



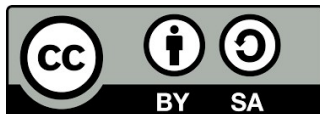
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Θερμοδυναμική

2ος Θ.ν. – Θερμικές Μηχανές

Διδάσκων : Καθηγητής Γ. Φλούδας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

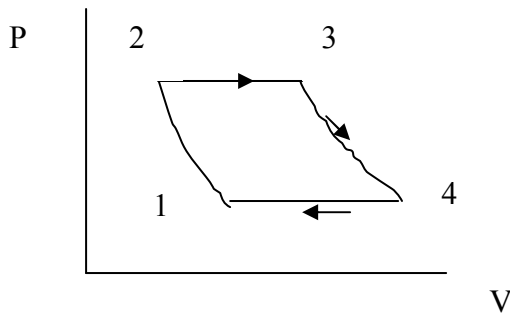
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



[1] Να υπολογισθεί η θερμική απόδοση μιας μηχανής που λειτουργεί στον κύκλο του παρακάτω σχήματος (κύκλος ιδανικού αερίου Joule, μεταβολές 1-2 και 3-4 αδιαβατικές) και να δειχθεί ότι δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

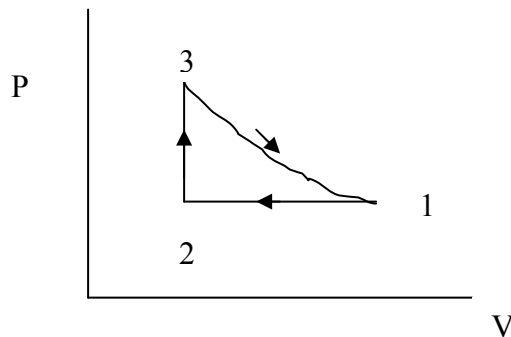
Όλες οι μεταβολές είναι ημιστατικές και το C_p είναι σταθερό.



[2] Να δείξετε ότι η απόδοση μιας μηχανής που λειτουργεί στον παρακάτω υποθετικό κύκλο (η μεταβολή 1-3 είναι αδιαβατική) δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = 1 - \gamma \frac{(V_1/V_2) - 1}{(P_3/P_2) - 1}$$

Όλες οι μεταβολές είναι ημιστατικές και οι θερμοχωρητικότητες είναι σταθερές.



[3] Αποδείξτε ότι δύο αντιστρεπτές αδιαβατικές διεργασίες δεν τέμνονται.

[4] Μία μηχανή Carnot απορροφά 100 J από μία πηγή που βρίσκεται στη θερμοκρασία βρασμού του νερού και αποδίδει θερμότητα σε πηγή που βρίσκεται στη θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού. Να βρείτε, τη αποδιδόμενο ποσό θερμότητας, το έργο που παράγει η μηχανή και τη θερμική της απόδοση. **(Σεπτέμβριος 2008/Ιούνιος 2010)**

[5] 1 mol μονατομικού ιδανικού αερίου βρίσκεται στο εσωτερικό θερμικής μηχανής Stirling (αποτελείται από δυο ισόθερμες και δυο ισόχωρες) που δουλεύει μεταξύ δυο θερμοκρασιών με την υψηλότερη θερμοκρασία του κύκλου να βρίσκεται στη θερμοκρασία βρασμού του νερού και τη χαμηλότερη στο τριπλό σημείο του νερού. Ο μικρότερος και μεγαλύτερος όγκος του κύκλου είναι 20 και 40 cm³, αντίστοιχα. Να

βρεθεί η απόδοση της μηχανής και συγκριθεί με την απόδοση ενός κύκλου Carnot που δουλεύει μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών.

