

ביצ'קה תרמית - תרגול 8

- תהליכים תרמוקומוניים
- אנטרוספרה אקיאובלית
- מקדמת אנטרופיה פנומית בגז אמוני

(I) תהליכים תרמוקומוניים

השקוץ שגור עסקנו התהליך מאז סביצ'י, תהליך בו ומערכת אינה מתמסרת חום עם הסביבה. למה קראנו תהליך אקיאובל והראנו שתהליך אקיאובל + קוואזי-סטט הוא בהכרח תהליך אינטרופי, קרי תהליך שלאורכו האנטרופיה נשמרת, שזה תהליך הפיזי. היום נלמד לקון. התהליכים באופן כללי ובמקרים הפרטיים הכוללים מבפנים. תהליכים אשר קל לייצר בניסוי הם בקורס כאלה שאחזק הפחמנים נשארו קבוע. לכן, התהליכים המרכזיים הם:

(א) תהליך איזוברי - תהליך במחץ קבוע

(ב) תהליך איזוכורי - תהליך בהנחה קבוע

(ג) תהליך איזותרמי - תהליך בטמפרטורה קבועה

(ד) תהליך אקיאובל - תהליך בו אין התמסרת חום עם הסביבה.

כשכוחים להבין אינטראקציות מה קורה בכל אחת מהתהליכים, קל לקמ"ן אותם במערכת של בוכנה המכילה גז. ~~המערכת~~ עבור גז אקיאובל: $PV = Nk_B T$, ועכ"פ בכל תהליך שכזה מתקיימים הקשרים הבאים בהתייחסות:

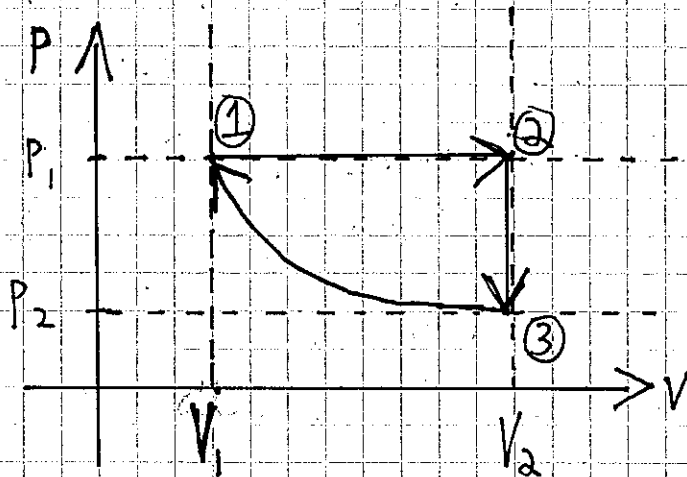
(א) איזוכורי: $V \propto T \Leftrightarrow$ כאשר מקילים את הטמפרטורה

ח"מים למחם את הווצ כפי לשמור על לחץ קבוע, מח'לפון, כשהשז מתחמם, הוא מנפח את הגלון כפי לשמור על לחץ קבוע.

ב) איזוטרופי - $T \propto P \Leftrightarrow$ כשהוא מתחמם, הלחץ גדל
 קבועת הכולר, גורם, שטח נפח הכולר קבוע.

ג) איזוטרמי: $\frac{1}{V} \propto P \Leftrightarrow$ כשהוא מתחמם, הלחץ גדל
 יורק כי האנפ' קבועה ונקיים וההיכולות האקסלויות
 של התמקיקים.

ד) איזוטרמי: $PV^\sigma = \text{const}$ כאלו שגור שגור מתקיים



קורס א

התבנים הנ"ל מתאר תהליך קבוע איזוטרופי המורכב משלושה תהליכים נפרדים (כל התהליכים קואאזי-סטטים ועם אנטרו וטלים בכלם לקיים תבנים כזה במישור P-V. אחרת, היקלים V, P לא מוזקרים למורק התהליך, אלא כן בהתחלה ובסוף, כאשר המערכת בשיווי משקל. לשם התבנים המתוארים למעלה הם: איזוטרופי, איזוכורי ואיזוברי.

