מחברת מס' 2
מתוך 2 מחברות

אוניברסיטת תל-אביב TEL AVIV UNIVERSITY

הוראות לנבחנים ולנבחנות (נכתבו בלשון זכר אך נועדו לשני המינים)
לפני התחלת הבחינה מלא את כל הפרטים הבאים בכתב ברור וקרא בעיון את ההוראות:

תאריך הבחינה 19/2/09

שם הקורס פרקים בפיזיקה קלאסית

שם המורה פרופ' [illegible]

החוג/המגמה פיזיקה

מס' זיהוי
(העתק מכרטיס הנבחן/התלמיד)
3 0 0 3 0 9 2 0 0

03211104011
300309200 30

1. הנך נדרש לשמור על טוהר הבחינה ועל עבודה עצמית ולהישמע להוראות המשגיחים ולנוהלי האוניברסיטה. אין להעתיק, אין לדבר ואין להעביר חומר בין הנבחנים.

נבחן הנוהג בניגוד להוראות צפוי להפסקת בחינתו ולהעמדה לדין משמעתי.

2. על הנבחן להבחן בחדר שבו הוא רשום.
3. אין להחזיק **טלפונים ניידים** או אמצעי תקשורת ומכשירים אלקטרוניים כלשהם בזמן הבחינה. על הנבחן להניח את כל חפציו האישיים בצד החדר הרחק ממקום מושבו.
4. אין להחזיק בהישג יד, בחדר הבחינה או בסמוך לו, כל חומר הקשור לבחינה או לקורס פרט לחומר שהשימוש בו הותר בכתב על ידי המורה.
5. קריאת השאלון מותרת רק לאחר קבלת רשות מהמשגיח.
6. נבחן לא יעזוב את מקומו ולא את חדר הבחינה בטרם סיים את הבחינה ללא קבלת רשות מהמשגיח. בעת יציאה מן החדר, יפקיד הנבחן את מחברות הבחינה והשאלון (טופס הבחינה) בידי המשגיח.
7. נבחן שנכנס לחדר הבחינה וקיבל את השאלון לידיו, לא יהא רשאי לעזוב אותו אלא כעבור חצי שעה לפחות ממועד תחילתה ורק לאחר שיחזיר למשגיח את המחברת **ואת השאלון**, ויקבל ממנו את התעודה המזהה שאותה מסר עם כניסתו לכיתה. נבחן שהחליט לעזוב בלי לכתוב את הבחינה ייחשב כמי שנבחן במועד זה וציונו יהיה "0".
8. אין לכתוב את השם או כל פרט מזהה אחר בתוך המחברת. פרטי הנבחן ימולאו על כריכת המחברת במקום המיועד לכך בלבד.
9. אין לתלוש דפים מהמחברת. טיוטה תיכתב בתוך המחברת בלבד. אין להשתמש בדפים שהביא הנבחן.
10. יש לכתוב את התשובות בעט כחול או שחור, בכתב יד ברור ונקי. בתום הבחינה יחזיר הנבחן את המחברת והשאלון ויקבל מיד המשגיח את התעודה המזהה.
11. **אין לכתוב מעבר לקו האדום משני צידי הדף.**

לשימוש המורה הבוחן:

הציון 100
המחברת נבדקה ביום 1/3/09
חתימת המורה

3452

בהצלחה.

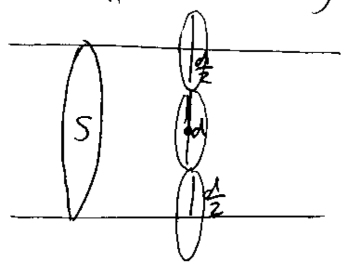
32/33 (4

32 (1

המשך שאלה 4-ב':

נמצא את המהלך החופשי: נתייחס למולקולות בגז כמו כדורים בקוטר d.

נחשב את מס' ההתנגשויות הממוצע למולקולה:



צפיפות המולקולות בגז.

$$\tilde{N} = S V n = \pi d^2 V n$$

$$S = \pi d^2$$

הזמן הממוצע בין ההתנגשויות $\Delta t = \frac{1}{\tilde{N}}$

ידוע כי הרדיוס האפקטיבי למולקולה הוא R_1:

$$\Downarrow$$

$$d = 2R_1$$

$$\Delta t = \frac{1}{\pi (2R_1)^2 V n}$$

$\sqrt{\langle V^2 \rangle}$ = מהירות אפקטיבית ממוצעת למולקולה.

n = צפ' מולקולות בגז.

$$n = \frac{\text{מס' מולקולות}}{\text{יחידת נפח}}$$

$$n \mathcal{V} = N$$

$$n = \frac{N}{\mathcal{V}}$$

מס' מולים

$$\mathcal{V} = \frac{M n}{\rho} \qquad N = n N_A$$

$$\Rightarrow n_{\text{צפ' מולקולות}} = \frac{\cancel{n} N_A}{\frac{M \cancel{n}}{\rho}} = \frac{\rho}{M N_A}$$

$$E_k = \frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle \qquad m = \rho \mathcal{V} = \rho \frac{Mn}{\rho}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}} =$$

T לא נתון בשאלה..

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{1}{4 R_1^2 \pi V_{rms} \cdot \frac{\rho}{M N_A}} = \frac{M N_A}{4 R_1^2 \pi \rho \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}}}$$

כאשר:
$m = M \cdot n$

לא רשמת את Δt בצורת E_k.

