

Επικαιροποίηση: 07.11.2024

# ΧΗΜΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

## 4. ΝΕΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΕΡΟΣ Β

13<sup>η</sup> Διάλεξη: Τετάρτη 06.11, 12.15 – 13.00

14<sup>η</sup> Διάλεξη: Πέμπτη 07.11, 11.15 – 13.00

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  $\Delta H$  και  $\Delta S$

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  $100^\circ\text{C}$

Έχουμε:



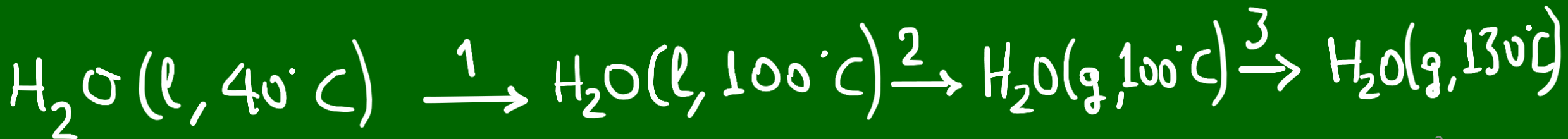


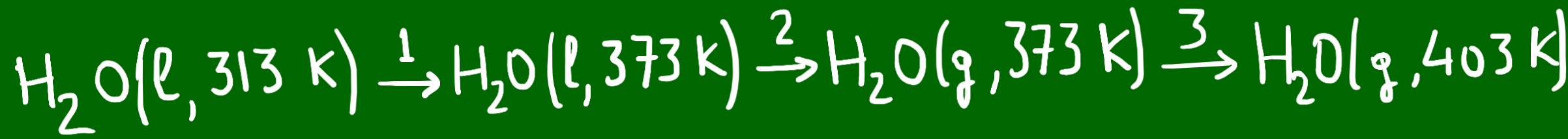
Σχόλιο: Δεν μπορεί να πω:  ~~$\Delta H = n \cdot c_p \cdot \Delta T$~~   
και  ~~$\Delta S = n \cdot c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$~~

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!!





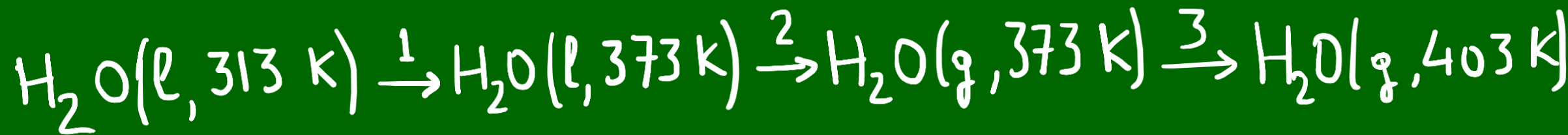
$$\text{a) } \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

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

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

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

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



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

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

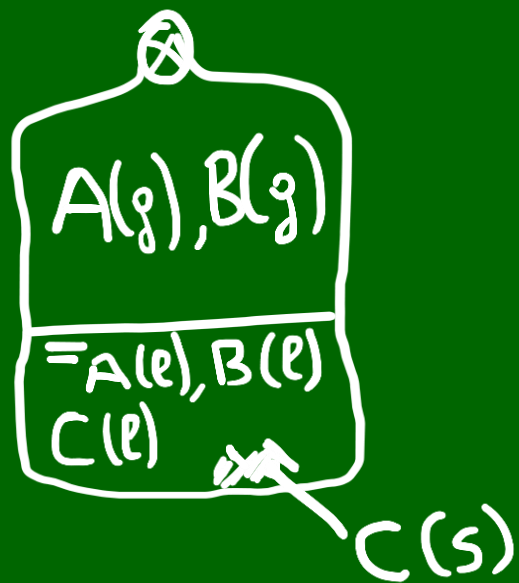
P:ct

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

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

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

# ΧΗΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ και ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ



Έχω Ισορροπία!

Άρα: Κοινή  $T$  &  $P$  για όλες τις φάσεις

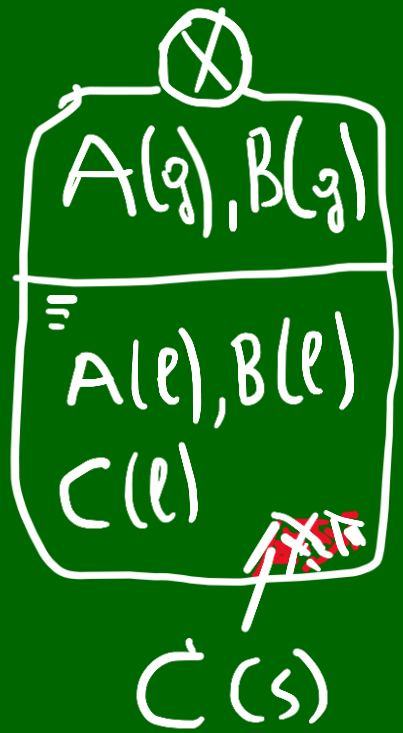
Και:

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

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

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

Εξισώσεις των  $\mu_i$   
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:

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

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

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

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

$$\text{και } dn_{B(g)} = -dn_{B(l)}$$

$$\text{και } dn_{C(l)} = -dn_{C(s)}$$

$\textcircled{1}$

$$\Rightarrow dG = 0$$

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

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

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

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



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

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

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

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

$(T,p): \text{σταθ.}$

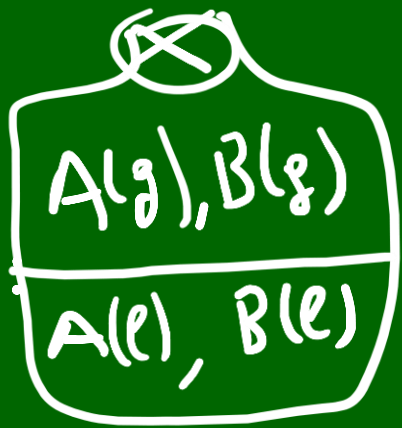
$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}, \quad \sum x_i = 1$$

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 σύστατικό:  $-SdT + Vdp - nd\mu = 0$

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

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

$$\sum n_i d\mu_i$$

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

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

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

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

Για σύστημα ενός συστατικού :

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

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

---

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

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

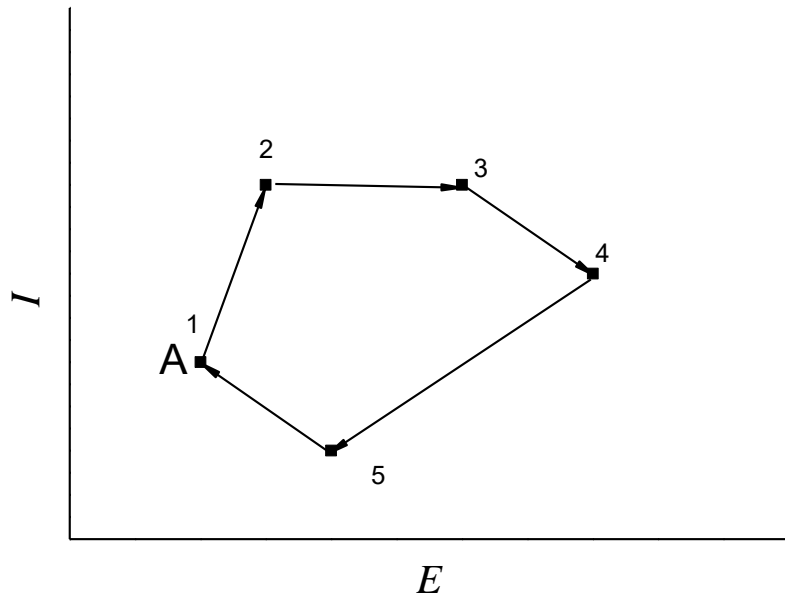
Για ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ Συστήματος:

$$\Delta U_{\text{ΚΥΚ}} = 0$$

$$\Delta H_{\text{ΚΥΚ}} = 0$$

$$\Delta S_{\text{ΚΥΚ}} = 0$$

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<sup>ος</sup> 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 :

