

Επικαιροποίηση: 11.11.2025

ΧΗΜΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

4. ΝΕΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΕΡΟΣ Β

12^η Διάλεξη: Δευτέρα 10.11, 11.15 – 12.00

13^η Διάλεξη: Τρίτη 11.11, 17.15 – 19.00

Υπολογισμοί $\Delta H, \Delta S$ όταν περιβάλλονται
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:



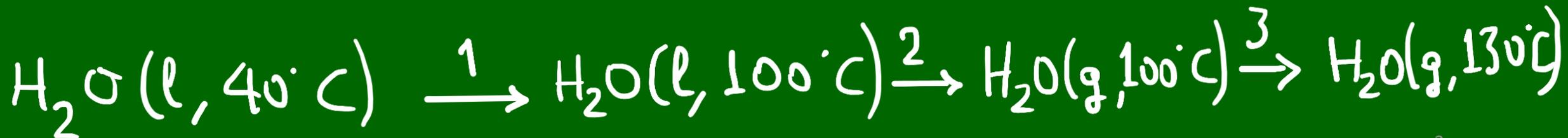


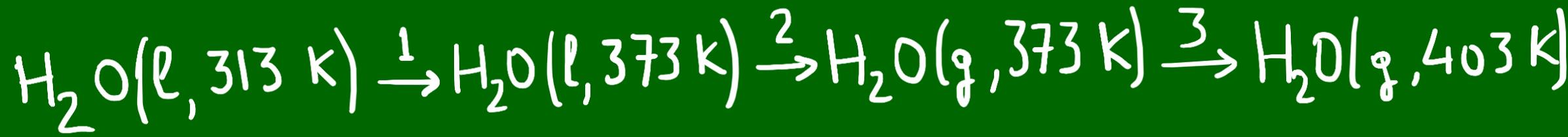
Σχόλιο: Δεν μπορεί να πω: ~~$\Delta H = n \cdot c_p \cdot \Delta T$~~
και ~~$\Delta S = n \cdot c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$~~

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!!





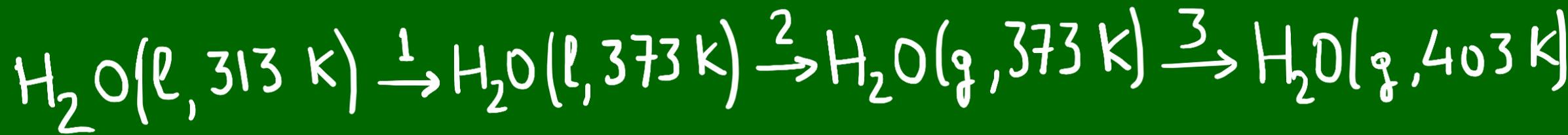
$$\text{a) } \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

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

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

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

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



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

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

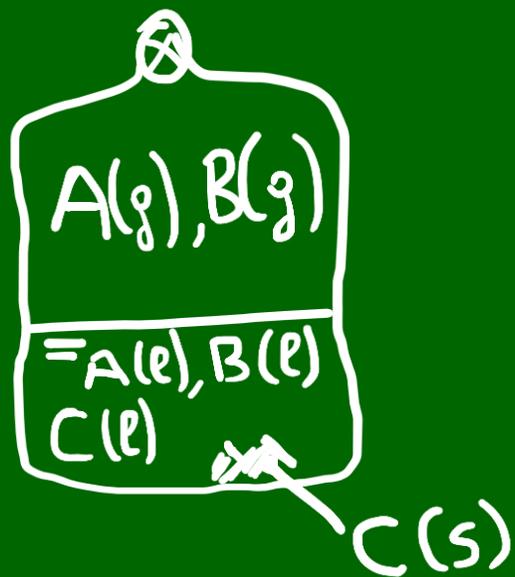
P:ct

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

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

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

ΧΗΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ και ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ



Έχω Ισορροπία!

Άρα: Κοινή T & P για όλες τις φάσεις

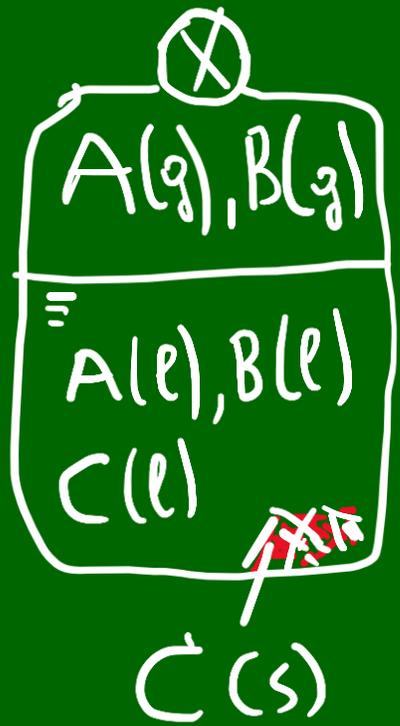
Και:

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$(T,p): \text{σταθ.}$

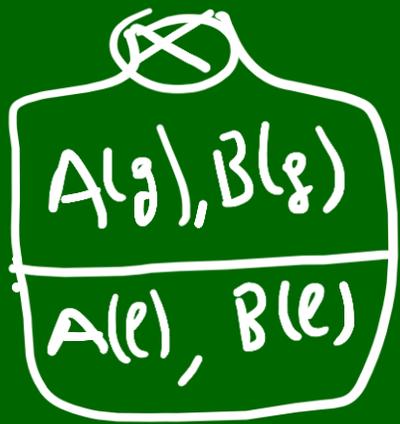
$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}, \quad \sum x_i = 1$$

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: $-SdT + Vdp - nd\mu = 0$

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

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

$$\sum n_i d\mu_i$$

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

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

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

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

Για σύστημα ενός 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:στ. p:στ

$\sum n_i d\mu_i = 0$ 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!**

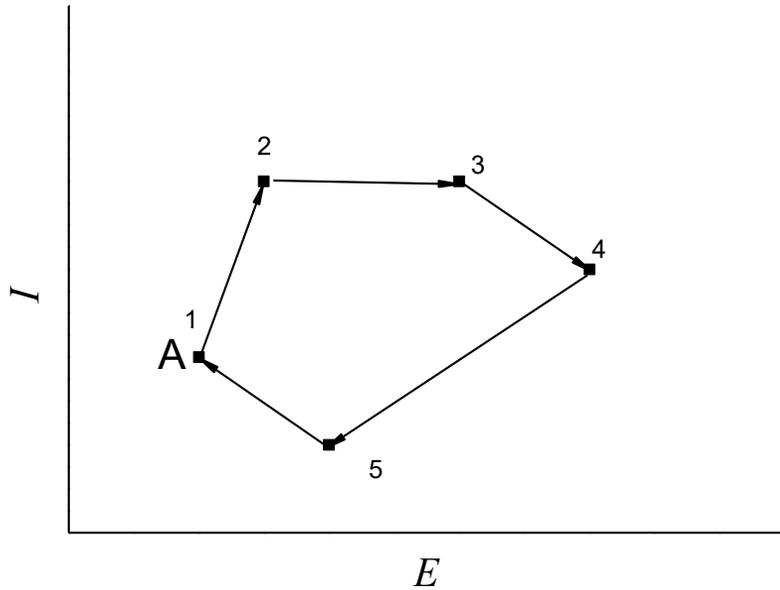
Για ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ Συστήματος:

$$\Delta U_{\text{κυκ}} = 0$$

$$\Delta H_{\text{κυκ}} = 0$$

$$\Delta S_{\text{κυκ}} = 0$$

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 :

