

פיסיקה, כימיה, וביולוגיה של חומ"ס

1. שלושה וארבעה מצבי הצבירה



1.1 ישנו קיצור דרך בין מוצק לגז:

המראה (סובלימציה)

נפתלין מוצק הופך ישר לאדים (כבר אסור בשימוש)

פרה-די-כלורובנזן מוצק הופך ישר לאדים (אסור בשמש)

קרח יבש (CO_2) הופך לאדים

1.2 התורה המולקולארית של החומרים טוענת:

צפיפות המולקולות קובעת את מצב הצבירה

בגז – צפיפות מאוד נמוכה (דלילה)

בנוזל – צפיפות יותר גבוהה

במוצק – צפיפות גבוהה מאוד.

1.3 מסקנה מן התורה המולקולארית: אם נצופף גז נוכל לקבל נוזל

(ראו גפ"מ-גז בישול בתוך מיכל דחוס).

1.4 מהו מצב צבירה רביעי?

מצב שבו הנוזל מסודר ואינו זז אלא מקובע לדוגמה LC (Liquid Crystal)

טלויזיות ומסכי מגע

1.5 משמעות פיסיקליות של הגזים:

1.6.1 הפעלת לחץ על הגז תקטין את נפחו.

הורדת הלחץ תגדיל את נפחו.

1.6.2 היות והפעלת הלחץ קשורה בהשקעת אנרגיה – כל הפעלת לחץ על גז תגרום

לעליית הטמפרטורה שלו.

המכללה להכשרה מקצועית

1.6.3 כלומר ישנה משוואת הגזים האידיאליים אשר מופיעה בשתי צורות:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = C = \text{קבוע}$$

P = לחץ

V = נפח

T = (°K) טמפרטורה

או בצורה המיוחסת יותר לסוג הגז:

$$PV = \frac{g}{M} RT$$

P = לחץ

V = נפח

g = משקל

R = קבוע גזים

T = (°K) טמפרטורה

M = מולקולרית

הערה: לפי הקהל יעשה תרגול חישוב בהרצאה.

1.6.4 באופן כללי בתנאי סביבה (1 אטמ', 25°C) בקירוב

1 מ"ק אוויר שוקל 1 ק"ג

1 מ"ק מים שוקל 1000 ק"ג

1 מ"ק גז מימן שוקל 0.082 ק"ג

1.6.5 גז דחוס בגלילים לחץ ממוצע:

200-300 אטמוספרות (חמצן, חנקן, אוויר לנשימה, גפ"מ, אצטילן)

1.6.6 שווה ערך של לחצים ביחידות שונות:

1 אטמ' ≈ 1 בר ≈ 760 מ"מ כספית ≈ 10.33 מטר מים ≈ 14.7 פ.א.ס.אי

1.6.7 גז CO₂ צפיפותו יותר גבוהה משל אוויר

גז גפ"מ צפיפותו יותר גבוהה משל אוויר

גז ראדון צפיפותו הגבוהה ביותר

גז מימן צפיפותו הנמוכה ביותר

המשמעויות הבטיחותיות:

(א) גלאי גזים הכבדים מן האוויר יהיו נמוכים (כחצי מטר מן הקרקע)

(ב) גלאי גזים הקלים מן האוויר יהיו גבוהים (קרוב לתקרה הגבוהה ביותר)

(ג) דחיקת החמצן הקטנת ריכוזו תעשה ע"י גזים הכבדים מן האוויר.