מהו התס"ט המתאר ג' התבנים? השבו בכל אחד מהתבנים את השוני באנרגיה הפנימית, ציחית הקום וכמוה העבודה שנעשה ג' המערכת (W_{by} לשם מטוס העבודה שנעשה עם המערכת (W_{on}).

$$\left(dW_{on} = -P dV \quad dW_{by} = +P dV \right)$$

בת כוון:

סלבי 2 → 1: התפשטות איזוכורית. חימום הבוכנה תוך שמירה על הלחץ, למשל ע"י העתת משקלם. המ"צ צרה לחץ קבוע של הבוכנה. נקבל את הקשר:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

התחמם את התהליך בטמפ' T_1 וסיימנו אותו בטמפ' $T_2 < T_1$ צינפנו את המערכת למאמץ חום בטמפ' T_2 וכך חיימנו את המערכת.

סלבי 3 → 2: ירידת לחץ איזוכורית. קירור הבוכנה תוך קביעת הנפח, למשל ע"י נעילת הבוכנה. הסוף התהליך נסיים בטמפ' $T_3 > T_2$ ומתקיים

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

נסיים בטמפ' $T_3 > T_2$ ומתקיים

סלבי 1 → 3: קחיסה איזותרמית. קחיסת הלז תוך שמירה

$$T_1 = T_3$$

על טמפ' קבועה T_3 . לכן תייה למתקיים

מזנקים את המערכת למאמץ חום בטמפ' $T_1 = T_3$ געג

הקחיסה. הלז צורך חום החוצה למאמץ (למאמץ חום)

הקול ולכן מאמץ על טמפ' קבועה) המקום להתחמם העלמו.

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

$$P_2 V_2 = P_1 V_1$$

מתקיים:

$$\Delta W_{1 \rightarrow 2}^{on} = - \int_{V_1}^{V_2} P dV = -P_1 (V_2 - V_1)$$

העבודה ככל סלבי

$$\Delta W_{2 \rightarrow 3}^{on} = 0$$

כי $dV = 0$ קבוע הנפח

$$\Delta W_{3 \rightarrow 1}^{on} = - \int_{V_2}^{V_1} \frac{N k_B T_1}{V} dV = N k_B T_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

שימו לב שהעבודה לאורך מסלול אינה אפס! dW לא

קיבוליות גאס!

$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = \frac{f}{2} N K_B (T_2 - T_1) = \frac{f}{2} P_1 (V_2 - V_1) \quad \text{השינוי באנרגיה}$$

$$\Delta U_{2 \rightarrow 3} = \frac{f}{2} N K_B (T_1 - T_2) = -\frac{f}{2} P_1 (V_2 - V_1)$$

$$\Delta U_{3 \rightarrow 1} = 0 \quad \longleftrightarrow \quad \text{כי הטמפ' קבועה בתהליך זה}$$

$U = \frac{f}{2} N K_B T$

שימו לב שטאן השינוי באנרגיה מתאפס! הסיבות שזוהו - dU קיבוליות גאס!

החום הנכנס בתל של גז: $Q_{in} = \Delta U - W_{on}$

$$\begin{aligned} Q_{1 \rightarrow 2}^{in} &= \Delta U_{1 \rightarrow 2} - \Delta W_{1 \rightarrow 2}^{on} = \frac{f}{2} P_1 (V_2 - V_1) - (-P_1 (V_2 - V_1)) = \\ &= \frac{2+f}{2} P_1 (V_2 - V_1) = \frac{2+f}{f} \cdot \frac{f}{2} P_1 (V_2 - V_1) = \gamma \frac{f}{2} N K_B (T_2 - T_1) \\ &= \gamma \cdot C_V \cdot \Delta T = C_P \Delta T \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{1 \rightarrow 2}^{in} = C_P \Delta T}$$

בתהליך גאז קבוע, החום שנכנס שווה לקיבול החום C_P במחצית קבוע כמות הגז הטמפ' \leftarrow זו הסיבה של C_P

