

פיזיקה תרמית - תרגול 11
 (F) סיכום פואנצ'אלים תרמוקיינטיים

① אנרגיה פנימית: $U = U(S, V, N, \dots)$

$dU = Tds - PdV + \mu dN (+ \dots)$

משתנים טבעיים: אנרגיה U , נפח V , מספר חלקיקים N
 וכל שארם אקסטרנסיבי רלוונטי טוסף שקיים
 (כחמה, משאינצ'יה של החומר).

• התהליכים עם אנרגיה כוללת ונפח כולל (של החם + המאגר)
 נתונים, U משיר למינימום השינוי משקלם. התהליכים
 ספונטניים בתנאים אלה, U קטן.

② אנרגיה חופשית של התהליך: $F = U - TS$

$dF = -SdT - PdV + \mu dN (+ \dots)$, $F = F(T, V, N, \dots)$

משתנים טבעיים: טמפרטורה T , נפח V , מס' חלקיקים N
 וכל שארם רלוונטי טוסף שהופיע ב- U , אם
 יש כזה.

• צה נקק למקסימום הגבוהה שניתן להפיק בתהליך כלשהו.
 • מתאים לתיאור חם שבהו הטמפרטורה מאולצת מתחוצ
 (חם שצמורה למאגט חום)

• התהליכים עם טמפרטורה נתונה ונפח כולל (של חם + מאגר)
 נתונים, F משיר למינימום השינוי משקלם. התהליכים
 ספונטניים בתנאים אלה, F קטן.

③ אנרגיה: $H = U + PV$

$dH = Tds + VdP + \mu dN (+ \dots)$, $H = H(S, P, N, \dots)$

משתנים טבעיים: אנרגיה U , לחץ P , מס' חלקיקים N
 וכל שארם רלוונטי אחר שהופיע בביאור ל- U , אם
 יש כזה.

- צה מקק למה"כ האנרגיה שצרושה כפי ל'צור מחדרה, חוק ג'י'וצ עקוקה עם המביקה כפי "לכנוה מקום".
- מתאים לתיאור מערכות שבהן הלחץ מוכתה מתחילי (מח' שבמוקה ל"גאו: לחץ" או "אומקט לחץ")
- בתהליכים עם לחץ נתון ואנטלפיה כוללת (של הח' מח' + מח' נמוה, האנטלפיה מביעה לח'י'מנים השינוי משקל. בתהליכים ספוטנטיים המתרחשים בתנאים אלה, האנטלפיה תקטן.

④ האנטלפיה התורפסית של גיבס $G = U - TS + PV$

$G = F + PV = H - TS$

⊖ $dG = -SdT + VdP + \mu dN (+...)$, $G = G(T, P, N, ...)$
 משתנים טבעיים: טמפרטורה T, לחץ P, מס' חלקיקים N וכו'
 גוקל כלוויטי טוסף שיפויע בקטלי ל- μ , אום יש כזה.

• מטוסחאר אוולג $U = TS - PV + \mu N$

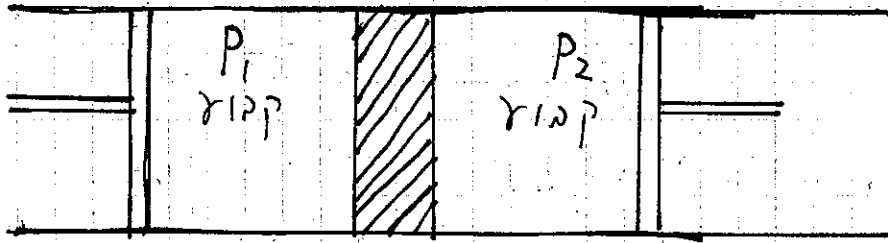
$G = N \cdot \mu$ מקללים:

כלומר הפוטנציאל הכימי $\mu = G/N$ הווא אנרגיית גיבס הסולגית.