Δίνονται $R=8.314 \text{ J/Kmol}$ (**Σεπτέμβριος 2008/Ιούνιος 2009**)

[6] Ένα αέριο με καταστατική εξίσωση $P(v-b)=RT$, του οποίου η θερμοχωρητικότητα είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας, δουλεύει σε ένα κύκλο Carnot (το b είναι μια σταθερά). (α) Να υπολογισθεί η απόδοση του κύκλου για μια θερμική μηχανή Carnot και (β) να συγκριθεί με την απόδοση μιας ψυκτικής μηχανής Carnot (που δουλεύει μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών). (**Ιούνιος 2007/Σεπτέμβριος 2009**)

[7] Έστω ένα αέριο με καταστατική εξίσωση:

$$P(v-b) = R\theta$$

του οποίου η θερμοχωρητικότητα C_V είναι συνάρτηση μόνο του θ , να δουλεύει σε ένα κύκλο Carnot. Ναδειχθεί ότι $\theta=T$.

[8] Σχεδιάστε σε διάγραμμα TS τους παρακάτω κύκλους ιδανικού αερίου: Otto, Diesel, και ενός ορθογώνιου τριγώνου σε διάγραμμα PV στο οποίο η μία βάση είναι ισοβαρής, η άλλη ισόχωρη και η «υποτείνουσα» είναι αδιαβατική.

[9] Σύμφωνα με το νόμο του Debye, η θερμοκρασιακή εξάρτηση της γραμμομοριακής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερό όγκο για το διαμάντι είναι:

$$c_V = 3R \frac{4\pi^4}{5} \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3$$

Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας όταν 1.2g διαμαντιού θερμαίνονται υπό σταθερό όγκο από τους 10 στους 350 K. Η γραμμομοριακή μάζα του διαμαντιού είναι 12 g/mol και η Θ είναι 2230 K.

[10] Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας κατά την ισόθερμη συμπίεση του αέρα θερμοκρασίας 20 °C και πίεσης 1 atm, από όγκο 500 cm³ σε όγκο 50 cm³.

[11] Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας, όταν αέριο Ar σε θερμοκρασία 25 °C, πίεση 1 atm και όγκο 500 cm³ συμπιέζεται σε όγκο 50 cm³ ενώ ταυτόχρονα ψύχεται στους -25 °C.

[12] Ποσότητα υδρογόνου βρίσκεται σε κύλινδρο διατομής 50 cm² με αρχικές συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και όγκου 25°C, 2 atm και 500 cm³, αντίστοιχα. Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας όταν το έμβολο υποχωρεί ισόθερμα (απουσία τριβών) κατά 10 cm.

Δίνονται: 1atm=1.01x10⁵N/m²=1.01x10⁵Pa, R=8.314 J/Kmol και οι τιμές των σταθερών της εξίσωσης van der Waals για το υδρογόνο: a=0.025 [Nm⁴/mol²] και b=2.7x10⁻⁵ [m³/mol].

(**Ιούνιος 2008**)

[13] α. Ένα κίλο νερού στους 273 K έρχεται σε επαφή με θερμή πηγή που βρίσκεται σε θερμοκρασία 373 K. Όταν το νερό φθάσει στους 373 K, να βρεθεί η μεταβολή της εντροπίας του νερού, της πηγής και του σύμπαντος (ειδική θερμότητα του νερού, $c_{H_2O}=4.2 \text{ kJ/kg.K}$).

β. Αν το νερό θερμανθεί από μια πηγή πρώτα από τους 273 K στους 323 K και μετά από τους 323 K στους 373 K, να βρεθεί η μεταβολή της εντροπίας του σύμπαντος.

[14] Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας του σύμπαντος για τις παρακάτω μεταβολές:

- Ένα κομμάτι χαλκού 0.4 kg με ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση 380 J/Kg.K που βρίσκεται στους 100⁰C βυθίζεται σε λίμνη που βρίσκεται στους 10⁰C.
- Το ίδιο κομμάτι χαλκού στους 10⁰C πέφτει από ύψος 100 m μέσα στη λίμνη.
- Δύο τέτοια κομμάτια που βρίσκονται στους 100 και 0⁰C έρχονται σε επαφή.