שימו לב ש: $Q_{1 \rightarrow 2}^{in} > 0$ כי בשלב הזה חימום אירוס.

$$\boxed{Q_{2 \rightarrow 3}^{in} = \Delta U_{2 \rightarrow 3} - \Delta W_{2 \rightarrow 3}^{on} = -\frac{f}{2} P_1 (V_2 - V_1) < 0 \quad (= -C_V \Delta T)}$$

כי בשלב הזה קוררנו אור, המערכת אפלט חום לסביבה

$$Q_{3 \rightarrow 1}^{in} = \Delta U_{3 \rightarrow 1} - \Delta W_{3 \rightarrow 1}^{on} = -P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) < 0$$

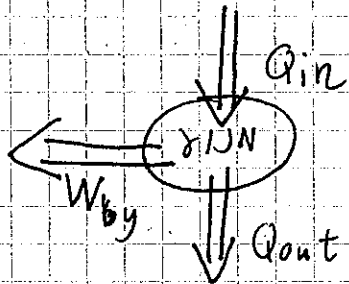
אם כן קוררנו אור המערכת $Q^{in} < 0$

$$\downarrow \quad Q^{out} = -(Q^{in}) > 0$$

$Q_{in} = \sigma \frac{\gamma}{2} P_1 (V_2 - V_1)$ סה"כ התנסו חום למטה ככה:

$W_{by} = -W_{on} = P_1 (V_2 - V_1) - P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ תפקוד עבודה:

$Q_{out} = +\frac{\gamma}{2} P_1 (V_2 - V_1) + P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ ופלטו חום למעלה:



קל לזכור את הקיים

$Q_{in} = W_{by} + Q_{out}$

שנה כמות שינוי אנרגיה כ"י

$\Delta U = 0$ עבור המנוע

$\eta = \frac{W_{by}}{Q_{in}}$

יעילות המנוע מושקרת מהזור

$\eta < 1$ לכל מנוע טיפיק מתקיים

$$\eta = \frac{2}{2+\gamma} \left[1 - \frac{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}{\frac{V_2}{V_1} - 1} \right] < 1$$

קל לזכור כי במקרה הזה

II אטמוספירה אוקיאנית

כאיתם כבר הבית, תוך שימוש בהתפלגות בולצמן, טיפיק ניתן לקבל את תלות הלחץ האווירי במרחק הרוחב מהאטמוספירה

היא בטמפרטורה אחידה. הנתה זו כמוקן שזוויה ונכונה

הנתה האווירי יותר. הנתה המתאמת היא ס' חלטה

החום באויר היא מן נמוכה, ולכן יהיה לטמפרטורה אוקיאנית

כזכור, התהליך כזה מתקיים $T V^{\sigma-1} = const$

$P V \propto T$

$\Rightarrow T^{\sigma} P^{1-\sigma} = const \Rightarrow \sigma T^{\sigma-1} P^{1-\sigma} dT + (1-\sigma) T^{\sigma} P^{-\sigma} dP = 0$

$\frac{dP}{P} = \frac{\sigma}{\sigma-1} \frac{dT}{T} \Leftarrow T^{\sigma-1} P^{-\sigma} [\sigma P dT + (1-\sigma) T dP] = 0$

ע"פ האיתם בבית אור משוואת הלמץ ההיקרוסטי

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

כאשר ρ צפיפות הגז (משוואה בלברט) משוואת הלמץ ההיקרוסטי (המשוואה של אדמנד) $dz \cdot A$ וכוונתו

$$\rho = \frac{Nm}{V} = \frac{m}{k_B T} \frac{Nk_B T}{V} = \frac{mP}{k_B T}$$

המשוואה של אדמנד

$$\frac{dP}{P} = - \frac{mg}{k_B T} dz$$

$$\frac{dP}{dz} = - \frac{mg}{k_B T} \cdot P$$

אם הטמפרטורה קבועה, ש"כ קבוע:

$$P = P_0 e^{-\frac{mgz}{k_B T}}$$

$$P = \frac{m}{k_B T} \cdot P = \rho_0 e^{-\frac{mgz}{k_B T}} \Rightarrow$$

התפלגות בולצמן!
בממשק יבולתם בבית!