המהלך החופשי. המרחק הממוצע שמולקולה עוברת בגז לפני התנגשות.

$$l = V \Delta t = \frac{V}{\tilde{N}} = \frac{\cancel{V}}{4R_1^2 \pi \cancel{V} n_{\text{צפ'}}} = \frac{1}{4R_1^2 \pi \frac{\rho}{M N_A}} = \frac{M N_A}{4 R_1^2 \pi \rho}$$

$$\int \frac{dp}{dT} = \int \frac{\tilde{L}n}{T\left(\frac{m_c+2m_o}{\rho_2} - \frac{M}{\rho_\ell}\right)} \quad \frac{dT}{T}$$

$$p(T) = \frac{\tilde{L}n}{(V_2 - V_1)} \ln T$$

מס׳ המולים של גז CO_2

$$pV = nRT$$

לחץ של גז CO_2 מפורק.

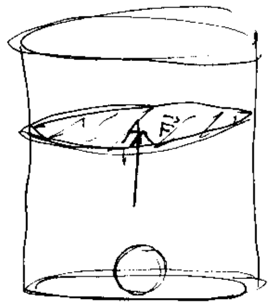
$$p_{CO_2} = \frac{nRT}{V_{CO_2}} = \frac{nRT}{\frac{m_c+2m_o}{\rho_2}} \quad \checkmark$$

1. מים בתוך סאר

v , h , m (מסת הנוזל.) , ρ_l

$T_v = T_0$ (טמפ' התחלה.) , p_0

$\tilde{L} \rightarrow$ חום כמוס מולרי לאידוי.



גז CO_2 : צפ' מסה ρ_2

$m_c \rightarrow$ מסת אטום פחמן

$m_o \rightarrow$ מסת אטום חמצן

$T \rightarrow$ טמפ' המים + תכולתו.

נפח הנוזל:

$$V_{A\,נוזל} = \frac{m}{\rho_l}$$

נפח הגז: CO_2:

$$m_{גז} = V_{גז}\,\rho$$

$$V_{2\,גז\,CO_2} = \frac{m_{גז}}{\rho_2} = \frac{m_c + 2m_o}{\rho_2}$$

$$m_{גז\,CO_2} = m_c + 2m_o$$

א. $F = ?$

$$F = pA$$

$$V = Ah$$

$$A = \frac{V}{h}$$

שטח חתך של המים.

$$\boxed{F = p\frac{V}{h}}$$

(נמצא את הלחץ שהנוזל במים מפעיל על הדופן העליונה.

במים יש נוזל וגז.

בקירוב $V_2 >> V_1$ (נפח הגז. / נפח הנוזל. (אדי הנוזל).)

נניח את [illegible] גז!

$$V_2 = \frac{nRT}{p}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\tilde{L}n}{T(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\tilde{L}n}{T\frac{nRT}{p}} = \frac{\tilde{L}np}{nRT^2}$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{\tilde{L}}{R}\frac{dT}{T^2}$$

נבצע אינטגרציה:

$$\ln p = \frac{\tilde{L}}{R}\left(\frac{-1}{T}\right) + C$$

$$p(T) = D\exp\left(\frac{-\tilde{L}}{RT}\right)$$

וידוע כי הנוזל רותח בטמפ' T_0 בלחץ p_0:

$$p_0 = D\exp\left(\frac{-\tilde{L}}{RT_0}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{p(T)}{p_0} = \exp\left(\frac{\tilde{L}}{RT_0} - \frac{\tilde{L}}{RT}\right)}$$

כמו כן ידוע כי הטמפ' של המים + הגז היא T $\Leftarrow$

הלחץ במים $p(T) = p_0\exp\left(\frac{\tilde{L}}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right)$ V

אבל כאשר v_2 שלו גדול בהרבה מ-v_1

v_2 ← (נפח הגז) (הנוסח ההיות מסודרת)

v_1 ← (נפח הנוזל) (המסה היותר מעוברת):

לכן:

כאשר ידוע ש:

$$\begin{cases} v_1 = \dfrac{m}{\rho_l} \\ v_2 = \dfrac{m_c + 2m_0}{\rho_2} \end{cases}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{n\tilde{L}}{T(v_2 - v_1)}$$

$$dp = \frac{n\tilde{L}}{v_2 - v_1}\frac{dT}{T}$$

נעשה אינטגרציה:

$$p(T) = \frac{n\tilde{L}}{v_2 - v_1}\ln T + c$$

עובדה ידוע היכן נשאבה:

$$\begin{cases} p(T) = p_0 \\ T_v = T_0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \underset{\text{הכוח שפועל ממכסה על הדופן העליונה של}}{F} = p\frac{V_1}{h} = p_0\frac{V}{h}\exp\left(\frac{L}{R}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T}\right)\right) + \underline{\rho_{CO_2}\frac{V}{h}}$$

ב. $k = \frac{1}{B}$ קומפרסיביליות

R_2

כדור קטן:

$R_{2f} = ?$

$$\frac{\text{stress}}{\underset{(\text{יחסי})}{\text{strain}}} = B$$

על הכדור פועל עכשיו לחץ Δp (מתוך הנוזל)

$\Downarrow$

הנפח שלו קטן

$\Downarrow$

הרדיוס שלו קטן

$V_f < V_0$

$V_f - V_0 < 0 \qquad R_f < R_0$

$$\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V_0}} = -B \Rightarrow \Delta p = -\frac{\Delta V}{V_0}B = -\frac{\Delta V}{V_0}\cdot\frac{1}{k}$$

$$\left(B = \frac{1}{k}\right)$$

$$\Delta V = -V_0\Delta p k$$

$\Delta V = V_f - V_0 \qquad V_f - V_0 = -V_0 k\Delta p$

$\boxed{V_0 = \frac{4\pi}{3}R_2^3} \qquad V_f = V_0(1 - k\Delta p)$

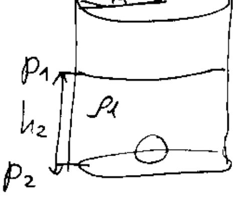
$\left(V_{\text{נפח כדור}} = \frac{4\pi}{3}R^3\right) \qquad V_f = \frac{4\pi}{3}R_{2f}^3 \qquad \frac{4\pi}{3}R_{2f}^3 = \frac{4\pi}{3}R_2^3(1 - k\Delta p)$

$$R_{2f} = R_2\sqrt[3]{1 - k\Delta p}$$

נתון כי הלחץ שפועל על הכדור שווה בקירוב ללחץ בתחתית הכלי.

