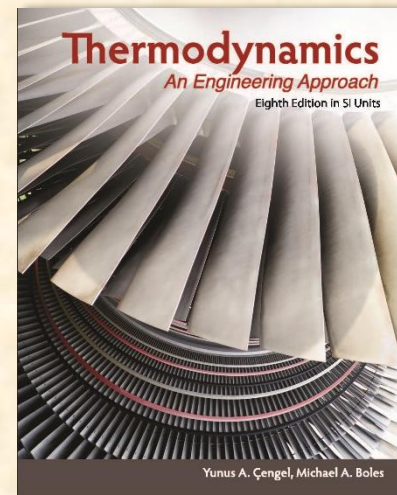


Θερμοδυναμική για Μηχανικούς  
8<sup>η</sup> έκδοση  
Yunus A. Çengel, Michael A. Boles  
Εκδόσεις Τζιόλα, 2015



## Κεφάλαιο 2

# Ενέργεια, Μεταφορά Ενέργειας & Γενική Ενεργειακή Ανάλυση

Επιμέλεια διαφάνειας  
**Mehmet Kanoglu**

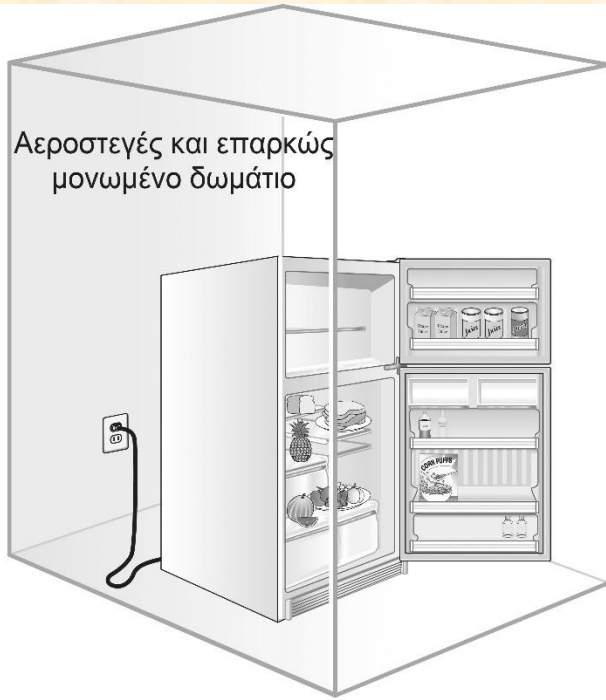
Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης  
**Δημήτρης Τερτίπης**

# Στόχοι

- Εισαγωγή της έννοιας της ενέργειας & καθορισμός των διαφόρων μορφών της.
- Συζήτηση της φύσης της εσωτερικής ενέργειας.
- Ορισμός της έννοιας της θερμότητας και των όρων που σχετίζονται με τη μεταφορά ενέργειας μέσω της θερμότητας.
- Συζήτηση των τριών μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας: αγωγή, συναγωγή & ακτινοβολία.
- Ορισμός της έννοιας του έργου, συμπεριλαμβανομένων του ηλεκτρικού έργου και κάποιων μορφών μηχανικού έργου.
- Εισαγωγή του πρώτου νόμου της Θερμοδυναμικής, των ενεργειακών ισοζυγίων και των μηχανισμών μεταφοράς ενέργειας από ή προς ένα σύστημα.
- Διαπίστωση ότι ένα υγρό που ρέει διαμέσου της επιφάνειας ενός όγκου ελέγχου μεταφέρει ενέργεια διαμέσου αυτής, πλέον της όποιας άλλης μεταφοράς ενέργειας μπορεί να συμβεί υπό μορφήν θερμότητας ή και έργου.
- Ορισμός των βαθμών απόδοσης των ενεργειακών μετατροπών.
- Συζήτηση των επιπτώσεων της μετατροπής ενέργειας στο περιβάλλον.

# Εισαγωγή

- Αν θεωρήσουμε το όλο δωμάτιο **δωμάτιο – τον αέρα και το ψυγείο (ή τον ανεμιστήρα)** – ως σύστημα, το οποίο είναι αδιαβατικό και κλειστό, μιας και το δωμάτιο είναι αεροστεγές και επαρκώς μονωμένο, η μόνη αλληλεπίδραση ενέργειας είναι η ηλεκτρική ενέργεια που διαπερνά το όριο του συστήματος και εισέρχεται στο δωμάτιο.
- Ως αποτέλεσμα της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε θερμότητα, **η θερμοκρασία του δωματίου θα αυξηθεί**



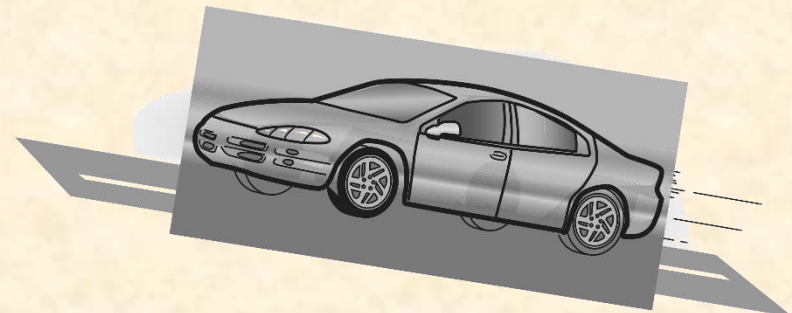
Ένας ανεμιστήρας που λειτουργεί μέσα σε ένα αεροστεγές κι επαρκώς μονωμένο δωμάτιο θα αυξήσει τη θερμοκρασία του αέρα του δωματίου.

