



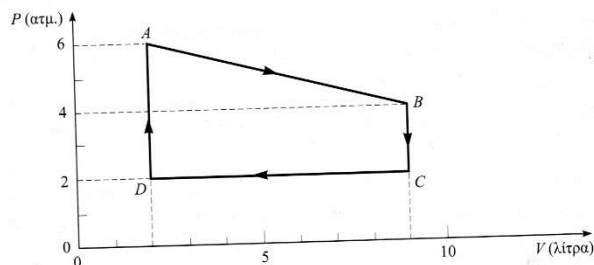
Ασκήσεις από το βιβλίο " SCHAUM'S ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ " των FREDERICK J. BUECHE, EUGENE HECHT

Αλλά το ιδανικό αέριο επιστρέφει στην αρχική του θερμοκρασία, και άρα η εσωτερική του ενέργεια είναι ίση με την αρχική. Επομένως, $\Delta U_2 = -\Delta U_1$ ή $\Delta Q_2 = \Delta U_1$. Συνεπάγεται ότι η ΔQ_1 είναι μεγαλύτερη της ΔQ_2 κατά $136 \text{ J} = 32.5 \text{ cal}$.

Συμπληρωματικά προβλήματα

- 20.21** Ένας μεταλλικός κύβος μάζας 2.0 kg ($c = 0.137 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$) θερμαίνεται από τους 15°C στους 90°C . Κατά πόσο μεταβάλλεται η εσωτερική του ενέργεια; *Απάντηση:* 86 kJ
- 20.22** Κατά πόσο μεταβάλλεται η εσωτερική ενέργεια 50 g λαδιού ($c = 0.32 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$) καθώς ψύχεται από τους 100°C στους 25°C ; *Απάντηση:* -1.2 kcal
- 20.23** Ένας μεταλλικός κύβος μάζας 70 g , ο οποίος κινείται με 200 cm/s , ολισθαίνει κατά μήκος της επιφάνειας ενός τραπεζιού κατά 83 cm και σταματά. Αν υποθέσουμε ότι το 75% της θερμικής ενέργειας που αναπτύχθηκε λόγω τριβής αποδίδεται στον κύβο, πόσο αυξάνεται η θερμοκρασία του κύβου; Για το μέταλλο, $c = 0.106 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$. *Απάντηση:* $3.4 \times 10^{-3}^\circ\text{C}$.
- 20.24** Όταν μια συγκεκριμένη μάζα νερού πέφτει από ύψος 854 m και όλη η ενέργεια προκαλεί θέρμανση του νερού, ποια θα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού; *Απάντηση:* 2.00°C
- 20.25** Πόσα joule θερμότητας ανά ώρα παράγονται σε έναν κινητήρα που έχει απόδοση 75% και απαιτεί 0.250 hr για να λειτουργήσει; *Απάντηση:* 168 kJ
- 20.26** Μια σφαίρα 100 g (με αρχική θερμοκρασία 20°C και $c = 0.030 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$) βάλλεται κατακόρυφα προς τα πάνω με ταχύτητα 420 m/s και κατά την επιστροφή της στο σημείο εκκίνησης χτυπά ένα τεμάχιο πάγου θερμοκρασίας 0°C ακριβώς. Πόσος πάγος λιώνει; Αγνοήστε την τριβή του αέρα. *Απάντηση:* 26 g
- 20.27** Για να καθορίσουμε την ειδική θερμότητα ενός ελαίου, τοποθετούμε μια ηλεκτρική θερμαντική σπείρα σε ένα θερμιδόμετρο που περιέχει 380 g ελαίου θερμοκρασίας 10°C . Η σπείρα καταναλώνει ενέργεια (και αποδίδει θερμότητα) με ρυθμό 84 W . Έπειτα από 3.0 min , η θερμοκρασία του ελαίου είναι 40°C . Αν το θερμιδόμετρο και η σπείρα ισοδυναμούν με 20 g νερού, ποια είναι η ειδική θερμότητα του ελαίου; *Απάντηση:* $0.26 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$
- 20.28** Πόσο έργο παράγει ένα ιδανικό αέριο κατά την εκτόνωσή του από έναν όγκο 3.0 λίτρων σε έναν όγκο 30.0 λίτρων υπό σταθερή πίεση 2.0 atm ; *Απάντηση:* 5.5 kJ
- 20.29** Κατά τη θέρμανση 3.0 λίτρων ενός ιδανικού αερίου θερμοκρασίας 27°C , το αέριο διαστέλλεται υπό σταθερή πίεση 2.0 atm . Πόσο έργο παράγει το αέριο καθώς η θερμοκρασία του μεταβάλλεται από τους 27°C στους 227°C ; *Απάντηση:* 0.40 kJ
- 20.30** Ένα ιδανικό αέριο εκτονώνεται αδιαβατικά σε όγκο τριπλάσιο από τον αρχικό. Κατά την εκτόνωση, το αέριο παράγει έργο ίσο με 720 J . (α) Πόση θερμότητα αποδίδει το αέριο; (β) Ποια είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου; (γ) Η θερμοκρασία του αυξάνεται ή μειώνεται; *Απάντηση:* (α) δεν αποδίδει θερμότητα, (β) -720 J , (γ) μειώνεται
- 20.31** Ένα ιδανικό αέριο εκτονώνεται υπό σταθερή πίεση 240 cmHg από τα 250 cm^3 στα 780 cm^3 . Στη συνέχεια, ψύχεται υπό σταθερό όγκο στην αρχική του θερμοκρασία. Ποιο είναι το καθαρό ποσό της θερμότητας που αποδίδεται στο αέριο κατά τη διάρκεια της συνολικής διαδικασίας; *Απάντηση:* 40.4 cal
- 20.32** Καθώς ένα ιδανικό αέριο συμπιέζεται ισόθερμα, ο μηχανισμός συμπίεσης παράγει 36 J έργου. Πόση θερμότητα αποδίδει το αέριο κατά τη διάρκεια της συμπίεσης; *Απάντηση:* 8.6 cal
- 20.33** Η ειδική θερμότητα του αέρα σε σταθερό όγκο είναι $0.175 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$. (α) Κατά πόσο μεταβάλλεται η εσωτερική ενέργεια 5 g αέρα καθώς θερμαίνεται από τους 20°C στους 400°C ; (β) Υποθέστε ότι 5.0 g αέρα συμπιέζονται αδιαβατικά ώστε η θερμοκρασία τους να αυξηθεί από τους 20°C στους 400°C . Πόσο έργο απαιτείται για να συμπιεστεί ο αέρας; *Απάντηση:* (α) 0.33 kcal , (β) 1.4 kJ ή, καθώς το έργο παράγεται στο σύστημα και επομένως είναι αρνητικό, -1.4 kJ