נחשב את הלחץ בתחתית הכלי

אין זרימות נוזל בכלי ⇐ לפי חוק פסקל:



$p_2 = p_1 + \rho_l g h_2$

$m_{\text{נוזל}} = \rho_l V_{2\,\text{נוזל}} =$

$V_{2\,\text{נוזל}} = \frac{m}{\rho_l}$

$V_{2\,\text{נוזל}} = \pi R^2 h_2 \Rightarrow h_2 = \frac{\frac{m}{\rho_l}}{\pi\frac{V}{\pi h}} = \underline{\underline{\frac{mh}{\rho_l V}}} \rightarrow$ גובה פני הנוזל.

כלי. $V = \pi R^2 h \Rightarrow R^2 = \frac{V}{\pi h}$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\frac{kg\,m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg \cdot \cancel{m}}{s^2 \cdot m^{\cancel{2}}}$$

$$\frac{kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \cancel{m}}{m^{\cancel{2}}} = \frac{kg}{m s^2}$$

$$a = \sqrt[3]{1 - k\left(p_1 + \rho g h\right)} < 1$$

$$< 0$$

$$p_1 = p_0 \exp\left(\frac{\tilde{L}}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right)$$ לאחר מכן הנוזל יהיה:

$$\Rightarrow p_2 = p_1 + \cancel{\rho} g \frac{mh}{\cancel{\rho} r} = p_1 + \frac{mgh}{r}$$

למה יש?

$$\Delta p = p_2$$ (אין יח' של לחץ: $\left[\frac{kg}{m \cdot s^2}\right]$)

$$\Rightarrow R_{2f} = R_2 \sqrt[3]{1 - k\left(p_1 + \frac{mgh}{r}\right)}$$

$$\Delta R_2 = R_{2f} - R_2 = R_2 \sqrt[3]{1 - k\left(p_1 + \frac{mgh}{r}\right)} - R_2$$

$$\Delta R_2 = R_2 \sqrt[3]{1 - k\left[\left(p_0 \exp\left(\frac{\tilde{L}}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right)\right) + \frac{mgh}{r}\right]} - R_2$$ ✓

ג. $T \rightarrow$ טמפ' הכדור. כשנחמם את הכדור הוא יתפשט.

$\alpha \rightarrow$ מקדם התפשטות חום אורכי. נרצה שהכדור יחזור למימדיו המקוריים:

$\beta = 3\alpha$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T$$

$T_f = ?$

עכשיו יש התפשטות

$$\frac{\Delta r}{r_0} = \beta \Delta T = 3\alpha \Delta T$$

$r_f > r_0$

$R_f > R_0$

$\begin{cases} R_f = R_2 \\ R_0 = R_{2f} \end{cases}$

$(R_2 > R_{2f})$ הכדור יחזור למימדיו המקוריים אם: $R_f = R_2$.

$$\Delta R = R_f - R_0 = R_2 - R_{2f}$$

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \alpha(T_f - T)$$

$$\frac{R_2 - R_{2f}}{R_{2f}} = \alpha T_f - \alpha T$$

$$\alpha T_f = \frac{R_2 - R_{2f}}{R_{2f}} + \alpha T$$ ✓

$$T_f = \frac{R_2 - R_{2f}}{\alpha R_{2f}} + T$$

$$R_2 - R_{2f} = -(R_{2f} - R_2) = -\Delta R_2$$

$$\frac{1-a}{\alpha a} + \cancel{\lambda} > \cancel{\lambda} \quad > 1$$

$$1-a > \alpha a$$

$$1 > \alpha \cancel{\ } a + a$$

$$1 > a(\alpha+1)$$

$$\vee$$

$$1$$

$$a < 1 \; ?$$

$$T_f = \frac{-\Delta R_2}{\alpha R_{2f}} + T$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{-\cancel{R_2}\left(\sqrt[3]{1-k\left[\left(p_0 \exp\left(\frac{\tilde{L}}{R}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T}\right)\right)+\frac{mgh}{r}\right]}\right)+\cancel{R_2}\,1}{\alpha \cancel{R_2}\sqrt[3]{1-k\left[p_0 \exp\left(\frac{\tilde{L}}{R}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T}\right)\right)+\frac{mgh}{r}\right]}} + T$$

$\alpha > 0$

בית הדפוס

אוניברסיטת תל-אביב

30

מחברת מס' 1 מתוך 2 מחברות

אוניברסיטת תל-אביב TEL AVIV UNIVERSITY

הוראות לנבחנים ולנבחנות (נכתבו בלשון זכר אך נועדו לשני המינים)
לפני התחלת הבחינה מלא את כל הפרטים הבאים בכתב ברור וקרא בעיון את ההוראות:

תאריך הבחינה 19/2/09

שם הקורס פרקים בפיזיקה קלאסית

שם המורה פרופ' גרבר

החוג/המגמה פיזיקה

מס' זיהוי
(העתק מכרטיס הנבחן/התלמיד)
3 0 0 3 0 9 2 0 0

לשימוש המורה הבוחן:

הציון ____________

המחברת נבדקה ביום ____________

חתימת המורה ____________

2691

1. הנך נדרש לשמור על טוהר הבחינה ועל עבודה עצמית ולהישמע להוראות המשגיחים ולנוהלי האוניברסיטה. אין להעתיק, אין לדבר ואין להעביר חומר בין הנבחנים.