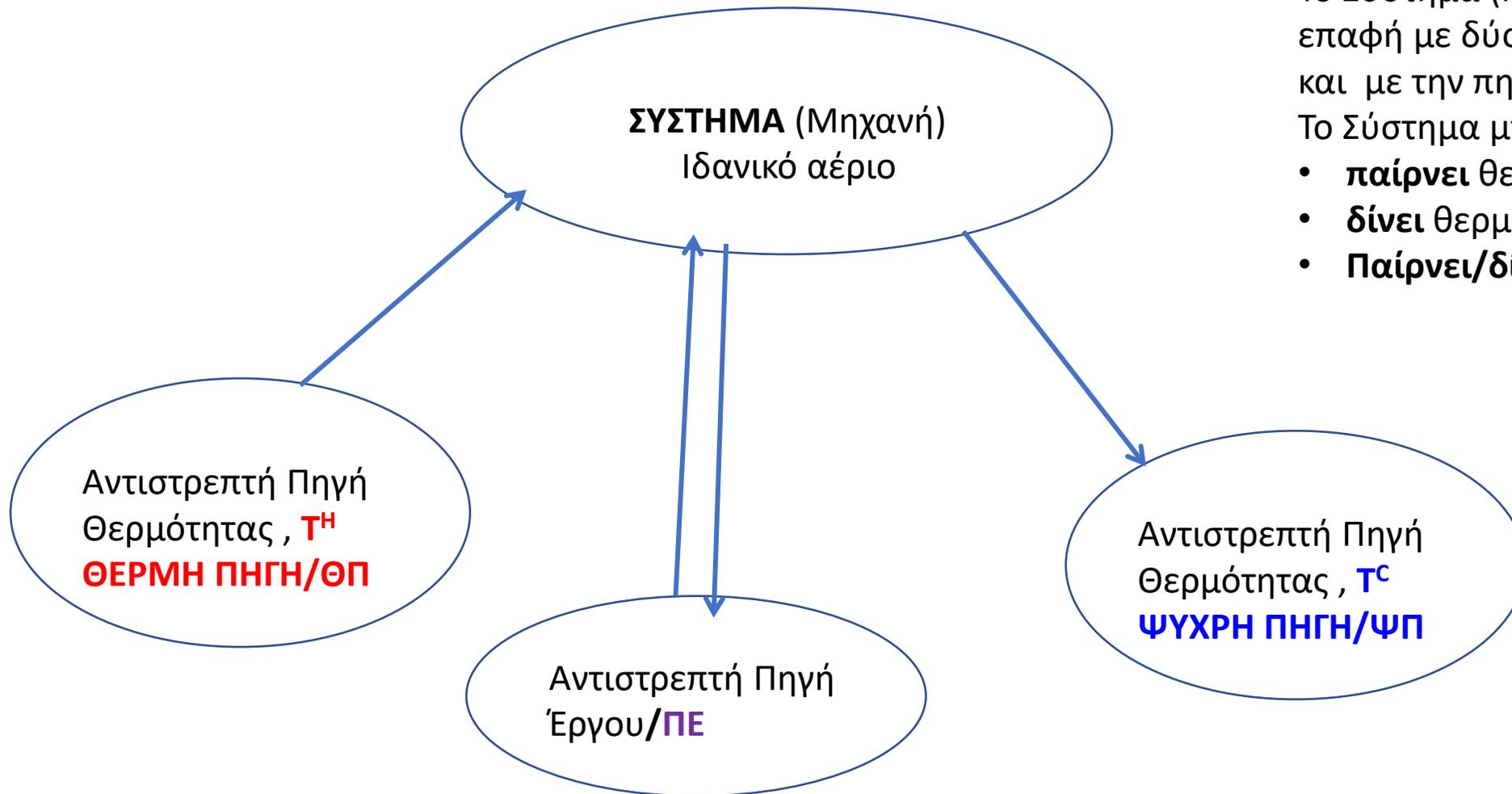
$$f = \frac{\text{εργο που παίρνουμε}}{\text{θερμοτητα που δίνουμε}} = \frac{-\sum_i w_i}{\sum_i q_i^{in}} = 1 + \frac{\sum_i q_i^{out}}{\sum_i q_i^{in}} < 1$$

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 $\Pi\epsilon$.

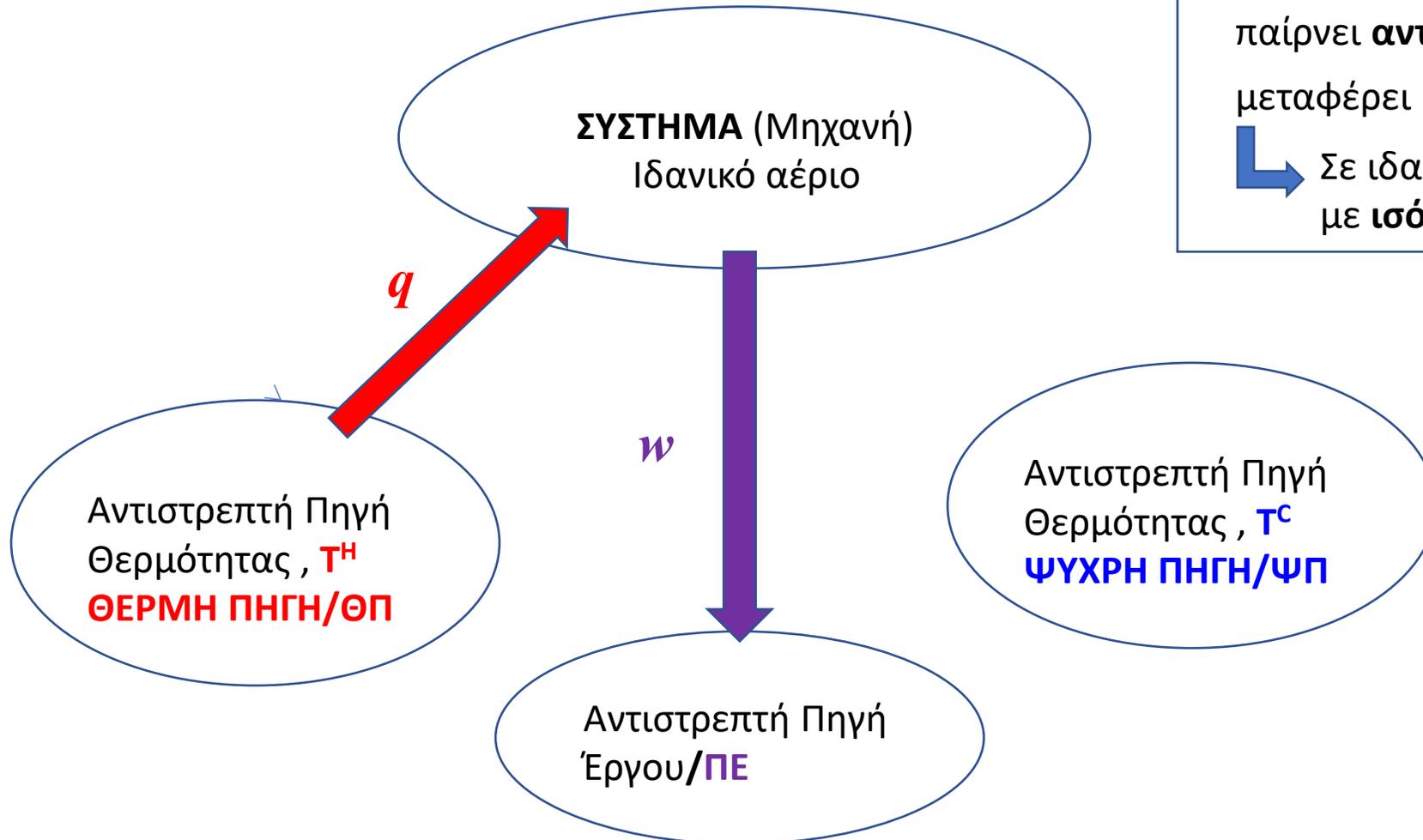
Το Σύστημα μπορεί να :

- **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 ($w < 0$)