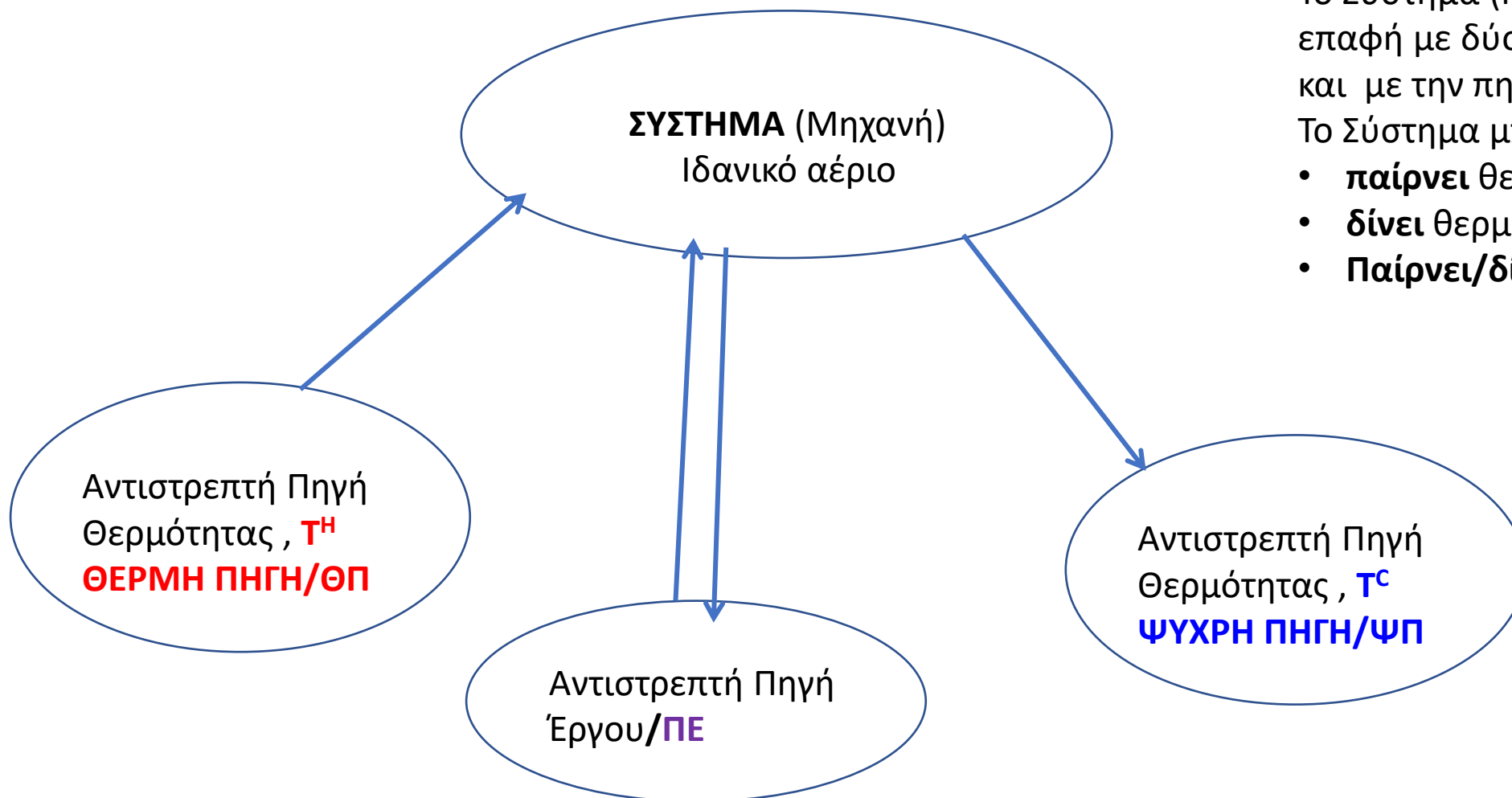
$$f = \frac{\text{εργο που παίρνουμε}}{\text{θερμοτητα που δίνουμε}} = \frac{-\sum_i w_i}{\sum_i q_i^{in}} = 1 + \frac{\sum_i q_i^{out}}{\sum_i q_i^{in}} < 1$$

## 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 :

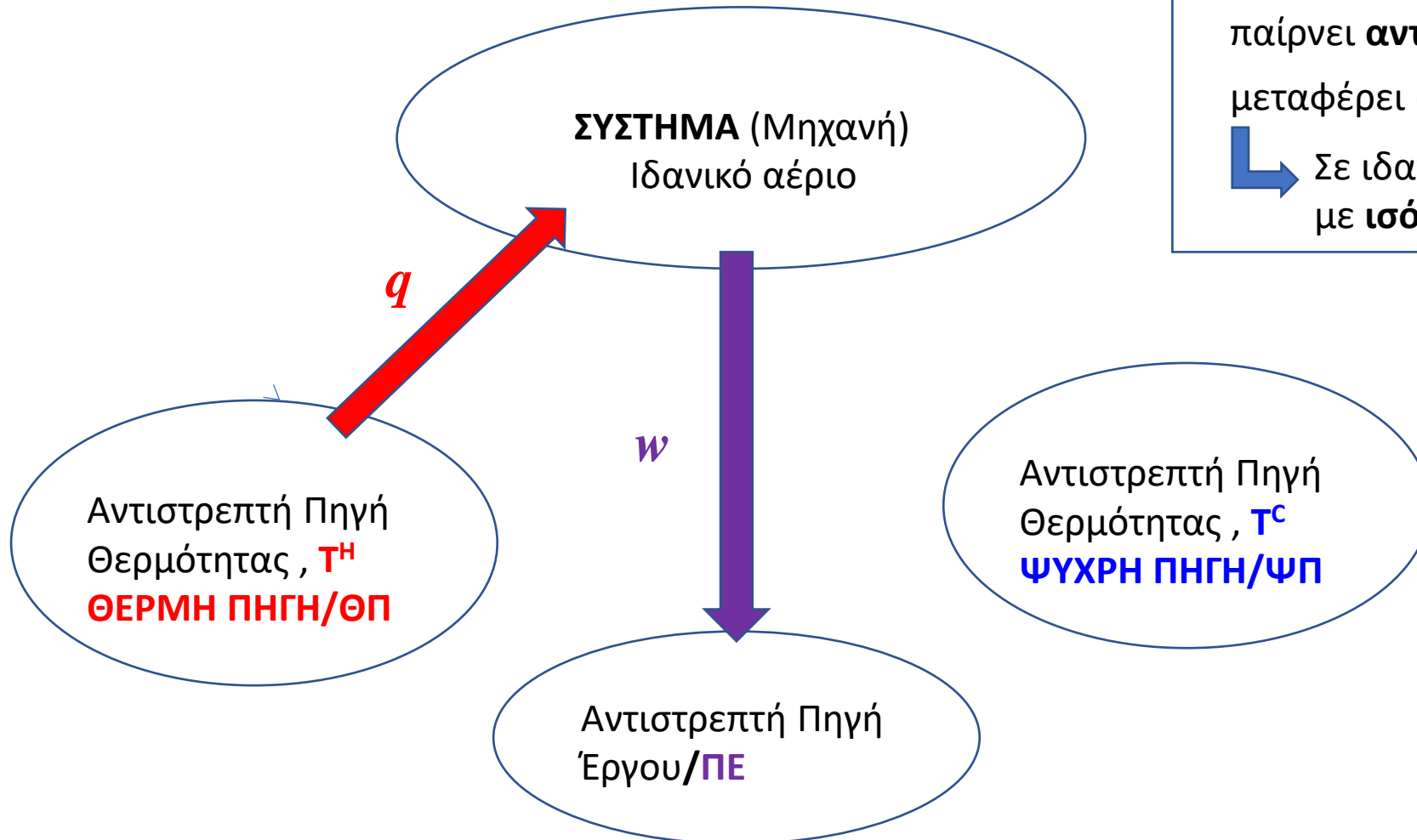
- **παίρνει** θερμότητα από την  $\Theta\Pi$
- **δίνει** θερμότητα στην  $\Psi\Pi$
- **Παίρνει/δίνει** έργο από/σε  $\Pi\epsilon$



## Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 1

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

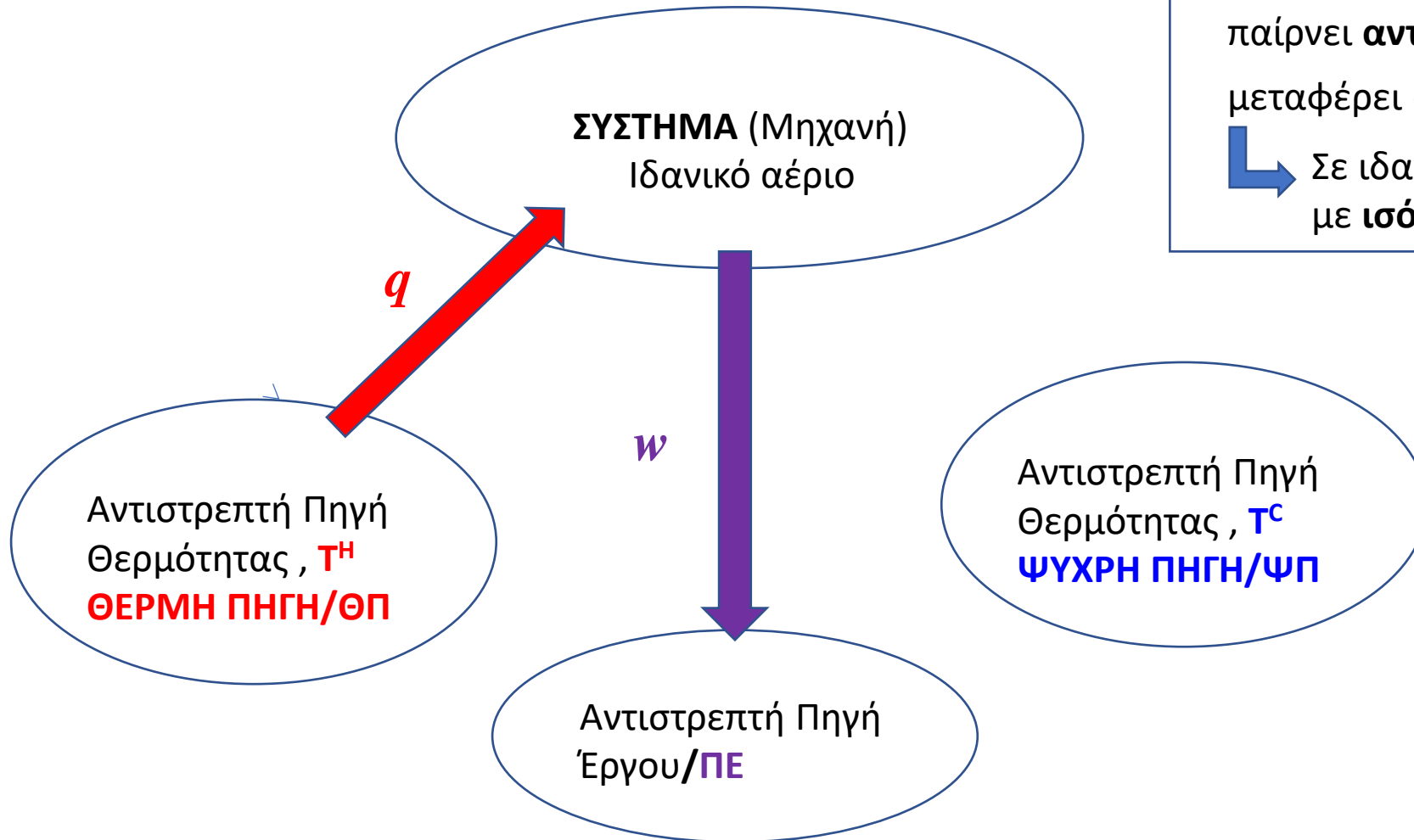
↳ Σε ιδανικό αέριο, αυτό μπορεί να γίνει  
με **ισόθερμη εκτόνωση** ( $\Delta V > 0$ )



## 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

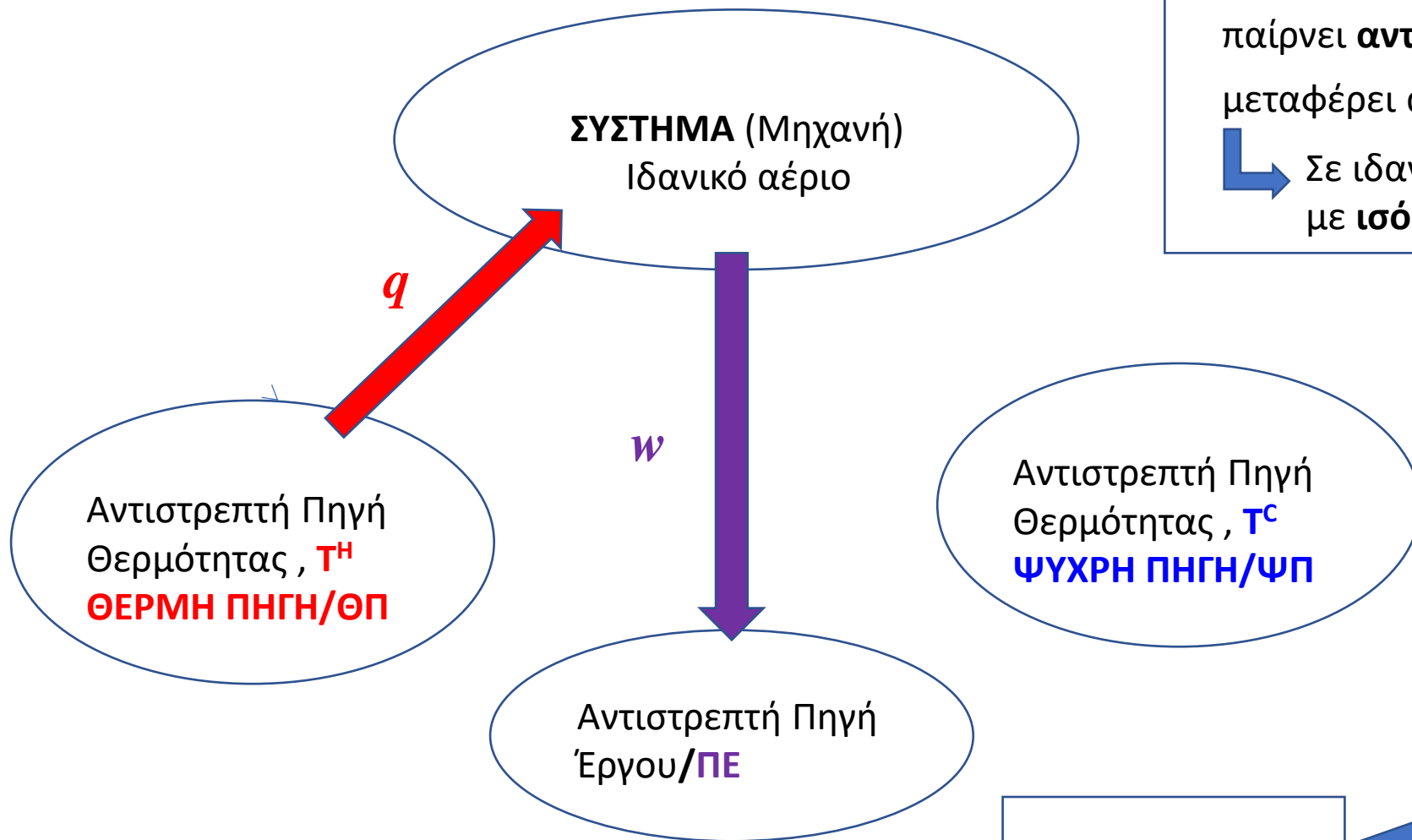
⇓

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

## Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 1

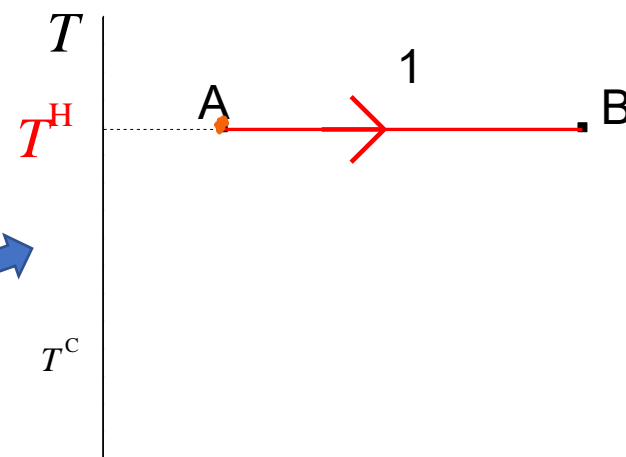
Το Σύστημα, σε επαφή με **ΘΠ (ισόθερμα)**,  
παίρνει **αντιστρεπτά** θερμότητα από ΘΠ ( $q > 0$ ) και  
μεταφέρει αντιστρεπτό έργο στην ΠΕ ( $w < 0$ )

