

Επικαιροποίηση: 06.11.2023

ΧΗΜΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

4. ΝΕΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΕΡΟΣ Β

12^η Διάλεξη: Τετάρτη 01.11, 12.15 – 13.00

13^η Διάλεξη: Πέμπτη 02.11, 11.15 – 13.00

14^η Διάλεξη: Δευτέρα 06.11, 11.15 – 12.00

Υπολογισμοί $\Delta H, \Delta S$ όταν παριμβάλλονται
μετασχηματισμοί φάσης (π.χ. τήξη, εξάχνωση)

Π.χ. 2 moles νερού (υγρού) θερμαίνονται από $T_1 = 40^\circ\text{C}$ σε
υδρατμό $T_2 = 130^\circ\text{C}$. Η πίεση παραμένει σταθερή, 1 atm
Να υπολογιστούν τα ΔH και ΔS

Δίνονται:

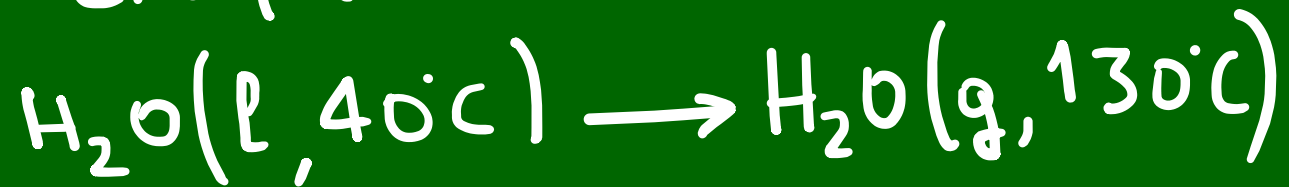
$$C_{p, \text{H}_2\text{O}(l)} = 75.36 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

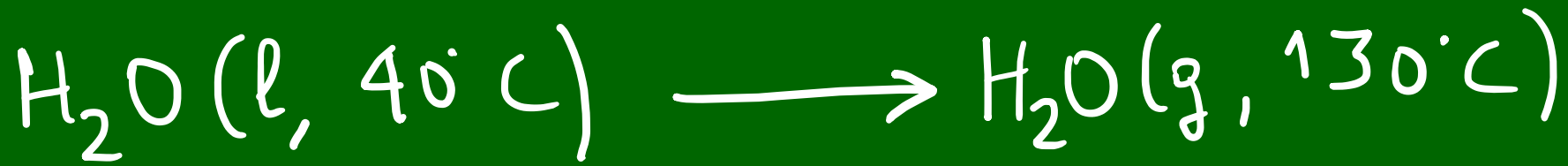
$$C_{p, \text{H}_2\text{O}(g)} = 33.58 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{εξ}} = 41.4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

στους 100°C

Έχουμε:



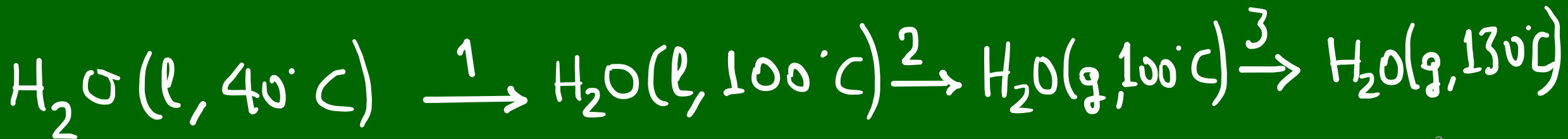


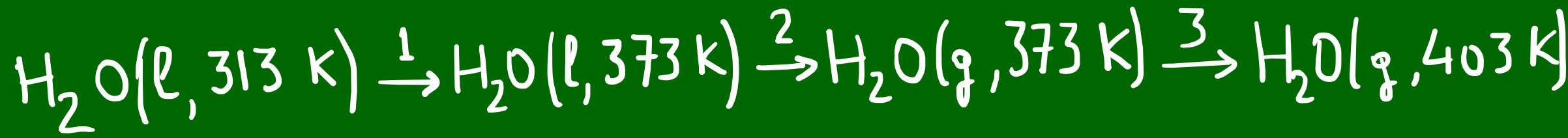
Σχόλιο: Δεν μπορεί να πω: ~~$\Delta H = n \cdot c_p \cdot \Delta T$~~
και ~~$\Delta S = n \cdot c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$~~

Δεν ξέρω εδώ ποιο c_p να πάρω!

Το $c_{p, \text{H}_2\text{O}(\text{l})}$ ή το $c_{p, \text{H}_2\text{O}(\text{g})}$?

Θα επινοήσω έναν θερμοδυναμικό δρόμο, στα βήματα του οποίου θα είναι δυνατοί οι υπολογισμοί!!





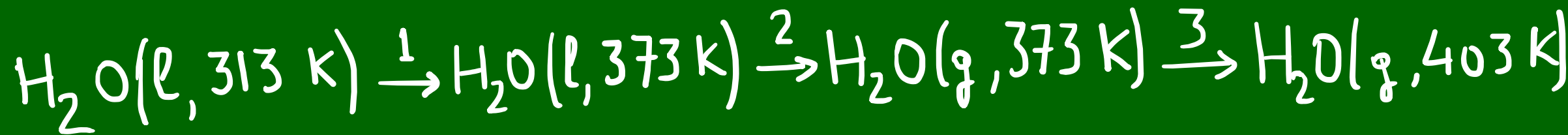
$$\text{a) } \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

$$\Delta H_1 \stackrel{\text{p:ct}}{=} n \cdot c_{p, \text{H}_2\text{O}(\text{l})} \cdot \Delta T_1 = (2 \text{ mol}) \times (75.36 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (60 \text{ K}) = 9043.2 \text{ J}$$

$$\Delta H_2 = n \cdot \Delta h_{\text{v}} = (2 \text{ mol}) \times (41400 \text{ J mol}^{-1}) = 82800 \text{ J}$$

$$\Delta H_3 \stackrel{\text{p:ct}}{=} n \cdot c_{p, \text{H}_2\text{O}(\text{g})} \cdot \Delta T_3 = (2 \text{ mol}) \times (33.58 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (30 \text{ K}) = 2014.8 \text{ J}$$

$$\Rightarrow \Delta H = 93858 \text{ J}$$



$$b) \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$

$$\Delta S_1 = n \cdot c_{p, \text{H}_2\text{O}(\text{l})} \cdot \ln \frac{373}{313} = (2 \text{ mol}) \times (75.36 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \ln \frac{373}{313}$$

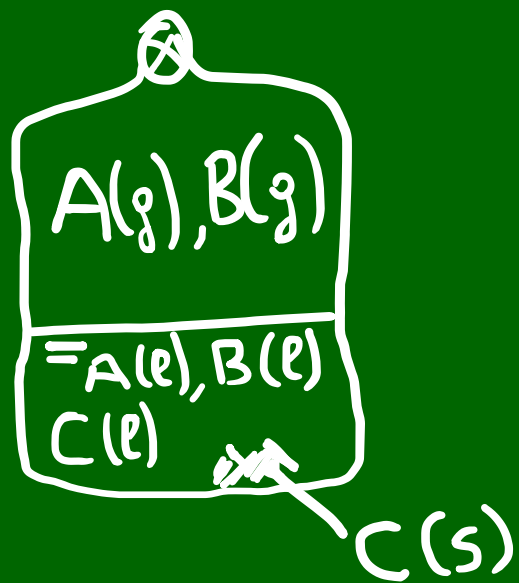
P:ct

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta H_2}{T} = \frac{n \cdot \Delta h_{\text{fg}}}{373 \text{ K}} = \frac{(2 \text{ mol}) \times (41400 \text{ J mol}^{-1})}{373 \text{ K}}$$

$$\Delta S_3 = n \cdot c_{p, \text{H}_2\text{O}(\text{g})} \ln \frac{403}{373} = (2 \text{ mol}) \times (33.58 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \ln \frac{403}{373}$$

$$\Delta S = 253.6 \text{ J K}^{-1}$$

ΧΗΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ και ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ



Έχω Ισορροπία!

Άρα: Κοινή T & P για όλες τις φάσεις

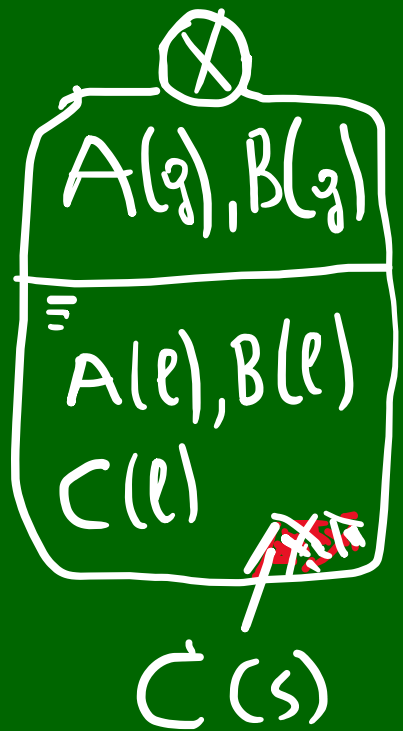
Και:

$$\mu_{A(l)} = \mu_{A(g)}$$

$$\mu_{B(l)} = \mu_{B(g)}$$

$$\mu_{C(l)} = \mu_{C(s)}$$

Εξισώσεις των μ_i
για το κάθε
συστατικό στις
φάσεις που αυτό παρευρίσκεται



$$\left. \begin{aligned} \mu_{A(l)} &= \mu_{A(g)} \\ \mu_{B(l)} &= \mu_{B(g)} \\ \mu_{C(l)} &= \mu_{C(s)} \end{aligned} \right\} \textcircled{1}$$

Εχουμε:

$$dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dn_i$$

$\Upsilon_{no}(p, T) : \sigma\tau$

$$\Rightarrow dG = \sum \mu_i dn_i$$

$$n_{A(g)} + n_{A(l)} = \text{const} \Rightarrow dn_{A(g)} = -dn_{A(l)}$$

και $dn_{B(g)} = -dn_{B(l)}$

και $dn_{C(l)} = -dn_{C(s)}$

$\textcircled{1}$

$$\Rightarrow dG = 0$$

(Ελαχιστοποίηση της G
στην ισορροπία)

Εξίσωση Gibbs - Duhem

$$G = \sum n_i \mu_i \implies dG = \sum n_i d\mu_i + \sum \mu_i dn_i$$

Εξουπε ενιωσι: $dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dn_i$

" - " $0 = SdT - Vdp + \sum n_i d\mu_i$

$\eta \left[-SdT + Vdp - \sum n_i d\mu_i = 0 \right]$ Gibbs - Duhem

$Y_{no} (T, p): \sigma \alpha \theta \rightarrow \sum n_i d\mu_i = 0$

$$G-D: -SdT + Vdp - \sum n_i d\mu_i = 0$$

$U_{T,p}(T,p): 62$

$$\sum n_i d\mu_i = 0 \quad \eta$$

$$\sum x_i d\mu_i = 0$$

$(T,p): \text{σταθ.}$

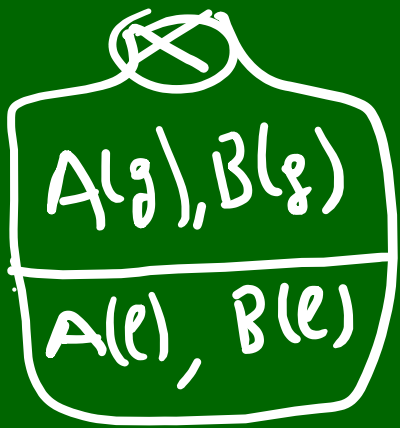
$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}, \quad \sum x_i = 1$$