המכללה להכשרה מקצועית

- (ד) ריכוז חמצן באוויר 20.7% (לפי נפח)
 ריכוז חמצן שעדיין מותר לעבוד בו עד 19.5% (לפי נפח)
 ריכוז חמצן אשר גורם לסימפטומים של כאבי ראש התעלפויות וכו' עד 17%
 ריכוז חמצן שבו אין גם אפשרות להדליק אש 10%
 רוב התאבדויות ע"י גז בישול (גפ"מ) הן ע"י דחיקת החמצן ע"י הגז הכבד יותר מן החמצן (האוויר)
- 1.7 משמעותות כימיות של הגזים :**
- 1.7.1 כימיה פירושה תגובה בין יסודות או בין תרכובות ליצירת תרכובות או יסודות חדשים
- 1.7.2 התגובה לצורך תחילתה צריכה מינימום אנרגיה הפעלה הנקראת אנרגיה שפעול (אנרגיה אקטיבציה)
- 1.7.3 כל תגובה כימית פולטת אנרגיה (אסותרמית) או קולטת אנרגיה (אנדו תרמית)
- 1.7.4 ישנן תגובות אשר טמפרטורת הסביבה בה התגובה מתבצעת מספקת את אנרגיה השפעול (תגובות ספונטניות) כדי למנוע אותן מקררים.
- 1.7.5 מבין סוגי התגובות הנפוצות :
- (א) תגובות חומצה + בסיס הנותנת מלח ומים ואנרגיה
- (ב) תגובות מתכת + חומצה הנותנת גז מימן ומלח
- (ג) תגובות חמצון הנותנות חמוצות גזיות או מוצק
- (ד) תגובות בין גזים שונים כמו : גז אמוניה וגז מימן כל כמו : גז CO וגז חמצן
- (ה) תגובות בין גזים לבין נוזלים כמו יצירת חומצות מגזים של תחמוצות
- 1.7.6 היות ויש גזים שמגיבים כימית (מי פחות ומי יותר) חשיפה לגזים אלו יש משמעות בטיחותית בעבודה (לעובד) ומשמעות סיכונית בהגנת הסביבה (לאזרח).
- 1.7.7 גזים נפוצים בהשפעתם הכימית על גוף האדם :
- (א) גז פחמן חד-חמצני CO – מתחבר להמוגלובין בכדוריות דם אדומות וגורם לחנק מוחי (מונע אספקת חמצן).
- (ב) גז חרדל – גז כימי הפוגע ומאכל מערכת הנשימה.
- (ג) גז כלור – מאכל ומרעיל את מערכת הנשימה.
- (ד) גז מימן ציאנידי – פוגע במערכת העצבים.
- (ה) גז מימן פלואורי או פלואור – פוגע במערכת הגוף.
- (ו) תחמוצות של חומצות : תחמוצות חנקן, תחמוצות גפרית, תחמוצות כלור
- (ז) גזים מסוימים : מימן גפר, פוספין, ארסין, ראדון.

1.8 משמעויות ביולוגיות של הגזים:

- 1.8.1 החלקיקי המיקרוביולוגי לא נמצא במצב צבירה גזי – אבל הוא מספיק קטן (בהיותו בגודל אבק מרחף) כך שהוא נישא עם האוויר או עם הגזים.
- 1.8.2 כך שבנוסף לנזק הביולוגי שגורמים הגזים הכימיים נוסף נזק מיקרוביולוגי של מי שנמצא עם האוויר. לדוגמה חיידקים, וירוסים, עובשים, המרחפים באוויר בצורות שונות של אחסון (קפסולות) ומגיעים למערכת הנשימה, העור, העיכול הפצעים החשובים ומתיישבים שם והנזק הוא בריאותי מסוג מגיפה מחלתית.
- 1.8.3 כתוצאה מכך עובדים במערכות ביוב, עובדים בבתי חולים, עובדים במעבדות רפואיות, חוקרים רפואיים חשופים לצורת הובלה של גזים (אוויר) לכל המיקרואורגניזמים.

2. המערכה המחזורית (טבעת מנדלייב)

2.1 יסוד מתאפיין במבנה גרעין ספציפי לפי מס' פרוטונים היסוד הקל ביותר הוא מימן בעל פרוטון אחד.

2.2 היסודות מסודרים בטבלה בצורת שורות כאשר מספר האטומי של כל יסוד מייצג מס' פרוטונים.

2.3 על פי מנדלייב השורות נקבעו בתוך טבלה כאשר צידה השמאלי הוא עמודי מתכות וצידה הימני הוא עמודי אל מתכות, והעמודה הימנית ביותר היא של גזים אצילים.

2.4 גזים אצילים – לא מתחברים כימית עם יסוד אחר וגם לא ביניהם (הליום, ניאון, ארגון, קריפטון, קסנון, ראדון, אונונקטיום).