[15] Ένα σώμα με σταθερή θερμοχωρητικότητα C_p που βρίσκεται σε θερμοκρασία T_i έρχεται σε επαφή με πηγή σε υψηλότερη θερμοκρασία T_f . Η πίεση παραμένει σταθερή ενώ το σώμα φτάνει σε ισορροπία με την πηγή. Να δεχθεί ότι η μεταβολή της εντροπίας του σύμπαντος δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta S = C_p [x - \ln(1+x)]$$

όπου $x = -(T_f - T_i)/T_f$. Να δειχθεί ότι μεταβολή της εντροπίας είναι θετική.

[16] Ηλεκτρικό ρεύμα 10A περνάει από αντίσταση 25Ω για 1sec ενώ η θερμοκρασία της αντίστασης διατηρείται σταθερή στους 27⁰C.

- Να βρεθεί η μεταβολή της εντροπίας της αντίστασης και του σύμπαντος.
- Το ίδιο ρεύμα διατρέχει την αντίσταση για τον ίδιο χρόνο και η R έχει την ίδια αρχική θερμοκρασία (η αντίσταση είναι θερμικά μονωμένη) να βρεθεί η μεταβολή της εντροπίας της αντίστασης και του σύμπαντος (μάζα αντίστασης 10g, $c=836\text{J/kg.K}$).

[17] (α) Δυο όμοια μονατομικά αέρια που υπακούουν στην καταστατική εξίσωση $PV = nRT$, με τον ίδιο αριθμό moles, την ίδια πίεση, αλλά με διαφορετικές θερμοκρασίες βρίσκονται σε δύο δοχεία. Τα δυο δοχεία, που αποτελούν κλειστό σύστημα, στη συνέχεια συνδέονται. Να βρεθεί η μεταβολή της εντροπίας του συστήματος αφού το σύστημα έρθει σε ισορροπία. (Δίνονται: n, R, T_1 , T_2)

(β) Δυο όμοια μονατομικά αέρια που υπακούουν στην καταστατική εξίσωση $PV = nRT$, με τον ίδιο αριθμό moles, την ίδια θερμοκρασία, αλλά με διαφορετικές πιέσεις βρίσκονται σε δύο δοχεία. Τα δυο δοχεία, που αποτελούν κλειστό σύστημα, στη συνέχεια συνδέονται. Να βρεθεί η μεταβολή της εντροπίας του συστήματος. (Δίνονται: n, R, P_1 , P_2) (Ιούνιος 2002)

[18] Διάφραγμα που δεν επιτρέπει τη μεταφορά αερίου, μπορεί να κινείται χωρίς τριβές στο εσωτερικό ενός θερμικά μονωμένου κυλίνδρου. Το διάφραγμα χωρίζει τον κύλινδρο σε δύο μέρη A και B που το καθένα περιέχει n moles του ίδιου μονατομικού ιδανικού αερίου. Η αρχική θερμοκρασία του μέρους A είναι T_0 και του B είναι $3T_0$. Το σύστημα βρίσκεται συνεχώς σε μηχανική ισορροπία και τελικά θα φθάσει και σε θερμική ισορροπία.

(α) Να βρεθεί ο λόγος των όγκων του A ως προς το B αρχικά και σε $t=\infty$.

(β) Να υπολογισθεί η συνολική μεταβολή της εντροπίας του συστήματος μεταξύ $t=0$ και $t=\infty$.

(γ) Ποιο το μέγιστο ωφέλιμο έργο (ανα mol) που θα μπορούσε να εκτελεσθεί από το σύστημα αν η μεταφορά ποσοτήτων θερμότητας από το ένα μέρος στο άλλο γινόταν αντιστρεπτά. (Σεπτέμβριος 2007)

[19] Ατμοί καδμίου που βρίσκονται σε θερμοκρασία 767 ⁰C και πίεση 1 atm θερμαίνονται στους 1027 ⁰C ενώ ταυτόχρονα συμπιέζονται σε 6 atm.