π.χ Για 2 συστατικά:

$$x_1 = \frac{n_1}{n_1+n_2}, \quad x_2 = \frac{n_2}{n_1+n_2}$$

$$x_1 + x_2 = 1$$

γραμμιομοριακό κλάσμα



$$x_A = \frac{n_A(l)}{\sum n_i(l)}$$

$$y_A = \frac{n_A(g)}{\sum n_i(g)}$$

Γενικά: $x_A \neq y_A$

Εφαρμογή της G-D για Σύστημα Ένός Συστατικού

Για ένα συστατικό: $-SdT + Vdp - nd\mu = 0$

$$\Rightarrow nd\mu = -SdT + Vdp \Rightarrow$$

$$d\mu = -\frac{S}{n}dT + \frac{V}{n}dp$$

$$\sum n_i d\mu_i$$

$$\delta \mu : d\mu = -s dT + v dp$$

όπου $s = \frac{S}{n}$: γραμμομοριακή εντροπία

και $v = \frac{V}{n}$: γραμμομοριακός όγκος

$$d\mu = -s dT + v dp$$

Για σύστημα ένος συστατικού :

$$\mu = \mu(T, p)$$

Μια εφαρμογή της Εξ. Gibbs-Duhem για
 Σύστημα δυο συστατικών

Υπό (T, p) : σταθ: $SdT - vdp + \sum n_i d\mu_i = 0$
 $T: \delta T$ $p: \delta p$

$\sum n_i d\mu_i = 0$ ή $\frac{\sum n_i d\mu_i}{\sum n_i} = 0 \Rightarrow \sum x_i d\mu_i = 0$

ή $x_1 d\mu_1 + x_2 d\mu_2 = 0 \xrightarrow{x_1 + x_2 = 1} d\mu_2 = -\frac{(1-x_2)}{x_2} d\mu_1$

Κυκλικές Διεργασίες - Ο κύκλος του Carnot για ιδανικό αέριο

Εισαγωγή

ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Μια διεργασία, στη διάρκεια της οποίας το ΣΥΣΤΗΜΑ υπόκειται σε μια σειρά από αλλαγές (σε βήματα) και επιστρέφει στην ΑΡΧΙΚΗ του κατάσταση

Οι τιμές των Θερμοδυναμικών Ιδιοτήτων του Συστήματος μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της κυκλικής διεργασίας αλλά επιστρέφουν τελικά στην αρχική τους τιμή!

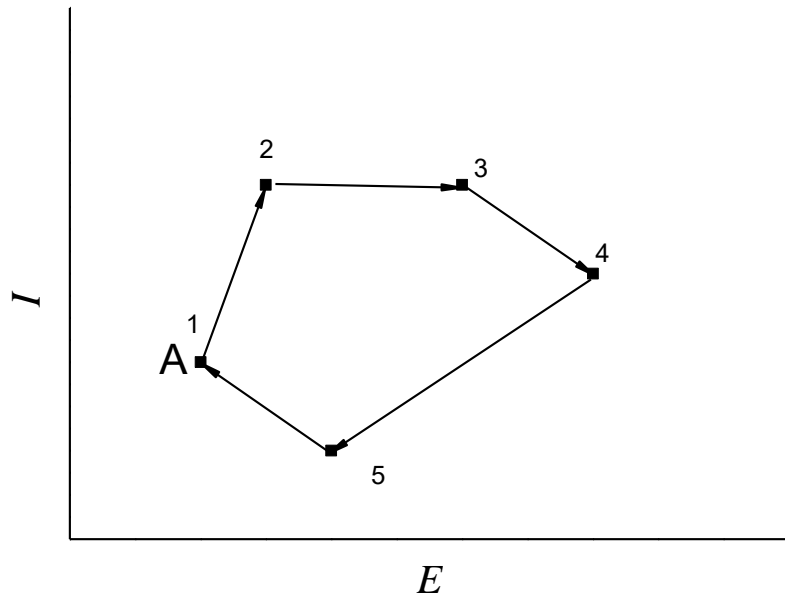
Για ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ Συστήματος:

$$\Delta U_{\text{ΚΥΚ}} = 0$$

$$\Delta H_{\text{ΚΥΚ}} = 0$$

$$\Delta S_{\text{ΚΥΚ}} = 0$$

Παράδειγμα: Αναπαράσταση κυκλικής μεταβολής Συστήματος σε πεδίο (I, E)



(εντατική & εκτατική ιδιότητα, π.χ.: p, V)

Για το Σύστημα: $\Delta U_{\Sigma} = 0$ $\Delta S_{\Sigma} = 0$

1^{ος} Νόμος: $\Delta U_{\Sigma} = \sum_i w_i + \sum_i q_i = 0$

έργο και θερμότητα σε κάθε βήμα i του κύκλου

$$-\sum_i w_i = \sum_i q_i = \sum_i q_i^{in} + \sum_i q_i^{out}$$

Συντελεστής απόδοσης
του κύκλου :

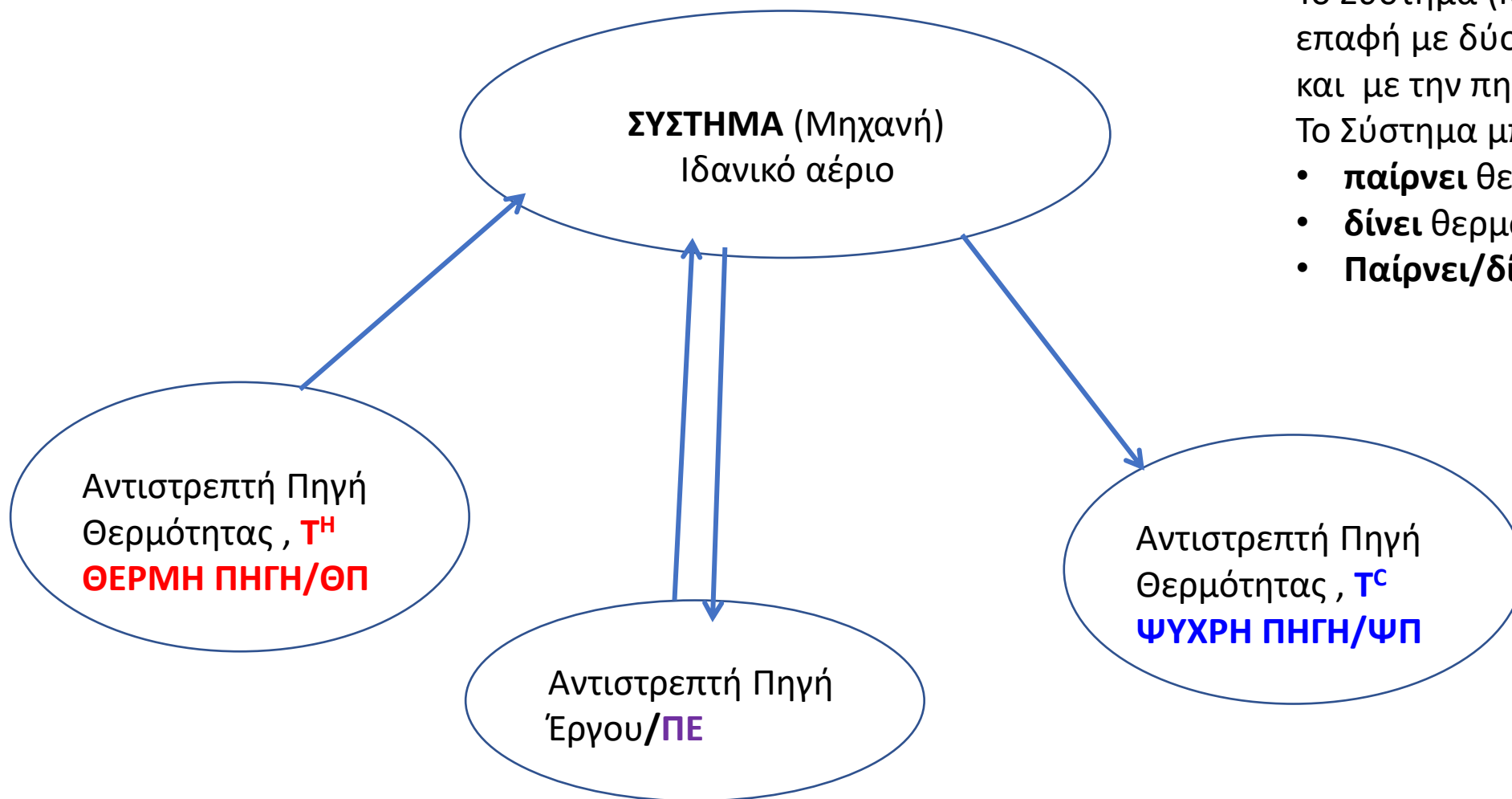
$$f = \frac{\text{εργο που παίρνουμε}}{\text{θερμοτητα που δίνουμε}} = \frac{-\sum_i w_i}{\sum_i q_i^{in}} = 1 + \frac{\sum_i q_i^{out}}{\sum_i q_i^{in}} < 1$$

Κύκλος Carnot για σύστημα με ιδανικό αέριο

Θεωρούμε ένα σύστημα ιδανικού αερίου το οποίο θα υποβληθεί
σε μια Κυκλική Διεργασία 4 Βημάτων



**ΟΛΑ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ του κύκλου CARNOT
θεωρούνται ANΤΙΣΤΡΕΠΤΑ**



Το Σύστημα (Μηχανή) μπορεί να είναι σε επαφή με δύο πηγές θερμότητας ($\Theta\Pi$ και $\Psi\Pi$) και με την πηγή έργου $\Pi\epsilon$.

