוזר להציל את כדור הארץ

סטויכיומטריה היא הדרך שבה מהנדסים ומדעני אקלים הופכים צריכת דלק לפליטות. כפי שמראה הדוגמה הפתורה, שריפת 1 kg מתאן משחררת כ־2.74 kg של CO_2.

אותה מתמטיקה קובעת את כמויות ההדף של רקטות, משווה דלקים נקיים יותר ובודקת כמה CO_2 פרויקט לכידה מסלק.

הסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה מציינת שפחמן דו־חמצני נכנס לאטמוספרה בעיקר משריפת דלקים מאובנים, פסולת מוצקה ועץ. ספירה מדויקת שלו היא הצעד הראשון להפחתתו, וזה מגן גם על אנשים וגם על מערכות אקולוגיות.

ב־Carbfix Saving Planets: הפיכת CO_2 לאבן · תוכנית ארטמיס

מקורות: EPA האמריקנית: סקירה של גזי החממה (באנגלית) (https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases) · נאס"א גלן: דחף של רקטה (לתלמידים, באנגלית) (https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rockth.html)

מקורות לימוד חינמיים

- OpenStax Chemistry 2e, פרק 3: Composition of Substances and Solutions (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/3-introduction): מולים, נוסחאות ומולריות.
- OpenStax Chemistry 2e, 4.3 Reaction Stoichiometry (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/4-3-reaction-stoichiometry): יחסי מולים ותפוקות עם דוגמאות.
- PhET: Balancing Chemical Equations (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-chemical-equations): תרגלו איזון עם משוב מיידי.
- PhET: Reactants, Products and Leftovers (https://phet.colorado.edu/en/simulations/reactants-products-and-leftovers): ראו מגיבים מגבילים באופן חזותי.
- האקדמיה של קהאן: כימיה (https://www.khanacademy.org/science/chemistry): סרטונים ותרגול חינמיים בסטויכיומטריה.

סיימתי את היחידה הזו

גאומטריה מולקולרית וקשרים

למה אטומים נקשרים, איך משרטטים מולקולות, אילו צורות הן מקבלות, והכוחות בין מולקולות שקובעים אם משהו גז, נוזל או מוצק.

מטרות הלמידה

בסוף היחידה הזו תוכלו:

- לסווג קשרים ליוניים, קוולנטיים קוטביים או קוולנטיים לא קוטביים בעזרת אלקטרושליליות.
- לשרטט מבני לואיס ולבדוק אותם בעזרת מטען פורמלי.
- לחזות את גאומטריית זוגות האלקטרונים ואת הגאומטריה המולקולרית בעזרת תורת VSEPR.
- לקבוע אם מולקולה קוטבית לפי הקשרים והצורה שלה.
- לדרג חומרים לפי נקודת רתיחה בעזרת כוחות בין־מולקולריים.

מושגי מפתח

- קשרים יוניים נוצרים כשאלקטרונים עוברים בין אטומים בעלי אלקטרושליליות שונה מאוד (למשל Na ו־Cl). קשרים קוולנטיים חולקים זוגות אלקטרונים.
- אלקטרושליליות היא המשיכה של אטום לאלקטרונים משותפים. שיתוף לא שווה יוצר קשר קוטבי עם מטענים חלקיים δ+ ו־δ−.
- מבני לואיס מציגים אלקטרוני ערכיות כקשרים וכזוגות חופשיים. רוב האטומים בקבוצות הראשיות מסיימים עם שמונה אלקטרונים סביבם (כלל האוקטט); מימן מסיים עם שניים.
- מטען פורמלי עוזר לבחור את מבנה לואיס הטוב ביותר: הטוב ביותר הוא זה שהמטענים הפורמליים בו קרובים ככל האפשר לאפס.
- VSEPR: קבוצות אלקטרונים (קשרים וזוגות חופשיים) סביב אטום מרכזי מתרחקות זו מזו ככל האפשר. 2 קבוצות: קווית, 180°. 3: משולשת מישורית, 120°. 4: טטראדרית, 109.5°. 5: דו־פירמידה משולשת. 6: אוקטהדרית.
- זוגות חופשיים תופסים יותר מקום מקשרים, ולכן מקטינים את זוויות הקשר: מים כפופים בכ־104.5°, ואמוניה היא פירמידה משולשת בכ־107°.
- מולקולה קוטבית אם הדיפולים של הקשרים שלה אינם מבטלים זה את זה. ל־CO_2 יש קשרים קוטביים אבל הוא קווי, ולכן בסך הכול אינו קוטבי; H_2O כפופה, ולכן היא קוטבית.
- כוחות בין־מולקולריים, מהחלש לחזק בגדלים דומים: כוחות הנפיצה של לונדון (כל המולקולות, חזקים יותר עם יותר אלקטרונים), דיפול–דיפול (מולקולות קוטביות), קשרי מימן (H הקשור ל־N, O או F). כוחות חזקים יותר פירושם נקודות רתיחה גבוהות יותר.

משוואות מפתח

$$\mathrm{FC} = V - N - \frac{B}{2}$$

FC=V-N-B/2

מטען פורמלי: = V אלקטרוני ערכיות, = N אלקטרונים שאינם קושרים, = B אלקטרונים קושרים

$$\Delta\chi = |\chi_A - \chi_B|$$

הפרש אלקטרושליליות; ככל שהוא גדול יותר הקשר קוטבי יותר

דוגמאות פתורות שלב אחר שלב

דוגמה 3.1 שרטטו את מבנה לואיס של CO_2 וחזו את צורתו ואת הקוטביות שלו.

1. ספרו אלקטרוני ערכיות: ל־C יש 4, לכל O יש 6: $4 + 2 \times 6 = 16$.
2. הציבו את C במרכז וחברו כל O בקשר כפול: O=C=O משתמש ב־8 אלקטרונים.
3. הציבו את 8 הנותרים כשני זוגות חופשיים על כל O. עכשיו לכל אטום יש אוקטט.
4. מטענים פורמליים: $C = 4 - 0 - 8/2 = 0$; כל $O = 6 - 4 - 4/2 = 0$. מבנה טוב.
5. שתי קבוצות אלקטרונים על C ואין זוגות חופשיים: קווית, 180°. שני הדיפולים C=O מצביעים לכיוונים הפוכים ומתבטלים.

תשובה: O=C=O, קווית ולא קוטבית בסך הכול, אף שכל קשר קוטבי.

דוגמה 3.2 חזו את הצורה, זווית הקשר והקוטביות של המים.

1. אלקטרוני ערכיות: $2 \times 1 + 6 = 8$.
2. שני קשרי O–H משתמשים ב־4 אלקטרונים; 4 האחרים הם שני זוגות חופשיים על O.
3. ארבע קבוצות אלקטרונים: גאומטריה אלקטרונית טטראדרית. עם שני זוגות חופשיים הצורה המולקולרית כפופה.
4. הזוגות החופשיים דוחקים את הקשרים זה לזה: זווית של כ־104.5°, פחות מ־109.5°.
5. בצורה כפופה הדיפולים של הקשרים לא מתבטלים, ולכן מים קוטביים ויכולים ליצור קשרי מימן.

תשובה: כפופה, כ־104.5°, קוטבית.

דוגמה 3.3 למי נקודת רתיחה גבוהה יותר: מתאן (CH_4) או אוקטאן (C_8H_{18})? למה?

1. שניהם פחמימנים לא קוטביים, ולכן הכוח העיקרי הוא כוחות הנפיצה של לונדון.
2. לאוקטאן יש הרבה יותר אלקטרונים וצורה ארוכה יותר, ולכן כוחות הנפיצה שלו חזקים בהרבה.

תשובה: אוקטאן. בגלל זה אוקטאן נוזלי בטמפרטורת החדר ומתאן הוא גז.

תרגילים

פתרו כל אחד קודם על נייר, ואז בדקו.