צפיפות

משוואת הלמץ ההיקרוסטי

$$\frac{dP}{P} = \frac{\sigma}{\sigma-1} \frac{dT}{T} = - \frac{mg}{k_B T} dz$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{dz} = - \frac{\sigma-1}{\sigma} \frac{mg}{k_B} = - \frac{\sigma-1}{\sigma} \frac{\mu g}{R} = \text{const}$$

$\mu = N_A \cdot m$ ש"כ

$R = N_A k_B$ ג'אס

$$T(z) = T_0 - \frac{\sigma-1}{\sigma} \frac{\mu g}{R} \cdot z$$

קב"פ קבוע

עבור אוויר, מתקיים קירוב $\frac{7}{5} \approx \gamma$ (גז אידיאלי)
 קו-אטמוספירה, וכך, הוצגת מספרים מקבילים:

$$\frac{\mu g}{\sigma} \approx 9.8 \text{ km}^{-1}$$

כלומר, חרף כל הגלים באוויר של מאה מטר, יהיה הזנק
 יזוקה בטמפ' של חמישה אחוז.

III מקרים אחרים פנימיים

כשגז פנימיים את קירוב הגז האידיאלי, אנו מניחים
 שהאנרגיה הפנימית תלויה אך ורק בטמפרטורה, ועל
 גלגל או גרם: $u = \frac{f}{2} N k_B T$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial V} \right|_T = \left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T = 0$$

למדידת (אם לא כל) הזגים, קירוב הגז האידיאלי הוא טוב
 בצפיפות (או במחצית) נמוכה, אז ניתן להצגות את
 האויסקריות בין התלקים.

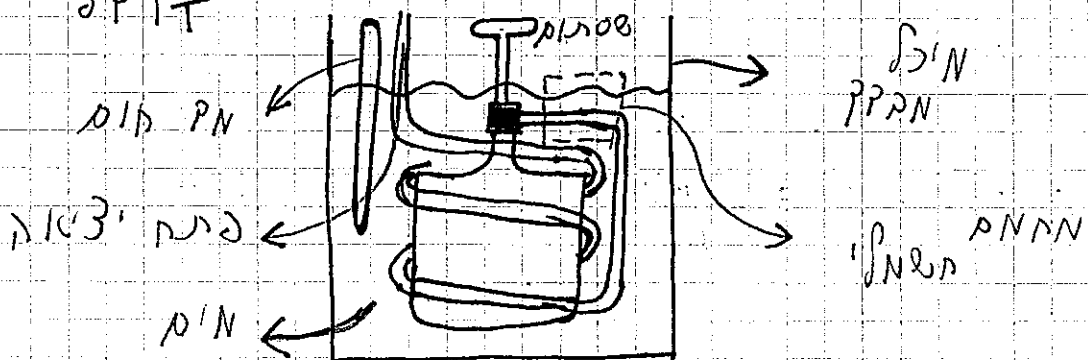
אבל זהו רק קירוב! בפועל, יש טמפרטורה מסוימת
 ולכן מתחלק המאה ה-20, הולקס המון מאמץ היסטורי

למקור את $\left. \frac{\partial u}{\partial V} \right|_T$ או $\left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T$ או את
 $\left. \frac{\partial T}{\partial V} \right|_u$ (התקרא מקדם ג'אנס) ולכאורה בכמה האקסטרם
 מאפס.

רצוי כאן טיפוס של קירוב " Rossini and Frandsen

$$\left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T$$

גשנת 1932 עם מנת למקור את



נתון מיכל הנפח V_B המכיל n מולים של גז הנמצא
 בתנאי $P > P_a$ (P_a זו לחץ האטמוספירה), יטמן
 צינור ארוך וקוק המלווה סביב המיכל שקרבו הוא יכול
 לעבור החוצה ולקיבל את הסביבה. הלחץ הצינור הוא P_a
 כל המערכת נמצאת בתוך מיכל מים, שנתיק לשלוט
 הטמפרטורה של המים (כל המים) ולווקאו שהיא גרירה צפה
 בכל כלי למפ' הסביבה (האוויר מחוץ למיכל). למפ'
 "ע" גררוב המים במיכל.