נבחן הנוהג בניגוד להוראות צפוי להפסקת בחינתו ולהעמדה לדין משמעתי.

2. על הנבחן להבחן בחדר שבו הוא רשום.
3. אין להחזיק **טלפונים ניידים** או אמצעי תקשורת ומכשירים אלקטרוניים כלשהם בזמן הבחינה. על הנבחן להניח את כל חפציו האישיים בצד החדר הרחק ממקום מושבו.
4. אין להחזיק בהישג יד, בחדר הבחינה או בסמוך לו, כל חומר הקשור לבחינה או לקורס פרט לחומר שהשימוש בו הותר בכתב על ידי המורה.
5. קריאת השאלון מותרת רק לאחר קבלת רשות מהמשגיח.
6. נבחן לא יעזוב את מקומו ולא את חדר הבחינה בטרם סיים את הבחינה ללא קבלת רשות מהמשגיח. בעת יציאה מן החדר,יפקיד הנבחן את מחברות הבחינה והשאלון (טופס הבחינה) בידי המשגיח.
7. נבחן שנכנס לחדר הבחינה וקיבל את השאלון לידיו, לא יהא רשאי לעזוב אותו אלא כעבור חצי שעה לפחות ממועד תחילתה ורק לאחר שיחזיר למשגיח את המחברת **ואת השאלון**, ויקבל ממנו את התעודה המזהה שאותה מסר עם כניסתו לכיתה. נבחן שהחליט לעזוב בלי לכתוב את הבחינה ייחשב כמי שנבחן במועד זה וציונו יהיה "0".
8. אין לכתוב את השם או כל פרט מזהה אחר בתוך המחברת. פרטי הנבחן ימולאו על כריכת המחברת במקום המיועד לכך בלבד.
9. אין לתלוש דפים מהמחברת. טיוטה תיכתב בתוך המחברת בלבד. אין להשתמש בדפים שהביא הנבחן.
10. יש לכתוב את התשובות בעט כחול או שחור, בכתב יד ברור ונקי. בתום הבחינה יחזיר הנבחן את המחברת והשאלון ויקבל מיד המשגיח את התעודה המזהה.
11. **אין לכתוב מעבר לקו האדום משני צידי הדף.**

בהצלחה.

עיינתי על שאלות: 1,3,4.

נתונים: M, ρ, N, p_2, p_1, α, γ

M – מסה מולרית

ρ – צפיפות מסה ב a.

3.

$p_a = p_1$

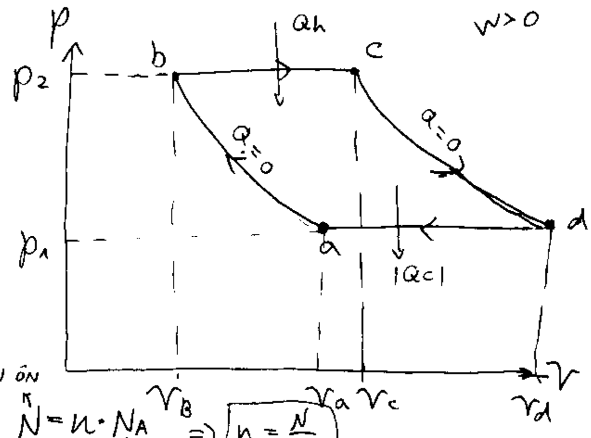
$p_b = p_2$

$pV = nRT$ <= גז אידאלי

$$\boxed{pV = Nk_B T}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

$$\alpha = \frac{V_c}{V_b} \rightarrow V_c = \alpha V_b$$



$m = V_a \rho$ (המסה נשמרת בכל התהליך)

$m = M \cdot n$ (n – מס' המולים.)

$N = n \cdot N_A$ (N – מס' מולקולות, N_A – מס' אבוגדרו.) $\Rightarrow \boxed{n = \frac{N}{N_A}}$

	Q	ΔU	W	ΔS
ab	0	בגוף הבחינה	$\frac{MN(p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}} - p_1)}{\rho N_A (1-\gamma)}$	0
bc	בגוף הבחינה	בגוף הבחינה	$p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}} (\alpha - 1) \frac{MN}{\rho N_A}$	בגוף הבחינה
cd	0	בגוף הבחינה	כתוב בגוף הבחינה	0
da	בגוף הבחינה	בגוף הבחינה	$p_1 \frac{MN}{\rho N_A} (1-\alpha)$	בגוף הבחינה

• תהליך אדיאבטי $a \to b$ ו: $c \to d$ הוא תהליך בו לא נכנס חום למע': $Q=0$.