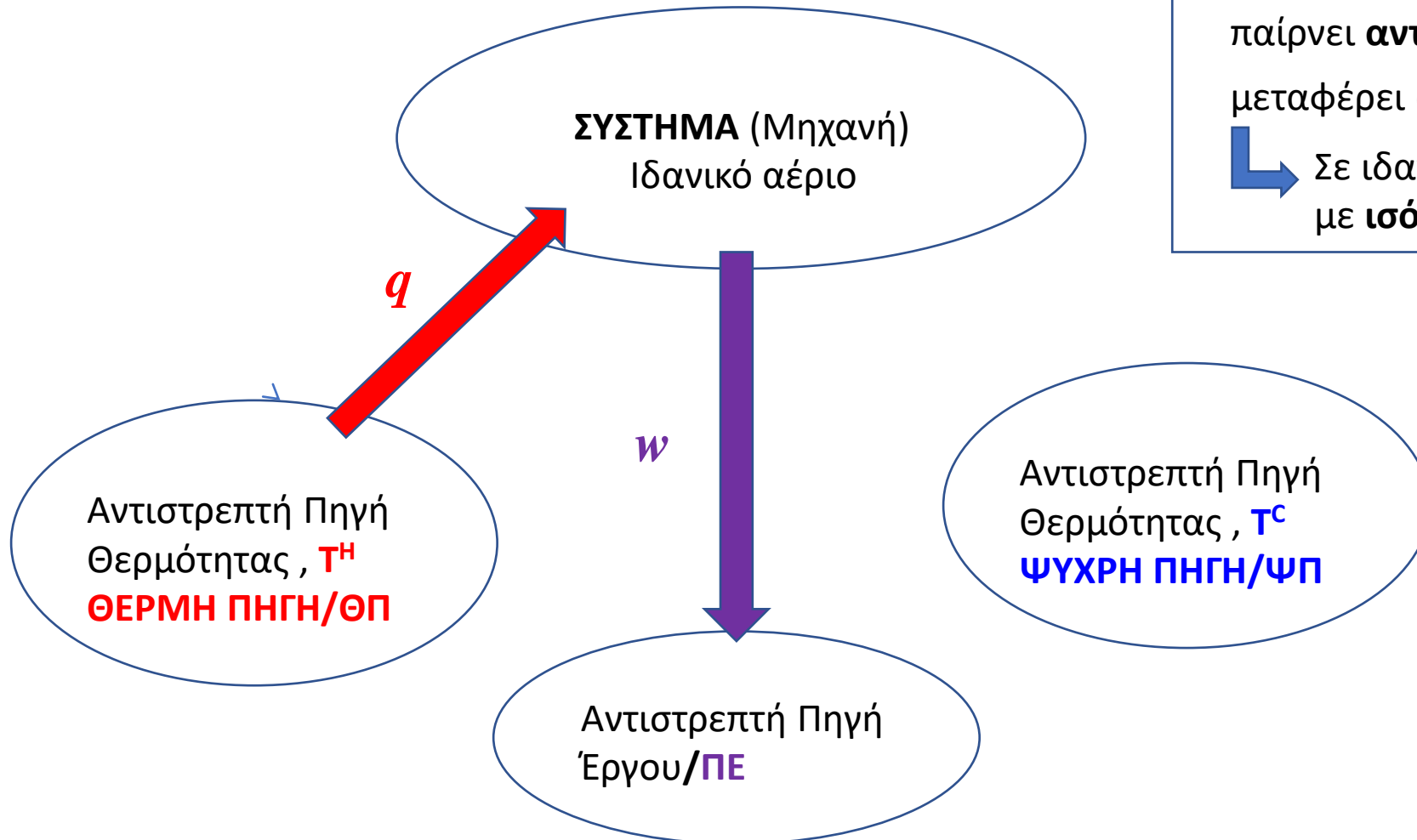
Το Σύστημα μπορεί να :

- **παίρνει** θερμότητα από την $\Theta\Pi$
- **δίνει** θερμότητα στην $\Psi\Pi$
- **Παίρνει/δίνει** έργο από/σε $\Pi\epsilon$

Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 1

Το Σύστημα, σε επαφή με **ΘΠ** (ισόθερμα),
παίρνει **αντιστρεπτά** θερμότητα από ΘΠ ($q > 0$) και
μεταφέρει αντιστρεπτό έργο στην ΠΕ ($w < 0$)

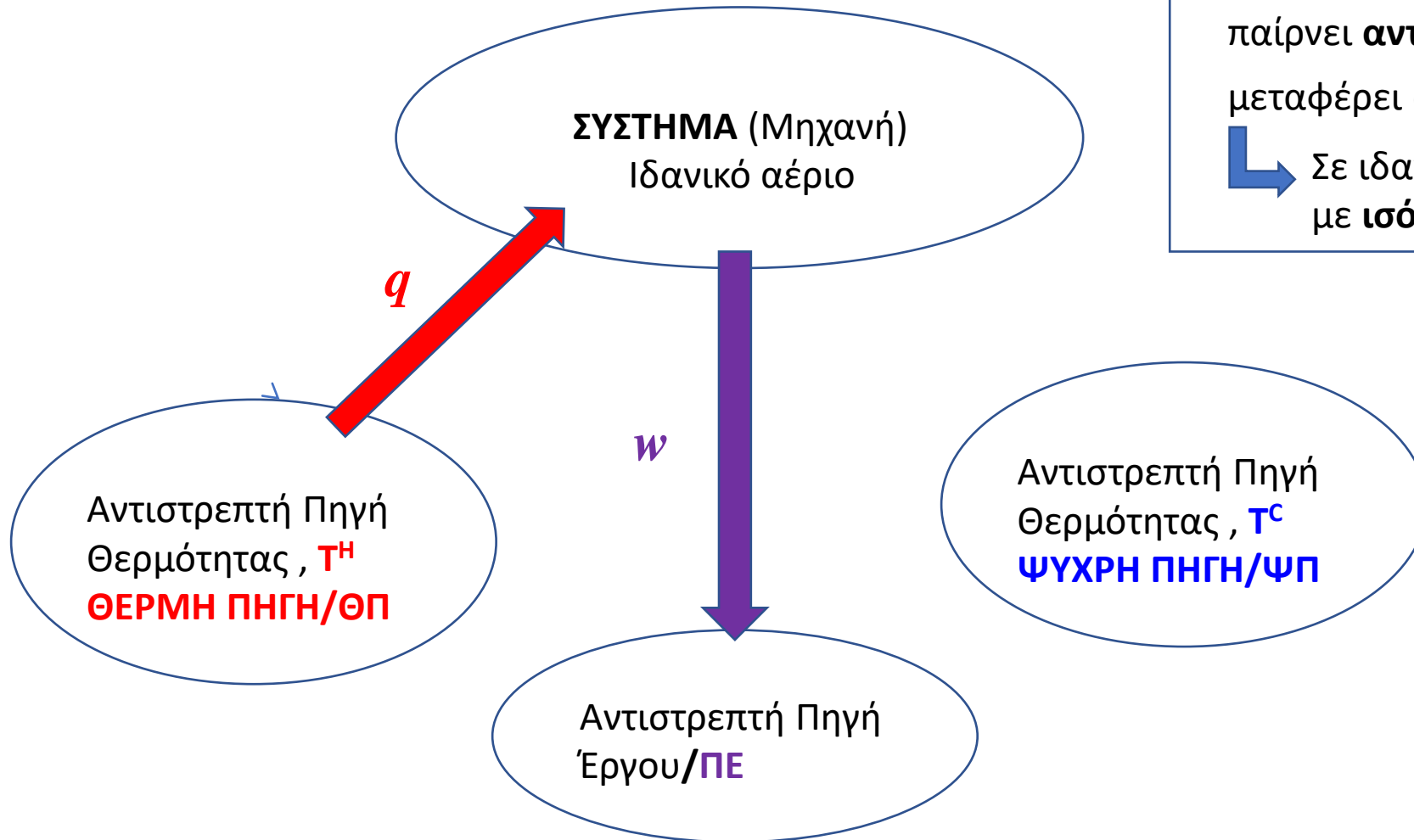
↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **ισόθερμη εκτόνωση** ($\Delta V > 0$)



Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 1

Το Σύστημα, σε επαφή με **ΘΠ** (ισόθερμα),
παίρνει **αντιστρεπτά** θερμότητα από ΘΠ ($q > 0$) και
μεταφέρει αντιστρεπτό έργο στην **ΠΕ** ($w < 0$)

↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με ισόθερμη εκτόνωση ($\Delta V > 0$)



• Αντιστρεπτή
• Ιδανικό Αέριο
• Ισόθερμα

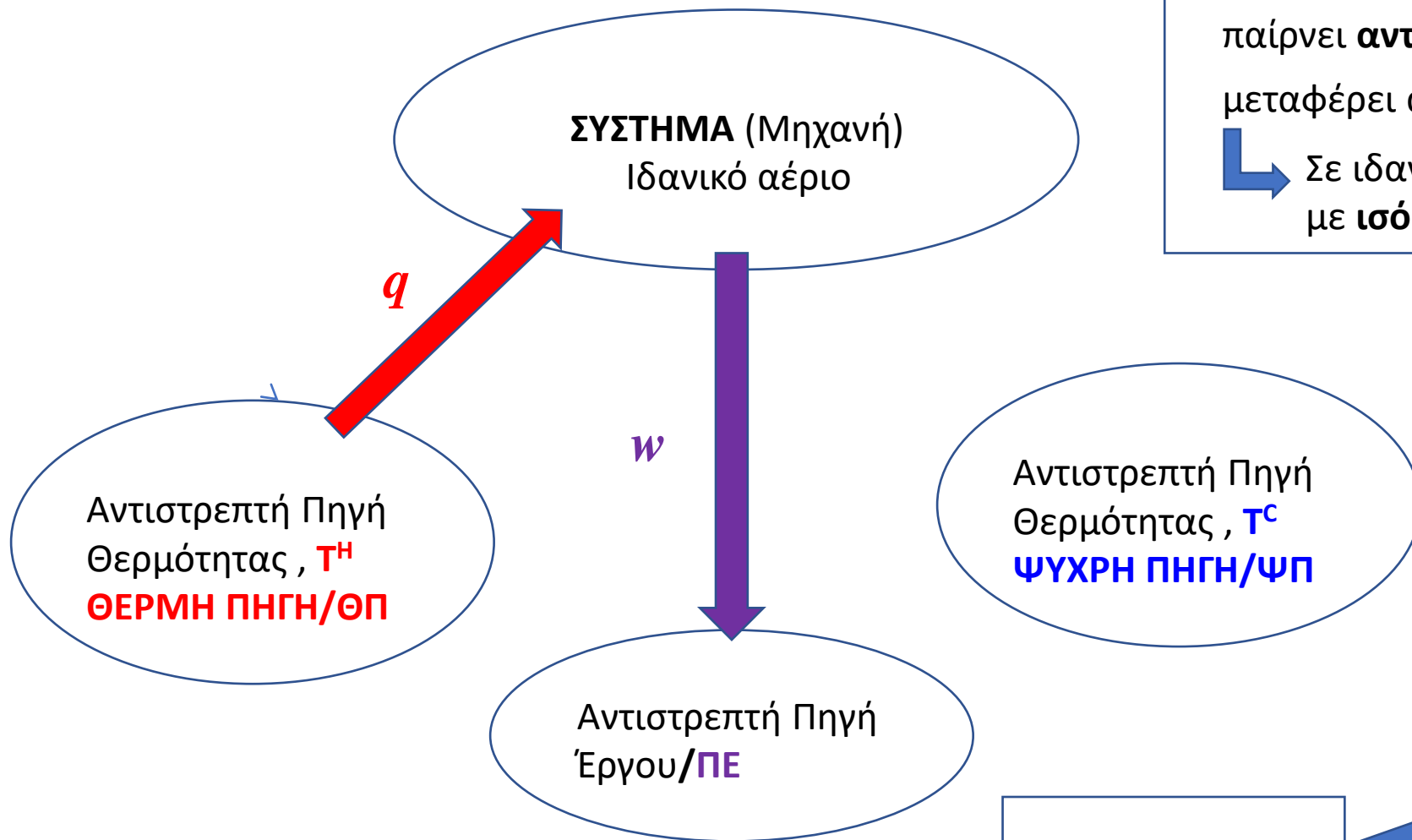
⇓

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 1

Το Σύστημα, σε επαφή με **ΘΠ (ισόθερμα)**,
παίρνει **αντιστρεπτά** θερμότητα από ΘΠ ($q > 0$) και
μεταφέρει αντιστρεπτό έργο στην ΠΕ ($w < 0$)