↳ 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

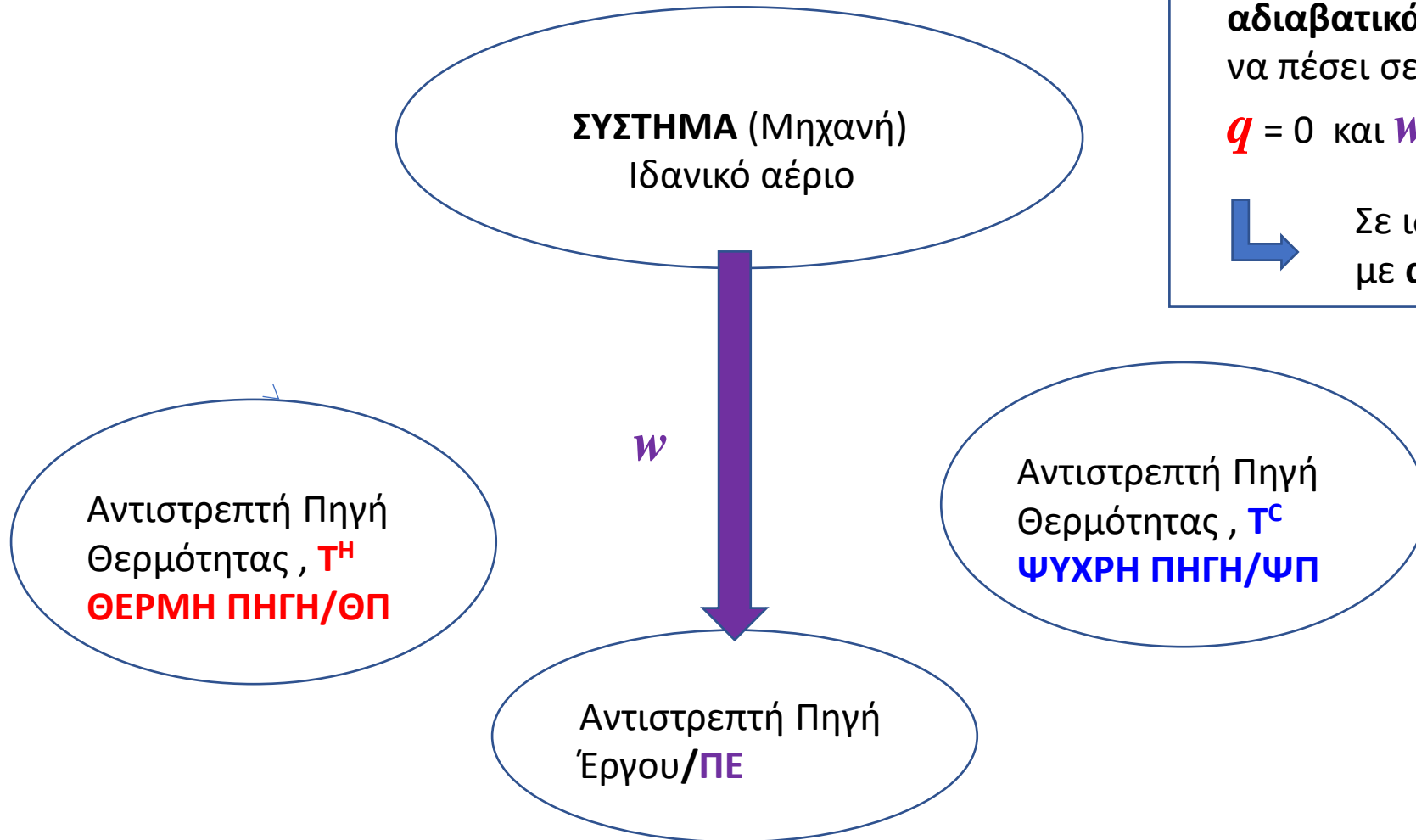
## Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 2

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

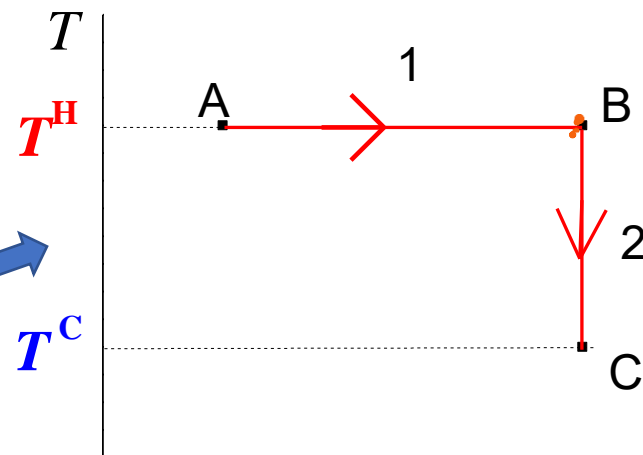
Αντιστρεπτή Πηγή  
Θερμότητας,  $T^H$   
**ΘΕΡΜΗ ΠΗΓΗ/ΘΠ**