1. חזו את הצורה ואת זווית הקשר של NH_3.

   ארבע קבוצות אלקטרונים עם זוג חופשי אחד: פירמידה משולשת, כ־107°.

2. חזו את הצורה של CH_4 וקבעו אם היא קוטבית.

   טטראדרית, 109.5°. ארבעת הדיפולים C–H מתבטלים, ולכן היא לא קוטבית.

3. האם BF_3 קוטבית?

לא. היא משולשת מישורית, עם שלושה קשרי B–F זהים שהדיפולים שלהם מתבטלים.

4. מהי הצורה של SF_6?

אוקטהדרית (שש קבוצות קושרות, אין זוגות חופשיים על S), זוויות קשר של 90°.

5. מצאו את המטען הפורמלי על N ביון האמוניום, NH_4^+.

FC = 5 − 0 − 8/2 = +1.

6. למה H_2O רותח ב־100 °C בעוד H_2S, הכבד יותר, רותח בטמפרטורה נמוכה בהרבה?

מולקולות מים יוצרות קשרי מימן זו עם זו; H_2S לא יכול ליצור קשרי מימן חזקים כאלה, ולכן נדרשת פחות אנרגיה כדי להפריד את המולקולות שלו.

7. האם SO_2 קוטבית או לא קוטבית?

קוטבית. לגופרית יש זוג חופשי, ולכן SO_2 כפופה והדיפולים של הקשרים לא מתבטלים.

תפיסות שגויות נפוצות

מיתוס: מולקולה עם קשרים קוטביים חייבת להיות קוטבית.

בפועל: הצורה חשובה. ל־CO_2 ול־CCl_4 יש קשרים קוטביים אבל צורות סימטריות, ולכן הן לא קוטביות.

מיתוס: רתיחה שוברת את הקשרים שבתוך המולקולות.

בפועל: הרתחת מים מפרידה את מולקולות ה־H_2O זו מזו. קשרי ה־H–O שבתוך כל מולקולה נשארים שלמים.

מיתוס: זוגות חופשיים לא משפיעים על הצורה כי לא רואים אותם בנוסחה.

בפועל: זוגות חופשיים דוחים חזק יותר מקשרים ומכופפים את הצורה, כמו ב־H_2O וב־NH_3.

מיתוס: קשרי מימן הם קשרים לאטומי מימן בכל מולקולה.

בפועל: הם דורשים H הקשור ל־N, O או F, שנמשך לזוג חופשי על N, O או F אחר.

כרטיסיות

אלקטרושליליות

עד כמה חזק אטום מושך אליו אלקטרונים משותפים.

כלל האוקטט

אטומים בקבוצות הראשיות נוטים לסיים עם שמונה אלקטרוני ערכיות.

מטען פורמלי

FC = V − N − B/2; המבנים הטובים ביותר שומרים עליו קרוב לאפס.

VSEPR, 4 קבוצות

טטראדרית, 109.5°.

הצורה של המים

כפופה, כ־104.5°.

קשר מימן

משיכה בין H הקשור ל־N/O/F לבין זוג אלקטרונים חופשי על N/O/F אחר.

כוחות לונדון

משיכה חלשה מדיפולים זמניים; גדלה עם יותר אלקטרונים.

מולקולה קוטבית

הדיפולים של הקשרים אינם מתבטלים בגלל הצורה שלה.

בוחן לבדיקה עצמית

1. מהי הצורה המולקולרית של אטום מרכזי עם 3 קשרים וזוג חופשי 1?

משולשת מישורית

פירמידה משולשת

כפופה

טטראדרית

פירמידה משולשת. ארבע קבוצות אלקטרונים, אחת מהן זוג חופשי: פירמידה משולשת, כמו NH_3.

2. איזו מולקולה אינה קוטבית?

H_2O

NH_3

CO_2

SO_2

CO_2. ב־CO_2 הקווי הדיפולים ההפוכים של הקשרים מבטלים זה את זה.

3. איזה כוח בין־מולקולרי קיים בכל המולקולות?

קשרי מימן

דיפול–דיפול

כוחות לונדון

יון–דיפול

כוחות לונדון. לכל מולקולה יש אלקטרונים שיכולים ליצור דיפולים זמניים.

4. מהי זווית הקשר האידיאלית במולקולה טטראדרית?

90°

109.5°

120°

180°

109.5°. ארבע קבוצות הפרוסות ב־3D בזווית 109.5°.

5. כמה אלקטרוני ערכיות יש במבנה לואיס של CO_2?

12

14

16

22

16. 4 מ־C ועוד 6 מכל O.

לנסות שוב את הבוחן

איך זה עוזר להציל את כדור הארץ

הצורה המולקולרית מסבירה את אפקט החממה. מולקולות כמו CO_2, CH_4 ו־H_2O יכולות להתכופף או להימתח באופן שמשנה את הדיפול שלהן, ולכן הן בולעות את קרינת החום האינפרה־אדומה שכדור הארץ פולט. N_2 ו־O_2, שמרכיבים את רוב האוויר, אינם יכולים.

קשרי מימן הופכים את הקרח לפחות צפוף ממים נוזליים, ולכן קרח צף. אגמים קופאים מלמעלה למטה, ודגים ויצורים אחרים שורדים את החורף במים שמתחת.

כוחות בין־מולקולריים מכוונים גם ניקוי זיהומים: נפט אינו קוטבי ואינו מתערבב עם מים, ולכן דליפות מתפשטות ככתמים על פני המים.

ב־GOSAT-GW :Saving Planets: גזי חממה מהחלל · מרכז האגמים

מקורות: EPA האמריקנית: סקירה של גזי החממה (באנגלית) (https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases)

מקורות לימוד חינמיים

- OpenStax Chemistry 2e, פרק 7: Chemical Bonding and Molecular Geometry (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/7-introduction): מבני לואיס, מטען פורמלי ו־VSEPR.
- OpenStax Chemistry 2e, 7.6 Molecular Structure and Polarity (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/7-6-molecular-structure-and-polarity): צורות ודיפולים עם דוגמאות פתורות.
- OpenStax Chemistry 2e, 10.1 Intermolecular Forces (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/10-1-intermolecular-forces): נפיצה, דיפול–דיפול וקשר מימן.
- PhET: Molecule Shapes (https://phet.colorado.edu/en/simulations/molecule-shapes): בנו מולקולות ב־3D וראו איך זוגות חופשיים משנים את הצורה.
- PhET: Molecule Polarity (https://phet.colorado.edu/en/simulations/molecule-polarity): שנו את האלקטרושליליות וראו את הדיפולים של הקשר ושל המולקולה.

סיימתי את היחידה הזו

מצבי צבירה: גזים ותמיסות

איך גזים מגיבים ללחץ ולטמפרטורה, איך פועלות תערובות גזים, ואיך חומרים (כולל חמצן ו־CO_2) מתמוססים במים.

מטרות הלמידה

בסוף היחידה הזו תוכלו:

- להשתמש בחוקי בויל ושארל ובחוק הגזים המשולב, תמיד בקלווין.
- לפתור בעיות בעזרת חוק הגז האידיאלי, PV = nRT, כולל מסה מולרית מצפיפות.
- להשתמש בחוק דלטון ללחצים חלקיים.
- להסביר את התנהגות הגזים בעזרת התורה הקינטית־מולקולרית.
- לתאר מסיסות ולהשתמש בחוק הנרי לגזים המתמוססים בנוזלים.