• החוק הראשון של התרמודינמיקה אומר כי: השינוי באנרגיה הפנימית שווה לחום שנכנס למע' פחות העבודה שהמע' מבצעת:

$$\Delta U = Q - W$$

לכן עבור התהליכים האדיאבטיים:

$$Q_{ab} = 0, \quad Q_{cd} = 0 \Rightarrow \boxed{\Delta U = -W}$$

כמו כן לתהליך אדיאבטי מתקיימים הקשרים הבאים:

$$\begin{cases} pV^{\gamma} = const. \\ TV^{\gamma-1} = const. \end{cases} \Rightarrow p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}, \quad p = \frac{p_1 V_1^{\gamma}}{V^{\gamma}}$$

תהליך אדיאבטי.

$$W = \int_1^2 p\,dV = p_1 V_1^{\gamma} \int_1^2 V^{-\gamma} dV = p_1 V_1^{\gamma} \left. \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \right|_{V_1}^{V_2} = \frac{\overbrace{p_1 V_1^{\gamma}}^{= p_2 V_2^{\gamma}} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})}{1-\gamma}$$

$$= \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-\gamma} \quad ✓$$

עבור תהליך $a \to b$:

$$W_{ab} = \frac{p_b V_b - p_a V_a}{1-\gamma} = \frac{p_2 V_b - p_1 V_a}{1-\gamma}$$

$$\Delta U_{ab} = -W_{ab}$$

(גם תהליך cd הוא אדיאבטי) $W_{cd} = \frac{\overset{= p_1}{p_d} V_d - \overset{= p_2}{p_c} V_c}{1-\gamma}$ ✓

$Q = n\tilde{c}_v \Delta T$

$V = \text{const.}$

$\underline{W=0}$

$\Delta U = Q =$

מול. $\dfrac{\text{מולקולות}}{\text{מול}} = N_A \cdot n = N$

$\Rightarrow Q > 0$

$\Rightarrow n \geq 0$

תהליך b→c: תהליך איזוברי: $p_b = p_2 = const.$

$\Delta U = Q - W$

$$W_{bc} = p_2\int_{V_b}^{V_c} dV = p_2(V_c - V_b) = p_2 V_b(\alpha - 1)$$ ✓

$$V_c = \alpha V_b$$

לכל תהליך: $\Delta U = n\tilde{c}_v \Delta T$

מקשרים שפיתחתי בעמוד הקודם:

$$m = V_a\rho = \mu\cdot\frac{N}{N_A}$$

$$\boxed{V_a = \frac{\mu N}{\rho N_A}}$$ ✓

מס' אבוגדרו.

תהליך d→a: תהליך איזוברי: $p_a = p_1 = const.$

$$W_{da} = \int \underset{\text{קבוע.}}{p}\, dV = p_1 \Delta V = p_1(V_a - V_d)$$

נמצא V_d: בתהליך c→d: אדיאבטי מתקיים:

$$p_c V_c^{\gamma} = p_d V_d^{\gamma}$$

$p_b = p_2 \qquad p_a = p_1$

$$p_2 V_c^{\gamma} = p_1 V_d^{\gamma}$$

$$\boxed{V_d = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_c}$$ ✓

ובתהליך a→b:

$$p_a V_a^{\gamma} = p_b V_b^{\gamma}$$

$p_1 \qquad p_2$

$$\boxed{V_b = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_a = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{\mu\cdot N}{\rho\cdot N_A}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_c = \alpha V_b = \alpha\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}\cdot\frac{\mu\cdot N}{\rho N_A}}$$

$$V_d = \cancel{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}\alpha\cancel{\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}\frac{\mu\cdot N}{\rho N_A} \Rightarrow \boxed{V_d = \frac{\alpha\mu N}{\rho N_A}}$$

$$\Rightarrow W_{da} = p_1\left(\frac{\mu N}{\rho N_A} - \frac{\alpha\mu N}{\rho N_A}\right) = p_1\frac{\mu N}{\rho N_A}(1-\alpha)$$

$$W_{bc} = p_2(\alpha-1)\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}\cdot\frac{\mu N}{\rho N_A} = (\alpha-1)(p_1)^{\frac{1}{\gamma}}p_2^{\,1-\frac{1}{\gamma}}\cdot\frac{\mu N}{\rho N_A}$$ ✓

$$\Delta U = \frac{MN}{\rho N_A}\left(p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}} - p_1\right) \frac{(\alpha-1)}{(1-\gamma)} = 0$$

$$= \frac{\alpha-1}{\rho(1-\gamma)} \frac{MN}{N_A}\left(p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}} - p_1\right)$$

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$$ איזותרמי

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{1}{\alpha}$$

$$\frac{1}{T_a - T_d} = \frac{1}{\frac{p_1 M}{\rho N_A k_B}(1-\alpha)}$$

$$\frac{T_c}{T_b} = \frac{\frac{\alpha M p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{\frac{1}{\gamma}-1}}{\rho N_A k_B}}{\frac{M p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{\frac{1}{\gamma}-1}}{\rho N_A k_B}} = \alpha$$

$$\frac{1}{T_c - T_b} = \frac{1}{\frac{M p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{\frac{1}{\gamma}-1}}{\rho N_A k_B}(\alpha-1)}$$

$$\Rightarrow W_{ab}=\frac{p_2 V_b - p_1 V_a}{1-\gamma} = \frac{p_2\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}\frac{mN}{\rho N_A} - p_1\frac{mN}{\rho N_A}}{1-\gamma} = \frac{\frac{mN}{\rho N_A}\left(p_1^{\frac{1}{\gamma}}\cdot p_2^{1-\frac{1}{\gamma}} - p_1\right)}{1-\gamma}$$

$$\Rightarrow \boxed{W_{cd}=\frac{p_1\frac{\alpha m N}{\rho N_A} - p_2\frac{\alpha m N}{\rho N_A}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}{1-\gamma}} = \frac{\frac{\alpha m N}{\rho N_A}\left(p_1 - p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}\right)}{1-\gamma}$$

$$\boxed{\begin{aligned}\Delta U_{ab} &= -W_{ab} = \frac{-mN}{\rho N_A}\,\frac{\left(p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}} - p_1\right)}{1-\gamma}\\ \Delta U_{cd} &= -W_{cd} = \frac{-\alpha m N}{\rho N_A}\,\frac{\left(p_1 - p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}\right)}{1-\gamma}\end{aligned}}$$