- 20.34** Νερό θερμαίνεται στους $100\text{ }^\circ\text{C}$ υπό πίεση 1.0 atm . Κάτω από αυτές τις συνθήκες, 1.0 g νερού καταλαμβάνει 1.0 cm^3 , 1.0 g ατμού καταλαμβάνει 1670 cm^3 , και $L_v = 540\text{ cal/g}$. Βρείτε (α) το έργο που παράγεται όταν σχηματίζεται 1.0 g ατμού στους $100\text{ }^\circ\text{C}$ και (β) την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας. *Απάντηση:* (α) 0.17 kJ , (β) 0.50 kcal
- 20.35** Η θερμοκρασία 3.0 kg αέριου κρυστού αυξάνεται από τους $-20\text{ }^\circ\text{C}$ στους $80\text{ }^\circ\text{C}$. (α) Αν αυτή η μεταβολή γίνει υπό σταθερό όγκο, υπολογίστε τη θερμότητα που προστίθεται, το έργο που παράγεται, και τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας. (β) Επιλύστε πάλι την άσκηση αν η διαδικασία θέρμανσης γίνεται υπό σταθερή πίεση. Για το μονοατομικό αέριο Kr , $c_v = 0.0357\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ και $c_p = 0.0595\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$. *Απάντηση:* (α) 11 kcal , 0 , 45 kJ , (β) 18 kcal , 30 kJ , 45 kJ
- 20.36** (α) Υπολογίστε την ειδική θερμότητα c_v για το μονοατομικό αέριο αργό, αν $c_p = 0.125\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ και $\gamma = 1.67$. (β) Υπολογίστε την ειδική θερμότητα c_p για το διατομικό αέριο μονοξειδίου του αζώτου (NO) αν $c_v = 0.166\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ και $\gamma = 1.40$. *Απάντηση:* (α) $0.0749\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$, (β) $0.232\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$
- 20.37** Υπολογίστε το έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας ισόθερμης συμπίεσης 30 λίτρων ιδανικού αερίου πίεσης 1.0 atm σε τελικό όγκο 3.0 λίτρων. *Απάντηση:* 7.0 kJ
- 20.38** Πέντε mole αερίου νέον σε πίεση 2.00 atm και θερμοκρασία $27.0\text{ }^\circ\text{C}$ συμπιέζονται αδιαβατικά στο ένα τρίτο του αρχικού τους όγκου. Βρείτε την τελική πίεση, την τελική θερμοκρασία, και το εξωτερικό έργο που αποδίδεται στο αέριο. Για το νέον, $\gamma = 1.67$, $c_v = 0.148\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$, και $M = 20.18\text{ kg/kmol}$. *Απάντηση:* 1.27 MPa , 626 K , 20.4 kJ
- 20.39** Υπολογίστε το έργο που παράγει το αέριο στο τμήμα AB του θερμοδυναμικού κύκλου του Σχήματος 20-2. Υπολογίστε πάλι το έργο για το τμήμα CA . Δώστε τις απαντήσεις σας με ακρίβεια ενός σημαντικού ψηφίου. *Απάντηση:* 0.4 MJ , -0.3 MJ
- 20.40** Βρείτε το έργο που παράγεται ανά κύκλο για το θερμοδυναμικό κύκλο του Σχήματος 20-4. Δώστε την απάντησή σας με ακρίβεια δύο σημαντικών ψηφίων. *Απάντηση:* 2.1 kJ