מושגי מפתח

- חוקי הגזים דורשים טמפרטורה מוחלטת: T(K) = T(°C) + 273.15.
- בטמפרטורה קבועה הלחץ והנפח ביחס הפוך (בויל). בלחץ קבוע הנפח יחסי לטמפרטורה בקלווין (שארל).
- חוק הגז האידיאלי, PV = nRT, קושר בין לחץ, נפח, מולים וטמפרטורה. ב־0 °C ו־1 atm, מול אחד של גז אידיאלי תופס 22.4 L.
- בתערובת גזים כל גז מפעיל לחץ חלקי משלו, וסכומם הוא הלחץ הכולל (חוק דלטון). אוויר יבש מכיל כ־20.95% חמצן לפי נפח.
- התורה הקינטית־מולקולרית: חלקיקי גז נעים מהר ובאקראי, מתנגשים התנגשויות אלסטיות, והאנרגיה הקינטית הממוצעת שלהם יחסית לטמפרטורה בקלווין.
- תמיסה היא תערובת אחידה. „דומה ממיס דומה”: ממסים קוטביים כמו מים ממיסים חומרים קוטביים ויוניים.
- כמות הגז שמתמוססת בנוזל עולה עם הלחץ החלקי של הגז (חוק הנרי) ובדרך כלל יורדת כשהמים מתחממים.

משוואות מפתח

$$PV = nRT$$

PV=nRT

חוק הגז האידיאלי

$$R = 0.08206\ \frac{\text{L·atm}}{\text{mol·K}} = 8.314\ \frac{\text{J}}{\text{mol·K}}$$

R=0.08206\ ·atmmol·K=8.314\ ·K

קבוע הגזים

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

(P_1V_1)/(T_1)=(P_2V_2)/(T_2)

חוק הגזים המשולב (כמות גז קבועה)

$$P_{\text{total}} = P_A + P_B + \dots, \qquad P_A = x_A\,P_{\text{total}}$$

`P_total=P_A+P_B+, P_A=x_A P_total`

חוק דלטון; x הוא השבר המולרי

$$M = \frac{dRT}{P}$$

`M=dRT/P`

מסה מולרית מצפיפות הגז d

$$C_g = k_H\,P_g$$

`C_g=k_H P_g`

חוק הנרי: ריכוז הגז המומס

דוגמאות פתורות שלב אחר שלב

דוגמה 4.1 איזה נפח תופס 1.00 mol של גז אידיאלי ב־25.0 °C ו־1.00 atm?

1. המירו את הטמפרטורה: 25.0 + 273.15 = 298.2 K.
2. V = nRT/P = 1.00 mol × 0.08206 L·atm/(mol·K) × 298.2 K ÷ 1.00 atm.
3. V = 24.5 L.

תשובה: 24.5 L, מעט יותר מ־22.4 L ב־0 °C, כי גז חם יותר מתפשט.

דוגמה 4.2 בלון מטאורולוגי מכיל 2.00 L של הליום ב־1.00 atm ו־300 K. הוא עולה למקום שבו הלחץ 0.500 atm והטמפרטורה 250 K. מהו נפחו החדש?

1. חוק הגזים המשולב כשמבודדים את V_2: $V_2 = V_1 \times (P_1/P_2) \times (T_2/T_1)$.
2. $V_2 = 2.00\ \text{L} \times (1.00/0.500) \times (250/300)$.
3. $V_2 = 2.00\ \text{L} \times 2 \times 0.8333 = 3.33\ \text{L}$.

תשובה: 3.33 L. הלחץ הנמוך מאפשר לו להתפשט יותר משהקור מכווץ אותו.

דוגמה 4.3 העריכו כמה חמצן מתמוסס במים ב־25 °C החשופים לאוויר ב־1.00 atm. קבוע הנרי של O_2 הוא בערך 1.3×10^{-3} mol/(L·atm).

1. הלחץ החלקי של O_2: $0.2095 \times 1.00\ \text{atm} = 0.21\ \text{atm}$.

2. $C = k_H \times P = 1.3 \times 10^{-3}\ \text{mol/(L·atm)} \times 0.21\ \text{atm} = 2.7 \times 10^{-4}\ \text{mol/L}$.

3. המירו למסה: $2.7 \times 10^{-4}\ \text{mol/L} \times 32.00\ \text{g/mol} = 8.7 \times 10^{-3}\ \text{g/L} = 8.7\ \text{mg/L}$.

תשובה: כ־9 mg חמצן לליטר: כמות קטנה, וזה כל מה שיש לדגים ולשאר החיים במים לנשימה.

תרגילים

פתרו כל אחד קודם על נייר, ואז בדקו.

1. המירו 25 °C ו־40 °C− לקלווין.

   298 K ו־233 K (הוסיפו 273.15).

2. כמה מולי גז ממלאים 10.0 L ב־0 °C (273.15 K) ו־1.00 atm?

   $n = PV/RT = (1.00 \times 10.0) \div (0.08206 \times 273.15) = 0.446\ \text{mol}$.

3. בטמפרטורה קבועה, מה קורה לנפח של גז אם הלחץ מוכפל?

   הוא קטן בחצי (חוק בויל).

4. לגז יש צפיפות של 1.25 g/L ב־0 °C ו־1.00 atm. מצאו את מסתו המולרית.

   $M = dRT/P = 1.25 \times 0.08206 \times 273.15 \div 1.00 = 28.0\ \text{g/mol}$ (מתאים ל־N_2).

5. מכל מכיל 2.0 mol של N_2 ו־0.50 mol של O_2 בלחץ כולל של 5.0 atm. מהו הלחץ החלקי של O_2?

   $x(O_2) = 0.50 \div 2.5 = 0.20$; $P(O_2) = 0.20 \times 5.0\ \text{atm} = 1.0\ \text{atm}$.

6. למה פחית משקה מוגז מאבדת את הגז מהר יותר כשהיא חמה?

   מסיסות גזים יורדת כשהטמפרטורה עולה, ולכן CO_2 מומס בורח מהר יותר.

תפיסות שגויות נפוצות

מיתוס: אפשר להשתמש ב־°C בחוקי הגזים.
בפועל: השתמשו תמיד בקלווין. ב־0 °C הנפח אינו אפס; ב־0 K הוא היה אפס.

מיתוס: 22.4 L/mol נכון לכל גז בכל תנאים.
בפועל: זה נכון רק לגז אידיאלי ב־0 °C ו־1 atm. ב־25 °C זה בערך 24.5 L.

מיתוס: באותה טמפרטורה, מולקולות גז כבדות יותר נעות מהר יותר.
בפועל: באותה טמפרטורה לכל הגזים אותה אנרגיה קינטית ממוצעת, ולכן מולקולות כבדות יותר נעות לאט יותר.

מיתוס: גזים מתמוססים טוב יותר במים חמים, כמו סוכר.
בפועל: רוב הגזים מסיסים פחות במים חמים יותר.

כרטיסיות

חוק הגז האידיאלי

$PV = nRT$.

R

$0.08206\ \text{L·atm/(mol·K)}$ או $8.314\ \text{J/(mol·K)}$.

חוק בויל

$P_1V_1 = P_2V_2$ כאשר n ו־T קבועים.

חוק שארל

$V_1/T_1 = V_2/T_2$ כאשר n ו־P קבועים.

חוק דלטון

הלחץ הכולל הוא סכום הלחצים החלקיים.

חוק הנרי

ריכוז הגז המומס = k_H × הלחץ החלקי.

קלווין

$T(\text{K}) = T(^\circ\text{C}) + 273.15$.

נפח מולרי

22.4 L/mol לגז אידיאלי ב־0 °C ו־1 atm.

בוחן לבדיקה עצמית

1. באיזה סולם טמפרטורה חייבים להשתמש בחישובים של חוקי הגזים?

- צלזיוס
- פרנהייט
- קלווין
- כל אחד מאלה

קלווין. חוקי הגזים יחסיים לטמפרטורה המוחלטת.

2. בלחץ קבוע, גז מחומם מ־200 K ל־400 K. הנפח שלו…

- קטן בחצי
- מוכפל
- נשאר אותו דבר
- גדל פי ארבעה

מוכפל. חוק שארל: V יחסי ל־T בקלווין.