2.5 חשיבות המערכה המחזורית היא לקבלת חומצה ובסיס (הנמצאים בקבוצה 8)

2.6 הסכימה הנפוצה היא כלהלן :



2.7 מכאן למשל הביטוי של NO_x (תחמוצות חנקן) ושל SO_x (תחמוצות גפרית בצורתן הגזית)

2.8 הסיבה ליצירת חומצה או בסיס היא השקעת אנרגיה כלומר כדי לייצר תחמוצת צריך לשרוף באוויר את היסוד זאת השקעת אנרגיה.

לאחר מכן התגובה עם מים פולטת אנרגיה ולבסוף נוצרים חומצה או בסיס אשר משמשים לפעולות שונות בתעשייה ובתהליכים הביולוגיים.

2.9 כאשר חומצה פוגשת בסיס

מתחילה תגובת סתירה, התגובה מלווה בשחרור אנרגיה גדולה ובקצב מהיר.

עד עליית טמפרטורת המערכת של 100°C (רתיחה).

התגובה מייצרת מים ומלח.

2.10 מושג ה-pH (חומציות)

2.10.1 pH ניתן למדידה רק כאשר החומר נמצא בתוך מים.

ללא מים אין תגובה ואין למעשה pH.

דוגמה : סודה קאוסטית יבשה

חומצת חומץ יבשה

2.10.2 משמעות ה-pH :

דרגת ריכוז של יוני מימן במים

הדרגה מבוטאת בצורת נוסחה לוגריתמית

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$



ריכוז יוני מימן במים

2.10.3 סולם pH : המתאר את המצבים של חומצה ובסיס

חומצות חזקות (גפרתית, כלורית, חנקתית)	0		
חומצות חלשות (חומץ, יין)	3	5.7	חומצה בקיבה – עור
מים מזוקקים (נקה 7)	7	6	תחום החיים (הזרמה לביו)
		9	
בסיסים חלשים (אמוניה במים) שמפו לשיער	11		
בסיסים חזקים (סודה קאוסטית)	14		

3. מושגים והגדרות

3.1 LD_{50} (Lethal Doze) בבליעה מנה הורגת 50% מאוכלוסייה נחשפת.

3.2 LC_{50} (Lethal Concentration) בנשימה זמן חשיפה קרוב ל-30 דקות או כמוצהר.

ריכוז הורג 50% מאוכלוסייה נחשפת.

3.3 $IDLH$ (Immediate Danger Life & Health)

סכנה מיידית לחיים ולבריאות

ריכוז הורג בזמן חשיפה של 30 דקות

3.4 TLV (Treshhold Limit Value - TWA)

ריכוז ממוצע מירבי משוקלל לאורך זמן

חשיפה של 8 שעות עבודה ביום עבודה

שבוע עבודה של 40 שעות

למשק 40 שנות עבודה

ריכוז שאינו גורם לנזק בריאותי

3.5 $STEL$ (Short Term Exposure Limit)

חשיפה לזמן קצר (15 דקות)

עד 4 פעמים ביום עבודה

עם הפרש של 2 שעות מפעם לפעם

תנאים שקשים לביצוע כי מחייבים מדידת זמן ומדידת ריכוזים.

3.6 AL (Action Level)

רמת פעולה

זהו הריכוז בפועל אשר צריך להיות בסביבת העבודה ובדרך כלל מובע כמחצית TLV

$$AL = TLV/2$$

ישנם חומרים שבהם זה יהיה $1/4$ מריכוז TLV .

3.7 הרחבות:

3.7.1 למעשה כל פעולה או סביבה אליה נחשף עובד או אזרח ניתנת להכנסה

להגדרות של TLV , ושל AL .



המכללה להכשרה מקצועית

לדוגמה: עצמת רעש במקום עבודה ועצמת רעש במגורים.

3.7.2 כמו כן רשימה מוגדרת של חומ"ס שאיתם עובדים מחייבת בדיקות סביבה

ובדיקות רפואיות של העובדים חצי שנתית, רבע שנתית, שנתית.

4. סימני זיהוי של חומ"ס

4.1 מס' או"מ (UN Number) ע"פ הספר הכתום (Orange book)

לכל חומ"ס ישנו מספר או"מ בינלאומי בן 4 ספרות המספרים גם מייצגים תערובות המספר הוא שפת תקשורת לכל סוגי ההובלה.

