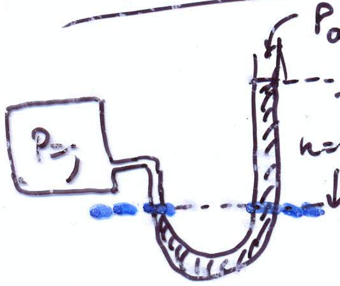
Εφαρμογές

Κεφάλαιο 1

1. Μανόμετρο. Το υγρό του μανομέτρου έχει σχετική πυκνότητα $\rho_s = 0,85$ και το ύψος της στήλης $h = 55cm$.
Αν $P_{atm} = 96\ kPa$, να υπολογιστεί η P_{abs}. $\rho_{H_2O} = 1000\ \frac{kg}{m^3}$

$g = 9,8\ m/s^2$



$$\rho_s = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \Rightarrow \rho = \rho_s \cdot \rho_{H_2O} \Rightarrow$$

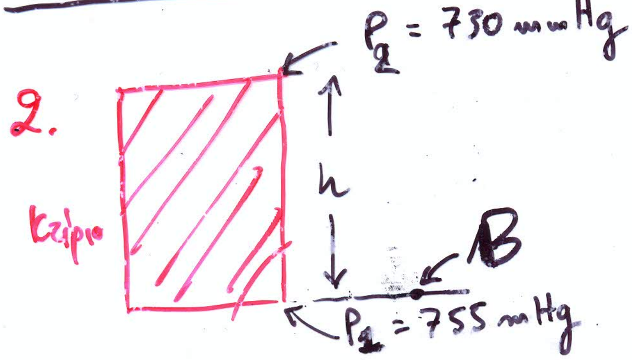
$$\rho = 850\ kg/m^3$$

$$P = P_{atm} + \rho g h = 96000\ Pa + 850\ \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8\ \frac{m}{s^2} \cdot 0,55\ m =$$

$$= 96000\ Pa + 4581,5\ \frac{kg}{m \cdot s^2} = 100582\ Pa = 100,6\ kPa$$

$\frac{kg}{m \cdot s^2} \to Pa$: Να ελεγχθεί

2.



P_2 και P_1 οι ενδείξεις του βαρομέτρου στην κορυφή και τη βάση του κτιρίου.

$h = ?$ $\rho_{Hg} = 13590\ \frac{kg}{m^3}$

$\rho_{αερα} = 1,18\ kg/m^3$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 25\ mmHg$$

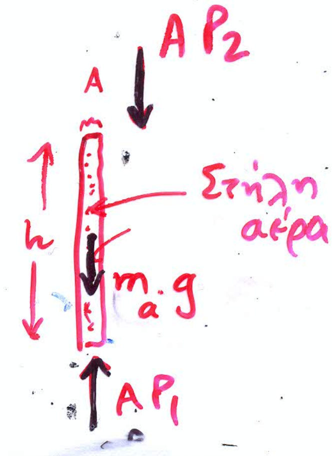
Στο σημείο B η ισορροπία των δυνάμεων δίνει:

$$A P_2 + m_{αερ} \cdot g = A P_1$$

$$\Delta P = \rho_{αερα} \cdot g h$$

$$\rho_{Hg} \cdot \cancel{g} \cdot h_{Hg} = \rho_{αερα} \cdot \cancel{g} h$$

$$\boxed{h = \frac{\rho_{Hg} \cdot h_{Hg}}{\rho_{αερα}}} \to h = 288\ m$$



E-2

3. Ένα μήλο χάνει 4,5 kJ θερμότητας καθώς ψύχεται, ανά °C πτώσης της θερμοκρασίας του. Ποιά είναι η απώλεια θερμότητας ανά °F και ανά K.

$1°F$ αντιστοιχεί σε $\frac{5}{9}$ του $1°C$
⇓
$1°C$ αντιστοιχεί σε $\frac{9}{5}$ του $1°F$

$\Rightarrow 4,5\ kJ/°C = 4,5\ kJ / \frac{9}{5}°F =$

$= \frac{4,5 \cdot 5}{9}\ kJ/°F = 2,5\ kJ/°F$

$1°C$ αντιστοιχεί σε $1K \Rightarrow 4,5\ kJ/°C = 4,5\ kJ/K$

4. Κατά τη διάρκεια μίας θερμικής διεργασίας η θερμοκρασία ενός σώματος αυξάνεται κατά 10°C. Αντίστοιχη άνοδος ισοδυναμεί με μία άνοδο των
α. 10°F β. 18K γ. 283K δ. 18°F