3. אוויר ב־1.00 atm מכיל כ־21% O_2. הלחץ החלקי של O_2 הוא בערך…

0.21 atm

0.79 atm

1.00 atm

21 atm

$P(O_2) = 0.21 \times 1.00$ atm. 0.21 atm.

4. מה קורה לחמצן המומס כשאגם מתחמם?

הוא עולה

הוא יורד

הוא לא משתנה

הוא הופך ל־ CO_2

הוא יורד. מסיסות גזים במים בדרך כלל יורדת עם הטמפרטורה.

5. מהו R ביחידות L·atm/(mol·K)?

8.314

0.08206

22.4

6.022×10^{23}

0.08206. 8.314 הוא הערך ביחידות J/(mol·K).

לנסות שוב את הבוחן

איך זה עוזר להציל את כדור הארץ

הגזים המומסים קובעים מה יכול לחיות במים. מכיוון שמים חמים מכילים פחות חמצן, התחממות של אגמים ונהרות עלולה להלחיץ דגים, וצוותי איכות מים מודדים חמצן מומס כדי להגן עליהם.

חוק הנרי מסביר גם את החמצת האוקיינוסים. כשה־CO_2 באוויר עולה, יותר ממנו מתמוסס במי הים ויוצר חומצה פחמתית. לפי NOAA, האוקיינוס בולע כ־30% מה־CO_2 שנפלט לאטמוספרה, וה־pH של פני האוקיינוס ירד בכ־0.1 מאז המהפכה התעשייתית, עלייה של כ־30% בחומציות.

זה חשוב לאנשים כמו לשוניות: NOAA מציינת שצדפות, אלמוגים ובוני קונכיות אחרים מתקשים במים חומציים יותר, ודיג רב ומקומות עבודה רבים בחופים תלויים בהם.

ב־Saving Planets: מרכז האוקיינוסים · PACE: צבע האוקיינוס ופלנקטון

מקורות: NOAA: החמצת האוקיינוסים (חינוך, באנגלית) (https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification)

מקורות לימוד חינמיים

- OpenStax Chemistry 2e, פרק 9: Gases (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/9-introduction): חוקי הגזים, תערובות ותורה קינטית־מולקולרית.
- OpenStax Chemistry 2e, פרק 11: Solutions and Colloids (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/11-introductio n): מסיסות וחוק הנרי.
- PhET: Gas Properties (https://phet.colorado.edu/en/simulations/gas-properties): שאבו גז, חממו אותו וראו איך הלחץ משתנה.
- NOAA: מקורות על החמצת האוקיינוסים (באנגלית) (https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidificatio n): שיעורים, נתונים ומעבדות על CO_2 במי ים.

סיימתי את היחידה הזו

תרמודינמיקה

אנרגיה כימית: חום, אנתלפיה, למה תגובות מסוימות משחררות אנרגיה, ומבט ראשון על אנטרופיה ואנרגיה חופשית של גיבס.

מטרות הלמידה

בסוף היחידה הזו תוכלו:

- להשתמש ב־q = mcΔT ובקלורימטריה כדי למצוא זרימת חום וקיבול חום סגולי.
- לסווג תהליכים לאקסותרמיים או אנדותרמיים ולתת את הסימן של ΔH.
- להשתמש בחוק הס ובאנתלפיות יצירה תקניות כדי למצוא את ΔH של תגובה.
- לנסח את החוק הראשון של התרמודינמיקה לפי מוסכמת הסימנים בכימיה.
- להשתמש ב־ΔG = ΔH − TΔS כדי לקבוע אם תהליך ספונטני.

מושגי מפתח

- אנרגיה נשמרת (החוק הראשון): ΔU = q + w. בכימיה, q הוא החום שנוסף למערכת ו־w הוא העבודה שנעשית על המערכת.
- תגובות אקסותרמיות משחררות חום לסביבה (ΔH < 0); תגובות אנדותרמיות בולעות חום (ΔH > 0).
- קיבול חום סגולי c הוא החום הדרוש לחימום 1 g ב־1 °C. של המים גבוה, 4.184 J/(g·°C), ולכן אוקיינוסים ואגמים מתחממים ומתקררים לאט.
- אנתלפיה היא פונקציית מצב, ולכן ΔH תלוי רק בהתחלה ובסוף. בגלל זה חוק הס עובד: אפשר לחבר תגובות ולחבר את ערכי ה־ΔH שלהן.
- אנתלפיית היצירה התקנית (ΔH°f) היא שינוי האנתלפיה ביצירת 1 mol של תרכובת מהיסודות שלה במצבם התקני. ליסוד במצבו התקני ΔH°f = 0.
- אנטרופיה (S) מודדת את מידת הפיזור של אנרגיה וחומר. השינוי באנרגיה החופשית של גיבס, ΔG = ΔH − TΔS, שלילי בתהליך ספונטני בטמפרטורה ובלחץ קבועים.

משוואות מפתח

$$q = mc\Delta T$$

```
q=mcΔ T
```

חום לשינוי טמפרטורה

$$q_{\text{lost}} = -q_{\text{gained}}$$

```
q_lost=-q_gained
```

קלורימטריה: החום שהגוף החם מאבד שווה לחום שהגוף הקר מקבל

$$\Delta U = q + w, \qquad w = -P\Delta V$$

```
Δ U=q+w, w=-PΔ V
```

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = \sum n\,\Delta H^\circ_f(\text{products}) - \sum n\,\Delta H^\circ_f(\text{reactants})$$

`Δ H^_rxn= n Δ H^_f(products)- n Δ H^_f(reactants)`

אנתלפיית תגובה מאנתלפיות יצירה

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

`Δ G=Δ H-TΔ S`

אנרגיה חופשית של גיבס

דוגמאות פתורות שלב אחר שלב

דוגמה 5.1 כמה חום נדרש כדי לחמם 250.0 g מים מ־20.0 °C ל־100.0 °C?

1. ΔT = 100.0 − 20.0 = 80.0 °C.
2. q = mcΔT = 250.0 g × 4.184 J/(g·°C) × 80.0 °C = 83,680 J.
3. בקילוג׳אול: 83.7 kJ.

תשובה: 83.7 kJ.

דוגמה 5.2 מצאו את ΔH° של בעירת מתאן, $CH_4(g) + 2\,O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\,H_2O(l)$, בעזרת ערכי ΔH°f: $CH_4(g)$ −74.6, $CO_2(g)$ −393.5, $H_2O(l)$ −285.8 kJ/mol; $O_2(g)$ 0.

1. תוצרים: −393.5 + 2 × (−285.8) = −965.1 kJ.
2. מגיבים: −74.6 + 2 × 0 = −74.6 kJ.
3. ΔH° = −965.1 − (−74.6) = −890.5 kJ.

תשובה: כ־890 kJ− למול מתאן: אקסותרמית מאוד.

דוגמה 5.3 השוו את החום המשתחרר לגרם ממתאן וממימן. עבור $H_2(g) + \tfrac{1}{2}\,O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$, ΔH° = −285.8 kJ.

1. מתאן: 890.5 kJ ÷ 16.04 g = 55.5 kJ/g.
2. מימן: 285.8 kJ ÷ 2.016 g = 141.8 kJ/g.
3. תוצרים: מתאן יוצר CO_2; מימן יוצר רק מים.

תשובה: מימן משחרר בערך פי 2.6 יותר חום לגרם, ושריפתו לא יוצרת CO_2. האם מימן נקי בסך הכול תלוי באופן שבו הופק.

דוגמה 5.4 לתגובה יש ΔH = +40.0 kJ ו־ΔS = +120 J/K. האם היא ספונטנית ב־298 K? מעל איזו טמפרטורה היא נעשית ספונטנית?

1. השתמשו באותן יחידות: ΔS = 0.120 kJ/K.
2. ב־298 K: ΔG = 40.0 − 298 × 0.120 = 40.0 − 35.8 = +4.2 kJ. חיובי, ולכן לא ספונטנית.
3. מציבים ΔG = 0: T = ΔH/ΔS = 40.0 ÷ 0.120 = 333 K.