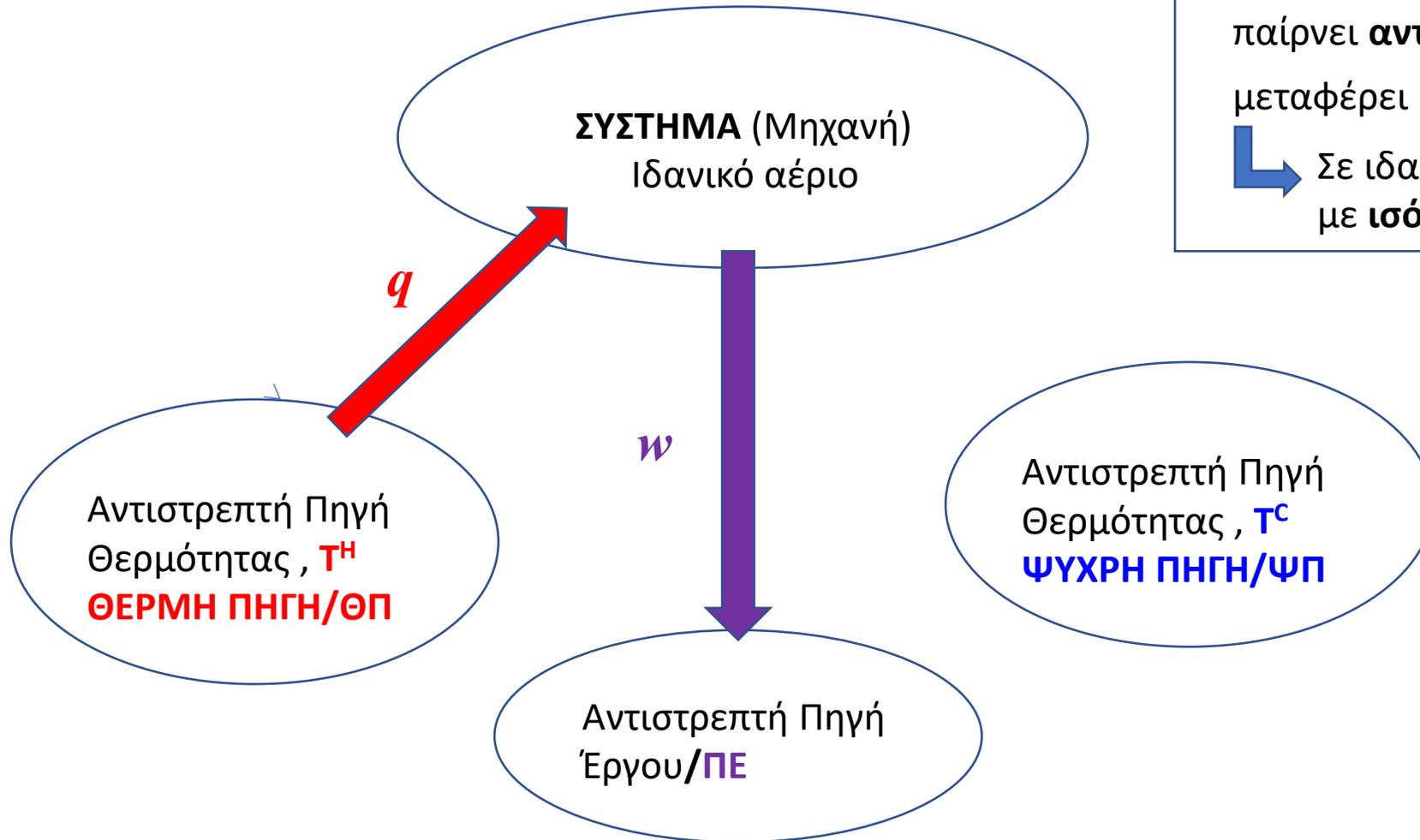
↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει
με **ισόθερμη εκτόνωση** ($\Delta V > 0$)



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

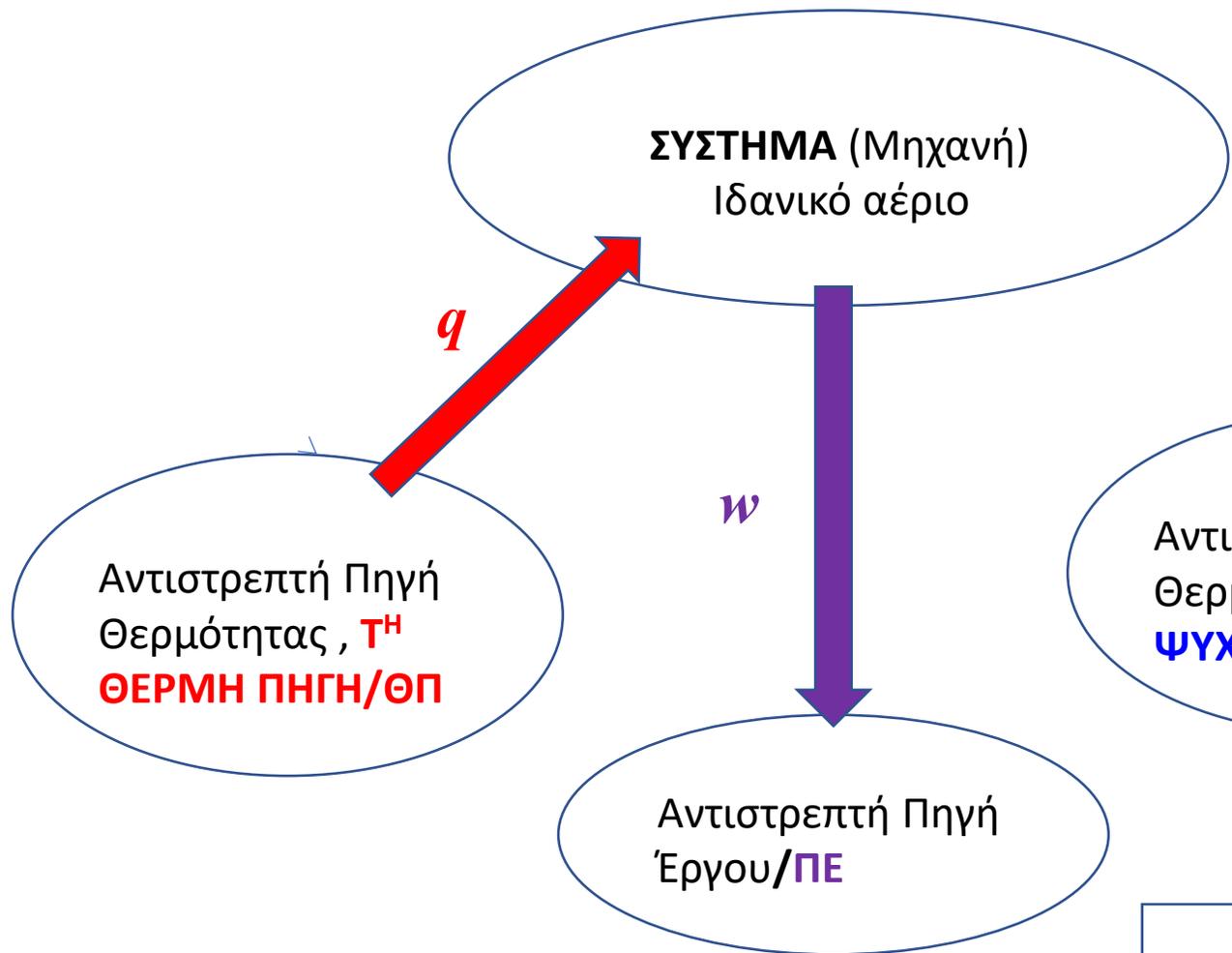
⇓

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

Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 1

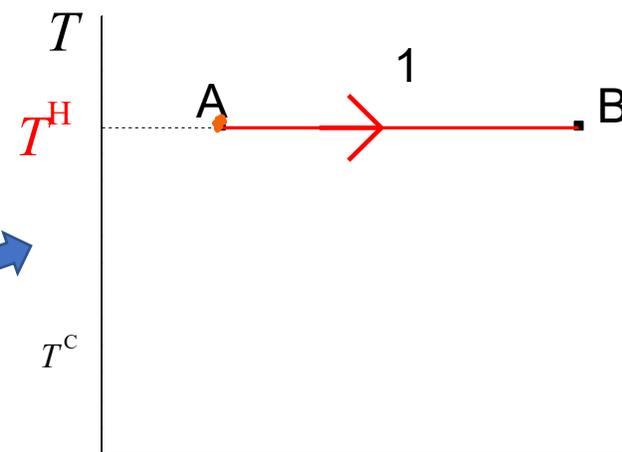
Το Σύστημα, σε επαφή με **ΘΠ (ισόθερμα)**,
παίρνει **αντιστρεπτά** θερμότητα από ΘΠ ($q > 0$) και
μεταφέρει αντιστρεπτό έργο στην ΠΕ ($w < 0$)

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



Η T του Συστήματος παραμένει σταθερή
Η Εντροπία S αυξάνεται:

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



(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S

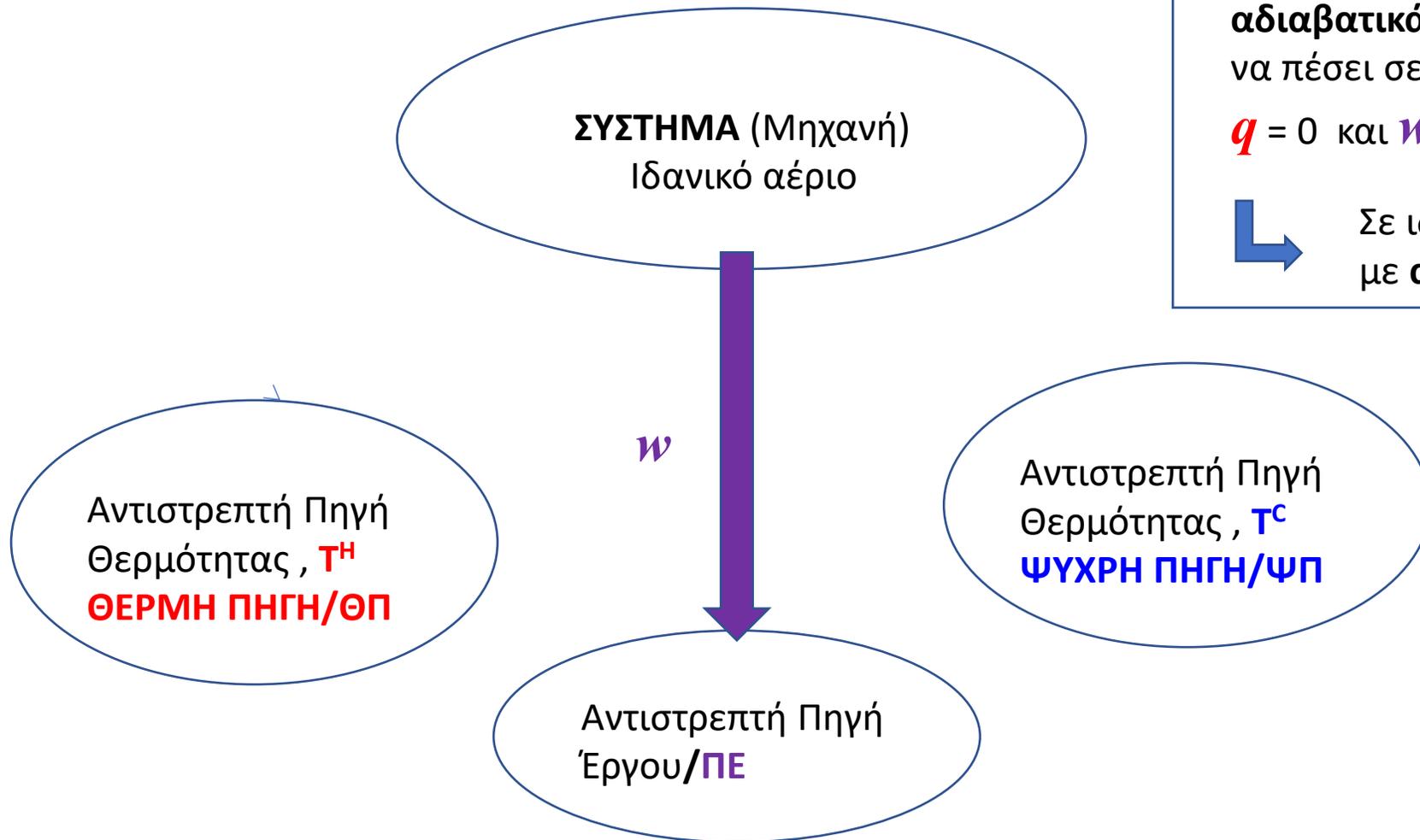
Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 2

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:

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

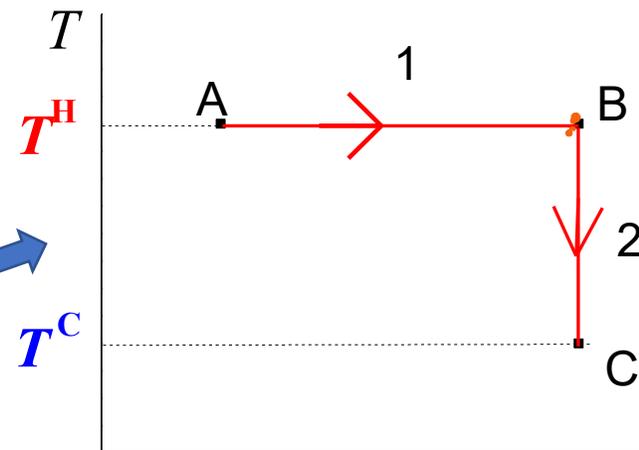
ΣΥΣΤΗΜΑ (Μηχανή)
Ιδανικό αέριο

Αντιστρεπτή Πηγή
Θερμότητας, T^H
ΘΕΡΜΗ ΠΗΓΗ/ΘΠ

Αντιστρεπτή Πηγή
Θερμότητας, T^C
ΨΥΧΡΗ ΠΗΓΗ/ΨΠ

Αντιστρεπτή Πηγή
Έργου/ΠΕ

Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S

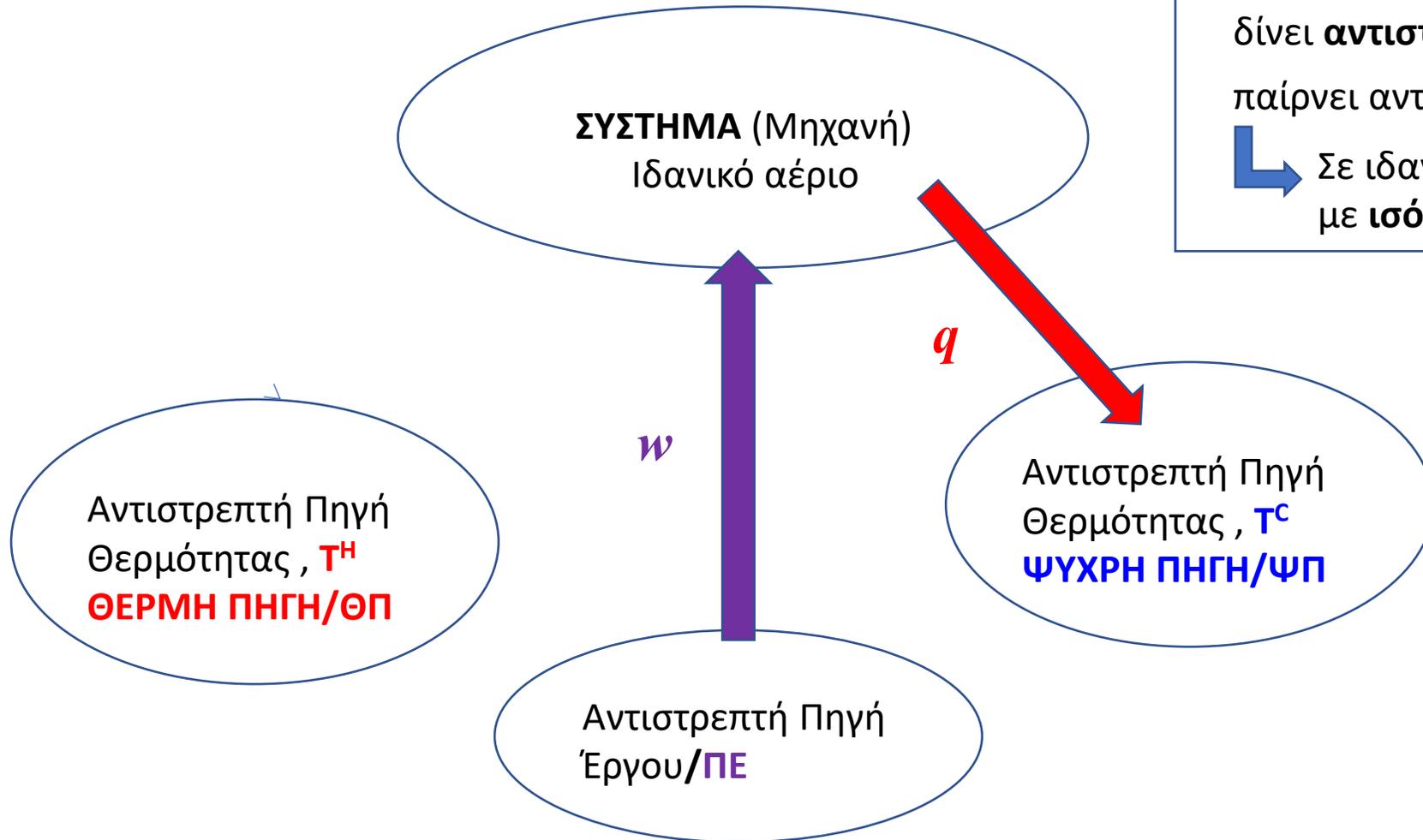


(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

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** ($\Delta V < 0$)