Σχήμα 20-4

- 20.41** Τέσσερα γραμμάρια αερίου στο εσωτερικό ενός κυλίνδρου υφίστανται τον κύκλο του Σχήματος 20-4. Στο σημείο A η θερμοκρασία του αερίου είναι $400\text{ }^\circ\text{C}$. (α) Ποια είναι η θερμοκρασία του στο σημείο B ; (β) Αν στο τμήμα από το A στο B μεταφέρεται θερμότητα ίση με 2.20 kcal στο αέριο, ποια είναι η ειδική θερμότητα c_v του αερίου; Δώστε τις απαντήσεις σας με ακρίβεια δύο σημαντικών ψηφίων. *Απάντηση:* (α) $2.0 \times 10^3\text{ K}$, (β) $0.25\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$
- 20.42** Στο Σχήμα 20-4 απεικονίζεται το διάγραμμα P - V ενός έγκλειστου ιδανικού αερίου με μάζα 25.0 g . Στο σημείο A , το αέριο έχει θερμοκρασία $200\text{ }^\circ\text{C}$. Η τιμή της ειδικής θερμότητας c_v του αερίου είναι $0.150\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$. (α) Ποια είναι η θερμοκρασία του αερίου στο σημείο B ; (β) Υπολογίστε τη μεταβολή ΔU για το τμήμα του κύκλου από το A στο B . (γ) Υπολογίστε το έργο ΔW για το ίδιο τμήμα. (δ) Υπολογίστε τη θερμότητα ΔQ για το ίδιο τμήμα. *Απάντηση:* (α) $1.42 \times 10^3\text{ K}$, (β) $3.55\text{ kcal} = 14.9\text{ kJ}$, (γ) 3.54 kJ , (δ) 18.4 kJ

20. Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής

20.21. Ένας μεταλλικός κύβος μάζας 2 kg ($c = 0.137\text{ cal/g} \cdot \text{C}^0$) θερμαίνεται από τους 15^0 στους 90^0 . Κατά πόσο μεταβάλλεται η εσωτερική του ενέργεια;

Λύση: Από τον 1° Θερμοδυναμικό Νόμο (1° Θ.Ν.) έχουμε:

$$\Delta U = Q - W$$

Εφόσον δεν μεταβάλλεται ο όγκος του στερεού σε τέτοιες θερμοκρασίες $dV = 0$ και το έργο

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = 0$$

και άρα $\Delta U = Q$. Το Q υπολογίζεται από την ειδική θερμότητα

$$Q = mc\Delta\theta = 2000 \times 0.137 \times (90 - 15) = 20550\text{ cal}$$

Μετατρέποντας σε *Joules*

$$Q = 20550 \times 4.18 = 85899\text{ J} \approx 85.9\text{ kJ}$$

20.23. Ένας μεταλλικός κύβος μάζας 70 g ο οποίος κινείται με 200 cm/s , ολισθαίνει κατά μήκος της επιφάνειας ενός τραπεζιού κατά 83 cm και σταματά. Αν υποθέσουμε ότι το 75% της θερμικής ενέργειας που αναπτύχθηκε λόγω τριβής αποδίδεται στον κύβο, πόσο αυξάνεται η θερμοκρασία του; Για το μέταλλο, $c = 0.106\text{ cal/g} \cdot \text{C}^0$.