תשובה: לא ספונטנית ב־298 K; ספונטנית מעל כ־333 K (60 °C).

תרגילים

פתרו כל אחד קודם על נייר, ואז בדקו.

1. כמה חום מעלה 1.00 kg מים ב־10.0 °C?

   q = 1000 g × 4.184 × 10.0 = 41,840 J = 41.8 kJ.

2. האם המסת קרח אנדותרמית או אקסותרמית? מה הסימן של q עבור הקרח?

   אנדותרמי; q חיובי כי הקרח בולע חום.

3. מתכת במסה 50.0 g בטמפרטורה 100.0 °C מוטלת לתוך 100.0 g מים ב־20.0 °C. שניהם מגיעים ל־22.0 °C. מצאו את קיבול החום הסגולי של המתכת.

   החום שהמים קיבלו 100.0 × 4.184 × 2.0 = 836.8 J. המתכת: 50.0 × c × 78.0 = 836.8, ולכן c = 0.215 J/(g·°C).

4. השתמשו בחוק הס: $C(s) + O_2 \rightarrow CO_2$, ΔH = −393.5 kJ; $CO + \tfrac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$, ΔH = −283.0 kJ. מצאו את ΔH של $C(s) + \tfrac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$.

   הפכו את השנייה וחברו: −283.0 + −393.5 = −110.5 kJ.

5. מהו ΔH_f° של $O_2(g)$?

   אפס: זהו יסוד במצבו התקני.

6. לתהליך יש ΔH < 0 ו־ΔS > 0. מתי הוא ספונטני?

   בכל טמפרטורה, כי ΔG = ΔH − TΔS תמיד שלילי.

תפיסות שגויות נפוצות

מיתוס: חום וטמפרטורה הם אותו דבר.

בפועל: טמפרטורה מודדת את האנרגיה הממוצעת של החלקיקים; חום הוא אנרגיה שעוברת. באמבטיה של מים חמימים יש יותר חום מאשר בכוס מים רותחים.

מיתוס: תגובות אקסותרמיות תמיד מתרחשות מעצמן.

בפועל: הספונטניות תלויה ב־ΔG, שכולל את האנטרופיה. תגובות אקסותרמיות מסוימות אינן ספונטניות בטמפרטורות גבוהות.

מיתוס: תגובה ספונטנית היא תגובה מהירה.

בפועל: „ספונטני" מציין את הכיוון, לא את המהירות. הפיכת יהלום לגרפיט היא ספונטנית, אבל איטית מכדי שנבחין בה.

מיתוס: שבירת קשרים משחררת אנרגיה.

בפועל: שבירת קשרים תמיד דורשת אנרגיה. אנרגיה משתחררת כשנוצרים קשרים חדשים וחזקים יותר.

כרטיסיות

q = mcΔT

חום = מסה × קיבול חום סגולי × שינוי הטמפרטורה.

אקסותרמי

משחרר חום; ΔH < 0.

אנדותרמי

בולע חום; ΔH > 0.

חוק הס

ΔH של סכום תגובות הוא סכום ערכי ה־ΔH שלהן.

ΔH°f של יסוד

אפס במצבו התקני.

החוק הראשון

ΔU = q + w; אנרגיה נשמרת.

אנרגיית גיבס

ΔG = ΔH − TΔS; שלילי פירושו ספונטני.

קיבול החום הסגולי של מים

4.184 J/(g·°C).

בוחן לבדיקה עצמית

1. הסימן של ΔH בתגובה אקסותרמית הוא...

חיובי

שלילי

אפס

תלוי בטמפרטורה

שלילי. המערכת מאבדת חום לסביבה.

2. קיבול החום הסגולי של מים הוא…

1.00 J/(g·°C)

4.184 J/(g·°C)

8.314 J/(g·°C)

0.449 J/(g·°C)

4.184 J. 4.184 J/(g·°C) מחממים 1 g מים ב־1 °C.

3. חוק הס עובד כי אנתלפיה היא…

תמיד שלילי

פונקציית מצב

שווה לאנטרופיה

נמדדת בקלוויין

פונקציית מצב. ΔH תלוי רק במצב ההתחלתי ובמצב הסופי.

4. תגובה היא ספונטנית כאשר…

ΔG < 0

ΔG > 0

ΔH > 0

ΔS = 0

ΔG < 0. שינוי שלילי באנרגיית גיבס פירושו שהתהליך יכול להתרחש מעצמו.

5. לכל גרם, איזה דלק משחרר יותר חום כשהוא נשרף למים נוזליים?

מתאן

מימן

הם שווים

אף אחת לא משחררת חום

מימן. כ־142 kJ/g למימן לעומת 55.5 kJ/g למתאן.

לנסות שוב את הבוחן

איך זה עוזר להציל את כדור הארץ

תרמוכימיה היא הנהלת החשבונות של אנרגיה נקייה. השוואת קילוג'אול לגרם ו־CO_2 לקילוג'אול, כמו בדוגמאות הפתורות, מראה למה מימן שהופק באנרגיה נקייה יכול להפחית פליטות.

משרד האנרגיה האמריקני מציין שמימן המשמש בתא דלק מפיק רק מים, ושאפשר להפיק מימן ממקורות רבים, כולל אנרגיית שמש ורוח.

קיבול החום הסגולי הגבוה של המים מאפשר לאוקיינוסים לאגור כמויות עצומות של חום, וזה מייצב את האקלים בחופים לטובת אנשים וחיות בר.

ב־Saving Planets: Sentinel-6B: מעקב אחר גובה פני הים · מרכז תצפית כדור הארץ

מקורות: משרד האנרגיה האמריקני: יסודות דלק המימן (באנגלית) (https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-fuel-basics)

מקורות לימוד חינמיים

- OpenStax Chemistry 2e, פרק 5: Thermochemistry (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/5-introduction): קלורימטריה, אנתלפיה וחוק הס.
- OpenStax Chemistry 2e, פרק 16: Thermodynamics (באנגלית) (https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/16-introduction): אנטרופיה ואנרגיה חופשית של גיבס.
- PhET: Energy Forms and Changes (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-forms-and-changes): ראו איך חום עובר בין גופים.
- MIT OpenCourseWare 3.091 Introduction to Solid-State Chemistry (באנגלית) (https://ocw.mit.edu/courses/3-091-introduction-to-solid-state-chemistry-fall-2018/): הרצאות חינמיות שעוסקות גם בקשרים ובאנרגיה.

סיימתי את היחידה הזו

תרגילים

התרגילים האלה נמצאים בתוך כל יחידה. פתרו על הנייר, ואז פתחו את התשובה.

1. תורת האטום ומספרים קוונטיים
   7 תרגילים
2. סטויכיומטריה
   7 תרגילים
3. גאומטריה מולקולרית וקשרים

7 תרגילים

4. מצבי צבירה: גזים ותמיסות

6 תרגילים

5. תרמודינמיקה

6 תרגילים

המעבדה (CHEM 110L)

המעבדה היא החלק המעשי של הקורס, רכיב של נקודת זכות 1 בתוכנית לימודים טיפוסית במכללה. כאן היא חינמית ולתרגול בלבד.

אתם מיישמים את רעיונות ההרצאה בעזרת חיישנים דיגיטליים, מכשירי מדידה וכלי זכוכית מדויקים. עשו את גרסאות המעבדה הרטובה רק במעבדה בית־ספרית או אקדמית בהשגחה; לכל תרגיל יש גם גרסה ביתית בטוחה או וירטואלית.