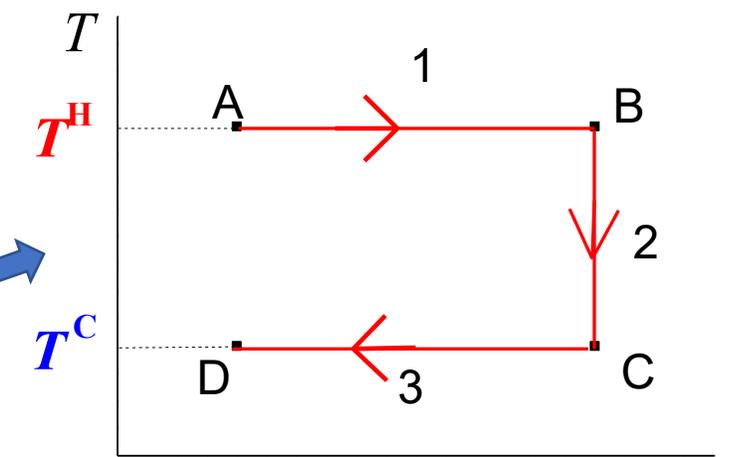
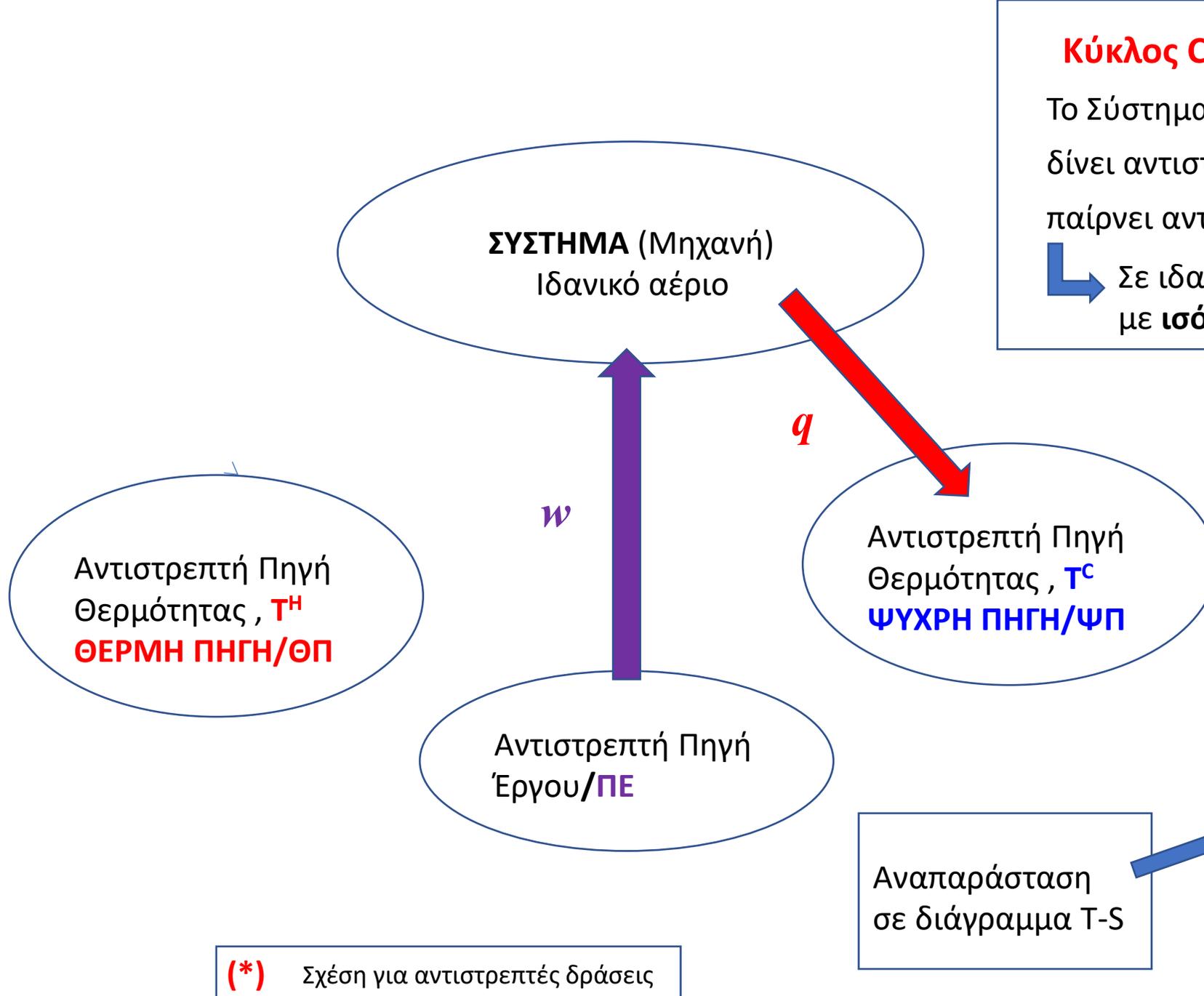
Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 3

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:

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



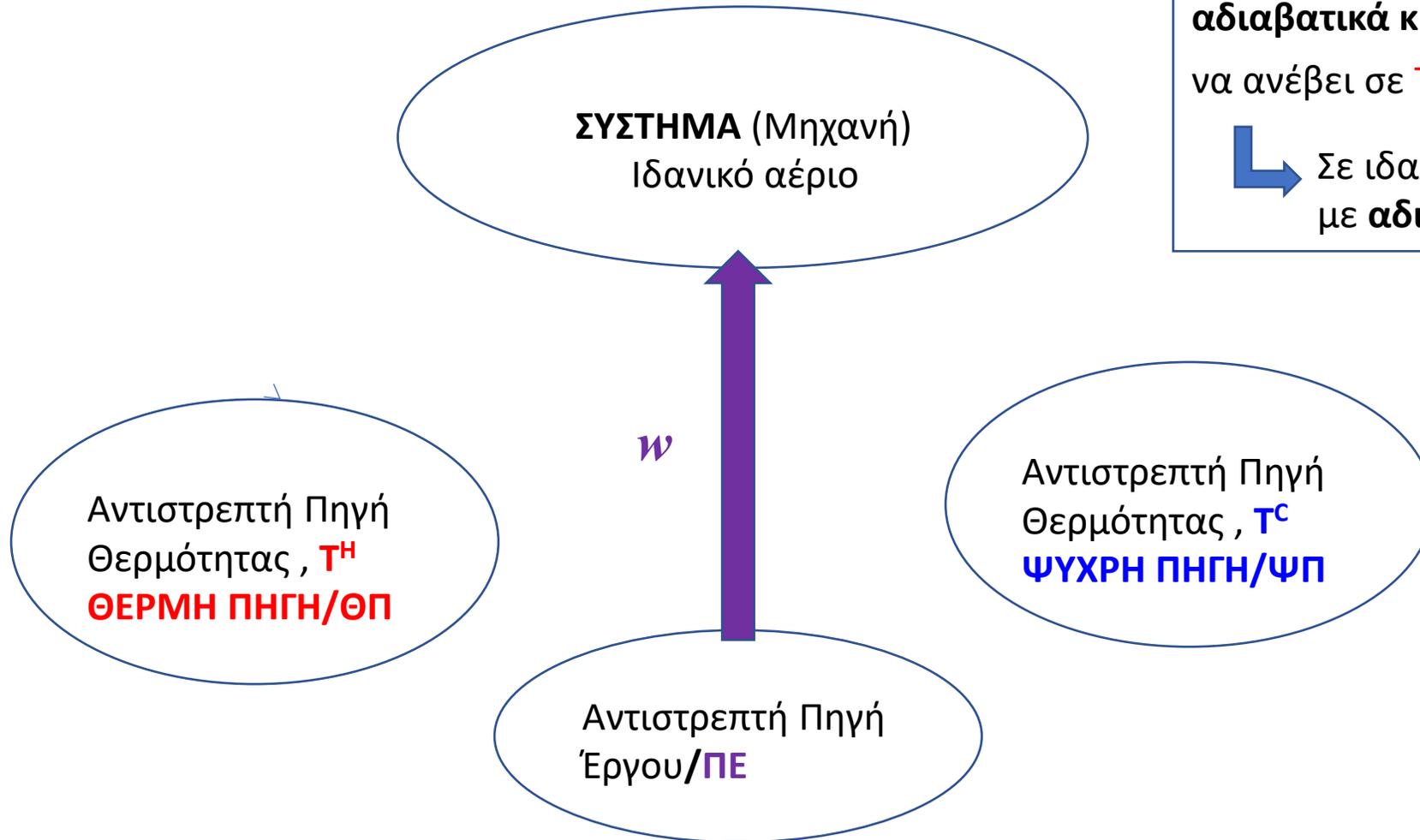
(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S