Λύση: Η αρχική κινητική ενέργεια του κύβου ισούται με

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}0.07 \times 0.2^2 = 0.0014\text{ J}$$

Από το θεώρημα έργου-ενέργειας, αυτή η κινητική ενέργεια μετατρέπεται στο έργο της τριβής $W_T = 0.0014\text{ J}$ και 75% αυτής απορροφάται από τον κύβο ως θερμότητα:

$$Q = 0.75 \times 0.0014 = 0.00105\text{ J}$$

Μετατρέποντας σε *cal*

$$Q = \frac{0.00105}{4.18} = 0.000251 = 2.51 \times 10^{-3}\text{ cal}$$

Από την ειδική θερμότητα

$$Q = mc\Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{Q}{mc} = \frac{2.51 \times 10^{-3}}{70 \times 0.106} = 3.38 \times 10^{-4}\text{ C}^0$$

20.29. Κατά τη θέρμανση 3 λίτρων ενός ιδανικού αερίου θερμοκρασίας 27^0C , το αέριο διαστέλλεται υπό σταθερή πίεση 2.0 atm . Πόσο έργο παράγει το αέριο καθώς η θερμοκρασία του μεταβάλλεται από τους 27^0C στους 227^0C ;

Λύση: Η μεταβολή είναι ισοβαρής και επομένως το έργο ισούται με

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1)$$

Γνωρίζουμε την πίεση $P = 2 \text{ atm}$ και τον αρχικό όγκο $V_1 = 3 \text{ lit}$ αλλά δεν γνωρίζουμε τον τελικό όγκο. Εάν εφαρμόσουμε την καταστατική εξίσωση στο αρχικό και τελικό σημείο έχουμε:

$$PV_1 = nRT_1$$

$$PV_2 = nRT_2$$

Διαιρώντας κατά μέλη βρίσκουμε:

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

Μετατρέπουμε τις θερμοκρασίες $T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$ και $T_2 = 227 + 273 = 500 \text{ K}$. Επομένως:

$$V_2 = 3 \frac{500}{300} = 5 \text{ lit}$$

Τέλος, για να βρούμε το έργο σε *Joules*, πρέπει να μετατρέψουμε όλες τις μονάδες σε S.I.

$$V_2 - V_1 = 5 - 3 = 2 \text{ lit} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

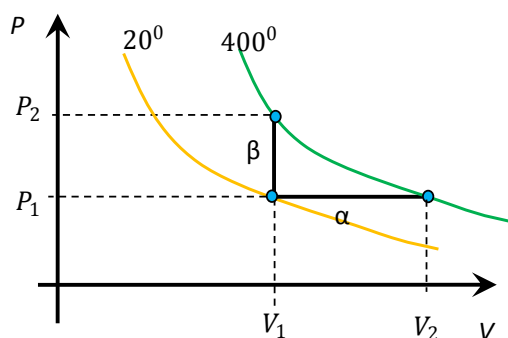
$$P = 2 \text{ atm} = 2 \times 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Το έργο ισούται με:

$$W = P(V_2 - V_1) = 2 \times 1.01 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} = 404 \text{ J}$$

20.31. Η ειδική θερμότητα του αέρα σε σταθερό όγκο είναι $0.175 \text{ cal/g} \cdot \text{C}^0$. (α) Κατά πόσο μεταβάλλεται η εσωτερική ενέργεια 5 g αέρα καθώς θερμαίνεται από τους 20^0 στους 400^0 ; (β) Υποθέστε ότι 5.0 g αέρα συμπιέζονται αδιαβατικά ώστε η θερμοκρασία τους να αυξηθεί από τους 20^0 στους 400^0 . Πόσο έργο απαιτείται για να συμπιεστεί ο αέρας;

Λύση: α) Ο αέρας είναι στην ανοιχτή ατμόσφαιρα και άρα η πίεσή του είναι σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική πίεση $P_1 = 1 \text{ atm}$. Επομένως όταν θερμαίνουμε τον αέρα, η διεργασία είναι ισοβαρής όπως η α στο παρακάτω σχήμα. Στο σχήμα επίσης δείχνονται οι δυο ισόθερμες 20^0 και 400^0 .