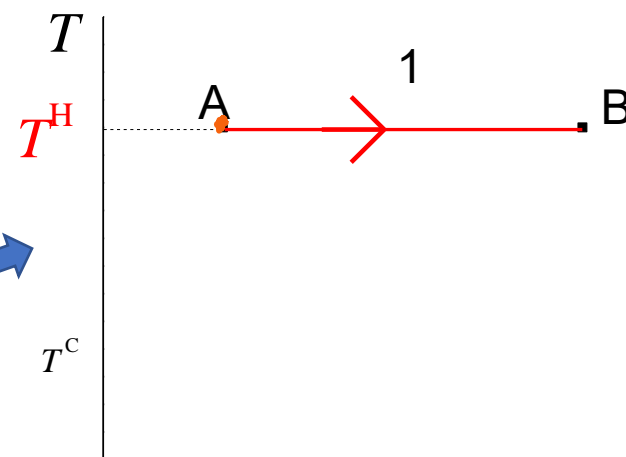
↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **ισόθερμη εκτόνωση** ($\Delta V > 0$)



Η T του Συστήματος παραμένει σταθερή
Η Εντροπία S αυξάνεται:

$$(*) \quad \Delta S = \int \frac{\delta q}{T} = \frac{q}{T} > 0$$

Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S



(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

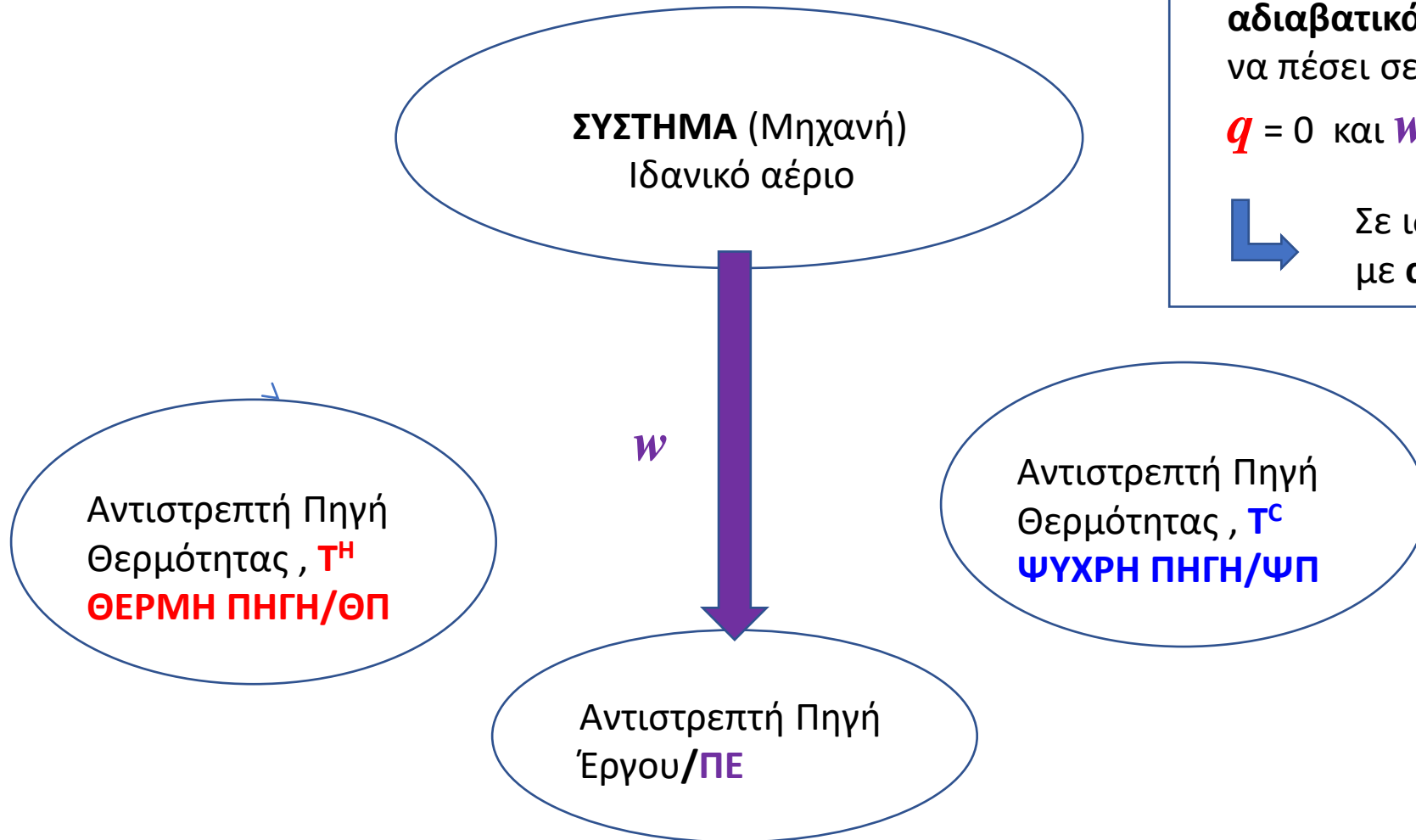
Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 2

Το Σύστημα, σε επαφή μόνο με ΠΕ. Δίνει έργο
αδιαβατικά κ αντιστρεπτά μέχρι η θερμοκρασία του
να πέσει σε T^C

$$q = 0 \text{ και } w < 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta U = q + w < 0$$



Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **αδιαβατική εκτόνωση** ($\Delta V > 0$)



Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 2

Το Σύστημα, σε επαφή μόνο με ΠΕ. Δίνει έργο **αδιαβατικά κ αντιστρεπτά** μέχρι η θερμοκρασία του να πέσει σε T^C

$$q = 0 \text{ και } w < 0 \Rightarrow \Delta U = q + w < 0$$



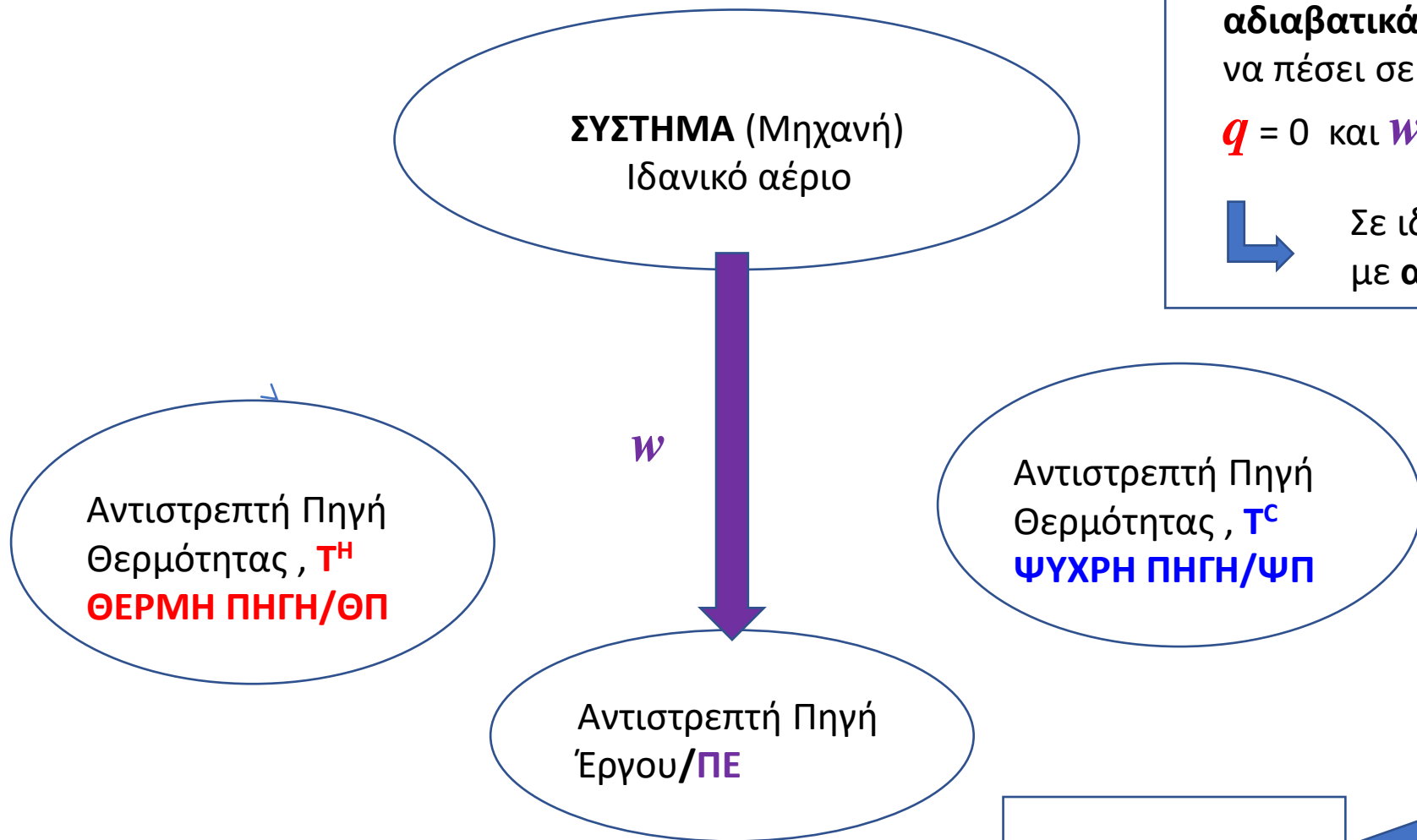
Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει με **αδιαβατική εκτόνωση** ($\Delta V > 0$)



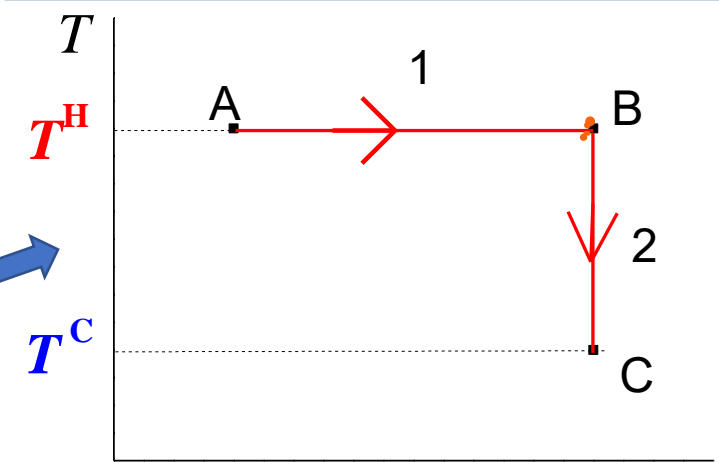
Η T του συστήματος μειώνεται διότι $\Delta U < 0$