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

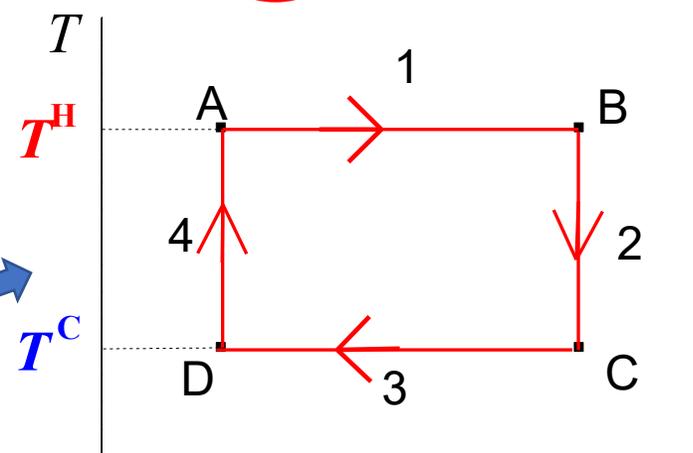
ΣΥΣΤΗΜΑ (Μηχανή)
Ιδανικό αέριο

w

Αντιστρεπτή Πηγή
Θερμότητας, T^C
ΨΥΧΡΗ ΠΗΓΗ/ΨΠ

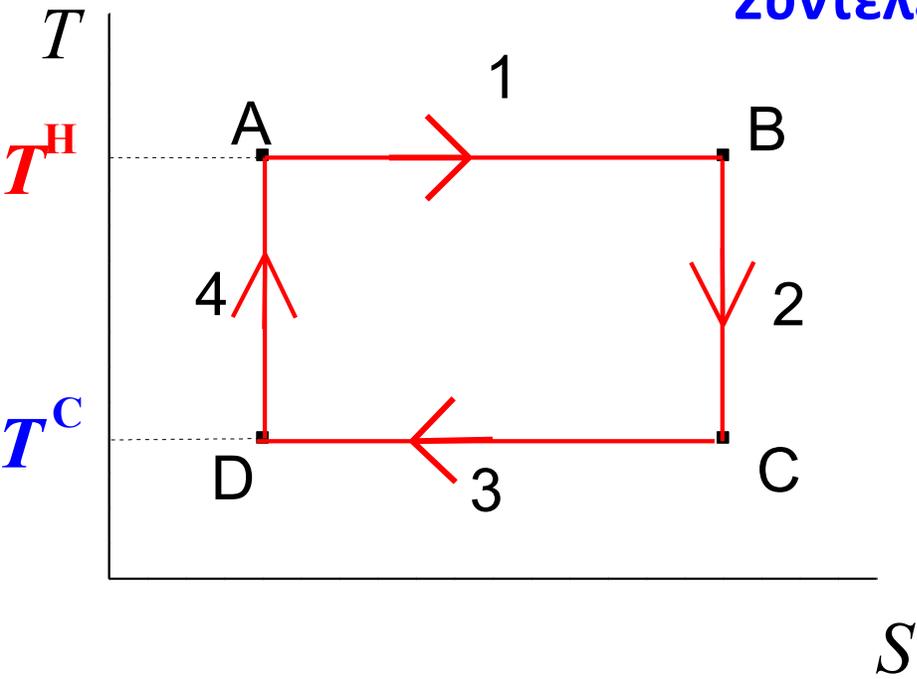
Αντιστρεπτή Πηγή
Έργου/ΠΕ

Αναπαράσταση
σε διάγραμμα T-S



(*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

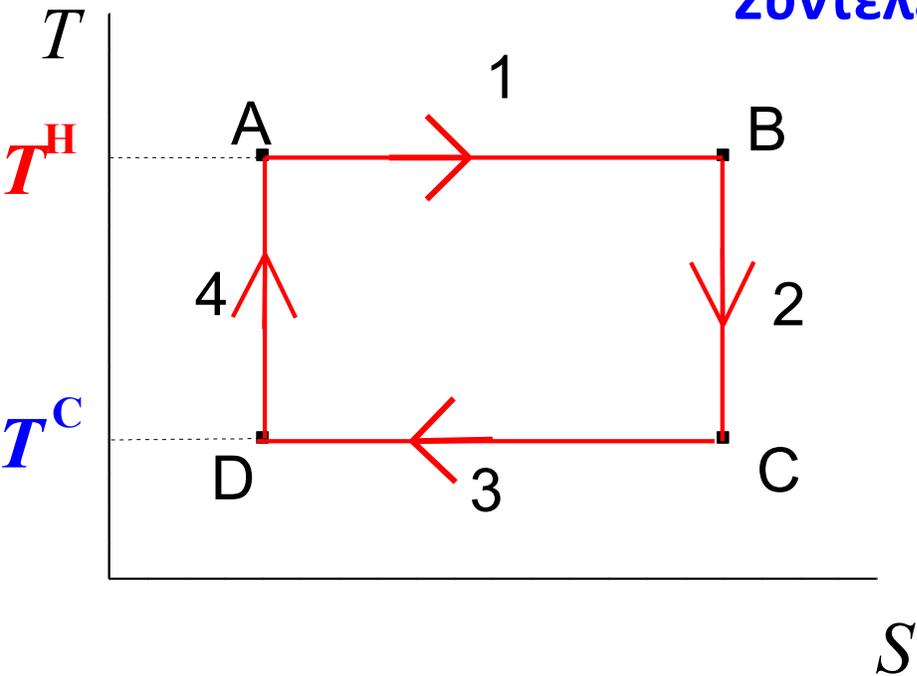
Συντελεστής απόδοσης Κύκλου Carnot



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



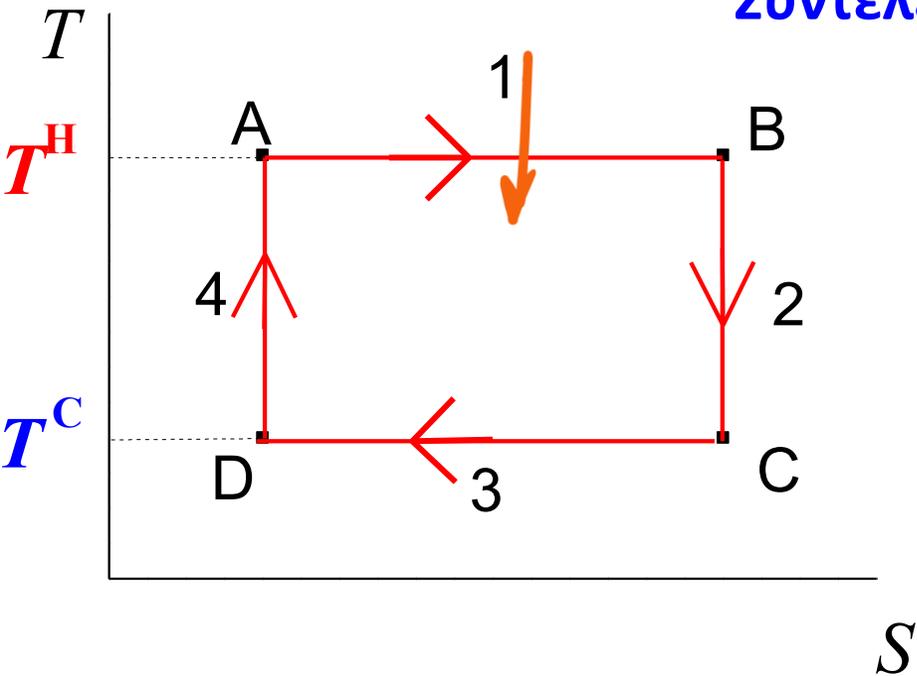
Βήμα 1 (A→B): Θερμότητα που απορροφά το Σύστημα: $q_{A \rightarrow B} = T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}$