✓

האנטרופיה בתהליך אדיאבטי היא $\Delta S=0$

בגלל שבתהליך זה $Q=0 \Leftarrow dQ=0 \Leftarrow$ $\quad \Delta S=\int_1^2\frac{dQ}{T}=\underline{\underline{0}}$

(זהו תהליך הפיך) ✓

נזכור שבתהליכים האיזוברים: $p=const.$

$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = n\tilde{C}_p\Delta T$$

נחשב את הטמפרטורות:

$$\begin{cases} T_a V_a^{\gamma-1} = T_b V_b^{\gamma-1} \\ T_c V_c^{\gamma-1} = T_d V_d^{\gamma-1}\end{cases} \qquad (TV^{\gamma-1}=const)$$

$pV=Nk_BT \longrightarrow$ הגז אידאלי.

כמות חלקיקים.

$(\gamma>1)$

$$T_A=\frac{p_A V_A}{Nk_B} = p_1\frac{m\cancel{N}}{\rho N_A \cancel{N}k_B} = \underline{\underline{\frac{p_1 m}{\rho N_A k_B}}}$$

$$T_B=\frac{p_B V_B}{Nk_B} = \frac{p_2}{\cancel{N}k_B}\cdot\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}\frac{m\cancel{N}}{\rho N_A} = \underline{\underline{\frac{m\, p_1^{\frac{1}{\gamma}}\, p_2^{\frac{1}{\gamma}-1}}{\rho N_A k_B}}}$$

$$T_c=\frac{p_c V_c}{Nk_B} = \frac{p_2}{\cancel{N}k_B}\cdot\frac{\alpha m\cancel{N}}{\rho N_A}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = \underline{\underline{\frac{\alpha m\, p_1^{\frac{1}{\gamma}}\, p_2^{\frac{1}{\gamma}-1}}{\rho N_A k_B}}}$$

$$T_d=\frac{p_d V_d}{Nk_B} = \frac{p_1}{\cancel{N}k_B}\cdot\frac{\alpha m\cancel{N}}{\rho N_A} = \underline{\underline{\frac{\alpha m p_1}{\rho N_A k_B}}}$$

$$Q_{bc} = n\tilde{C}_p\,(T_c - T_b) = mC_p\,\Delta T$$

קיבול מולרי בלחץ קבוע.

$$\Delta U_{bc} = C_v\,\Delta T = C_v\,\Delta T$$

$$\boxed{C_p = \gamma C_v} \qquad \boxed{n = \frac{N}{N_A}}$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Downarrow$$

$$Q_{bc} = mC_p\,(T_c - T_b) = \Delta U_{bc} + W_{bc}$$

$$mC_p\,(T_c - T_b) - mC_v\,(T_c - T_b) = W_{bc}$$

$$m(C_p - C_v)\,(T_c - T_b) = W_{bc}$$

$$m\,C_v(\gamma - 1)\,(T_c - T_b) = W_{bc}$$

$$\boxed{C_v = \frac{W_{bc}}{m(\gamma-1)(T_c - T_b)}} \qquad C_p = \gamma C_v$$

$$\Rightarrow \Delta U_{bc} = C_v\,(T_c - T_b) = \cdot\frac{W_{bc}}{(\gamma-1)\cancel{(T_c - T_b)}}\cdot\cancel{(T_c - T_b)}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{\frac{MN}{N_A}} \Leftarrow m = M\frac{N}{N_A} \qquad = \frac{1}{(\gamma-1)}\cdot(\alpha - 1)\,p_1^{\frac{1}{\gamma}}\,p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}\;\frac{MN}{\rho N_A}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta U_{bc} = \frac{MN}{\rho N_A}\,\frac{(\alpha-1)}{(\gamma-1)}\,p_1^{\frac{1}{\gamma}}\,p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}.}$$

באופן דומה

$$\Delta U_{da} = C_v\,\Delta T = C_v\,(T_a - T_d) = \frac{W_{da}\,\cancel{(T_a - T_d)}}{m(\gamma-1)\cancel{(T_a - T_d)}}$$

$$\boxed{\Delta U_{da} = p_1\,\frac{MN}{\rho N_A}\,\frac{(1-\alpha)}{(\gamma-1)}}$$

$$\Rightarrow Q_{bc} = \Delta U_{bc} + W_{bc} = \qquad (\alpha > 0)$$

$$= \frac{W_{bc}}{(\gamma-1)} + W_{bc} = W_{bc}\left(\frac{1}{(\gamma-1)} + 1\right) = (\alpha-1)\,p^{\frac{1}{\gamma}}p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}\,\frac{MN}{\rho N_A}\left(\frac{1}{(\gamma-1)} + 1\right)$$

$$Q_{da} = \Delta U_{da} + W_{da} = W_{da}\left(\frac{1}{\gamma-1}+1\right)$$

$$= \left(\frac{1}{\gamma-1}+1\right) p_1 \frac{mN}{\rho N_A}(1-\alpha) < 0$$

α - תוני ⇓

האנטרופיה בתהליך איזוברי:

תחת ההנחות ש:

① אין עבודה חומרית → מתקיים.