Να κυκλώσετε τη σωστή απάντηση

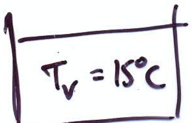
Κεφάλαιο - 2

1. Ποτήρι με νερό

$T_{αερ} = 20°C \quad φ = 60\%$

$P_{sat,20°C} = 2,34\ kPa$

$P_{sat,15°C} = 1,71\ kPa$



Ποιά είναι πίεση των ατμών α) Στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού
β) Σε μία θέση μέσα στο δωμάτιο μακριά από το ποτήρι;

$$P_β = φ \cdot P_{sat,20°C} = 0,6 \cdot 2,34\ kPa = 1,4\ kPa$$

Ελ. επιφάνεια $\rightarrow P_α = P_{sat,15°C} = 1,71\ kPa$

Άρα $P_β = 1,4\ kPa < P_α = 1,71\ kPa \Rightarrow$ Υπάρχει κινητήρια δύναμη για εξάτμιση του νερού.

Η εξάτμιση θα συνεχιστεί μέχρις όταν $P_{sat,\ υγρού\ νερού} \xrightarrow{=P_v=} 1,4\ kPa$

Άρα Τελικά θα είναι $P_{sat,\ υγρού\ νερού} = 1,4\ kPa$

Σε πόση θερμοκρασία T αντιστοιχεί αυτό;

ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

E-3

Εξήγηση παρεμβολής

Δίνονται:

T (°C)	P_{sat} (kPa)
10	1,23
15	1,71

Έχουμε $P_{sat} = 1,4$ kPa

$T_{sat} = ;$

Θεωρούμε γραμμική μεταβολή της P_{sat} με την T (εκτός αν μας πουν κάτι άλλο)

οπότε για $\Delta T = 15 - 10 = 5\,°C$ έχουμε $\Delta P = 1,71 - 1,23 = 0,48$ kPa

Άρα για $\Delta T = 1\,°C$ $\quad x$

$5 \cdot x = 0,48 \cdot 1 \Rightarrow x = 0,096$ kPa για 1°C

Έχουμε $P_{sat,T} = 1,4$ kPa

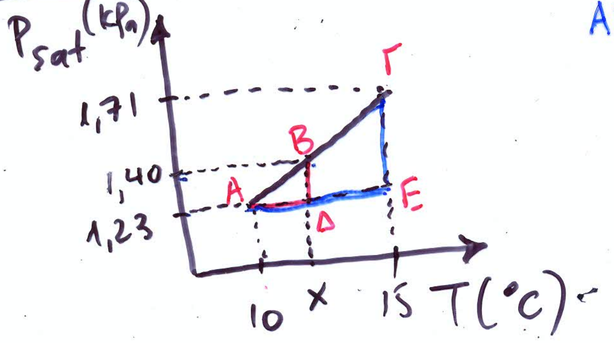
$P_{sat,15} - P_{sat,T} = 1,71 - 1,4 = 0,31$ kPa

$$\frac{0,096\ \text{kPa} \longrightarrow 1\,°C}{0,31\ \text{kPa} \qquad\quad y} \Rightarrow 0,096\,y = 0,31$$

$y = 3,2\,°C$

Άρα η $P_{sat,T} = 1,4$ kPa αντιστοιχεί σε $T = 15 - 3,2 = 11,8\,°C$

Γραμμική παρεμβολή – αναλυτικά



$\overset{\triangle}{AB\Delta}$ και $\overset{\triangle}{A\Gamma E}$ όμοια τρίγωνα

Άρα $\dfrac{AE}{\Gamma E} = \dfrac{A\Delta}{B\Delta} \Rightarrow \dfrac{(15-10)\,°C}{(1,71-1,23)\ \text{kPa}} = \dfrac{x - 10\,°C}{(1,40-1,23)\ \text{kPa}}$

$$\frac{5\,°C}{0,48\ \cancel{\text{kPa}}} = \frac{x - 10\,°C}{0,17\ \cancel{\text{kPa}}} \Rightarrow$$

$\Rightarrow 0,85\,°C = (x - 10\,°C)\,0,48 \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,48\,x = 5,65\,°C \Rightarrow \boxed{x = 11,77\,°C}$

Κεφ. 2 - συνέχεια - Εφαρμογή

E-4

2. Να βρεθεί η πίεση P του αζώτου σε $T = 175\ K$ και $\upsilon = 0{,}00375\ m^3/kg$ χρησιμοποιώντας α) την κ.Ε. των ιδανικών αερίων και β) τη Κ.Ε. van der Waals