- מתאים לתיאור מח' הנמצאור בטמפ' נמוה ובלחץ נתון (צמוקור עם למחולר חום וגם למחולר לחץ בו-זמנית).
- מח' כאקל, שינוי גיבס שקול לשינוי המספר החלקיקים.
- בתהליכים עם לחץ נתון, וטמפ' נמוה, G מביע לח'י'מנים השינוי משקל. בתהליכים ספוטנטיים המתרחשים בתנאים אלה, G תקטן.

II) תהליך ז'אנז-קלווין

תהליך ז'אנז-קלווין הוא תהליך אי-רזוסורסיון או ז'אנז-קלווין-רזוסורסיון.
 התהליך עם יקום כ-Throttling



↓
 Throttle - תווך קטובי

$P_1 > P_2$

אדם לבק שבגז יזרום לצד השני קצרה
 איטיר (קוואזיסטטי), ללא תלות
 בהכנסו לתאים.

ללא אינרטיאליות,
 אלא ממש יקום.

שומרים על לחצים קבועים משני צידי ה-Throttle י"י הנצטר
 הובטחה. כל צדדים משמאל לימין ובחלקים קוואזיסטטי הובטחה
 השמאלית ומחזיקים את הימנית.

V_1, P_1, u_1

$0, P_2, 0$

ההתחלה יש:

$0, P_1, 0$

V_2, P_2, u_2

הסוף יש:

היות שאין מתגר חום בתהליך, מתקיים:

$$\Delta u = - \int_{V_1}^0 P_1 dV - \int_0^{V_2} P_2 dV = P_1 V_1 - P_2 V_2$$

$$u_2 - u_1 = P_1 V_1 - P_2 V_2$$

$$u_1 + P_1 V_1 = u_2 + P_2 V_2$$

$$H_1 = H_2 \Rightarrow \boxed{H = const}$$

התהליך מתבצע באנרגטיקה קבועה.

כעת נניח ש**המקום** בוכטור, מקוקר עם ציטוט ארוכים
 מאוק המלואים ג'ז. לעז לא משנה אם הוא זוקק תל בוכנה
 או זל ג'ז אחר כשהוא זוקק מצק שמאל לצק ימין. כל
 זוקק שמקק, במקט ג'ז מסויים הזוקק מצק לצק, התיאור יהיה
 צ'נה $H = \text{const} \Leftarrow$

צ'נה מת'ן "ג'רסה מקוקרת" של הירפסלור חופשית מאוקום
 לעלא מחבר חום. גם כאן, התימליק המאוקר אינו הפיק.
 צ'נה תה'ליק מאוק חשבו, ומשתמשים בו באפ'ליק צ'נית רבוה
 כגון מקוררים, מצננים, מאוקור חום ומגביס (מכשירים
 שהופכים ג'ז לט'ז).

כיצק משתנה טמ'ר ה'ז בתהליק?

$$\mu_{T,K} = \left. \frac{\partial T}{\partial P} \right|_{H,N}$$

מקום ג'אוד-קלווין:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial P} \right|_{H,N} = \frac{\left. \frac{\partial H}{\partial P} \right|_{T,N}}{\left. \frac{\partial H}{\partial T} \right|_{P,N}}$$

$$dH = TdS + VdP (+\mu dN)$$

$$\left. \frac{\partial H}{\partial T} \right|_{P,N} = T \left. \frac{\partial S}{\partial T} \right|_{P,N} = C_p$$

מהו $\left. \frac{\partial H}{\partial P} \right|_T$? כמו בשיעור, נשתמש בקסלי-מכסול

$$\left. \frac{\partial H}{\partial P} \right|_T = \left. \frac{\partial H}{\partial P} \right|_S + \left. \frac{\partial H}{\partial S} \right|_P \cdot \left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_T = V + T \left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_T$$

תחילה נזכור למשתנים
 וט'ג'ים של H שנים (S, P) \rightarrow H(P, S(P, T))

מהז'יק או $\left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_T$ נשתמש בקסלי מכסול שט'ג'ים
 מ'פ'ט צ'יאל עם משתנים חופשיים (P, T), כלומר
 $dG = -SdT + VdP + \mu dN$

$$-S = \left. \frac{\partial G}{\partial T} \right|_{P,N} \quad \Downarrow \quad V = \left. \frac{\partial G}{\partial P} \right|_{T,N}$$

$$-\left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_T = \frac{\partial^2 G}{\partial P \partial T} = \frac{\partial^2 G}{\partial T \partial P} \stackrel{!}{=} \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P$$

$$\boxed{\left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_T = - \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P}$$