כדי לזהות מס' או"מ של חומר מסוים ישנה גישה באינטרנט לפי שני חתכים:

UN Number לפי שם ומקבלים מספר ומקבלים את החומר.

4.2 מס' CAS (CAS Number)

לכל חומר כימי טהור יש מספר בינלאומי של החברה האמריקאית לכימיה

(Chemical American Society)

4.3 סמל

הסמל לפי קבוצת הסיכון (9 קבוצות סיכון)

4.4 דרגות סיכון לפי NFPA (National Fire Protection Assoc.)

ארגון האמריקאי להגנה מפני אש

הארגון מייצג 3 תחומים עיקריים:

דליקות, בריאות ריאקטיביות ושונות

בדרגות סיכון 0,1,2,3,4 כאשר 0 הוא סיכון אפס.

4.5 MSDS או SDS (Material Safety Data Sheet)

דף מידע בטיחותי המכיל 16 סעיפים.

4.6 כרטיס בטיחות לנהג הנוהג ברכב ומוביל חומ"ס

כרטיס מקוצר של דף מידע בטיחות (MSDS)

4.7 הוראות פעולה בחירום

4.7.1 ספרה 1-4 צורת כיבוי אם החומר דליק.

4.7.2 אות לועזית לצידוד מגן אישי.

4.7.3 אות נוספת E (Evacuation)

לסמל שיקול לפינוי או חדרים אטומים.

5. הסתברות לאירוע חומ"ס

- 5.1 הנתונים לחישוב ההסתברות הם תוצאה של רישומים היסטוריים של טעויות אנוש, כישלונות חומר, וצירופי מקרים.
- 5.2 כדי להעריך ולחשב הסתברות של אירוע חומ"ס צריך לפרקו לשלבים תלויים או בלתי תלויים הבאים בזה אחר זה.
- 5.3 לכל שלב תהיה הסתברות שלו (ע"פ ההיסטוריה).
- 5.4 כאשר השלבים תלויים כלל ההסתברות תהיה מכפלת ההסתברויות.
- 5.5 כאשר השלבים בלתי תלויים וישנם מספר דרכים להגיע לסוף האירוע ההסתברות תהיה סכום הסתברויות של הדרכים.
- 5.6 החיסרון היחידי של ההסתברות הוא שאין ההסתברות קובעת מועד לתרחיש אלא מה הסיכויים שזה יקרה.
- 5.7 מספר טוב של הסתברות הוא קטן ביותר לדוגמה 10^{-5} או 10^{-7}
- 5.8 משמעות המספר :
- 5.8.1 אירוע הוא אירוע של 1 יום.
- 5.8.2 אירוע פעם בשנה הוא $2.7 \times 10^{-3} = 1:365$
- 5.8.3 אירוע פעם ב-2 שנים הוא $1.36 \times 10^{-3} = 1:730$
- 5.8.4 אירוע פעם ב-10 שנים הוא $2.7 \times 10^{-4} = 1:3650$
- וכך הלאה.
- 5.9 דוגמה לחישוב הסתברות של תרחיש שבו השלבים תלויים זה בזה.
- 5.9.1 תאור התרחיש : ברז דולף של צינור בנזין גורם ליצירת ענן אידי בנזין. והענן נדלק מהתפרקות חשמל סטטי שנוצר כתוצאה משפשוף של מכונית טאטוא במפעל.
- 5.9.2 שלבי התרחיש, הסתברות לכל שלב, ולוח זמנים

מס' שלב	הסתברות	זמן
ברז דולף	2×10^{-3} (פעם ב-500 יום)	5 דקות
יצירת ענן בריכוז פיצוץ תחתון	0.5 (פעם ב-183 יום)	10 דקות
שפשוף מכונית טאטוא	0.02 (פעם ב-50 שבועות)	—
מזג אוויר יבש 40% לחות	$0.027 = 10:365$ (10 ימים בשנה)	—
סה"כ המכפלה	5.4×10^{-7} (פעם ב-5073 שנה)	15 דקות



המכללה להכשרה מקצועית

מסקנה: תרחיש כזה יופיע פעם ב-5073 שנים.