מקור בטיחות: האגודה האמריקנית לכימיה: בטיחות כימית (באנגלית) (https://www.acs.org/chemical-safety.html)

מעבדה A: הנוסחה האמפירית של תחמוצת מגנזיום

שבוע 5

מטרה: חממו מגנזיום באוויר, שקלו את התוצר ומצאו את היחס הפשוט ביותר במספרים שלמים בין מגנזיום לחמצן.

$$\frac{n_{\mathrm{Mg}}}{n_{\mathrm{O}}} = \frac{m_{\mathrm{Mg}}/24.31}{m_{\mathrm{O}}/16.00}$$

```
_Mgn_O=_Mg/24.31m_O/16.00
```

חלקו כל כמות מולים בקטנה ביותר, ואז עגלו למספרים שלמים

מהלך הניסוי

1. חממו כור היתוך ריק עם מכסה עד מסה קבועה; קררו ושקלו.
2. הוסיפו רצועה מגולגלת של סרט מגנזיום נקי ושקלו שוב.
3. חממו כשהמכסה פתוח מעט, כדי שאוויר ייכנס אבל העשן לא ייצא, עד שהמתכת מפסיקה לזהור.
4. קררו, הוסיפו כמה טיפות מים וחממו שוב בעדינות (כך כל ניטריד מגנזיום הופך לתחמוצת), ואז חממו חזק.
5. קררו ושקלו. חזרו על החימום עד ששתי שקילות מתאימות בטווח של 0.002 g.

טבלת נתונים

מדידה	מסה (g)
כור היתוך + מכסה	25.120
כור היתוך + מכסה + Mg	25.360
כור היתוך + מכסה + תוצר	25.520
Mg (לפי הפרש)	0.240
חמצן שנוסף	0.160

נתונים לדוגמה לתרגול בלבד.

חישוב לדוגמה

1. מולי Mg = 0.240 g ÷ 24.31 g/mol = 9.87 × 10⁻³ mol.
2. מולי O = 0.160 g ÷ 16.00 g/mol = 1.00 × 10⁻² mol.
3. חלקו בקטן מביניהם: 1.00 Mg, 1.01 O, שמתעגל ל־1 : 1.
4. נוסחה אמפירית: MgO.

בטיחות

- מגנזיום בוער פולט אור חזק מאוד, כולל קרינה על־סגולה. אל תביטו בו ישירות.
- השתמשו במלקחיים; כורי היתוך נשארים חמים זמן רב אחרי שהם מפסיקים לזהור.

- לעולם אל תנסו את זה בבית: שריפות מגנזיום קשות לכיבוי, ומים מחמירים אותן.

חלופה ביתית או וירטואלית

- עשו את אותו חישוב מהרכב באחוזים, כמו במערך התרגול המסכם (40.0% C, 6.71% H, 53.3% O נותן CH_2O).
- בסעיף 3.2 של OpenStax Chemistry 2e יש עוד בעיות נוסחה אמפירית עם תשובות (באנגלית).

OpenStax 3.2 Determining Empirical and Molecular Formulas (באנגלית) https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/3-2-determining-empirical-and-molecular-formulas

הקשר לכדור הארץ: מציאת הנוסחה של תרכובת לא ידועה היא צעד ראשון בזיהוי מזהם, מינרל או חומר חדש.

☐ **השלמתי את המעבדה הזו (רטובה או וירטואלית)**

מעבדה B: טיטרציית חומצה–בסיס ומיהולים

שבוע 6

מטרה: למצוא את הריכוז של תמיסת חומצה מימן כלורית על ידי טיטרציה עם נתרן הידרוקסידי בריכוז ידוע.

$$M_a V_a = M_b V_b \quad (1:1 \text{ acid–base})$$

```
M_aV_a=M_bV_b(1 : 1 acid–base)
```

עבור $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$, מולי החומצה = מולי הבסיס בנקודת השקילות

מהלך הניסוי

1. שטפו את הביורטה במעט NaOH בריכוז 0.1000 M, מלאו אותה ורשמו את הקריאה ההתחלתית בדיוק של 0.01 mL.
2. העבירו בפיפטה 25.00 mL של HCl לבקבוק והוסיפו 3–2 טיפות של האינדיקטור פנולפתלאין.
3. הוסיפו NaOH תוך כדי ערבול. לקראת הסוף הוסיפו טיפה אחר טיפה.
4. עצרו בגוון הוורוד החלש הראשון שנשאר 30 שניות. רשמו את הקריאה הסופית.
5. חזרו עד ששני ניסיונות מתאימים בטווח של 0.10 mL. עם אלקטרודת pH, שרטטו גם pH כפונקציה של הנפח כדי לראות את הקפיצה החדה בנקודת השקילות.

טבלת נתונים

ניסיון	קריאה התחלתית (mL)	קריאה סופית (mL)	NaOH שנוצל (mL)
1 (בקירוב)	0.50	23.10	22.60
2	0.20	22.65	22.45
3	1.05	23.52	22.47

נתונים לדוגמה לתרגול בלבד. חשבו ממוצע של הניסיונות המתאימים (2 ו־3).

חישוב לדוגמה

1. נפח NaOH ממוצע: (22.45 + 22.47) ÷ 2 = 22.46 mL = 0.02246 L.
2. מולי NaOH = 0.1000 mol/L × 0.02246 L = 2.246×10^{-3} mol.
3. התגובה היא 1 : 1, ולכן מולי HCl = 2.246×10^{-3} mol.
4. ריכוז HCl = 2.246×10^{-3} mol ÷ 0.02500 L = 0.08984 M.

בטיחות

- הרכיבו משקפי מגן: NaOH ו־HCl עלולים לפגוע בעיניים ובעור גם כשהם מדוללים.
- אם אחד מהם נוגע בעור, שטפו בהרבה מים והודיעו למדריך.
- מלאו את הביורטה מתחת לגובה העיניים בעזרת משפך, והוציאו את המשפך לפני הקריאה.

חלופה ביתית או וירטואלית

- הסימולציות PhET Acid-Base Solutions ו־pH Scale מאפשרות לבדוק חומצות ובסיסים חזקים וחלשים עם מד pH וירטואלי.
- אינדיקטור ביתי: מיץ כרוב אדום הופך לאדום־ורוד בחומצות כמו חומץ ולירוק בבסיסים כמו תמיסת סודה לשתייה. זה איכותי בלבד.

PhET: Acid-Base Solutions (https://phet.colorado.edu/en/simulations/acid-base-solutions) · PhET: pH Scale (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ph-scale) · PhET: Molarity (https://phet.colorado.edu/en/simulations/molarity)

הקשר לכדור הארץ: pH הוא אחד ממדדי איכות המים החשובים ביותר. הסקר הגאולוגי של ארה"ב מציין שלגשם רגיל יש pH של כ־5.6, ושמים שמתנקזים ממכרה פחם נטוש יכולים להגיע ל־2 pH, חומציים מספיק כדי להרוג דגים במורד הזרם. בית הספר למדעי המים של USGS: pH ומים (באנגלית) (https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/ph-and-water)

☐ **השלמתי את המעבדה הזו (רטובה או וירטואלית)**

מעבדה C: אנליזה ספקטרופוטומטרית של תמיסת צבען

שבוע 12

מטרה: לבנות עקומת כיול מתקני צבען ולהשתמש בה כדי למצוא את הריכוז של דוגמה לא ידועה, בעזרת חוק באר–למברט.

$$A = \varepsilon b c, \qquad A = -\log_{10} T$$

```
A= bc, A=-_10T
```

= A בליעה, ε = מקדם בליעה מולרי, = b אורך המסלול = c, ריכוז = T, חלק האור שעובר (mol/L)

מהלך הניסוי

1. חממו את הספקטרופוטומטר למשך הזמן שבמדריך שלו.
2. סרקו תקן אחד כדי למצוא את אורך הגל שבו הצבען בולע הכי הרבה (λmax).
3. אפסו את המכשיר עם קובטה של הבלנק (הממס, כאן מים).
4. הכינו חמישה תקנים מתמיסת אם במיהול ($M_1V_1 = M_2V_2$).
5. מדדו את הבליעה של כל תקן ב־λmax, ושטפו כל פעם את הקובטה בתמיסה הבאה. החזיקו קובטות בצדדים המחוספסים.
6. מדדו את הדוגמה הלא ידועה באותה דרך.
7. שרטטו בליעה (y) כפונקציה של ריכוז (x), התאימו קו ישר שעובר בראשית, והשתמשו בשיפוע כדי למצוא את ריכוז הדוגמה הלא ידועה.