$w$

Αντιστρεπτή Πηγή  
Θερμότητας,  $T^C$   
**ΨΥΧΡΗ ΠΗΓΗ/ΨΠ**

Αντιστρεπτή Πηγή  
Έργου/ΠΕ

Αναπαράσταση  
σε διάγραμμα T-S

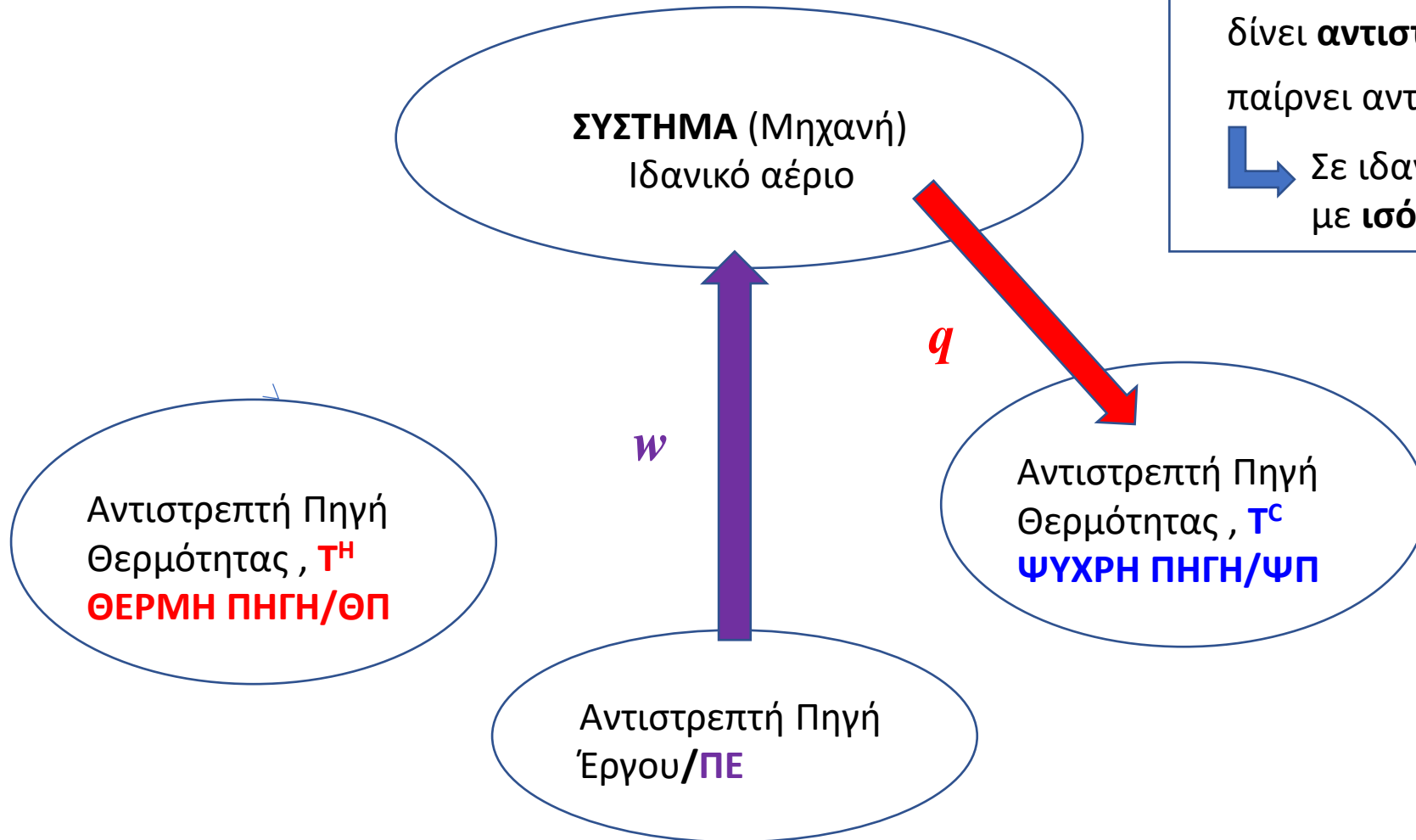


(\*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

### 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** ( $\Delta V < 0$ )



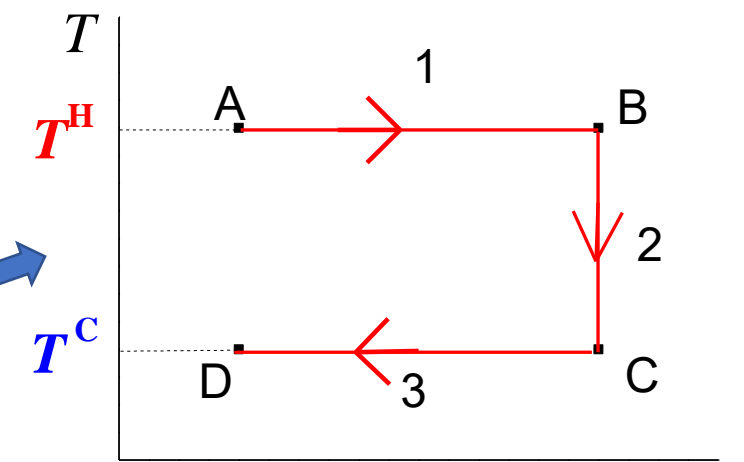
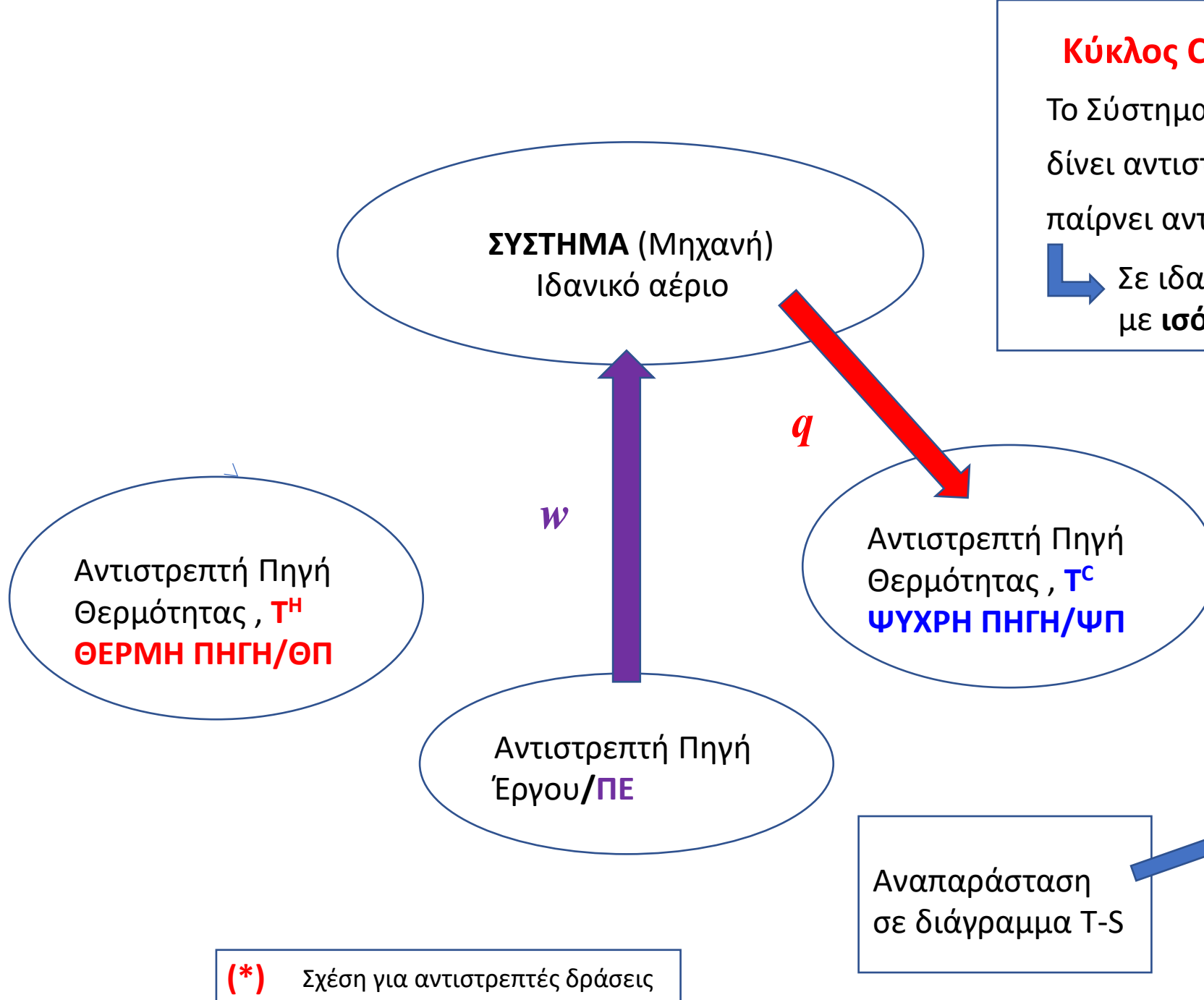
### Κύκλος Carnot - ΒΗΜΑ 3

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:

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

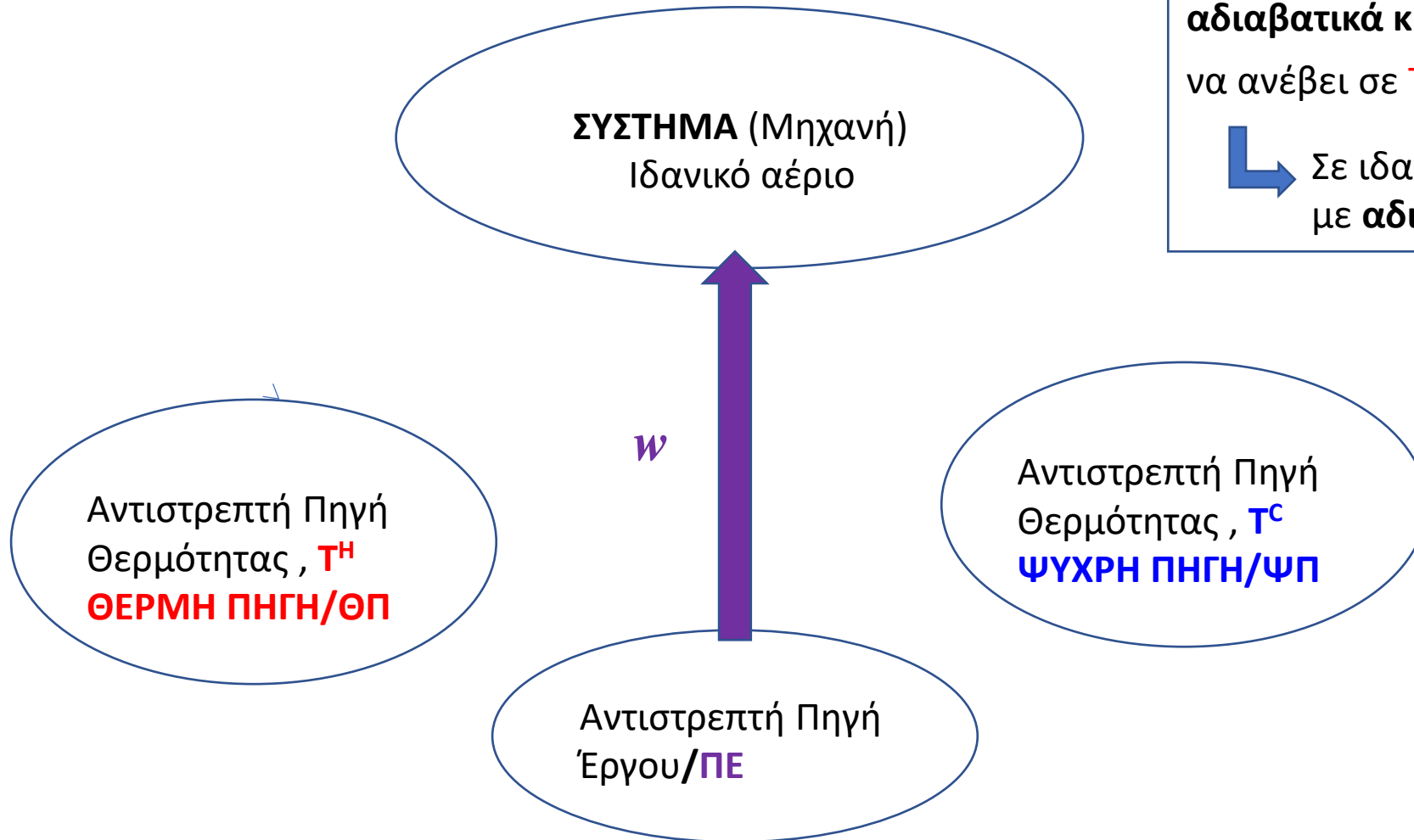


(\*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

## 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**

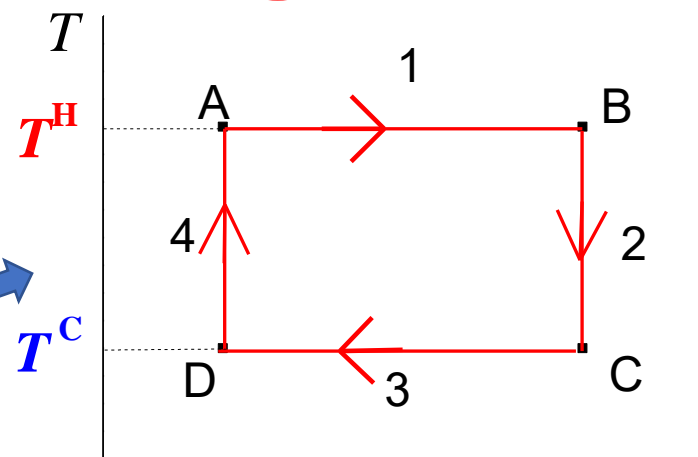
**ΣΥΣΤΗΜΑ** (Μηχανή)  
Ιδανικό αέριο

$w$

Αντιστρεπτή Πηγή  
Θερμότητας,  $T^C$   
**ΨΥΧΡΗ ΠΗΓΗ/ΨΠ**

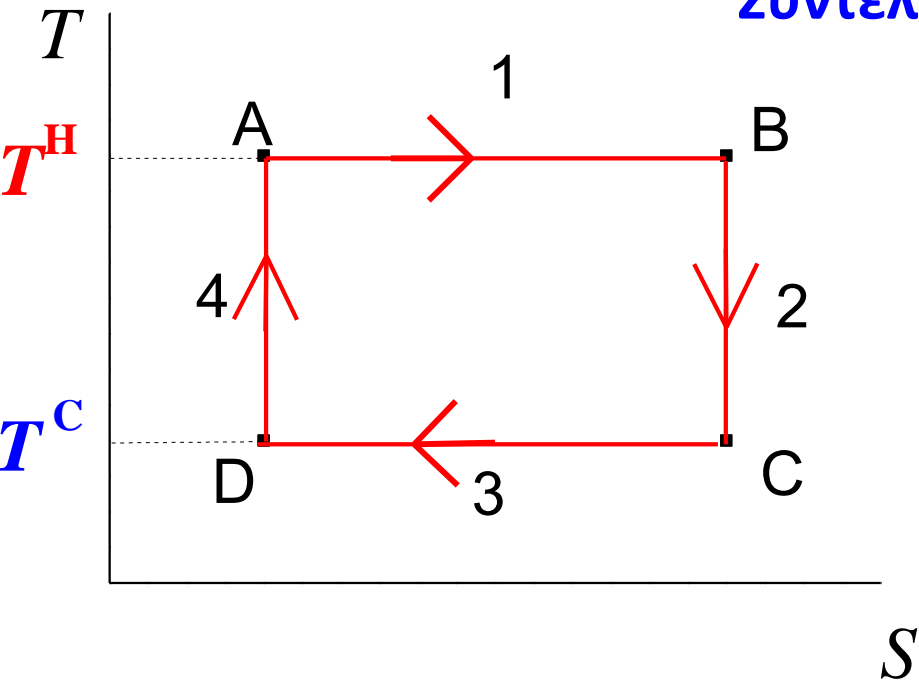
Αντιστρεπτή Πηγή  
Έργου/ΠΕ

Αναπαράσταση  
σε διάγραμμα T-S



(\*) Σχέση για αντιστρεπτές δράσεις

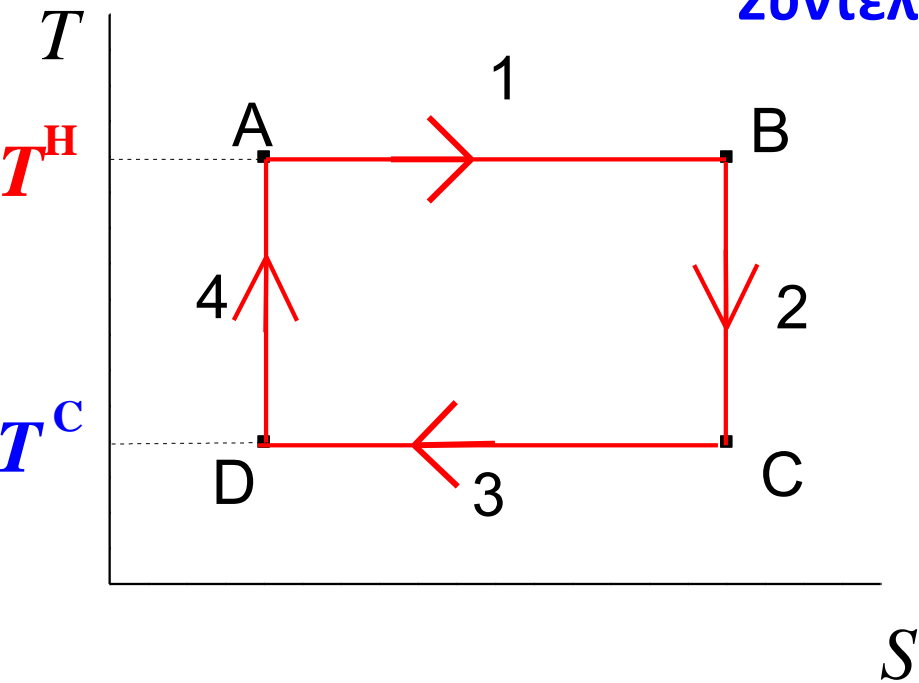
## Συντελεστής απόδοσης Κύκλου Carnot



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



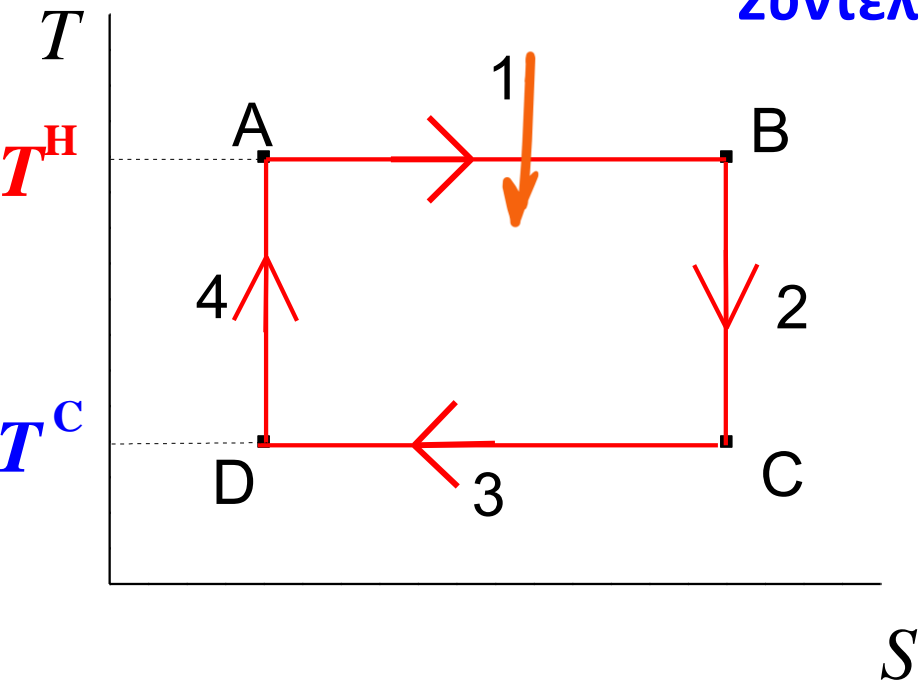
Βήμα 1 (A→B): Θερμότητα που απορροφά το Σύστημα:  $q_{A \rightarrow B} = T^H \cdot \Delta S_{A \rightarrow B}$