5.9.3 אם יש לאורך הצינור מספר ברזים לדוגמה 10 ברזים.

ההסתברות לתרחיש כזה תהיה $10 \times 5.4 \times 10^{-7} = 5.4 \times 10^{-6}$ כלומר פעם ב-507 שנים

6. שריפות של חומ"ס

6.1 משולש האש ובהמשך מרובע האש

6.2 פרמטרים של דליקות

6.2.1 הידלקות עצמית Self Ignition Point

הטמפרטורה הנמוכה ביותר שבה נדלקת תערובת אדים של חומר דליק (גז, נוזל, מוצק) עם אוויר ללא סיוע להבה ללא סיוע ניצוץ ע"י טמפרטורה בלבד.

6.2.2 נקודת הבזקה Flash Point

הטמפרטורה הנמוכה ביותר שבה נדלקת (מתפוצצת) תערובת אדים של חומר דליק עם אוויר (גז, נוזל, מוצק) בסיוע להבה סטנדרטית במכשיר סטנדרטי בשתי שיטות

O.C. = Open Cup

C.C. = Close Cup

הבדלי הטמפי בין שתי השיטות הן מעלות ספורות והמסוכן ביותר הוא להתייחס

ל-C.C. (היותר נמוך).

6.2.3 גבולות ריכוזי פיצוץ

לא כל יחסי חומר בעירה עם אוויר מתאימים לתערובת פיצוץ ולכן יש שני גבולות:

גבול ריכוז פיצוץ עליון UEL – (Upper Explosion Limit)

גבול ריכוז פיצוץ תחתון LEL – (Low Explosion Limit)

בין שני הגבולות יהיה תחום הפיצוץ

מעל גבול ריכוז פיצוץ עליון לא תהיה שריפה (פיצוץ)

מתחת גבול ריכוז פיצוץ תחתון לא תהיה שריפה (פיצוץ)

6.2.4 הערות

(א) מבחינת חישובי וגלאים של ריכוזי פיצוץ לחומרים שונים לוקחים את

LEL גבול ריכוז פיצוץ תחתון ומסמנים התראה 10% ממנו.

המכללה להכשרה מקצועית

כלומר גבול ריכוז פיצוץ תחתון של בנזין הוא 0.5% הגלאי יתחיל

להתריע בריכוז 0.05%.

(ב) בכל אירוע של דליפה, סדק וכדומה שבו נוצר ענן של תערובת פיצוץ אין

ריכוזים אחידים ולכן ישנם אזורים בריכוזים שונים.

7. אחסון והובלה של חומ"ס מרחקים ואיסורים

7.1 אחסון

7.1.1 מרחק מרבי, מאצרות נפרדות לחומצות ולבסיסים.

7.1.2 מרחק מרבי, מאצרות נפרדות לחומצות חזקות לבין אלכוהוליים, ותערובות אורגניות.

7.1.3 מרחק מרבי, מאצרות נפרדות בין חומרים מחמצנים לבין חומרים אורגניים.

7.1.4 מרחק מרבי, מאצרות נפרדות בין חומרים מחמצנים לבין חומצות (נתרן היפו כלוריד וחומצת מלח).

7.1.5 מרחק מרבי ומאצרות נפרדות בין מתכות פעילות (המאוחסנות בשמן) לבין מים או תמיסות במים.

7.1.6 הפרדה בין חומרי נפץ לבין נפצים.

7.2 הובלה

7.2.1 כל כללי ההפרדה מובילים להפרדה בהובלות כלומר לא יובלו באותה משאית הזוגות האסורים באחסון קרוב.

7.2.2 הובלה מעורבת מותנית במספר או"מ של מטען מעורב ופירושה הובלת חומרים שאינם מגיבים ביניהם והם מאותה משפחה.

חומצות עם חומצות, בסיסים עם בסיסים, חומרים אורגניים עם חומרים אורגניים.

7.2.3 הערות:

(א) בכל מקרה של ספק יש להתייעץ עם בר-סמכא או עם איש משרד הגנת הסביבה.

(ב) רצוי לשלב את ההובלה עם מס' או"מ של מטען מעורב.

(ג) גורם נוסף הקשור להובלה הוא משרד התחבורה באמצעות קציני בטיחות בתעבורה.