Η Εντροπία S μένει σταθερή:

$$(*) \quad \Delta S = \int \frac{\delta q}{T} = 0$$



Αναπαράσταση σε διάγραμμα T-S

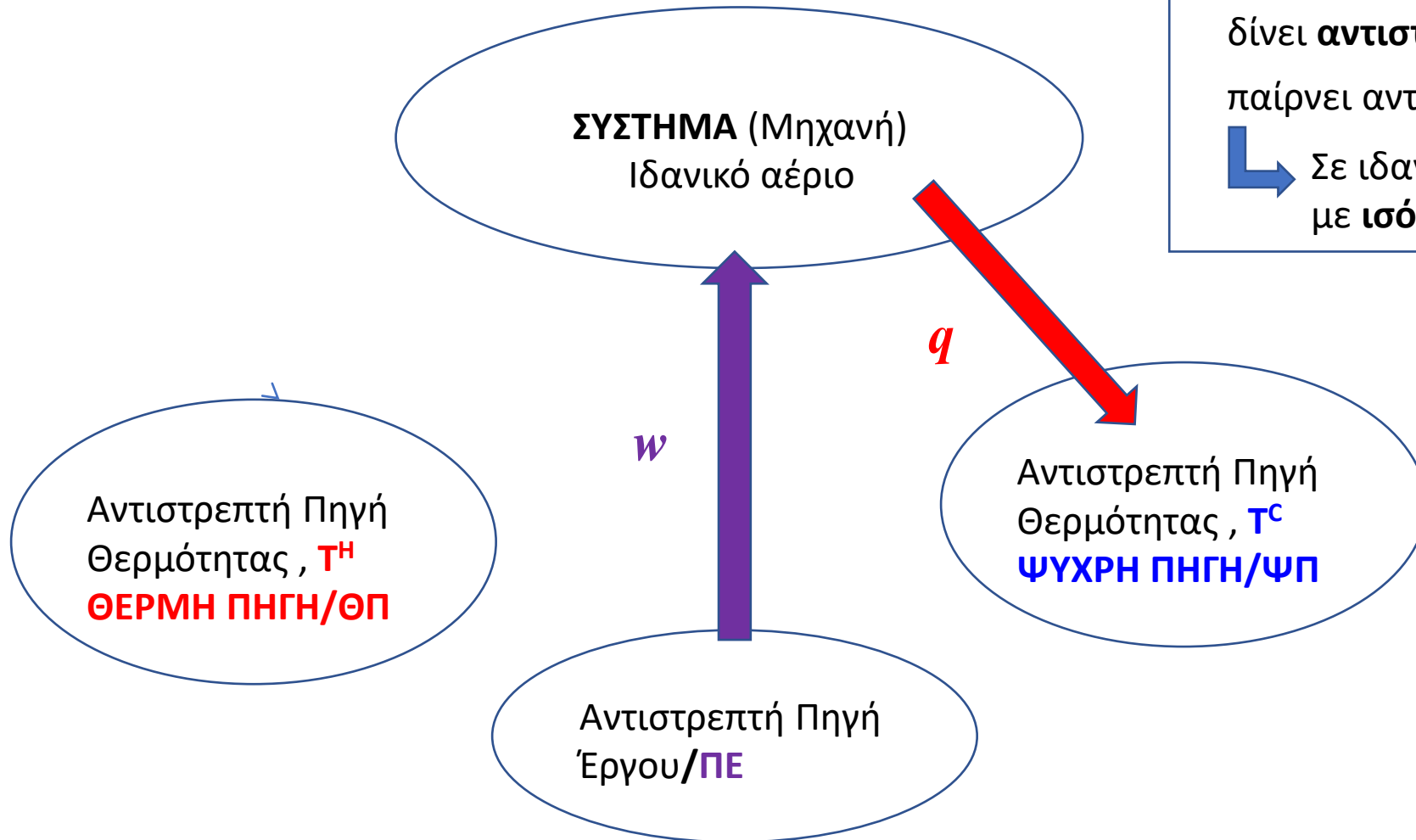


(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 3

Το Σύστημα, σε επαφή με ΨΠ (ισόθερμα),
δίνει **αντιστρεπτά** θερμότητα στην ΨΠ ($q < 0$) και
παίρνει αντιστρεπτό έργο από την ΠΕ ($w > 0$)

↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **ισόθερμη συμπίεση** ($\Delta V < 0$)



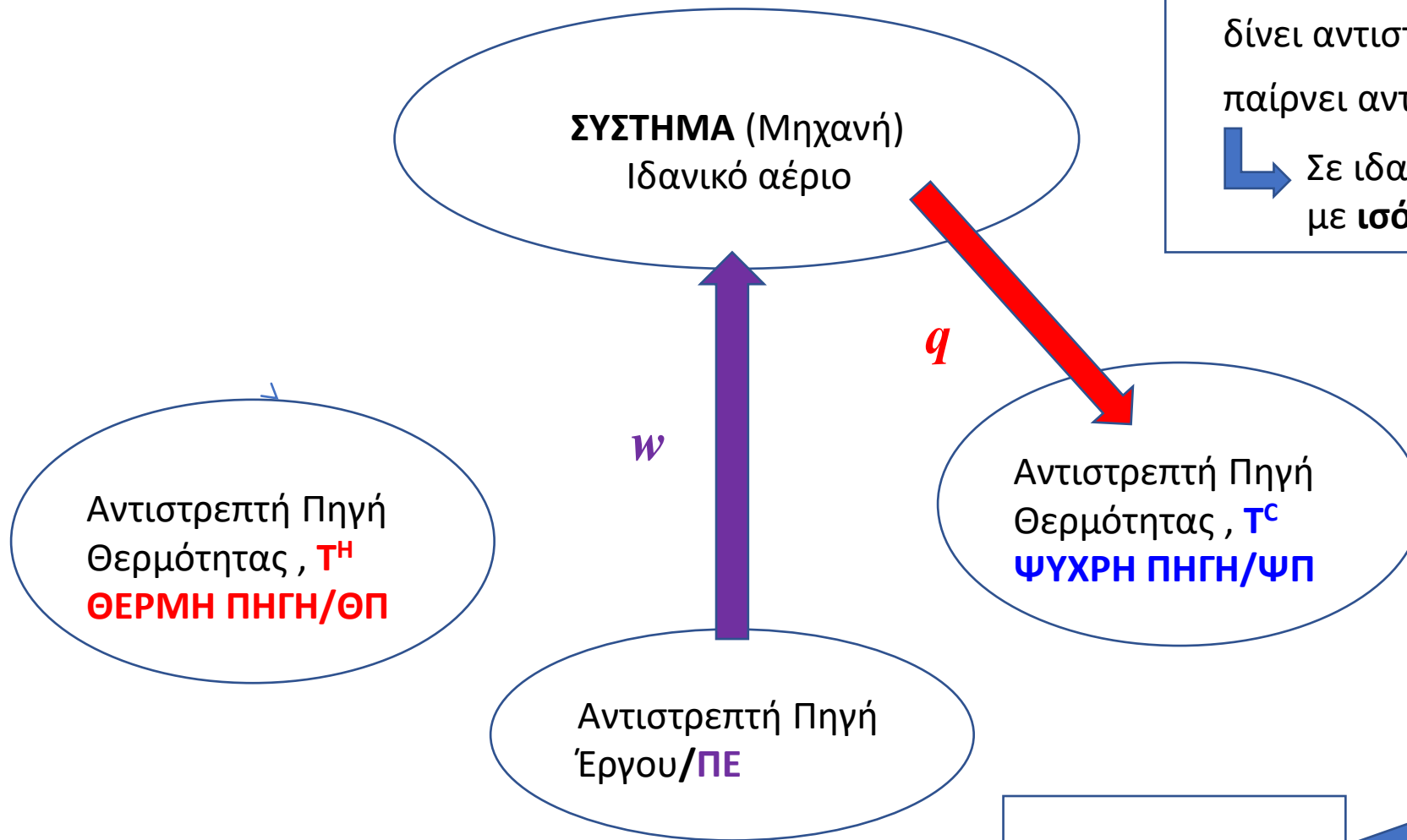
Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 3

Το Σύστημα, σε επαφή με ΨΠ (ισόθερμα),
δίνει αντιστρεπτά θερμότητα στην ΨΠ ($q < 0$) και
παίρνει αντιστρεπτό έργο από την ΠΕ ($w > 0$)

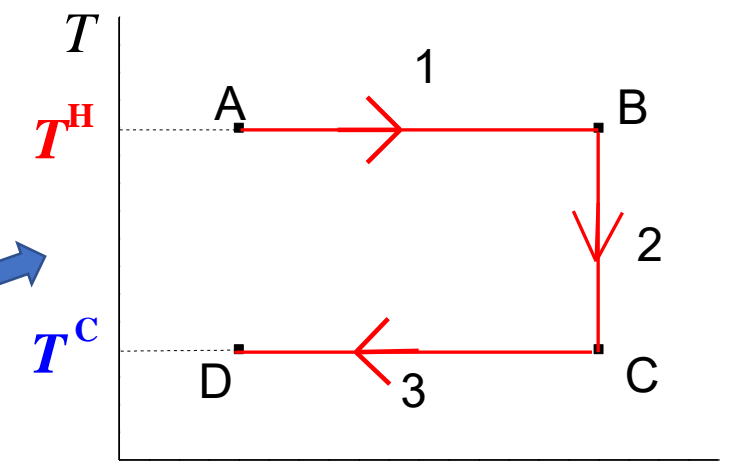
↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **ισόθερμη συμπίεση** ($\Delta V < 0$)