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

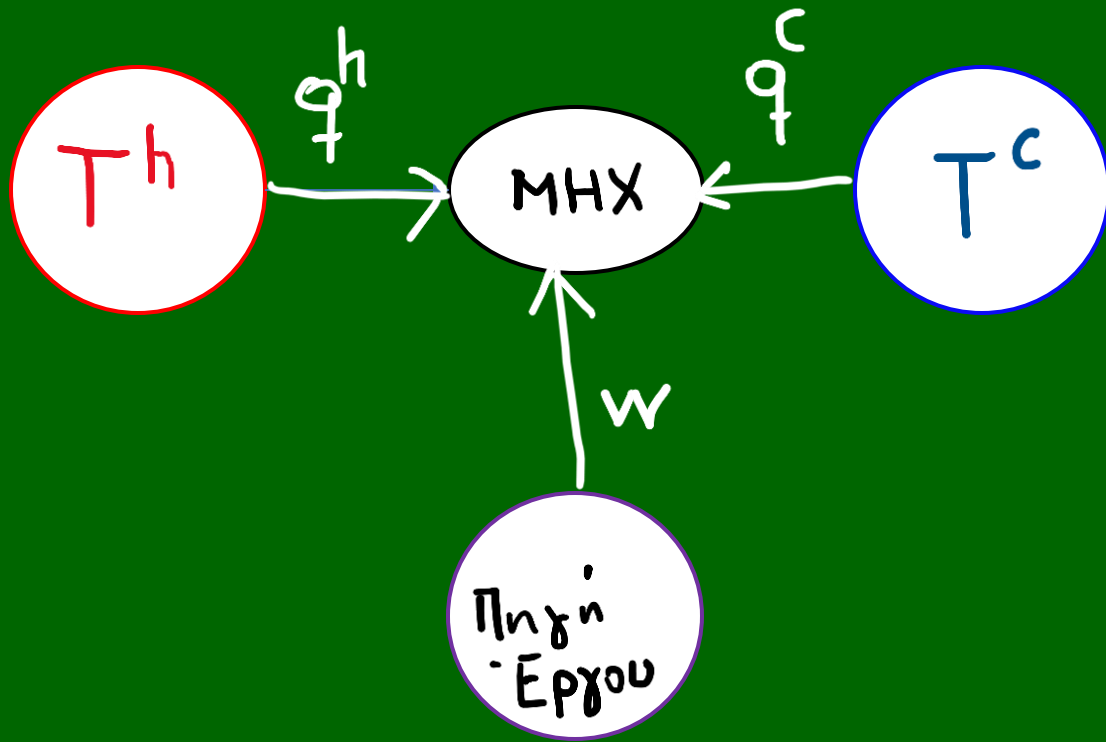
Έργο που παίρνουμε από Σύστημα

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

**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



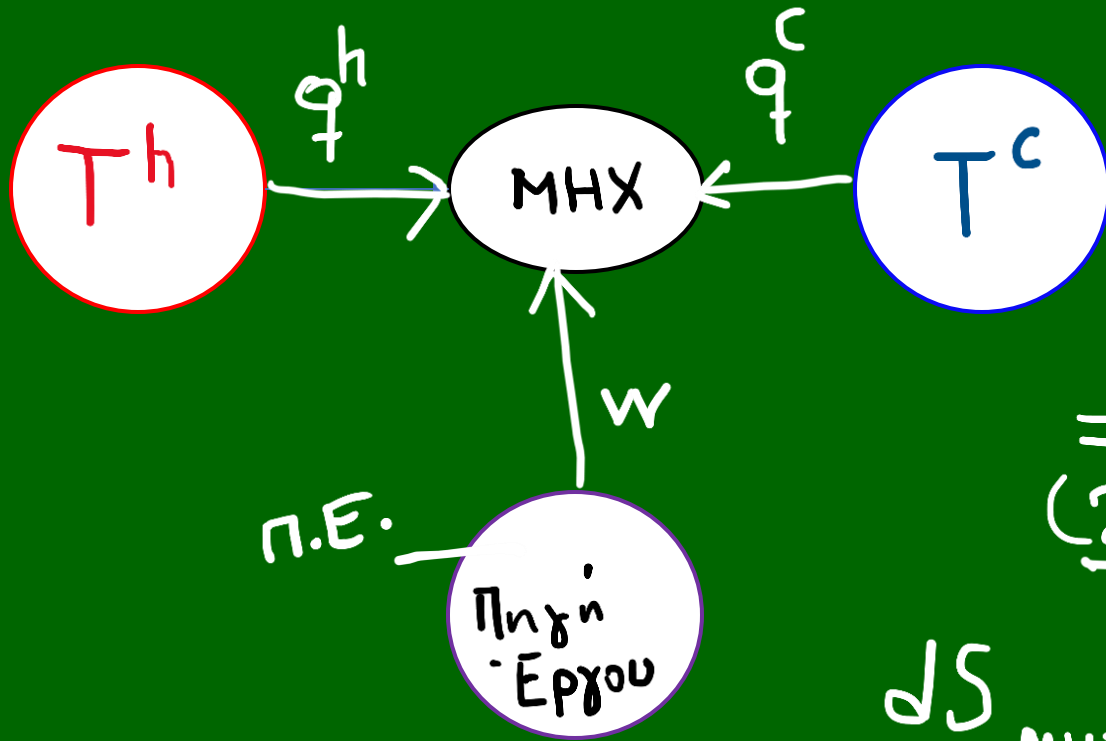
ΨΥΚΤΗΡΑΣ. Στόχος είναι να πάρει έργο και να  
κατεβάσει τη θερμοκρασία του κρύου  
σωματός,  $T^c$

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<sup>ο</sup> Ν)      π.ε.      (κύκλος)

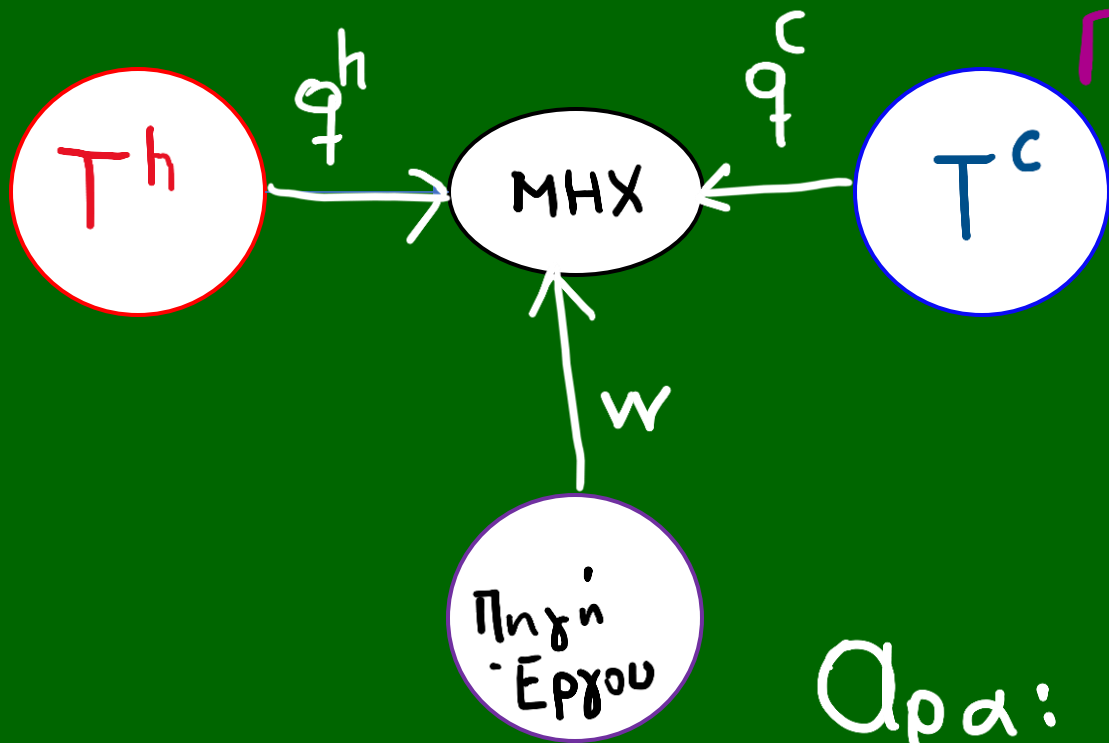
$$\underbrace{dS_{\text{ΜΗΧ}} = dU_{\text{ΜΗΧ}} = 0}_{\text{(κύκλος)}}, \quad \cancel{dU_{\text{ΜΗΧ}}} = dw + (dq^h + dq^c) = 0$$