Ένα ψυγείο σε λειτουργία με την πόρτα του ανοιχτή, μέσα σε ένα αεροστεγές κι επαρκώς μονωμένο δωμάτιο

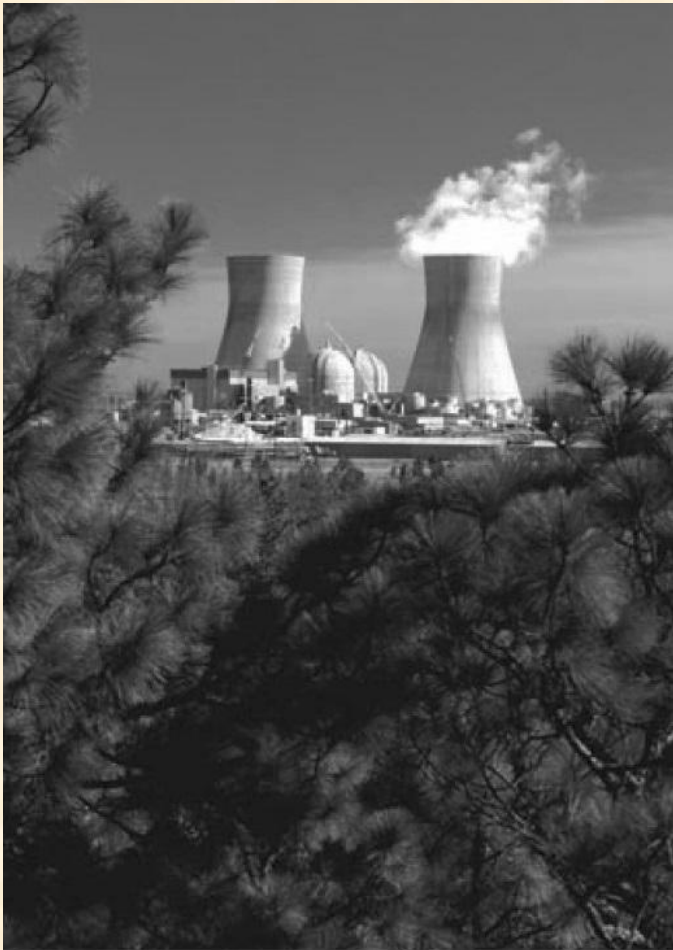


# Μορφές Ενέργειας

- Η ενέργεια μπορεί να υπάρχει σε διάφορες μορφές, όπως θερμική, μηχανική, κινητική, δυναμική, ηλεκτρική, μαγνητική, χημική και πυρηνική. Το άθροισμα αυτών αποτελεί την **ολική ενέργεια,  $E$**  ενός συστήματος.
- Η Θερμοδυναμική ασχολείται μόνο με τις **μεταβολές** της ολικής ενέργειας.
- **Μακροσκοπικές μορφές ενέργειας:** χαρακτηρίζουν το σύστημα ως σύνολο, σε σχέση μια κοινή αναφορά (π.χ. κινητική και δυναμική ενέργεια).
- **Μικροσκοπικές μορφές ενέργειας :** χαρακτηρίζουν τη μοριακή δομή ενός συστήματος και το βαθμό της μοριακής δραστηριότητας αυτού.
- **Εσωτερική ενέργεια,  $U$ :** είναι το άθροισμα όλων των μικροσκοπικών μορφών ενέργειας.
- **Κινητική ενέργεια,  $KE$ :** η ενέργεια που εμπεριέχει ένα σύστημα, συνεπεία της κίνησής του ως προς μια κοινή αναφορά.
- **Δυναμική ενέργεια,  $PE$ :** η ενέργεια που εμπεριέχει ένα σύστημα, συνεπεία της στάθμης του σε ένα βαρυτικό πεδίο.



Η μακροσκοπική ενέργεια ενός σώματος μεταβάλλεται με την ταχύτητά του και την υψομετρική του θέση.