Δίνεται $R_u = 8{,}314\ kJ/kmol.K$ $\quad M = 28\ gr/mol$

$a = 0{,}175\ m^6 \cdot kPa/kg^2$ $\quad$ Δίνεται $P_{πειρ} = 10.000\ kPa$

$b = 0{,}00138\ m^3/kg$

Λύση: α)

$$\left.\begin{aligned} P \cdot \upsilon &= RT \\ R &= \frac{R_u}{M} \end{aligned}\right\} \Rightarrow P = \frac{R_u T}{M \cdot \upsilon} = \frac{8{,}314 \cdot 175\ \frac{kJ}{\cancel{kmol}.\cancel{K}}}{28\ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{kmol}}\ 0{,}00375\ \frac{m^3}{\cancel{kg}}} =$$

$$= 13857\ \frac{kJ}{m^3} = 13857\ \frac{k.N.\cancel{m}}{m^{\cancel{3}2}} =$$

$$= \underline{\underline{13857\ kPa}}$$

β) $$\left(P + \frac{a}{\upsilon^2}\right)(\upsilon - b) = RT \Rightarrow P = \frac{RT}{\upsilon - b} - \frac{a}{\upsilon^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = 9465\ kPa$$

$P_{ideal} = 13857\ kPa \Rightarrow \dfrac{|P_{πειρ} - P_{ideal}|}{P_{πειρ}} = 0{,}3857 \rightarrow 38{,}57\%$ σφάλμα

$P_{vdW} = 9465\ kPa \Rightarrow \dfrac{|P_{πειρ} - P_{vdW}|}{P_{πειρ}} = 0{,}0535 \rightarrow 5{,}35\%$ σφάλμα

Άρα η εξίσωση vdW προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα (πειραματική τιμή).

Το γεγονός ότι $P_{vdw} < P_{ideal}$ είναι ένδειξη ύπαρξης ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των μορίων του αερίου.

Κεφ. 2 – συνέχεια – Εφαρμογή

E-5

3. Στερεό δοχείο $V = 800 L$ περιέχει 10 kg αέρα στους 20°C. Δίνεται $P_{atm} = 97\ kPa$. Ποια είναι η ένδειξη του μετρητή σχετικής πίεσης; $M_{αέρα} = 28\ \frac{kg}{kmol}$ $R_u = 8,314\ \frac{kJ}{kmol \cdot K}$

$P \cdot v = R \cdot T$

$$P \cdot V = m \cdot RT \rightarrow P = \frac{m \cdot R_u \cdot T}{V \cdot M} = \frac{10\ \cancel{kg} \cdot 8,314\ kJ \cdot 293\ \cancel{K}}{800 \cdot 10^{-3}\ m^3\ \cancel{kmol} \cdot \cancel{K}\ 28\ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{kmol}}}$$

$$\Rightarrow P = 1087,5\ kPa = P_{abs}$$

$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm} = 990,5\ kPa$$

4. Πίεση στα λάστιχα αυτοκινήτου εξαρτάται από $T_{αέρα}$ στο εσωτερικό. Όταν $T_1 = 25°C$, $P_1 = 210\ kPa$ (πιεσόμετρο). Αν $V_{λάστιχου} = 0,025\ m^3$, να υπολογιστεί P_2 όταν η θερμοκρασία του αέρα γίνει $T_2 = 50°C$. Δίνεται $P_{atm} = 100\ kPa$

Δίνεται $R = 0,297\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$\left.\begin{aligned} P_{1,abs} \cdot V &= m \cdot R \cdot T_1 \\ P_{2,abs} \cdot V &= m \cdot R \cdot T_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{P_{1,abs}}{P_{2,abs}} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow P_{2,abs} = P_{1,abs} \frac{T_2}{T_1}$$

$$P_{1,abs} = P_1 + P_{atm} = 310\ kPa$$

$$P_{2,abs} = 310\ kPa\ \frac{323\ \cancel{K}}{298\ \cancel{K}} \Rightarrow P_{2,abs} = 336\ kPa$$

Άρα $P_2 = (336 - 100)\ kPa = 236\ kPa$

Να υπολογιστεί ποσότητα αέρα που πρέπει να αφαιρεθεί για να επιστρέψει η πίεση στην αρχική της τιμή.

$$P_{2,abs} \cdot V = m R T_2 \Rightarrow m = \frac{P_{2abs} \cdot V}{R T_2} = 0,0875\ kg = 87,5 g$$

$$P_{1,abs} V = m' R T_2 \Rightarrow m' = \frac{P_{1abs} \cdot V}{R T_2} = 0,0808\ kg = 80,8 g$$

Άρα $m - m' = 6,7\ g$ αέρα πρέπει να αφαιρεθούν.