Η T του συστήματος παραμένει σταθερή
Η Εντροπία S μειώνεται:

$$(*) \quad \Delta S = \int \frac{\delta q}{T} = \frac{q}{T} < 0$$



Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S

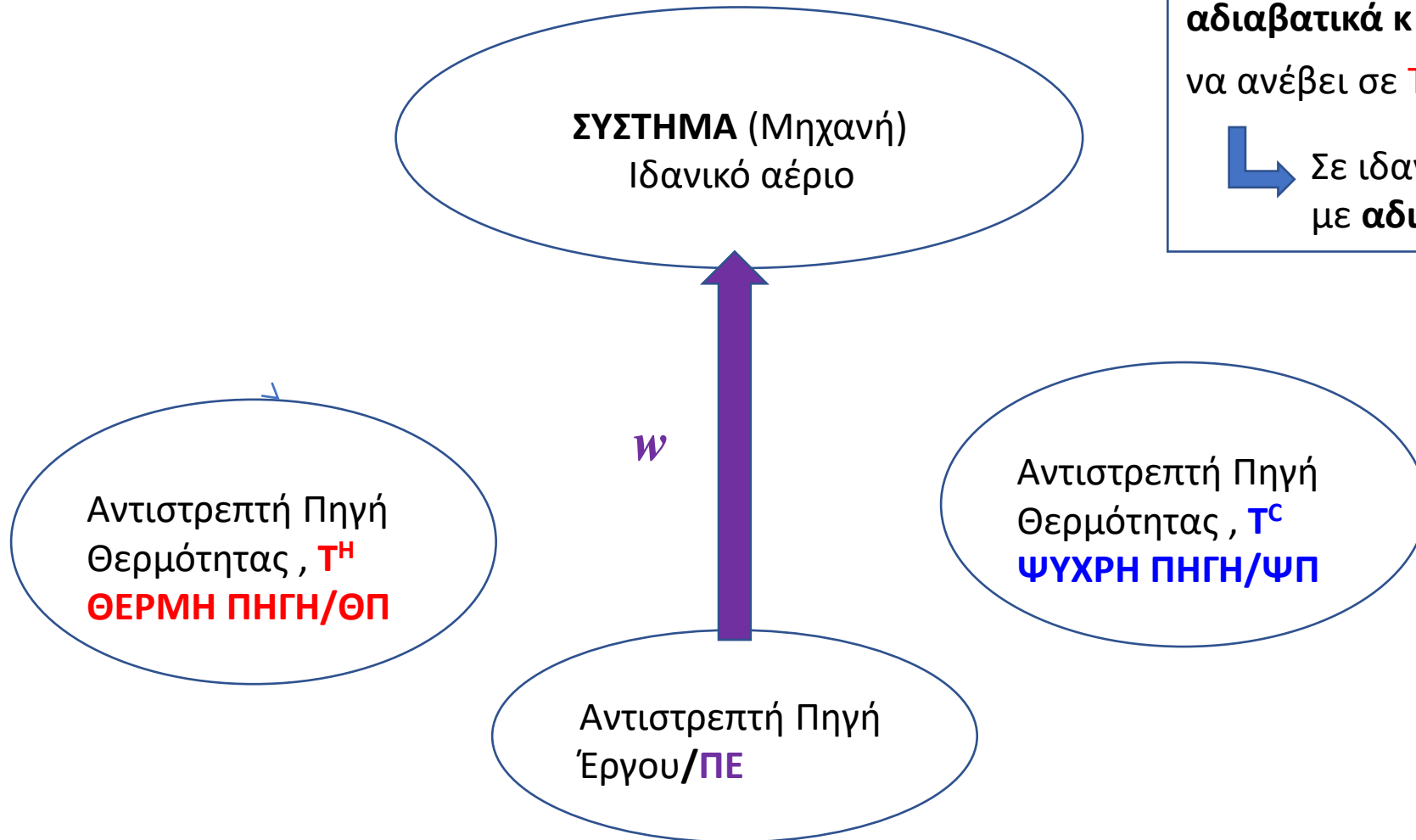


(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 4

Το Σύστημα, σε επαφή μόνο με ΠΕ. Παίρνει έργο
αδιαβατικά κ αντιστρεπτά μέχρι η θερμοκρασία του
να ανέβει σε T^H : $q = 0$ και $w > 0 \Rightarrow \Delta U = q + w > 0$

↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **αδιαβατική συμπίεση** ($\Delta V < 0$)



Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 4

Το Σύστημα, σε επαφή μόνο με ΠΕ. Παίρνει έργο **αδιαβατικά** κ **αντιστρεπτά** μέχρι η θερμοκρασία του να ανέβει σε T^H : $q = 0$ και $w > 0 \Rightarrow \Delta U = q + w > 0$

↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει με **αδιαβατική συμπίεση** ($\Delta V < 0$)

Η T του συστήματος αυξάνεται διότι $\Delta U > 0$
Η Εντροπία S μένει σταθερή:

$$(*) \Delta S = \frac{q}{T} = 0$$

Αντιστρεπτή Πηγή
Θερμότητας, T^H
ΘΕΡΜΗ ΠΗΓΗ/ΘΠ

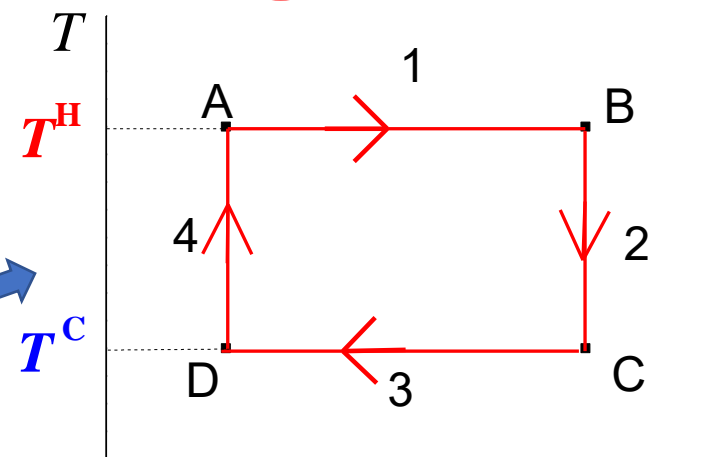
ΣΥΣΤΗΜΑ (Μηχανή)
Ιδανικό αέριο

w

Αντιστρεπτή Πηγή
Θερμότητας, T^C
ΨΥΧΡΗ ΠΗΓΗ/ΨΠ

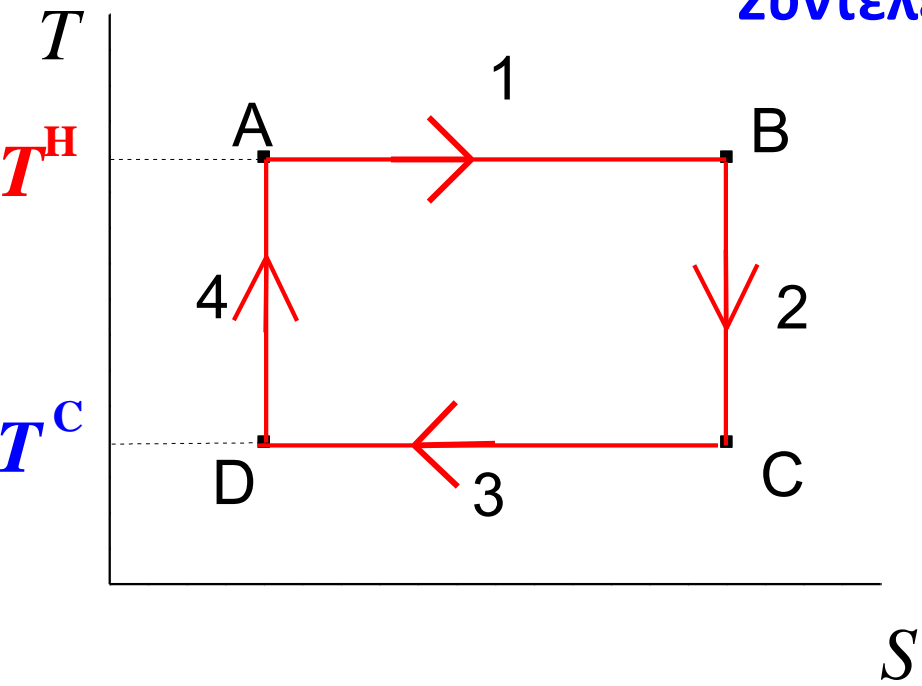
Αντιστρεπτή Πηγή
Έργου/ΠΕ

Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S



(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

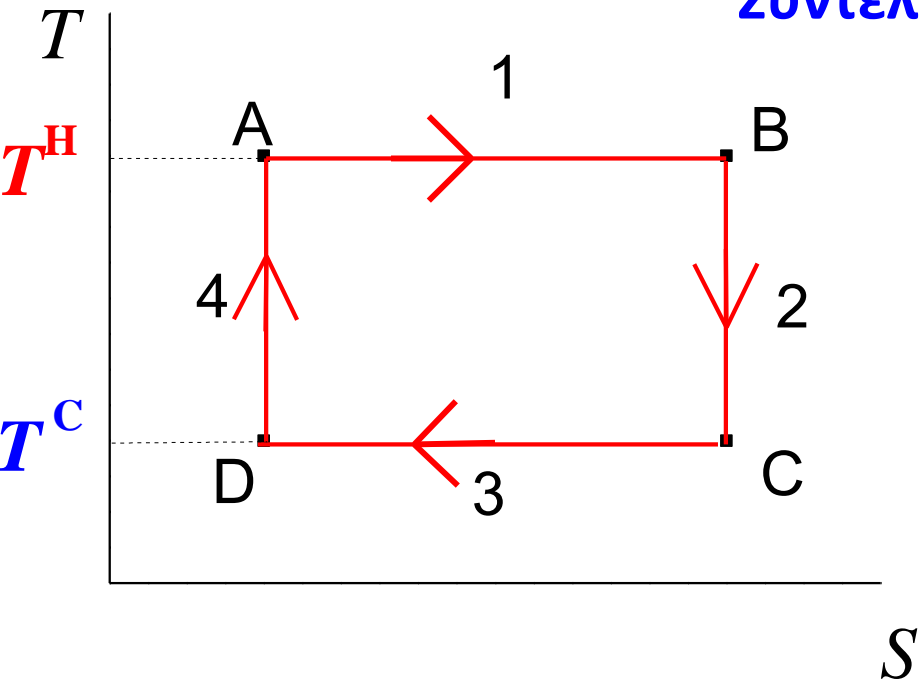
Συντελεστής απόδοσης Κύκλου Carnot



Βήμα 1 (A→B): Θερμότητα που απορροφά το Σύστημα: $q_{A \rightarrow B} = T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}$

Βήμα 3 (C→D): Θερμότητα που προσφέρει το Σύστημα: $q_{C \rightarrow D} = T^C \cdot \Delta S_{C \rightarrow D}$