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

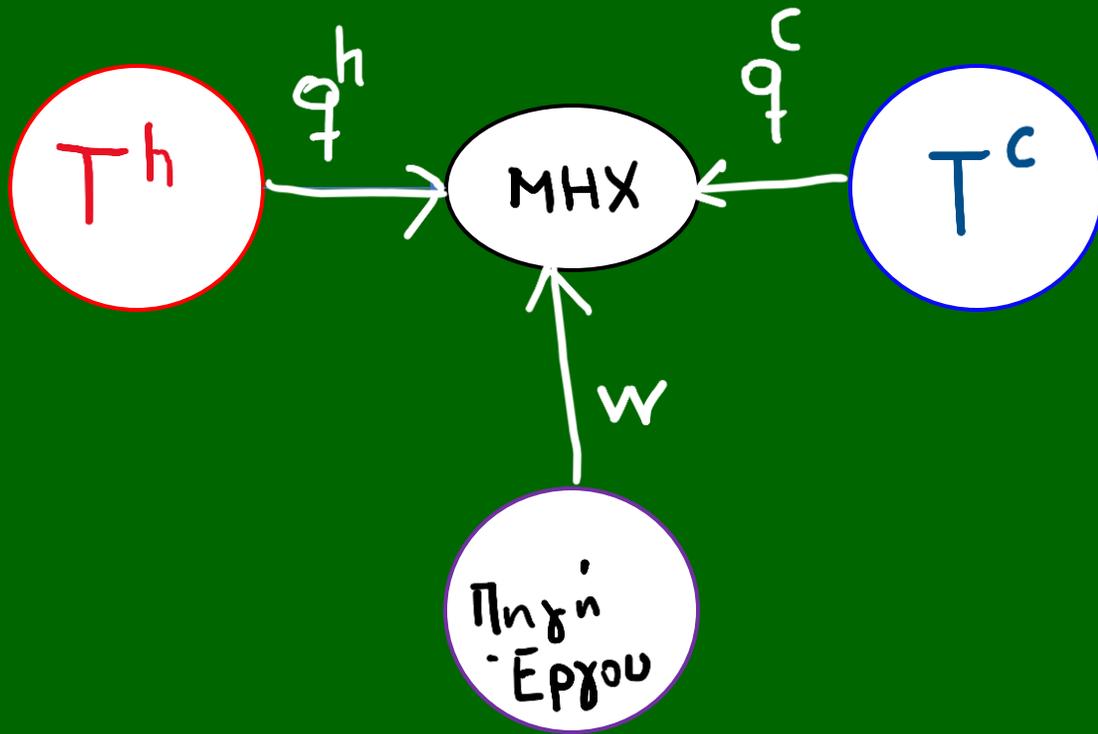
Έργο που παίρνουμε από Σύστημα

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

**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



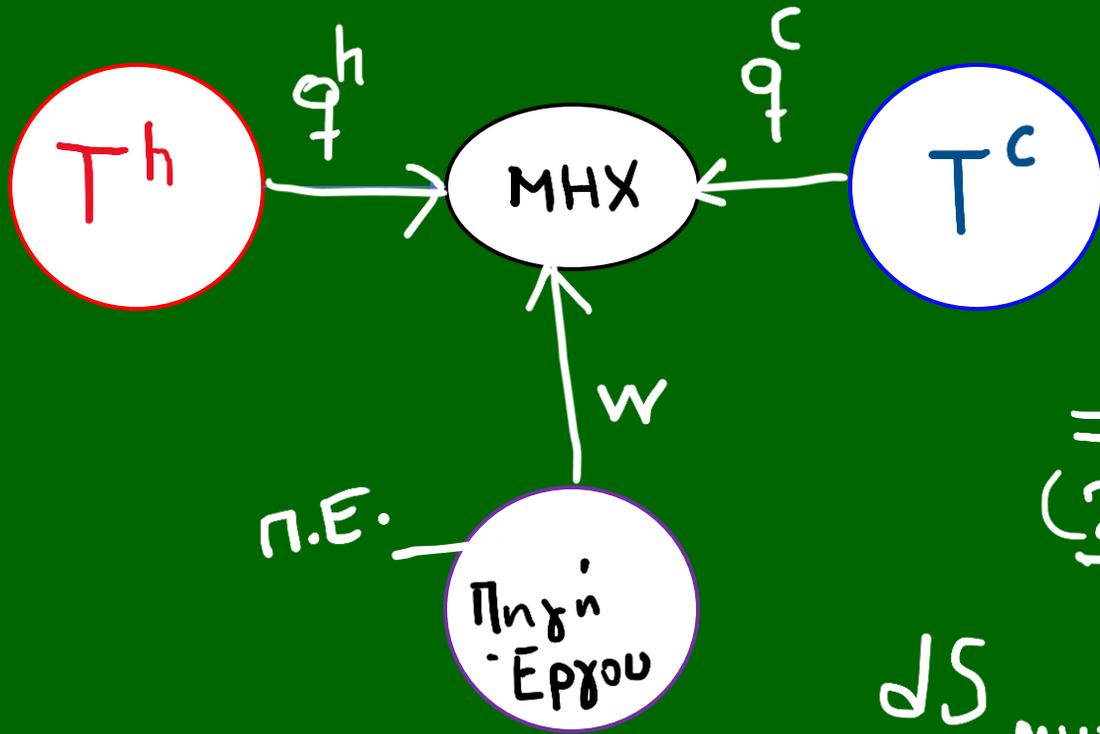
ΨΥΚΤΗΡΑΣ. Στόχος είναι να πάρει έργο και να
κατεβάσει τη θερμοκρασία του κρύου
σωματός, T^c

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 αντιβρεθτά



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

(2' N) π.ε. (κύκλος)

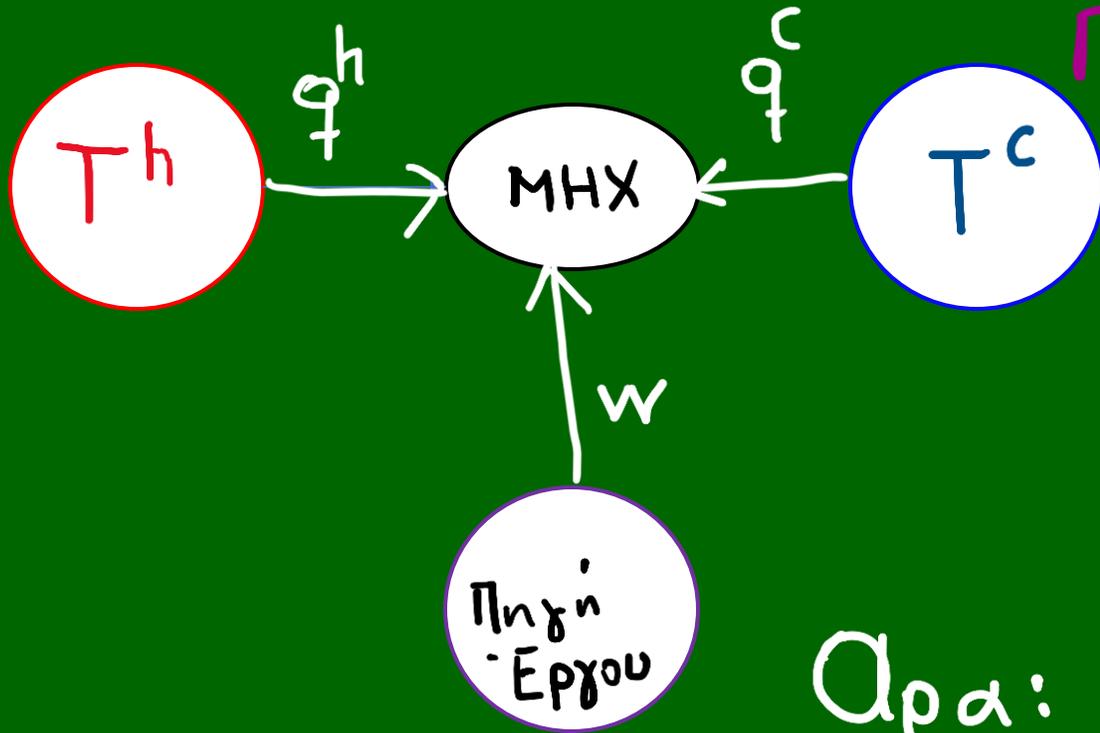
$$\underbrace{dS_{\text{ΜΗΧ}} = dU_{\text{ΜΗΧ}} = 0}_{\text{(κύκλος)}}, \quad \cancel{dU_{\text{ΜΗΧ}}} = dw + (dq^h + dq^c) = 0$$