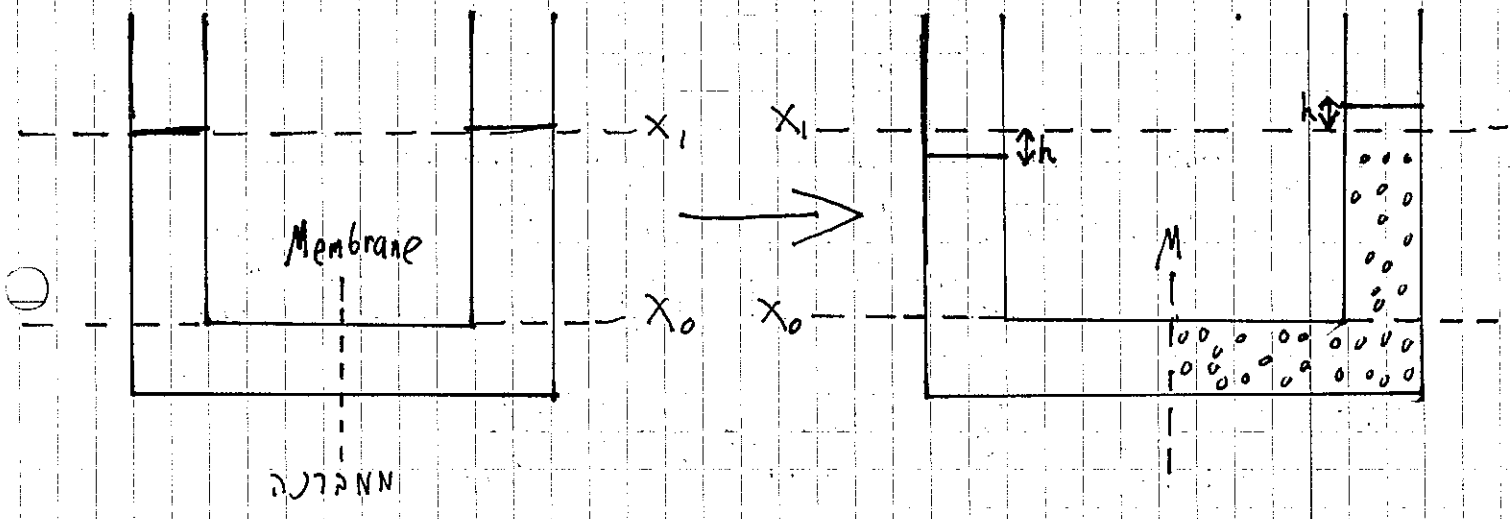
שימו לב שהכוחות כאן, כי כוח משמעותי אחת מהזוגות הקשורים קשור
 אולם כוח האטומי יחסית בין V, T, P גורם להיטוי לאטומי
 הקצ"כ מסובק יותר וקשה מאד למקיצה.

$$\Rightarrow \left. \frac{\partial H}{\partial P} \right|_T = V + T \left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_T = V - T \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P$$

$$\Rightarrow \boxed{\mu_{J.K.} = \frac{1}{C_p} \left(T \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_{P,N} - V \right)}$$

ג' חג' אוסמוז' + 

מאונח המזכרת השכאל, בה מחלקאים מים. המחברתה שבקורית מאפשרת מעבר מים בלבד, ואם **אם** הצדדים מוסכים מלח. התופעה בה נבחין היא תפייה מפלס המים במחוקה עם המלח ויצירת הפרש אבנים זה (המפלס הישני מרז).



ברמה המיקרוסקופית, ניתן לתשובה עם מספר הסברים לתופעה, אך כוחה של התחוקה ינאמיקה הוא בתיאור כמותי עלון צורך בחוקים מיקרוסקופיים אוטו מזוריינים אס כן, לקבל קטלג להפריט העתדים בין המחוקה (הפרש העתדים שמדגישה המחברתה) מטיקולים תחוקה טומיים.