Μας ζητείται η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ΔU αυτής της διεργασίας. Θα μπορούσαμε να καταφύγουμε στον 1^ο Θ.Ν.

$$\Delta U = Q_\alpha - W_\alpha$$

Αλλά δεν γνωρίζουμε ούτε το ποσό θερμότητας Q_α ούτε το έργο ισοβαρούς $W_\alpha = P_1 \Delta V$ επειδή δε γνωρίζουμε τη μεταβολή του όγκου. Αντιθέτως για την ισόχωρη διεργασία β γνωρίζουμε την ειδική θερμότητα c και έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό θερμότητας

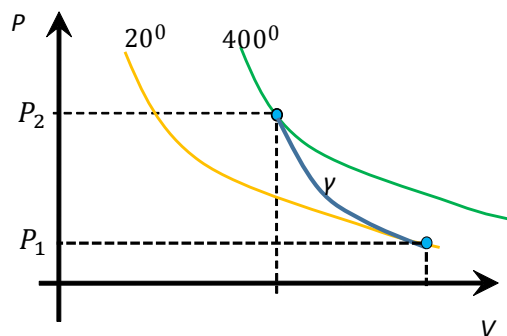
$$Q_\beta = mc\Delta\theta = 5 \times 0.175 \times (400 - 20) = 332.5 \text{ cal}$$

Μετατρέποντας σε *Joules*:

$$Q_\beta = \frac{332.5}{4.18} = 79.54 \text{ J}$$

Το έργο στην ισόχωρη είναι $W_\beta = 0$ και έτσι $\Delta U = Q_\beta - W_\beta = Q_\beta = 79.54 \text{ J}$. Όμως τι σχέση έχει η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας κατά την διεργασία α με αυτή της διεργασίας β ; Θυμηθείτε ότι η εσωτερική ενέργεια ιδανικού αερίου εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και επειδή αυτές οι δυο διεργασίες είναι μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών, το ΔU είναι το ίδιο 79.54 J

β) Τώρα το αέριο ακολουθεί την αδιαβατική διαδρομή γ και όπως και επειδή αυτή η διεργασία είναι μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών όπως και του παραπάνω ερωτήματος, το ΔU είναι το ίδιο 79.54 J



Κατά την αδιαβατική διεργασία $Q_\gamma = 0$ και από τον 1^ο Θ.Ν.

$$\Delta U = Q_\gamma - W_\gamma \Rightarrow W_\gamma = -\Delta U = -79.54 \text{ J}$$

Το έργο αυτό είναι αρνητικό επειδή έχουμε συμπύεση και άρα το καταναλώνει ο άνθρωπος (θυμηθείτε ότι το έργο ορίζεται ως προς τον άνθρωπο και όχι ως προς το θερμοδυναμικό σύστημα που εδώ είναι ο αέρας).

20.34. Νερό θερμαίνεται στους 100° υπό πίεση 1.0 atm . Κάτω από αυτές τις συνθήκες, 1.0 g νερού καταλαμβάνει 1.0 cm^3 , 1.0 g ατμού καταλαμβάνει 1670 cm^3 , και $L_v = 540 \text{ cal/g}$. Βρείτε (α) το έργο που παράγεται όταν σχηματίζεται 1.0 g ατμού στους 100° και (β) την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας

Λύση: (α) Η διαδικασία είναι ισοβαρής και έτσι $W = P(V_2 - V_1)$. Για να βρούμε το έργο σε *Joules*, πρέπει να μετατρέψουμε όλες τις μονάδες σε S.I.

$$V_2 - V_1 = 1670 - 1 = 1669 \text{ cm}^3 = 1.669 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P = 1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