3. Μεταφορά Θερμότητας και 1ος Νόμος Θερμοδυναμικής σε κλειστά συστήματα

3.1. Ένας άνθρωπος βρίσκεται σε δωμάτιο όπου $T_{αέρα} = 20°C$

(Βιβλίο Σελ. 176)

$A = 1,6\ m^2$ και $T_{ανθρ.} = 29°C$

$h = 6 \frac{W}{m^2 \cdot °C}$ Συντελεστής συναγωγής

$\epsilon = 0,95$ (Δέρμα ανθρώπου)

$\dot{Q}_{ολικό} = ;$

$$\dot{Q}_{ολικό} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h A (T_s - T_f) = 6 \frac{W}{m^2 \cdot °C} \cdot 1,6\ m^2 \, (29-20)°C = 86,4\ W$$

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) = 81,7\ W$$

$T_s = (29 + 273)\ K$ $\quad T_{surr} = (20 + 273)\ K$

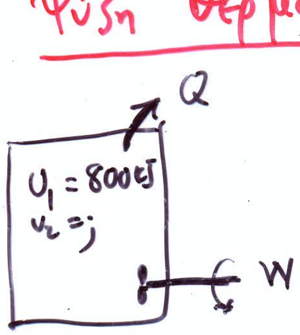
απόλυτης θερμοκρασίας

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

Γιατί συναγωγή (και μάλιστα φυσική) και όχι απλά αγωγή;

(Αέρας κοντά στο σώμα θερμαίνεται και ανυψώνεται)

3.2. Ψύξη θερμού ρευστού σε μία Δεξαμενή (Βλ. σελ. 207)



Θερμό ρευστό ψύχεται και ταυτόχρονα αναδεύεται.

$U_{1(αρχ)} = 800\ kJ$

Ρευστό χάνει θερμότητα 500 kJ

Ο αναδευτήρας παράγει έργο 100 kJ

$U_2 = ;$

$$\Delta U = \underbrace{Q}_{-500\,kJ} - \underbrace{W}_{-100\,kJ}$$

όπου $Q = Q_{in} - Q_{out} \rightarrow Q = 0 - 500\,kJ = -500\,kJ$

$W = W_{out} - W_{in} \Rightarrow W = 0 - 100\,kJ = -100\,kJ$

$\Delta U = [-500 - (-100)]\,kJ \Rightarrow \Delta U = -400\,kJ \Rightarrow$

$\Rightarrow U_2 - U_1 = -400\,kJ \Rightarrow \underline{U_2 = 400\,kJ}$

E-7

3.3 Υπολογισμός ΔU ενός Ιδανικού Αερίου

(σελ. ... βιβλίου)

Αέρας σε $T_1 = 300K$, $P = 200\,kPa$ θερμαίνεται υπό σταθερή πίεση σε $T_2 = 600K$. Να υπολογιστεί η Δu με δύο τρόπους

i) Αναλυτικά γνωρίζοντας ότι $\bar{C}_p(T) = a + bT + cT^2 + dT^3$

ii) Γνωρίζοντας ότι $C_{v,av}(450K) = 0{,}733\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$\begin{pmatrix} T_{cr} = -147\,^\circ C \\ a = 28{,}11 \quad b = 0{,}1967 \cdot 10^{-2} \\ c = 0{,}4802 \cdot 10^{-5} \\ d = -1{,}966 \cdot 10^{-9} \end{pmatrix}$$

Αέρας: ιδανικό αέριο

$$\Delta \bar{u} = \int_{T_1}^{T_2} \bar{C}_v(T) \cdot dT = \int_{T_1}^{T_2} (\bar{C}_p - R_u) \cdot dT =$$

$$\bar{C}_p = \bar{C}_v + R_u \Rightarrow \bar{C}_v = \bar{C}_p - R_u$$

$$= \int_{T_1}^{T_2} \left[(a - R_u) + bT + cT^2 + dT^3 \right] dT = \left[(a - R_u)\,T + b\frac{T^2}{2} + c\frac{T^3}{3} + d\frac{T^4}{4} \right] \Bigg|_{300K}^{600K} =$$

$$= (a - R_u)(300K) + \frac{b}{2}(600^2 - 300^2) + \frac{c}{3}(600^3 - 300^3) + \frac{d}{4}(600^4 - 300^4) =$$

$$= (5938{,}8 + 265{,}545 + 302{,}526 - 59{,}71)\ \frac{kJ}{kmol} = 6447{,}16\ \frac{kJ}{kmol}$$