טבלת נתונים

תקן	ריכוז (µM)	בליעה (אבסורבנס)
1	2.00	0.130
2	4.00	0.261
3	6.00	0.389
4	8.00	0.522
5	10.00	0.650
לא ידועה	?	0.455

נתונים לדוגמה לתרגול בלבד, לא ערך שפורסם עבור צבען אמיתי כלשהו.

חישוב לדוגמה

1. שיפוע הקו שעובר בראשית: כ־0.0650 ל־µM (למשל 10.00 µM ÷ 0.650).
2. עם b = 1.00 cm, ε = 0.0650 µM⁻¹ cm⁻¹ = 6.50 × 10⁴ M⁻¹ cm⁻¹.
3. לא ידועה: c = A ÷ (εb) = 0.455 ÷ 0.0650 µM⁻¹ = 7.00 µM.
4. החלק של האור שהדוגמה הלא ידועה מעבירה: T = 10^(−0.455) = 0.351, או 35.1%.

בטיחות

- הרכיבו משקפי מגן; צבענים רבים מכתימים עור ובגדים.
- נגבו נזילות מיד והרחיקו נוזלים מהמכשיר.
- השליכו את התמיסות לפי הוראות האחראי על המעבדה.

חלופה ביתית או וירטואלית

- PhET Beer’s Law Lab: שנו ריכוז, אורך מסלול ואורך גל, ורשמו את הבליעה כדי לבנות עקומת כיול משלכם.
- גרסה ביתית: הכינו סדרת מיהולים של צבע מאכל בכוסות שקופות זהות ודרגו אותן בעין מול כרטיס לבן. זה מדגים את הרעיון, אבל לא נותן ערכי בליעה אמיתיים.

PhET: Beer’s Law Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/beers-law-lab) · PhET: Concentration (https://phet.colorado.edu/en/simulations/concentration)

הקשר לכדור הארץ: אותו רעיון עוזר ללוויינים להעריך את בריאות האוקיינוסים והאגמים. משימות צבע האוקיינוס של נאס”א (באנגלית) NASA Ocean Color מודדות את צבעי האור שיוצא מהמים כדי להעריך כלורופיל, סימן לפלנקטון. (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/)

☐ **השלמתי את המעבדה הזו (רטובה או וירטואלית)**

מערכי תרגול למבחן

מדדו זמן: כ־10 דקות לבעיה. אחר כך השוו לפתרונות המלאים.

מערך תרגול לאמצע הקורס (יחידות 3–1)

1. אלקטרון של מימן יורד מ־$n = 4$ ל־$n = 2$. מצאו את אורך הגל של האור.

   1. $|\Delta E| = 2.179 \times 10^{-18}\ \text{J} \times (1/4 - 1/16) = 2.179 \times 10^{-18}\ \text{J} \times 0.1875 = 4.086 \times 10^{-19}\ \text{J}$.
   2. $\lambda = hc/E = (6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^{8}) \div 4.086 \times 10^{-19} = 4.862 \times 10^{-7}\ \text{m}$.

   תשובה: 486 nm (כחול־ירוק).

2. כתבו את מערך האלקטרונים של נחושת ($Z = 29$) במצב היסוד.

   1. סדר המילוי הפשוט חוזה $[\text{Ar}]\ 4s^2\ 3d^9$, אבל תת־קליפת 3d מלאה יציבה יותר.
   2. אלקטרון 4s אחד עובר ל־3d.

   תשובה: $[\text{Ar}]\ 4s^1\ 3d^{10}$, חריג ידוע.

3. כמה CO_2 נוצר משריפת 1.00 kg אוקטאן (C_8H_{18}, 114.23 g/mol)?

   1. מאוזנת: $2\ C_8H_{18} + 25\ O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 18\ H_2O$, כלומר 8 mol CO_2 לכל מול אוקטאן.
   2. מולי אוקטאן $= 1000\ \text{g} \div 114.23\ \text{g/mol} = 8.754\ \text{mol}$.

3. $8 \times 8.754 = 70.04\ \text{mol} \times 44.01\ \text{g/mol} = 3{,}082\ \text{g}$ של CO_2.

תשובה: כ־3.08 kg של CO_2.

4. 28.0 g של N_2 מגיבים עם 9.00 g של H_2: $N_2 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ NH_3$. מצאו את המגיב המגביל ואת המסה של NH_3.

1. N_2: $28.0 \div 28.02 = 0.999\ \text{mol}$. H_2: $9.00 \div 2.016 = 4.46\ \text{mol}$.
2. N_2 צריך $0.999 \times 3 = 3.00\ \text{mol}$ של H_2; יש 4.46 mol, ולכן N_2 הוא המגביל.
3. $2 \times 0.999 = 2.00\ \text{mol} \times 17.03\ \text{g/mol} = 34.0\ \text{g}$ של NH_3.

תשובה: N_2 הוא המגביל; 34.0 g של NH_3.

5. ציינו את הצורה והקוטביות של SO_2 ושל CCl_4.

1. SO_2: ל־S יש שתי קבוצות קשרות וזוג חופשי אחד, ולכן היא כפופה והדיפולים לא מתבטלים.
2. CCl_4: ארבעה קשרים זהים, טטראדרית, הדיפולים מתבטלים.

תשובה: SO_2 כפופה וקוטבית; CCl_4 טטראדרית ולא קוטבית.

6. דרגו לפי נקודת רתיחה, מהנמוכה ביותר: H_2O, He, CH_4.

1. He: רק כוחות נפיצה חלשים, מעט מאוד אלקטרונים.
2. CH_4: כוחות נפיצה, יותר אלקטרונים מ־He.
3. H_2O: קשרי מימן.

תשובה: $He < CH_4 < H_2O$.

מערך תרגול מסכם (כל היחידות)

1. איזה נפח תופסים 88.0 g של CO_2 ב־25.0 °C ו־1.00 atm?

1. $n = 88.0 \div 44.01 = 2.00\ \text{mol}$.
2. $V = nRT/P = 2.00 \times 0.08206 \times 298.15 \div 1.00$.

תשובה: 48.9 L.

2. כמה גרם מתאן צריך לשרוף ($\Delta H = -890.5\ \text{kJ/mol}$) כדי לחמם 500.0 g מים מ־15.0 °C ל־85.0 °C, אם כל החום עובר למים?

1. $q = 500.0 \times 4.184 \times 70.0 = 146{,}440\ \text{J} = 146.4\ \text{kJ}$.
2. מולי $CH_4 = 146.4 \div 890.5 = 0.1644\ \text{mol}$.
3. מסה $= 0.1644 \times 16.04 = 2.64\ \text{g}$.

תשובה: 2.64 g של מתאן.

3. 20.00 mL של חומצה גופרתית מנוטרלים על ידי 31.60 mL של NaOH בריכוז 0.1000 M. מצאו את המולריות של החומצה.

1. $H_2SO_4 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2\ H_2O$ (שני מימנים חומציים).
2. מולי $NaOH = 0.1000 \times 0.03160 = 3.160 \times 10^{-3}\ \text{mol}$, ולכן מולי $H_2SO_4 = 1.580 \times 10^{-3}\ \text{mol}$.
3. $M = 1.580 \times 10^{-3} \div 0.02000\ \text{L}$.

תשובה: 0.07900 M. טעות נפוצה היא לשכוח את היחס 1 : 2 ולקבל 0.1580 M.