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

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

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

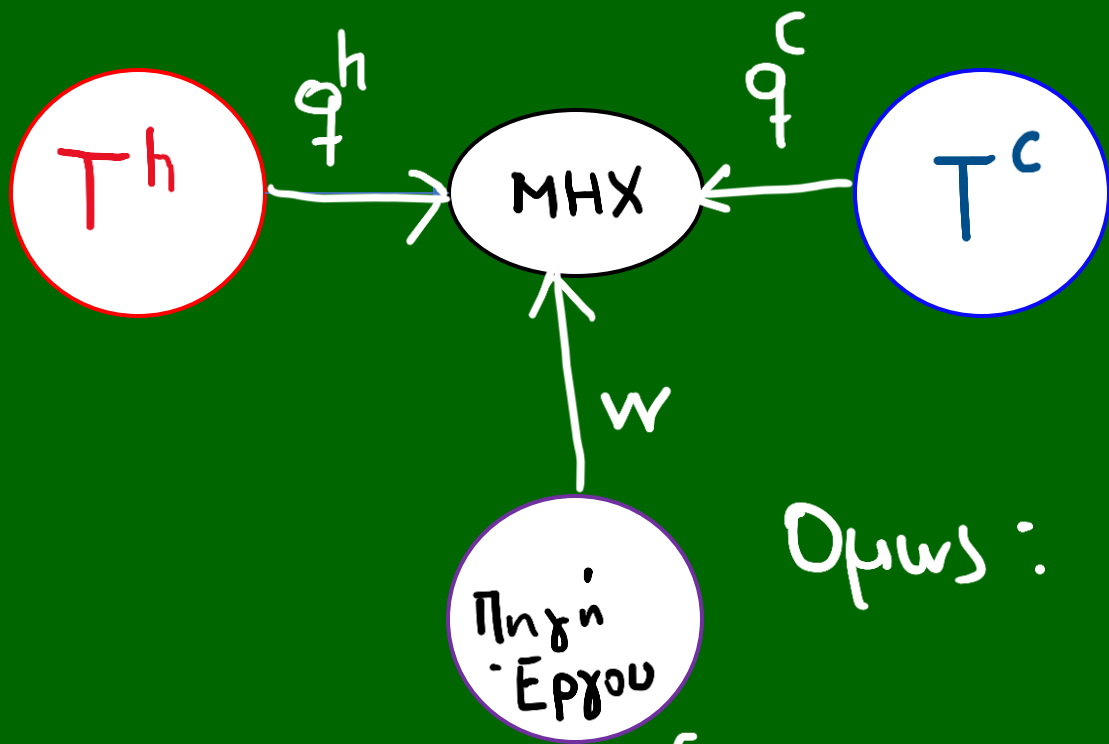
Για την Ψ.Π.:  $-dq^c = T^c \cdot dS^c \checkmark$



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

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

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



Είδαμε όμως ότι: (1)  $\rightarrow$

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

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

Όμως:

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

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

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

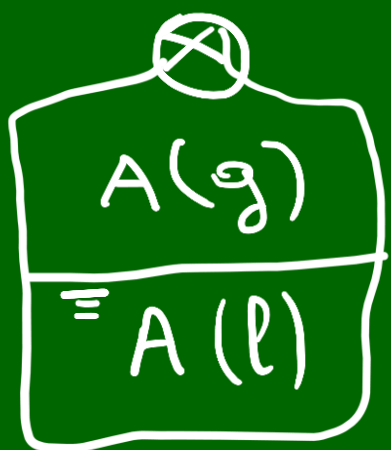
Απόδοση ψυκτήρα

για  $T^c \rightarrow 0$

$$\varepsilon_r \rightarrow 0$$



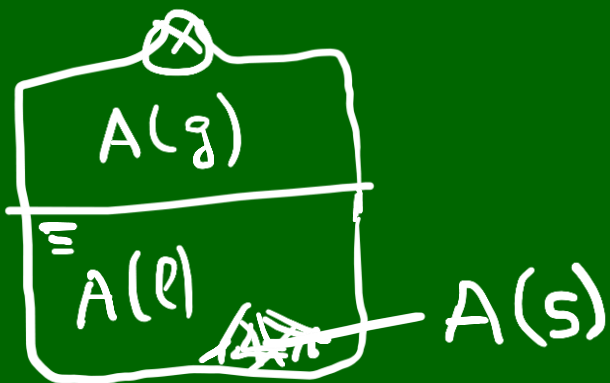
# Η έννοια του Βαθμού Ελευθερίας στην Ισορροπία Φάσεων σε Σύστημα Ενός Συστατικού



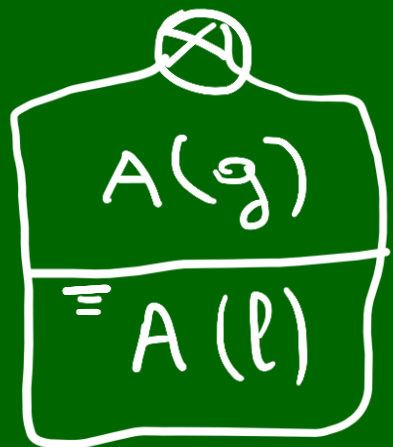
Εξίσωση G-D:  $-SdT + Vdp - \sum n_i d\mu_i = 0$   $\xrightarrow[\text{δΥΛΤΑΤΙΚΟ}]{\text{ΓΙΑ ΕΝΑ}}$

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

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



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:

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

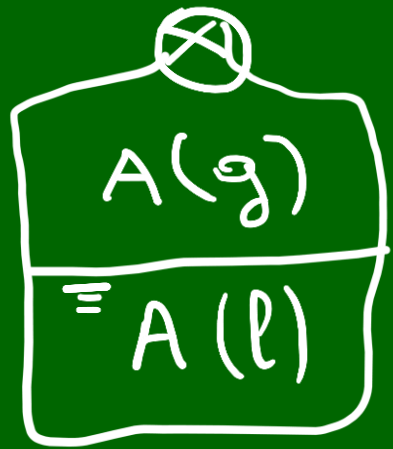
$$T_{A(l)}, T_{A(g)}$$

3 σχέσεις αναμεταξύ  
 στις 4 μεταβλητές!!

4 μεταβλη-  
 τές

(\*)  $0 = V_{A(l)}, V_{A(g)}$  δεν είναι ενθαλπία 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 συρρονία 3 φάσεις του A:

πληθω: 6

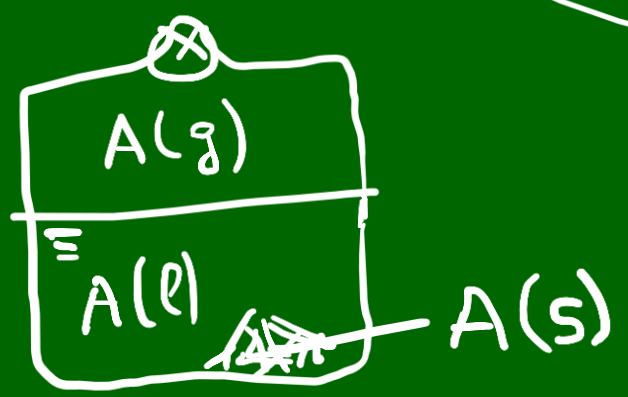
Μεταβλητές:

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

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

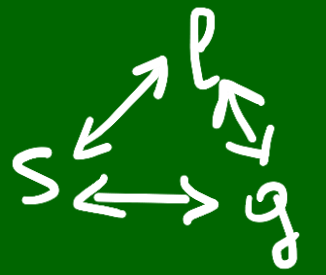
$$T_{A(g)} = T_{A(l)} = T_{A(s)}$$

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



6 σχέσεις ανάμεσα στις 6 μεταβλητές!

Αρα 67nn Τριφασική Ισορροπία



εγός συβρατικού δεν υπάρχει  
κανένα βαθμό ελευθερίας!

Αρα, οι 3 φάσεις καθε χημική ουσία

θα συνυπάρχουν σε ισορροπία σε ένα

απουλειστικό ζεύγος P,T