Άρα $\Delta \bar{u} = 6447{,}16\ \frac{kJ}{kmol}$

Ζητάμε $\Delta u = \frac{\Delta \bar{u}}{M} = \frac{6447{,}16\ \frac{kJ}{kmol}}{28{,}97\ \frac{kg}{kmol}} = 222{,}55\ \frac{kJ}{kg}$

ii) $\Delta u = C_{v,av}(T_2 - T_1) = 0{,}733\ \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 300K = 219{,}9\ \frac{kJ}{kg}$

Παρόμοιες τιμές

3.4 Θέρμανση αερίου σε κλειστή δεξαμενή λόγω αντίστασης. (Ε-8)

Μονωμένο δοχείο περιέχει 0,8 kg αερίου He σε 300K και (T cr He = 4,8K) σε πίεση 350 kPa. Η φτερωτή ενός αναδευτήρα τίθεται σε λειτουργία ισχύος 15 W για 30 min. Να υπολογιστούν α) $T_{τελ}$ β) $P_{τελ}$

$$C_{v,He} = 3{,}13 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Το He στους 300K μπορεί να θεωρηθεί ιδανικό αέριο

V = σταθερός . Μονωμένο δοχείο → Αδιαβατικό σύστημα ($Q_{in} = Q_{out} = 0$)

$$\Delta U = Q - W = -W = -(W_{out} - W_{in}) = W_{in} - \cancel{W_{out}}^{\,0}$$

$$\rightarrow \boxed{\Delta U = W_{in}}$$

$$W_{in} = 15 \frac{J}{\cancel{sec}} \cdot 30 \cdot 60\, \cancel{sec} = 27000\ J = 27\ kJ$$

$W_{in} = 27\ kJ \Rightarrow \Delta U = 27\ kJ$

Προσέξτε $W = W_{out} - W_{in} = -27\ kJ \rightarrow \Delta U = -W = -(-27)\ kJ = 27\ kJ$

$$\Delta U = m \cdot \Delta u = m \cdot C_{v,av} (T_2 - T_1) \Rightarrow 27\ \cancel{kJ} = 0{,}8\ \cancel{kg} \cdot 3{,}13 \frac{\cancel{kJ}}{\cancel{kg} \cdot K} (T_2 - 300K)$$

Θεωρούμε C_v = σταθερή για μονατομικά αέρια

$$\Rightarrow 10{,}78K = T_2 - 300K \Rightarrow$$

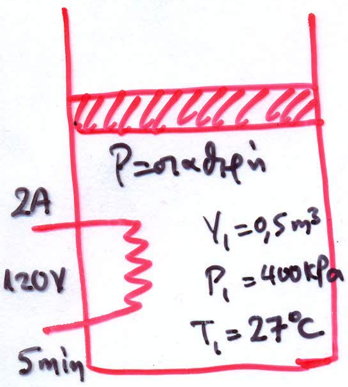
$$\Rightarrow \boxed{T_2 = 310{,}78K}$$

α) Τελική πίεση: $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ $\xrightarrow{V_1 = V_2}$ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1}$

$$\boxed{P_2 = 362{,}6\ kPa}$$

3.5. Θέρμανση αερίου με θερμαντήρα ηλεκτρικής αντίστασης

E-9



Το N_2 εκτονώνεται υπό σταθερή πίεση.

Απώλεια θερμότητας: 2800 J

$T_{cr,N_2} = -147^\circ C$ $\quad C_{p,N_2} = 1{,}039\ kJ/kg.K$ σε $T=300K$

$R_{N_2} = 0{,}297\ \frac{kJ}{kg.K}$

Να υπολογίσετε την τελική θερμοκρασία T_2 και τον τελικό όγκο V_2.