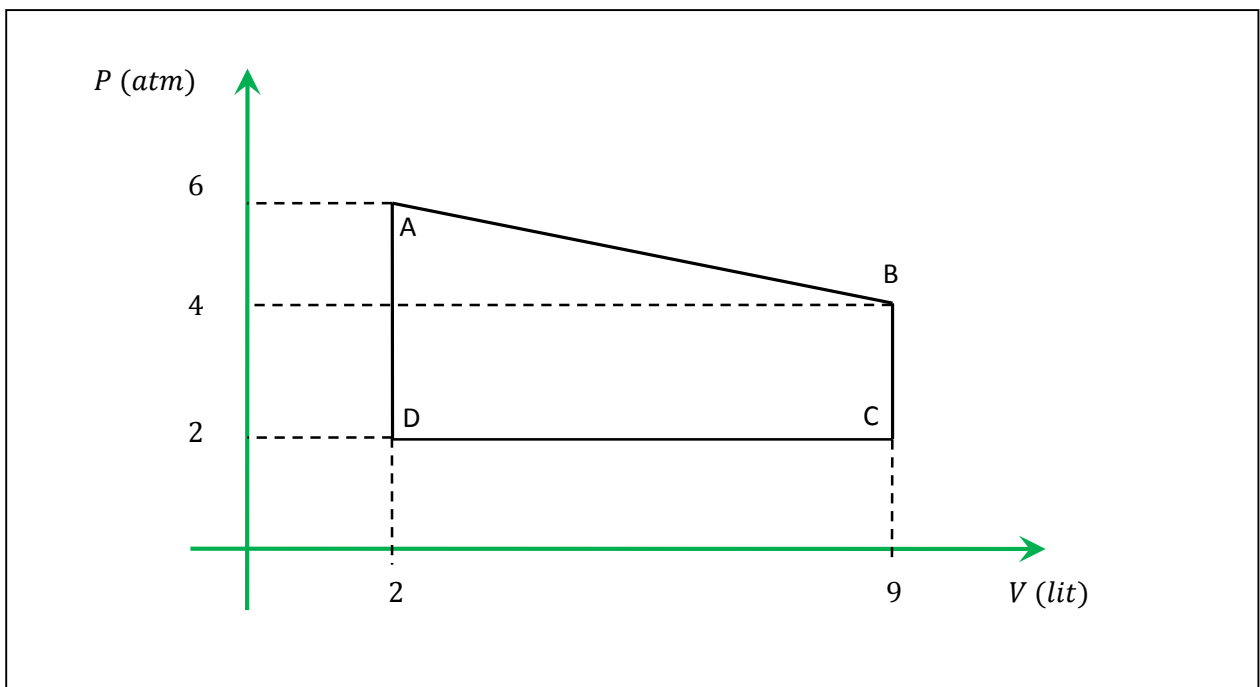
Το έργο ισούται με:

$$W = P(V_2 - V_1) = 1.01 \times 10^5 \times 1.669 \times 10^{-3} = 168 \text{ J}$$

(β) Από την λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης του νερού $L_v = 540 \text{ cal/g}$ γνωρίζουμε ότι απαιτείται ποσό θερμότητας ίσο με $Q = 540 \text{ cal}$ για την εξαέρωση 1.0 g νερού, το οποίο μεταφράζεται σε 129 J . Από τον 1° Θ.Ν:

$$\Delta U = Q - W = 129 - 540 = -411 \text{ J}$$

20.42. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το διάγραμμα $P - V$ ενός έγκλειστου ιδανικού αερίου με μάζα 25 g . Στο σημείο A, το αέριο έχει θερμοκρασία 200 C^0 . Η τιμή της ειδικής θερμότητας c_V του αερίου είναι 0.15 cal/gC^0 . α) Ποια είναι η θερμοκρασία σε C^0 του αερίου στο σημείο B; β) Υπολογίστε τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ΔU σε Joules για το τμήμα του κύκλου από το A στο B. γ) Υπολογίστε το έργο W για το ίδιο τμήμα. δ) Υπολογίστε τη θερμότητα Q για το ίδιο τμήμα.



Λύση:

α) Στο σημείο A έχουμε

$$P_A V_A = nRT_A$$

Στο σημείο B

$$P_B V_B = nRT_B$$

Παίρνοντας τον λόγο

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{P_B V_B}{P_A V_A} \Rightarrow T_B = \frac{P_B V_B}{P_A V_A} (\theta_A + 273) = \frac{36}{12} (200 + 273) = 1419 \text{ K} = 1146 \text{ C}^0$$

β) Για το τμήμα AB έχουμε

$$\Delta U = mc_V \Delta T = 25 \times 0.15 \times (1146 - 200) = 3547.5 \text{ cal} = 14842 \text{ Joules}$$

γ) Το έργο δίνεται από το εμβαδό του τραπεζίου

$$W = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} h = \frac{6 + 4}{2} (9 - 2) = 35 \text{ atm} \cdot \text{lit} = 28 \times 101 \times 10^3 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 = 3535 \text{ J}$$

δ) Από τον 1^ο θερμοδυναμικό νόμο

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow Q = \Delta U + W = 14842 + 3535 \text{ J}$$