4. לצבען יש $\varepsilon = 1.20 \times 10^{4}\ \text{M}^{-1}\,\text{cm}^{-1}$. דוגמה בקובטה של 1.00 cm נותנת $A = 0.300$. מצאו את ריכוזה.

   1. $c = A \div (\varepsilon b) = 0.300 \div (1.20 \times 10^{4} \times 1.00)$.

תשובה: 2.50×10^{-5} M.

5. תרכובת מכילה לפי מסה 40.0% C, 6.71% H ו־53.3% O, ומסתה המולרית 180.16 g/mol. מצאו את הנוסחה האמפירית ואת הנוסחה המולקולרית.

   1. ב־100 g: $40.0 \div 12.011 = 3.33$ mol C; $6.71 \div 1.008 = 6.66$ mol H; $53.3 \div 16.00 = 3.33$ mol O.
   2. חלקו ב־3.33: 1 : 2 : 1, ולכן CH_2O (30.03 g/mol).
   3. $180.16 \div 30.03 = 6$.

תשובה: אמפירית CH_2O; מולקולרית $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (גלוקוז).

6. השתמשו בחוק הס כדי למצוא את ΔH של $\text{C(s)} + \tfrac{1}{2}\,\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$, בהינתן $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ (−393.5 kJ) ו־$\text{CO} + \tfrac{1}{2}\,\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ (−283.0 kJ).

   1. השאירו את התגובה הראשונה; הפכו את השנייה (+283.0 kJ).
   2. חברו אותן; CO_2 מתבטל.

תשובה: −110.5 kJ.

7. עבור תהליך עם $\Delta H = -10.0$ kJ ו־$\Delta S = -50.0$ J/K, מצאו את הטמפרטורה שמתחתיה הוא ספונטני.

   1. $\Delta G < 0$ כאשר $\Delta H - T\Delta S < 0$. שניהם שליליים, ולכן זה עובד ב־T נמוכה.
   2. $T = \Delta H / \Delta S = -10.0\ \text{kJ} \div -0.0500\ \text{kJ/K} = 200$ K.

תשובה: ספונטני מתחת ל־200 K.

דף נוסחאות

$$c = \lambda \nu$$

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$E_n = -2.179 \times 10^{-18}\ \text{J}/n^2$$

$$n = m/M$$

$$M = n/V$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$PV = nRT$$

$$P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2$$

$$P_A = x_A P_{\text{tot}}$$

$$C_g = k_H P_g$$

$$q = mc\Delta T$$

$$\Delta U = q + w$$

$$\Delta H^\circ = \sum n\Delta H_f^\circ(\text{prod}) - \sum n\Delta H_f^\circ(\text{reac})$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$A = \varepsilon b c$$

$$\text{FC} = V - N - B/2$$

קבועים

קבוע	ערך
קבוע פלאנק, h	6.62607015 × 10⁻³⁴ J·s (מדויק)
מהירות האור, c	2.99792458 × 10⁸ m/s (מדויק)
קבוע אבוגדרו, N_A	6.02214076 × 10²³ mol⁻¹ (מדויק)
קבוע הגזים, R	8.314 J/(mol·K) = 0.08206 L·atm/(mol·K)
קבוע האנרגיה של מימן, k	2.179 × 10⁻¹⁸ J
קיבול החום הסגולי של מים	4.184 J/(g·°C)
לחץ תקני	1 atm = 101.325 kPa = 760 mmHg
האפס המוחלט	0 K = −273.15 °C

מקור: NIST: קבועים פיזיקליים יסודיים (באנגלית) (https://physics.nist.gov/cuu/Constants/)

הטבלה המחזורית

השתמשו באחת מהטבלאות האינטראקטיביות החינמיות האלה לצד הקורס.

- PubChem Periodic Table (הספרייה הלאומית לרפואה של ארה"ב, באנגלית) (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/periodic-table/): אינטראקטיבית, עם נתונים לכל יסוד.
- Ptable (https://ptable.com/): טבלה אינטראקטיבית מהירה עם אורביטלים, איזוטופים ומגמות.
- NIST: הטבלה המחזורית של היסודות (באנגלית) (https://www.nist.gov/pml/periodic-table-elements): טבלת עיון להדפסה מהסוכנות האמריקנית לתקנים.

מילון מונחים

בליעה (אבסורבנס)
כמה אור דוגמה בולעת; $A = -\log_{10} T$.

מספר אבוגדרו
6.02214076 × 10²³, מספר החלקיקים במול אחד.

קלורימטריה

מדידת זרימת חום משינויי טמפרטורה.

מערך אלקטרונים

סידור האלקטרונים של אטום באורביטלים.

נוסחה אמפירית

היחס הפשוט ביותר במספרים שלמים בין האטומים בתרכובת.

נקודת סיום

הנקודה בטיטרציה שבה האינדיקטור משנה צבע.

אנתלפיה (H)

תכולת החום של מערכת בלחץ קבוע.

אנטרופיה (S)

מדד למידת הפיזור של אנרגיה וחומר.

נקודת שקילות

הנקודה שבה הוסיפו בדיוק מספיק טיטרנט כדי להגיב עם הדוגמה.

אנרגיה חופשית של גיבס (G)

$G = H - TS$; השינוי בה מנבא ספונטניות.

קשר מימן

משיכה חזקה בין H הקשור ל־N, O או F לבין זוג חופשי על N, O או F אחר.

גז אידיאלי

גז מודל שלחלקיקיו אין נפח ואין משיכה ביניהם.

איזוטופ

אטומים של אותו יסוד עם מספרי נייטרונים שונים.

מגיב מגביל

המגיב שנגמר ראשון.

מולריות

מולי מומס לליטר תמיסה.

מול

יחידת SI לכמות חומר.

אורביטל

אזור שבו סביר למצוא אלקטרון.

לחץ חלקי

הלחץ שגז אחד בתערובת היה מפעיל לבדו.

תפוקה באחוזים

תפוקה בפועל ÷ תפוקה תאורטית × 100%.

פוטון

חלקיק אור שהאנרגיה שלו $E = h\nu$.

מספרים קוונטיים

ארבעת הערכים שמתארים אלקטרון: n, l, m_l, m_s.

קיבול חום סגולי

החום הדרוש להעלאת הטמפרטורה של 1 g חומר ב־1 °C.

סטויכיומטריה

היחסים הכמותיים בין הכמויות בתגובות.

טיטרציה

הוספת תמיסה בריכוז ידוע כדי למצוא את הריכוז של תמיסה אחרת.

VSEPR

דחיית זוגות האלקטרונים בקליפת הערכיות: קבוצות האלקטרונים מתרחקות וקובעות את צורת המולקולה.

מחוון להערכה עצמית

לא ניתנים ציון או נקודות זכות. השתמשו בזה כדי להעריך בכנות איפה אתם עומדים בכל יחידה.

רמה	איך זה נראה
4 · שליטה מלאה	פותרים נכון בעיות חדשות שלא ראו, מסבירים למה כל שלב עובד ומאתרים את הטעויות של עצמם.
3 · מיומן	פותרים את התרגילים עם יחידות וספרות משמעותיות נכונות; טעויות קטנות מדי פעם.
2 · מתפתח	עוקבים אחרי דוגמאות פתורות אבל נתקעים בבעיות חדשות או מתבלבלים ביחידות.
1 · מתחיל	מזהים את המונחים אבל עדיין לא יודעים להציב את החישובים.

שקלול מוצע אם רוצים ציון

חלק	משקל
תרגילים	30%
דוחות מעבדה (או מעבדות וירטואליות)	20%
מערך תרגול לאמצע הקורס	20%
מערך תרגול מסכם	30%

שאפו לרמה 3 ומעלה בכל יחידה לפני שעוברים לקורס הבא.

קורסים קשורים

- פיזיקה + 1 מעבדה PHYS 110 + PHYS 110L
- חשבון אינפיניטסימלי 1 MATH 110
- חשבון אינפיניטסימלי 2 MATH 111
- כל הקורסים