$T_1 = 27^\circ c \gg T_{cr,N_2} = -147^\circ C \Rightarrow N_2$ συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο

$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = Q_{in} - Q_{out} = 0 - 2800\,J = -2800\,J$$

$$W = W_{out} - W_{in} = P.\Delta V - W_{ηλ} = P.\Delta V - \underbrace{\overset{\text{τάση}}{V}.I.t}_{W_{ηλ}}$$

$$\Delta U = -2800\,J - P.\Delta V + V.I.t \Rightarrow$$

$$\Delta U + P.\Delta V = -2{,}8\,kJ + 120.2.5.60\,J = -2{,}8\,kJ + 72\,kJ$$

$$\Delta U + P.\Delta V = 69{,}2\,kJ \Rightarrow \Delta H = 69{,}2\,KJ$$

$$\Delta H = m_{N_2} \cdot C_{p,N_2} \cdot (T_2 - T_1)$$

Υπολογίζουμε την m_{N_2} από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων:

$$P.V_1 = m_{N_2} \cdot R_{N_2} \cdot T_1 \Rightarrow m_{N_2} = \frac{P.V_1}{R_{N_2}.T_1} = \frac{400.10^3.0{,}5}{0{,}297.10^3.300}\,kg$$

$$\Rightarrow m_{N_2} = 2{,}245\,kg$$

Άρα $\Delta H = 2{,}245\,kg \cdot 1{,}039\ \frac{kJ}{kg.K}\,(T_2 - 300K) = 69{,}2\,KJ \Rightarrow$

$$T_2 = 329{,}7\,K \quad (= 56{,}7^\circ C)$$

Θεωρήσαμε ότι cp παραμένει πρακτικά σταθερό για αυτή τη μικρή περιοχή θερμοκρασιών.

3.5 - Συνέχεια

(E-10)

Υπολογισμός V_2

$$P V_2 = m_{N_2} \cdot R_{N_2} \cdot T_2 \Rightarrow V_2 = \frac{m_{N_2} \cdot R_{N_2} \cdot T_2}{P} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{2{,}245 \cdot 0{,}297 \cdot \cancel{10^3} \cdot 329{,}7}{400 \cdot \cancel{10^3}} m^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 = 0{,}549 \ m^3$$

Υπολογισμός ΔU:

$$\Delta U = m_{N_2} C_{v_{N_2}} \Delta T \quad , \quad c_p = c_v + R \Rightarrow c_v = c_p - R$$

$$\Delta U = 2{,}245 \cdot 0{,}742 \cdot 29{,}7 \ kJ = 49{,}5 \ kJ \qquad C_v = 0{,}742 \ \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

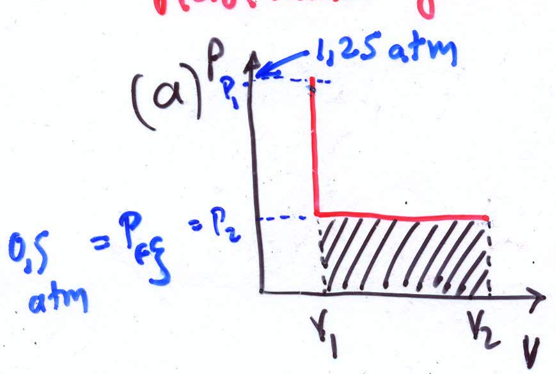
Υπολογισμός W (έργου ογκομεταβολής)

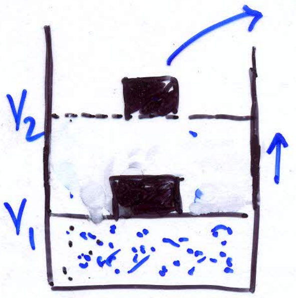
$$W = P \cdot \Delta V = 400 \ kPa \cdot 0{,}049 \ m^3 = 19{,}6 \ kJ$$

3.6

Ένα δείγμα 7,24 g αιθανίου ($M = 30 \ g/mol$) καταλαμβάνει $V_1 = 4{,}65 L$ σε 294 K. α) Πόσο έργο παράγεται όταν το αέριο εκτονώνεται ισόθερμα έναντι σε μία σταθερή πίεση $P_{ex} = 0{,}5$ atm μέχρι όγκο $V_2 = 11{,}64 L$ (έξω.) β) Υπολογίστε το ίδιο έργο αν η ισόθερμη διαδικασία γίνεται αντιστρεπτά. $R_u = 0{,}082 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K} = 8{,}314 \frac{J}{K \cdot mol}$

(α)





Το βάρος εξασκεί $P_2 = P_{εξ}$

Το αέριο εσωτερικά έχει αρχική πίεση

$$P_1 = \frac{N \cdot R_u T_1}{V_1} = \frac{\frac{7{,}24}{30} \cdot 0{,}082 \cdot 294}{4{,}65} atm = 1{,}25 \ atm$$