פותחים למפ' את השסתום ומאפשרים לגז לעבור החוצה
 קצק הצינור את הסביבה. כאותו זמן, מאזנים את
 למפ' אחיקה וקבוצה של המים, הגז, המיכל, והצינור באמצעות
 קינור "ע" תל משמ' הנמצא במים + גררוב כקו למחמם
 בצורה אחיקה.

בצורה הזאת, כל האנרגיה החשמלית שמספקת למים
 היא בקיוק החום Q שסופג הגז במהלך ההתפשטות
 (אחרת, טמפרטורת המים - שמתפקדים כאן כמקלט חום
 עבור הגז - הייתה משתנה).

~~אנרגיה~~ החבוצה שמכוננת "ע" הוא: $W = -P_a(n\tilde{V}_a - V_B)$
 כאשר P_a זה לחץ האטמוספירה, \tilde{V}_a זה הנפח המולרי
 של הגז בתנאי האטמוספירה (הנפח שטופס מול אחד של גז
 בתנאי האטמוספירה), V_B נפח המיכל, $V_B < n\tilde{V}_a$

נסמן ב- $\tilde{u}(P, T)$ את האנרגיה הפנימית המולרית
 של הגז בתנאי P וטמפ' T . לכן, שמור אנרגיה

מתוכם:
$$\tilde{u}(P_a, T) - \tilde{u}(P, T) = \frac{Q+W}{n}$$

$$\tilde{U}(P_a, T) - \tilde{U}(P, T) \equiv \Delta \tilde{U}(P, T) = \frac{Q}{n} - P_a \tilde{V}_a + \frac{P_a V_B}{n}$$

Q קיבולת חום

\tilde{V}_a נפח המיכל יקור

\tilde{V}_B נפח מולקול של הגז במיכל

P_a לחץ האטמוספירה

n מספר המולים של הגז מוכתב ע"י (אחידות אטמ)

הלחץ והתנאים בהקף המיכל P.

נצ"כיים של $\Delta \tilde{U}(P)$ כגודל קטן, ר"י גיבולת

הנ"ס'ים הם מספרים קטנים התחלתיים שלונים.

מכיוון ש: $\tilde{U}(P_a, T) = \text{const}$, נקבל ש:

$$\left. \frac{\partial \tilde{U}(P, T)}{\partial P} \right|_T = \left. \frac{\partial \Delta \tilde{U}(P, T)}{\partial P} \right|_T \rightarrow \text{נשון מהיפוך של הדרג המיקום.}$$

מתקבל שבטווח המצויים $P = 1-40 \text{ atm}$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T \neq 0 \text{ ובלתי גלוי בהמשך!}$$

כמו כן $\left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T = f(T)$ (גודל קטן) 28°C

$$\frac{u}{P} \approx \frac{f}{R}$$

$$\left(\left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T \approx -6.1 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{atm}} \right)$$

$$\tilde{U}(P, T) = P \cdot f(T) + F(T)$$

כאשר $F(T)$ פונקציה נוספת של טמפרטורה בלבד.

צגו מחדש פיתוח טיפוס בסדר ראשון בתחילת סעיף הגז האידיאלי

שבו u פונקציה של הטמפרטורה בלבד.

(מ"ס'ים קטנים רבים בטווחי לחץ וטמפרטורה שונים הרואו)

$$\left. \frac{\partial u}{\partial P} \right|_T = 0 \text{ כי יתחיל שבו}$$

הדרך: מכיוון שקיבול החום כאילו גמורה בהרבה
 מצד של המים ושל המקיחוס, על מנת לשמור על טמפר'
 יחסית אחידה באז (סטירג'ל אמוצים בוקקים) יש
 לשמור על טמפר' קבועה במים אך כפי סטיוניג'ל
 אופיית המעלה קלווין.

$$\frac{du}{dt} = \frac{P}{V}$$

הקווק בניסוי המקורי של מקיחג

היה $\sim 2.5\%$