Συντελεστής απόδοσης Κύκλου Carnot



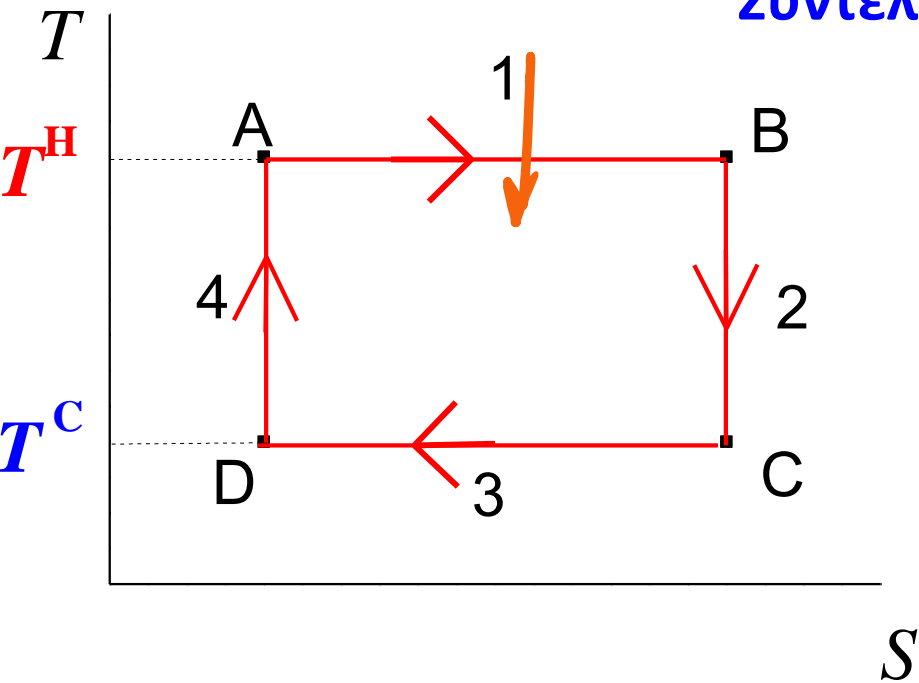
Βήμα 1 (A→B): Θερμότητα που απορροφά το Σύστημα: $q_{A \rightarrow B} = T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}$

Βήμα 3 (C→D): Θερμότητα που προσφέρει το Σύστημα: $q_{C \rightarrow D} = T^C \cdot \Delta S_{C \rightarrow D}$

Όμως: $\Delta S_{C \rightarrow D} = -\Delta S_{A \rightarrow B}$

Για τον κύκλο: $\Delta U = 0 \Rightarrow q + w = 0 \Rightarrow -w = q$

Συντελεστής απόδοσης Κύκλου Carnot



Βήμα 1 (A→B): Θερμότητα που απορροφά το Σύστημα: $q_{A \rightarrow B} = T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}$

Βήμα 3 (C→D): Θερμότητα που προσφέρει το Σύστημα: $q_{C \rightarrow D} = T^C \cdot \Delta S_{C \rightarrow D}$

Όμως: $\Delta S_{C \rightarrow D} = -\Delta S_{A \rightarrow B}$

Για τον κύκλο: $\Delta U = 0 \Rightarrow q + w = 0 \Rightarrow -w = q$

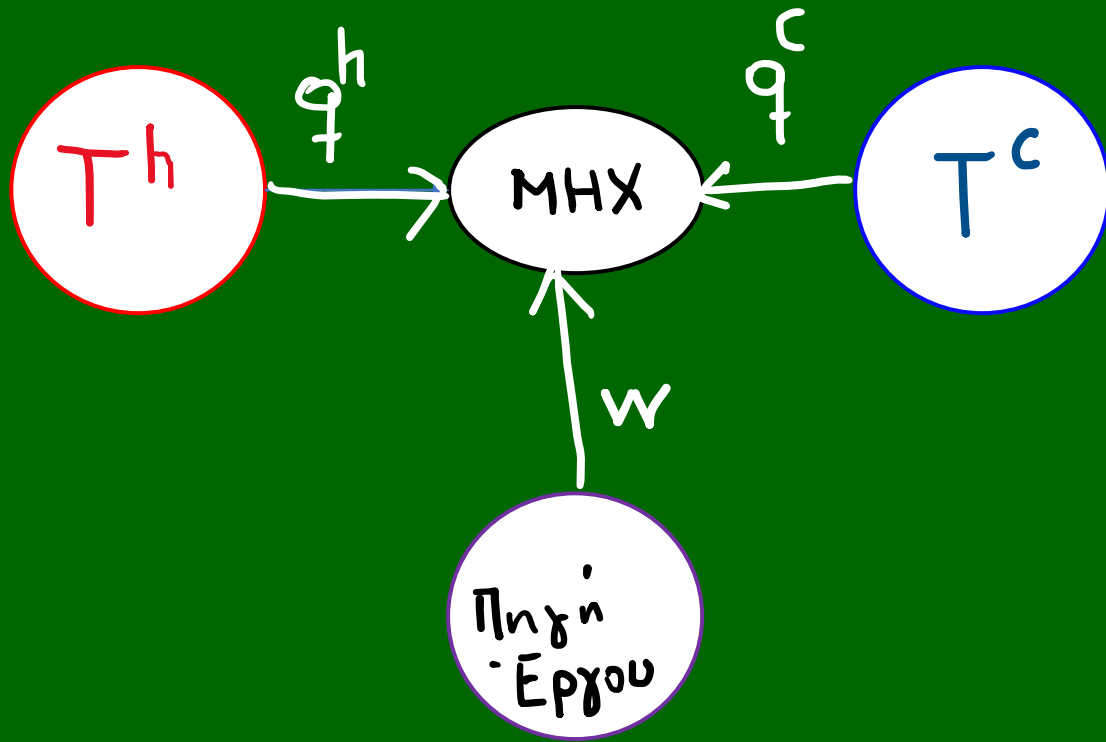
Έργο που παίρνουμε από Σύστημα

$$-w = q = q_{A \rightarrow B} + q_{C \rightarrow D} = T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B} + T^C \cdot \Delta S_{C \rightarrow D} = (T^H - T^C) \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}$$

**Συντελεστής απόδοσης
του κύκλου Carnot**

$$f = \frac{\text{εργο που παίρνουμε}}{\text{θερμοτητα που δίνουμε}} = \frac{(T^H - T^C) \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}}{T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}} = 1 - \frac{T^C}{T^H}$$

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ. ΨΥΚΤΗΡΕΣ - ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



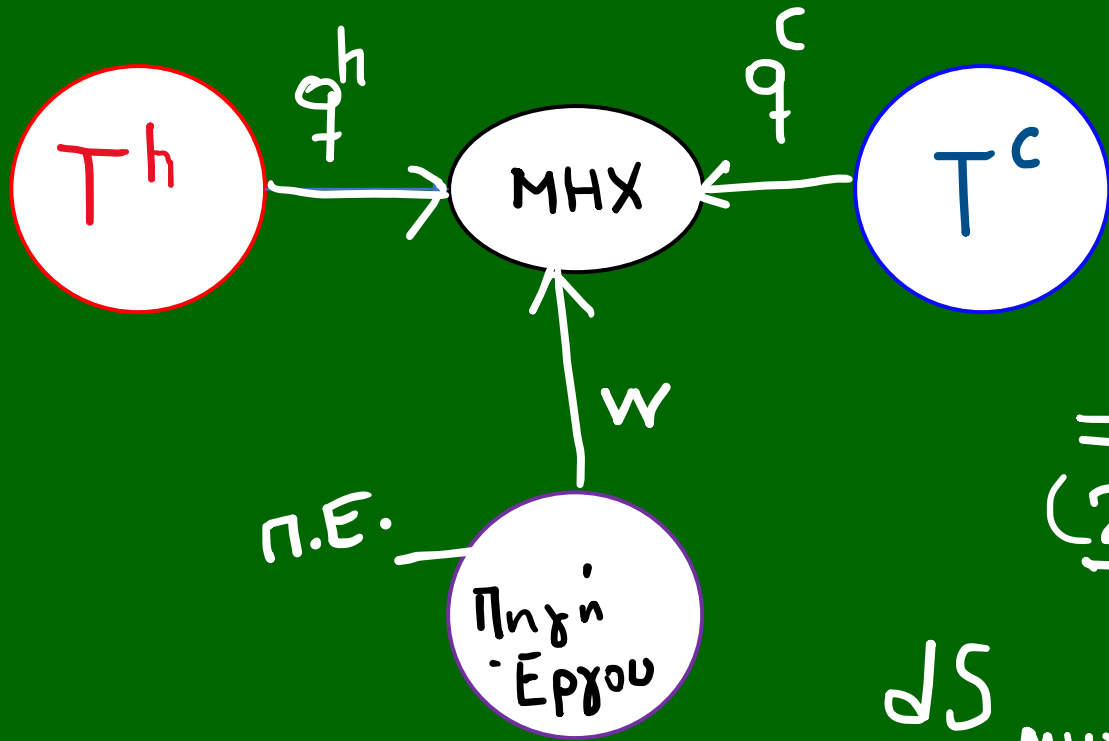
ΨΥΚΤΗΡΑΣ. Στόχος είναι να πάρει έργο και να
κατεβάσει τη θερμοκρασία του κρύου
σωματός, T^c

ΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑΣ. Πάιρνει έργο με στόχο να ανεβάσει την T^h

Συντελεστής ψυκτικής απόδοσης.

$$\varepsilon_T = \frac{\text{Θερμότητα που παίρνω από } T^c}{\text{απορροφούμενο έργο από π.ε.}}$$

• Όλα τα στάδια αντιβρεθτα



$$\cancel{dS_{\text{συμπ}}} = dS^h + dS^c + \cancel{dS_{\text{ΜΗΧ}}} = 0 \quad (1)$$

(2^ο Ν) π.ε. (κύκλος)

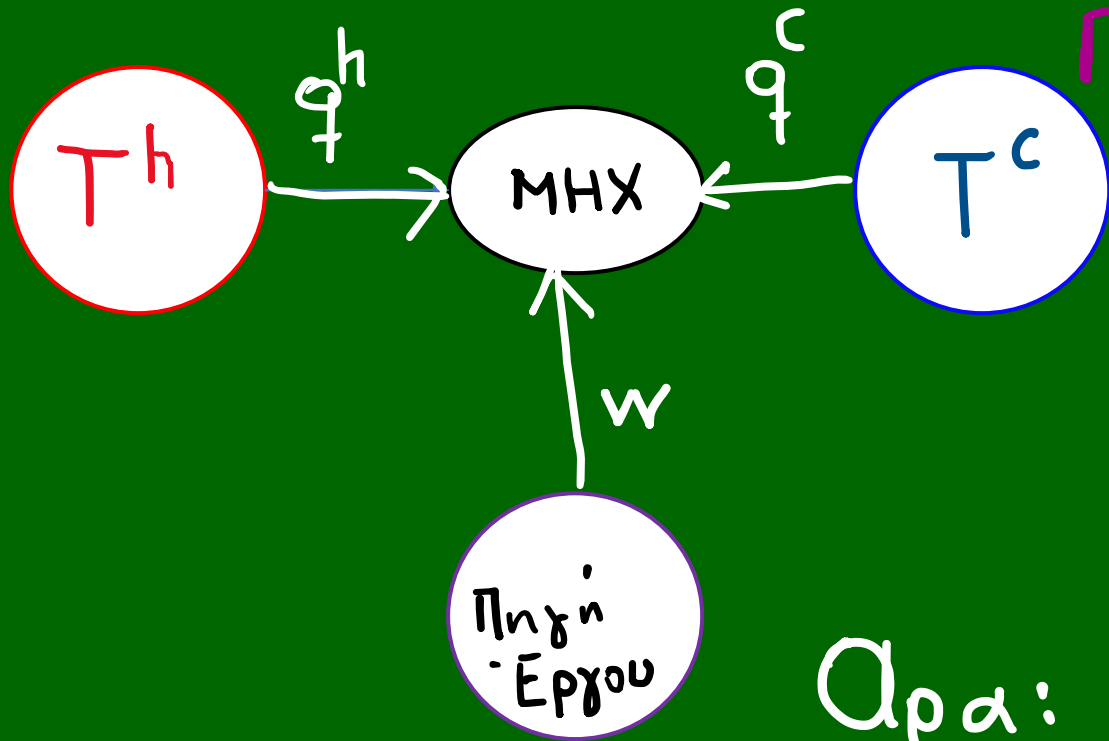
$$\underbrace{dS_{\text{ΜΗΧ}} = dU_{\text{ΜΗΧ}} = 0}_{\text{(κύκλος)}}, \quad \cancel{dU_{\text{ΜΗΧ}}} = dw + (dq^h + dq^c) = 0$$