② זהו תהליך: קוואזי-סטטי - מספיק איטי שניתן לקרב את המצב קשת בכל שלב.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

$$dQ = mC_p\, dT$$

$$\Delta S = \int_1^2 m c_p \frac{dT}{T} = m c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\Delta S_{bc} = m c_p \ln\left(\frac{T_c}{T_b}\right) = \frac{\cancel{m}}{N_A}\gamma \frac{W_{bc}}{\cancel{m}(\gamma-1)(T_c-T_b)} \ln\left(\frac{T_c}{T_b}\right)$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot \cancel{(\alpha-1)\, p_1^{\frac{1}{\gamma}}\, p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}}\, \frac{\cancel{m}N}{\cancel{\rho N_A}} \cdot \ln(\alpha) \cdot \frac{\cancel{\rho N_A} k_B}{\cancel{m\, p_1^{\frac{1}{\gamma}}\, p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}\,(\alpha-1)}}$$

חישבתי קודם $\frac{T_c}{T_b} = \alpha$

$$= \frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot N k_B \ln\alpha$$

$$\Delta S_{da} = \int_d^a \frac{\Delta Q_{da}}{T} = m c_p \ln\left(\frac{T_a}{T_d}\right) = \cancel{m}\frac{W_{da}}{\cancel{m}(\gamma-1)(T_a-T_d)} \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right)$$

חישבתי קודם $\frac{T_a}{T_d} = \frac{1}{\alpha}$

$$= \frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot \cancel{p_1}\frac{\cancel{m}N}{\cancel{\rho N_A}}\cancel{(1-\alpha)} \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \frac{\cancel{\rho N_A} k_B}{\cancel{p_1 m (1-\alpha)}}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot N k_B \underbrace{\ln\left(\frac{1}{\alpha}\right)}_{\ln(\alpha)^{-1}} = -\frac{\gamma N k_B}{\gamma-1}\ln\alpha$$

יעילות המנוע. $e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - |Q_c|}{Q_h} = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h}$ *

$$W = Q_h - |Q_c|$$

במנוע זה חום נכנס בתהליך: $b \to c$ $\boxed{Q_h = Q_{bc}}$

וחום יוצא בתהליך: $d \to a$. $\boxed{Q_c = Q_{da}}$

$\gamma > 1$

$0 < e < 1$ $\qquad \frac{1}{\gamma} < 1$

$$e = 1 - \frac{p_2^{\frac{1}{\gamma}} < 1}{p_1^{\frac{1}{\gamma}} \cdot p_2}$$

$\frac{1}{\gamma} - 1 < 0$

$$\frac{1}{p_1^{\frac{1}{\gamma}}} < 1 \quad p_2^{\frac{1}{\gamma} - 1 < 0} < 1 \quad < 1$$

$$\frac{|Q_c|}{Q_h} = \frac{|Q_{da}|}{Q_{bc}} = \frac{\left|-\left(\frac{N_A}{(\gamma-1)\cancel{MN}}+1\right) p_1 \frac{\cancel{MN}}{\cancel{\rho N_A}} \cancel{(\alpha-1)}\right|}{\left(\frac{N_A}{(\gamma-1)\cancel{MN}}+1\right)\frac{\cancel{MN}}{\cancel{\rho N_A}}\cancel{(\alpha-1)}\, p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}} = \frac{1}{p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}}$$

בשאר התקופה של המנוע מדובר בתהליך אדיאבטי.

$\Downarrow$

אין כניסה של חום.

המעגל הנתון הוא מנוע בגלל שמדובר בתהליך סגור.

$$\Delta U = 0$$
$$W = Q$$

והעבודה שנעשית הינו חיובית $W>0$, בגלל שהמעגל הוא עם כיוון השעון.

$$\Rightarrow e = 1 - \frac{1}{p_1^{\frac{1}{\gamma}} p_2^{1-\frac{1}{\gamma}}} = 1 - p_1^{-\frac{1}{\gamma}} p_2^{\frac{1}{\gamma}-1}$$

$$(0 < e < 1)$$

התהליכים האדיאבטים הם הפיכים. ניתן לראות ש $\Delta S = 0$.

$$\Delta S_{\text{כולל}} = 0 + 0 + \cancel{\frac{\gamma}{\gamma-1} N k_B \ln\alpha} - \cancel{\frac{\gamma N k_B}{\gamma-1} \ln\alpha} = 0$$

$\Downarrow$

התהליך הפיך כי האנטרופיה ~~[illegible]~~ שווה 0.

~~[illegible]~~

$\Downarrow$

ניתן להפוך את המעגל ולקבל מזגן.

עבור תהליך הפיך: האנטרופיה מתאפסת וזה בדיוק מה שמתרחש כאן.

$$\frac{k_1 A}{\frac{\cancel{2}L}{2}} (T_3 - T_1)$$

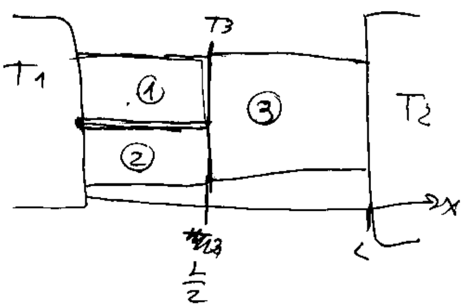
$$2H_2 = \frac{\cancel{2} k_1 A}{\cancel{2} L} \left(\frac{\cancel{k_1 T_1} + k_2 T_2}{k_1 + k_2} - \cancel{T_1 k_1} - T_1 k_2 \right)$$

$$= \frac{2 k_1 A \, k_2}{L (k_1 + k_2)} (T_2 - T_1)$$

שטח חתך: אורך:

4. ב. $①, ② \rightarrow \frac{A}{2}, \frac{L}{2}, k_1$

$③ \rightarrow A, \frac{L}{2}, k_2$



T_1, T_2

אין איבודי חום לסביבה.