מכיוון שמים הם נוזל (כמעט) גלתי-קחים, טרם להניח בקירוב מצויין שהנפח הכולל של המים נשאר קבוע (לכן, מפלס המים בחוק שלם הוספט על מלח חייב היה לרדת כאשר מפלס המים + מלח עלה).

כמוכן, התהליך מתרחש בטמפרטורה קבועה (הסביבה היא "אמבט תומי").

לכן, בעיה זו מתאימה בקיוק לעבודה עם האנרגיה החופשית של הלמהולץ $F = U - TS$. אטו יוקדים שבוטלצילא צה מקבל מ'נ'אום השינוי משקל. לכן, כל שצלינו לעשות הוא למצוא ביטוי ל-U, ול-S של המערכת (מים + מלח).

האנרגיה: מכיון שהיא פוטנציאל קבועה (ובהנחה אינטרנציונלית) מכל סוג של אנרגיה האנרגיה הפוטנציאלית של המומים לא משתנה. לכן מקובל להגדיר את האנרגיה פוטנציאלית של המים בלבד. מצבה היסודי הוא כאשר המים בשתי המצוקות מאוזנים באותו גובה (X בשלד). ונרצה לקבל ביטוי לאנרגיה עבור מקרה בו הגובה אינו השווה של שתי המצוקות. אם ה- h מצבה היסודי (כאמור, משימור חומר + הנחת אי-קוויסטר המצוק השני ירכיב גובה h).

נסמן את צפיפות המים ב- ρ ואת שטח החתך ב- A .

הפוטנציאל האנרגיה ביחס למצבה היסודי המצוק שבו המים גובה
 ה'נו:
$$U = (\rho Ah) \cdot g \cdot h = \rho g A h^2$$

אנטרופיה: הוצגה צפייה של כל המצוקות המים לא משנה את האנטרופיה שלהם, כי היא פונקציה של הזרמים היתרמודינמיים בלבד, והם נשארים קבועים. לכן האנטרופיה אומרת יש לקחת בחשבון היא זו של המומים בלבד. מכיון שיש מספר מספיק נמוכים, טרם להתחיל למחוס בתור לש

אינדיאלי, ולכן:

$$S = S_0(T) + N k_B \ln(V)$$

(זה בגלל מחוס חאת סאקור-טטרוקה)

את הנפח V נוכל לרשום כ-
 $V = V_0 + A \cdot h$
 והבדל שינויים קטנים נקרה $\frac{Ah}{V_0} \ll 1$ $\ln(1+x) \approx x$

סה"כ:

$$F = U - TS = \rho g A h^2 - N k_B T \cdot \frac{Ah}{V_0} - T \cdot S_0(T)$$

מהקניעה למינימום:

$$\frac{\partial F}{\partial h} = 0 \Rightarrow 2\rho g A h = N k_B T \frac{A}{V_0}$$

מסתמך על הערך ההיקבילי של המרק טונג/לטר וצד צד
 מספר פחמים ככה, נקבל כי הכרח המרק צד צד 2

$$\Delta p = \rho g (2h) = 2 \rho g h = K_B T \left(\frac{N}{V_0} \right)$$

צדוק הממכה:

כאשר $\frac{N}{V_0} \equiv C$ → concentration

הוא כיכוז המלח בתמיסה

(למחצה, N הוא מספר היונים, אום המלח הוא NaCl
 אזו הריכוז 'היה כפול מהריכוז המולארי של המלח, כי כל
 מולקולה מתפרקת לשניים.)

מאופיה היציה האורגניה כד' עוזמל את המים?

האורגניה הפטימית של המלח ושל המים תלויה בטמפר'
 וגטפח, ואליה נשאכים קבוצ במהלך הירקלוק.

לכן האורגניה היציה מהמאלי חום.
 שימו לב שלא הפכנו חום לעבודה ביצילוג של 100% (מה שגיה
 מפר את העוק השני), אלא האנטרופיה של המצורה כולה
יגלה