$$\Rightarrow dw = -(dq^h + dq^c)$$

$$\rightarrow \left(dw = - (dq^h + dq^c) \right) \checkmark \checkmark$$

Για την Θ.Π.: $-dq^h = T^h \cdot dS^h \checkmark \checkmark$

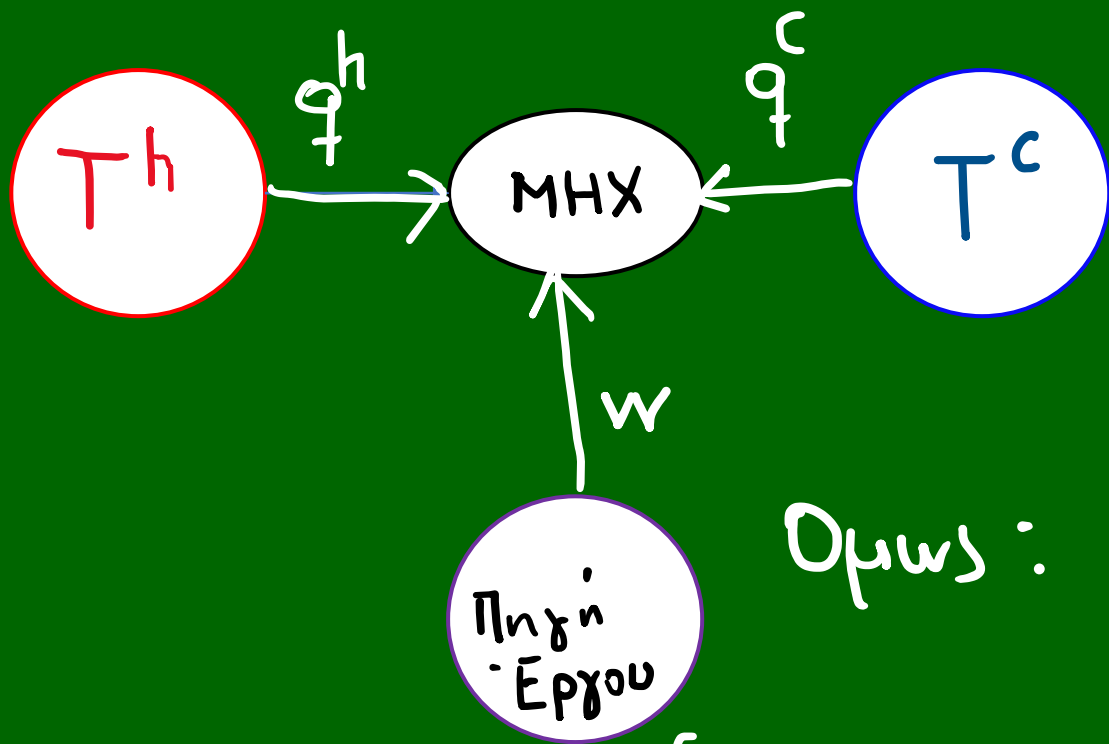
Για την Ψ.Π.: $-dq^c = T^c \cdot dS^c \checkmark$



(*) Τα "-" μιλάνε, διότι τα q^h, q^c είναι εμβαλωμένα με κατεύθυνση προς την **ΜΗΧ**.

Αρα: $\epsilon_r = \frac{dq^c}{dw} = \frac{-T^c dS^c}{-(dq^h + dq^c)} \Rightarrow$

$$\epsilon_r = \frac{-T^c dS^c}{-(-T^h dS^h - T^c dS^c)}$$



Είδαμε όμως ότι: (1) \rightarrow

$$dS^h + dS^c = 0 \Rightarrow$$

$$dS^h = -dS^c$$

Όμως:

$$\varepsilon_r = \frac{-T^c dS^c}{-(-T^h dS^h - T^c dS^c)} \Rightarrow$$

$$\varepsilon_r = \frac{-T^c dS^c}{-(T^h dS^c - T^c dS^c)} \Rightarrow$$

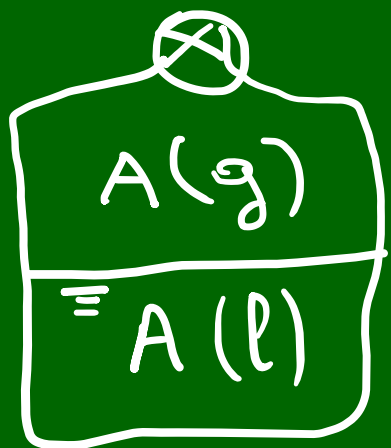
$$\varepsilon_r = \frac{T^c}{T^h - T^c}$$

Απόδοση ψυκτήρα

για $T^c \rightarrow 0$

$$\varepsilon_r \rightarrow 0$$

Η έννοια του Βαθμού Ελευθερίας στην Ισορροπία Φάσεων σε Σύστημα Ενός Συστατικού

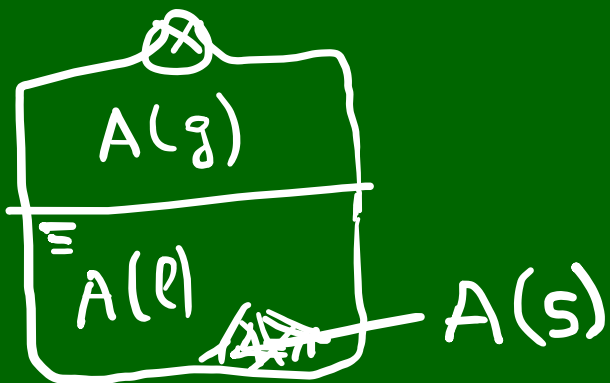


Εξίσωση G-D: $-SdT + Vdp - \sum n_i d\mu_i = 0$ $\xrightarrow[\text{δΥΛΤΑΤΙΚΟ}]{\text{ΓΙΑ ΕΝΑ}}$

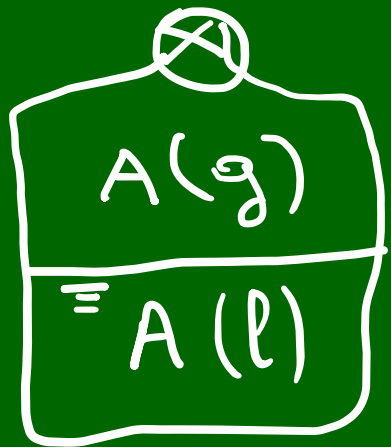
$\Rightarrow n d\mu = -SdT + Vdp \xrightarrow{:n}$

$d\mu = -sdT + vdp \Rightarrow$

$\mu = \mu(T, p)$



1 σύστημα 2 φάσεων του A:



$$\left\{ \begin{array}{l} T_{A(l)} = T_{A(g)} \\ P_{A(l)} = P_{A(g)} \\ \mu_{A(l)}(T_{A(l)}, P_{A(l)}) = \mu_{A(g)}(T_{A(g)}, P_{A(g)}) \end{array} \right.$$

μεταβλητές:

$$P_{A(l)}, P_{A(g)} \quad (*)$$

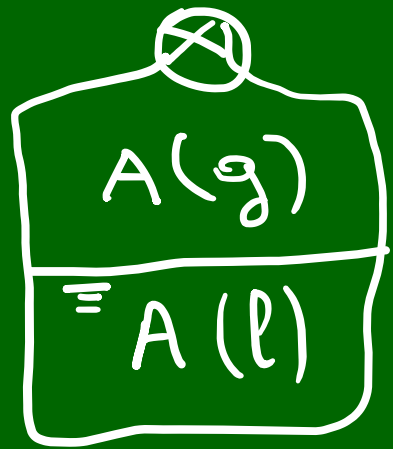
$$T_{A(l)}, T_{A(g)}$$

3 σχέσεις αναμεταξύ
στις 4 μεταβλητές!!

4 μεταβλη-
τές

$(*)$ $0 = V_{A(l)}, V_{A(g)}$ δεν είναι επιπλέον μεταβλητές. $f_{(l)}(P, V, T) = 0$
 $\hookrightarrow f_{(g)}(P, V, T) = 0$

· Πρα: στο σύστημα 2 φάσεων σε ισορροπία ενός Συστατικού έχω



1 Βαθμό Ελευθερίας

1 σωματίδια 3 φάσεις του A:

πληθω: 6

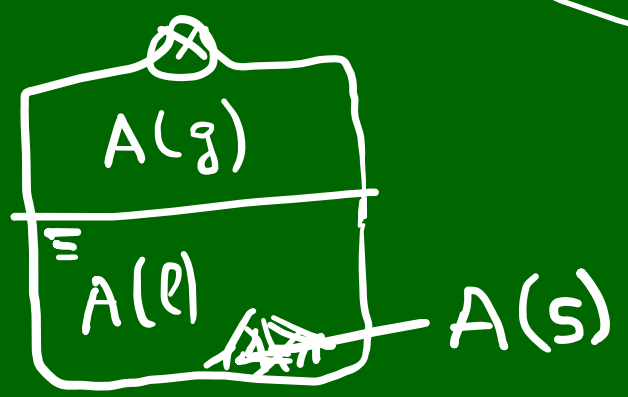
Μεταβλητές:

- $P_{A(g)}, T_{A(g)}$
- $P_{A(l)}, T_{A(l)}$
- $P_{A(s)}, T_{A(s)}$

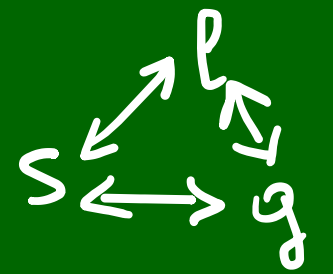
$$P_{A(g)} = P_{A(l)} = P_{A(s)}$$

$$T_{A(g)} = T_{A(l)} = T_{A(s)}$$

$$\mu_{A(g)}(T_{A(g)}, P_{A(g)}) = \mu_{A(l)}(T_{A(l)}, P_{A(l)}) = \mu_{A(s)}(T_{A(s)}, P_{A(s)})$$



6 σχέσεις ανάμεσα στις 6 μεταβλητές!



Αρα 67nν τριφασική ισορροπία
εχός συβρατικού δεν υπάρχει
κανένα βαθμό ελευθερίας!

Αρα, οι 3 φάσεις καθε χημική ουσία
θα συνυπάρχουν σε ισορροπία σε ενα
απουδελσσις ζεύγος P,T