- (α) Υποθέστε ότι οι ατμοί συμπεριφέρονται σαν ιδανικό μονατομικό αέριο και υπολογίστε τη μεταβολή της εντροπίας ανά mol του συστήματος.
 (β) Υποθέστε ότι οι ατμοί συμπεριφέρονται σαν πραγματικό αέριο και υπολογίστε τη μεταβολή της εντροπίας ανά mol του συστήματος.
 Δίνονται: $c_v=12.5 \text{ J/Kmol}$, $R=8.314 \text{ J/Kmol}$, $a\sim 0.2 \text{ Nm}^4/\text{mol}^2$, $b\sim 1\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$. **(Ιούνιος 2007)**

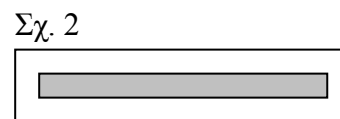
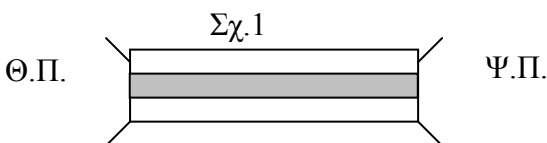
[20] Κλειστός αδιαβατικός κύλινδρος περιέχει ένα αδιαβατικό τοίχωμα που χωρίζει τον κύλινδρο σε δύο μέρη και που μπορεί να κινείται στο εσωτερικό του χωρίς τριβές. Αρχικά η πίεση (P_0), ο όγκος (V_0) και η θερμοκρασία (T_0) είναι ίδιες και στα δυο μέρη του κυλίνδρου. Το αέριο στο εσωτερικό του κυλίνδρου είναι ιδανικό με C_V ανεξάρτητο της θερμοκρασίας και με λόγο $\gamma=1.5$. Με τη βοήθεια μιας αντίστασης στο αριστερό μέρος του κυλίνδρου μεταφέρουμε θερμότητα στο αριστερό μέρος έως ότου η πίεση γίνει ίση με $27P_0/8$. Να εκφραστούν συναρτήσει των nR , V_0 , T_0 (μόνο):

1. Ο τελικός όγκος του δεξιού μέρους
2. Η τελική θερμοκρασία του δεξιού μέρους
3. Η τελική θερμοκρασία του αριστερού μέρους
4. Πόση η θερμότητα μεταφέρθηκε στο αέριο στο αριστερό μέρος; (αγνοείτε την αντίσταση)
5. Πόσο έργο εκτελέστηκε στο αέριο του δεξιού μέρους;
6. Ποια η μεταβολή της εντροπίας του αερίου στο δεξιό μέρος;
7. Ποια η μεταβολή της εντροπίας του αερίου στο αριστερό μέρος;
8. Ποια η μεταβολή της εντροπίας του σύμπαντος;

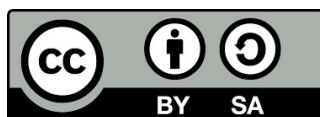
(Σεπτέμβριος 2008)

[21] [εκτός ύλης; δεξ. Zemansky/Dittman] Μια θερμικά αγωγήμη στήλη βρίσκεται συνδεδεμένη στα δύο της άκρα με μια θερμή και μία ψυχρή πηγή (σχήμα 1). Στη συνέχεια οι δύο πηγές απομακρύνονται και η στήλη μονώνεται θερμικά με αδιαβατικά τοιχώματα υπό σταθερή πίεση. Γι' αυτή την μή-αντιστρεπτή μεταβολή από μια αρχική κατάσταση που δεν είναι κατάσταση ισορροπίας σε μια τελική κατάσταση που είναι κατάσταση ισορροπίας, να υπολογιστεί η μεταβολή της εντροπίας του συστήματος και του σύμπαντος αν οι θερμοκρασίες της θερμής και ψυχρής πηγής είναι 300 και 100 K, αντίστοιχα.

$$\int \ln(a + bx) dx = \frac{1}{b} (a + bx) [\ln(a + bx) - 1]$$



Τέλος Ενότητας



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση 1.0 διαθέσιμη εδώ.

<http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1116> .

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Διδάσκων:
Καθηγητής Γ. Φλούδας. «Θερμοδυναμική. 2ος Θ.ν. –
Θερμικές Μηχανές». Έκδοση: 1.0. Ιωάννινα 2014.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1116> .

Σημείωμα Αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή, Διεθνής Έκδοση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη.



- [1] <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>