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

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

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

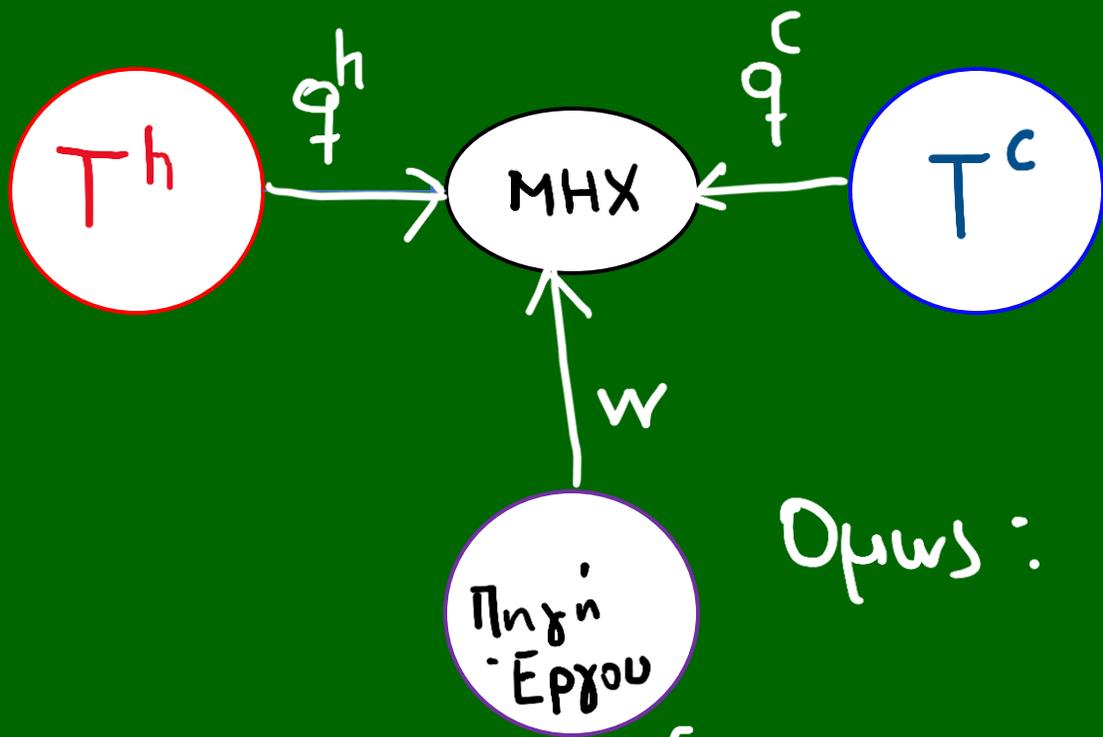
Για την Ψ.Π.: $-dq^c = T^c \cdot dS^c \checkmark$



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

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

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



Ειδικότερα όμως ότι: (1) \rightarrow

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

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

Όμως:

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

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

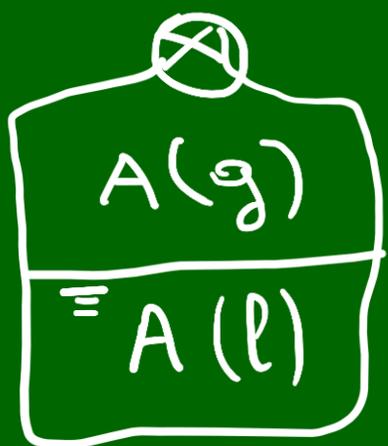
$$\varepsilon_r = \frac{T^c}{T^h - T^c}$$

Απόδοση ψυκτήρα

για $T^c \rightarrow 0$

$$\varepsilon_r \rightarrow 0$$

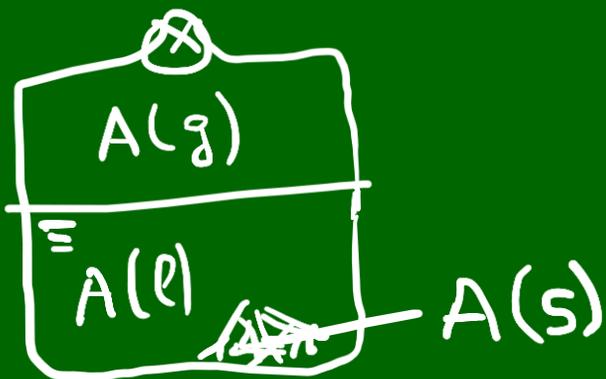
Η έννοια του Βαθμού Ελευθερίας στην Ισορροπία Φάσεων σε Σύστημα Ενός Συστατικού



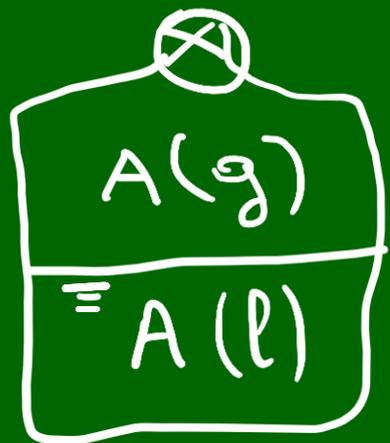
Εξίσωση G-D: $-SdT + Vdp - \sum n_i d\mu_i = 0$ $\xrightarrow[\text{δΥΛΤΑΤΙΚΟ}]{\text{ΓΙΑ ΕΝΑ}}$

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

$d\mu = -sdT + vdp \Rightarrow \mu = \mu(T, p)$



Ισορροπία 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:

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

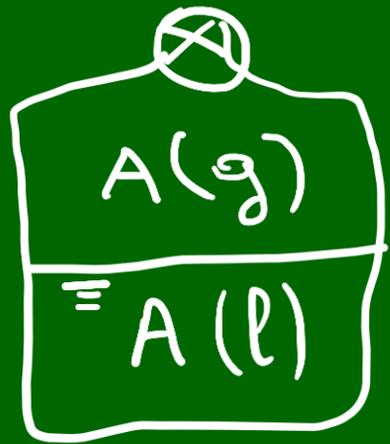
$$T_{A(l)}, T_{A(g)}$$

3 σχέσεις αναμεταξύ
 στις 4 μεταβλητές!!

4 μεταβλη-
 τές

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

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



1 Βαθμό Ελευθερίας

1 σφραγισμένη 3 φάσεων του A:

πληθω: 6

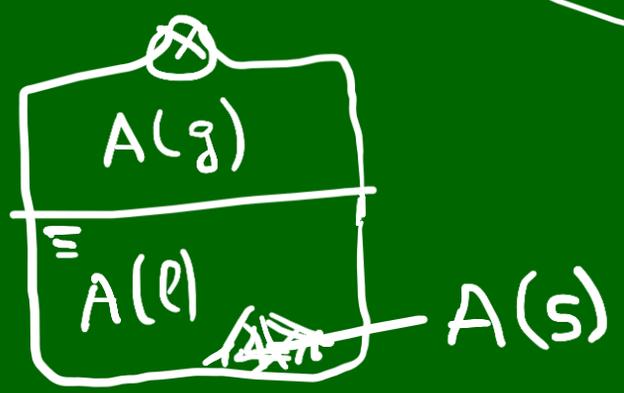
Μεταβλητές:

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

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

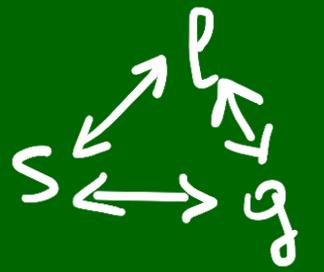
$$T_{A(g)} = T_{A(l)} = T_{A(s)}$$

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



6 σχέσεις ανάμεσα στις 6 μεταβλητές!

Αρα 67nn τριφασική ισορροπία



εγός συβτατικού δεν υπάρχει
κανένα βαθμό ελευθερίας!

Αρα, οι 3 φάσεις καθε χημική ουσία

θα συνυπάρχουν σε ισορροπία σε ένα

απουλειστικό ζεύγος P,T