$H = ?$

$T_3 = ?$

$A, L, k_3 = ?$

מוט אמצעי:

$H_3 = H$

נניח ש: $T_1 > T_2$

לכן הכיוון של H (שטף החום) חיובי $\longrightarrow H$

$$H = -kA\frac{dT}{dx} = kA\frac{(T_2 - T_1)}{l}$$

עבור הולכה במוט באורך l.

כמו כן ידוע שמתקיים מצב יציב של הולכת חום:

$\Downarrow$

$H = const.$

$$H_1 + H_2 = H_3 = H$$

כל החום שעובר דרך מוט $1+2$ שווה לחום שעובר דרך מוט 3.

$$H_1 = k_1\frac{A}{2}\frac{(T_3 - T_1)}{\frac{L}{2}}$$

$H_1 = H_2 \leftarrow$ כי שני המוטות זהים.

$$H_2 = k_1\frac{A}{\cancel{2}}\frac{(T_3 - T_1)}{\frac{L}{\cancel{2}}} = \frac{k_1 A}{L}(T_3 - T_1)$$

$$H_1 + H_2 = 2H_2 = \frac{2k_1 A}{L}(T_3 - T_1)$$

$$H_3 = k_2 A\frac{(T_2 - T_3)}{\frac{L}{2}} = \frac{2k_2 A}{L}(T_2 - T_3)$$

נשווה ביניהם:

$$\Rightarrow \frac{\cancel{2}k_1\cancel{A}}{\cancel{L}}(T_3 - T_1) = \frac{\cancel{2}k_2\cancel{A}}{\cancel{L}}(T_2 - T_3)$$

$$k_1 T_3 - k_1 T_1 = k_2 T_2 - k_2 T_3$$

$$(k_1 + k_2)T_3 = k_1 T_1 + k_2 T_2$$

$$\boxed{T_3 = \frac{k_1 T_1 + k_2 T_2}{k_1 + k_2}}$$

$nR = Nk_B = N_A n k_B$

$$\boxed{R = N_A k_B}$$

$$P = \frac{Nk_BT}{V} = \frac{N_A \cancel{n} k_BT}{\frac{M\cancel{n}}{\rho}} = \frac{\rho N_A k_BT}{M}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{Mn}{\rho}$$

A $\boxed{N = N_A n}$

$$H=H_3=\frac{2k_2A}{L}(T_2-T_3)=\frac{2k_2A}{L}T_2-\frac{2k_2A}{L}\frac{(k_1T_1+k_2T_2)}{k_1+k_2}$$

$$=\frac{2k_2A}{L}\left(\frac{T_2k_1+\cancel{T_2k_2}-T_1k_1-\cancel{T_2k_2}}{k_1+k_2}\right)=\frac{2k_2Ak_1}{L}\left(\frac{T_2-T_1}{k_1+k_2}\right)$$

ניקח מוט תאופי באורך L ושטח חתך A ונמצא את k - המקדם.

התנאי כעת: רק ש: $H=H_k$

נזכיר, מוט שמעביר אותה כמות חום.

$$H_k=k\cancel{A}\frac{\cancel{(T_2-T_1)}}{\cancel{L}}\underset{\text{(נדרש)}}{=}\frac{2k_1k_2\cancel{A}}{\cancel{L}}\frac{\cancel{(T_2-T_1)}}{(k_1+k_2)}$$

$$\boxed{k=\frac{2k_1k_2}{k_1+k_2}}$$

(n-קבוע; V קבוע.)

ב' סגור, מכיל גז אידיאלי בנפח. $N_A n=N$

מס' מולים.

$m=M\cdot n$ $M\rightarrow$ מסה מולרית.

$m=\rho V$ $\rho\rightarrow$ צפ' מסה.

$\boxed{V=\frac{Mn}{\rho}}$ (נפח הכלי) $E_k\rightarrow$ אנרג' קינטית ממוצעת למולקולה.

$R_1\rightarrow$ קבוע אוניברסלי למולקולה.

לחץ בכלי. $P=?$

המהלך החופשי. $l=?$

פרק הזמן הממוצע בין התנגשויות. $\Delta t=?$

מס' מולקולות

$$pV=nRT=Nk_BT$$

מסקרין התלויה השווה יבוא כי לכל דרגת חופש יש ½ ולכן $E_k=\frac{1}{2}k_BT$ מתקיים:

$$\left(\text{יש } 3 \text{ דרג'}\right)\Rightarrow E_k=\frac{3}{2}k_BT=\frac{3}{2}\frac{R}{N_A}T$$

$$\Rightarrow\boxed{T=\frac{2N_A}{3R}E_k}\qquad\boxed{T=\frac{2E_k}{3k_B}}$$

$$P=\frac{nRT}{V}=\frac{Nk_BT}{V}=\frac{N_A\cancel{n}k_BT}{\frac{M\cancel{n}}{\rho}}=\frac{N_Ak_B\rho T}{M}$$

מס' מולקולות $N=N_An$

$$V=\frac{m}{\rho}=\frac{Mn}{\rho}$$

נציב T:

$$\cancel{P=\frac{N_Ak_B\rho}{M}\cdot\frac{2N_A}{3R}E_k}$$

$$P=\frac{N_A\cancel{k_B}\rho}{M}\cdot\frac{2E_k}{3\cancel{k_B}}=\frac{2N_A\rho E_k}{3M}$$

המשך במחברת השנייה...

בית הדפוס

אוניברסיטת תל-אביב