Υπάρχουν τουλάχιστον 6 διαφορετικές μορφές ενέργειας που απαντώνται κατά τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος από ένα πυρηνικό εργοστάσιο ως το σπίτι σας: πυρηνική, θερμική, μηχανική, κινητική, μαγνητική και ηλεκτρική.



$$KE = m \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ}) \quad \text{Κινητική ενέργεια}$$

$$ke = \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Ειδική κινητική ενέργεια}$$

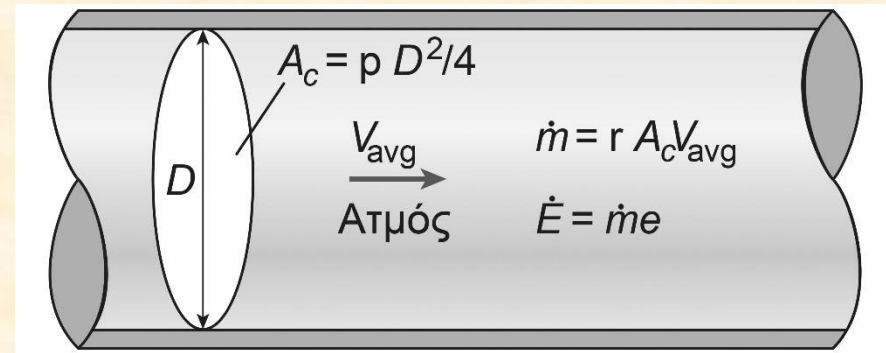
$$PE = mgz \quad (\text{kJ}) \quad \text{Δυναμική ενέργεια}$$

$$pe = gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Ειδική δυναμική ενέργεια}$$

$$E = U + KE + PE = U + m \frac{V^2}{2} + mgz \quad (\text{kJ}) \quad \text{Ολική ενέργεια συστήματος}$$

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Ειδική ολική ενέργεια συστήματος}$$

$$e = \frac{E}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Ειδική ολική ενέργεια}$$

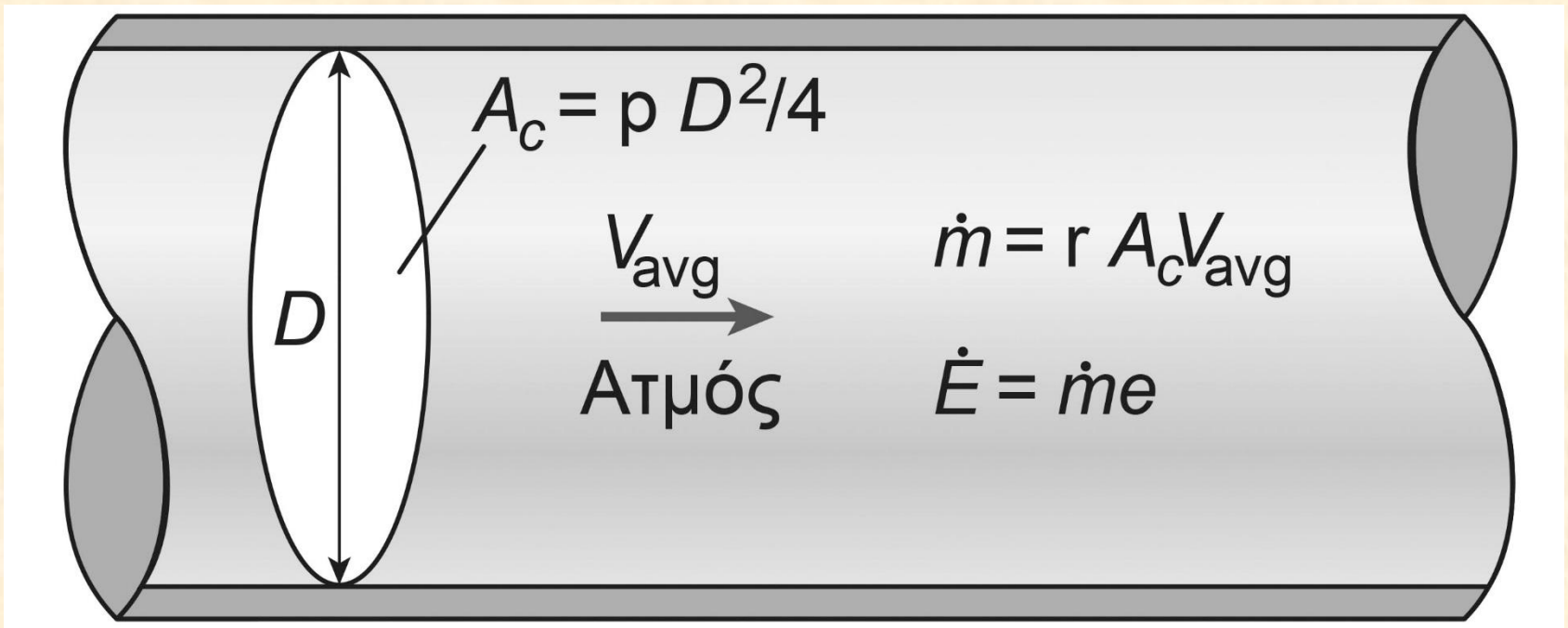


Παροχή μάζας

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A_c V_{avg} \quad (\text{kg/s})$$

Παροχή ενέργειας

$$\dot{E} = \dot{m} e \quad (\text{kJ/s or kW})$$



Ρυθμοί ροής μάζας & ενέργειας που σχετίζονται με τη ροή εντός σωλήνα διαμέτρου  $D$  υπό μέση ταχύτητα  $V_{avg}$ .

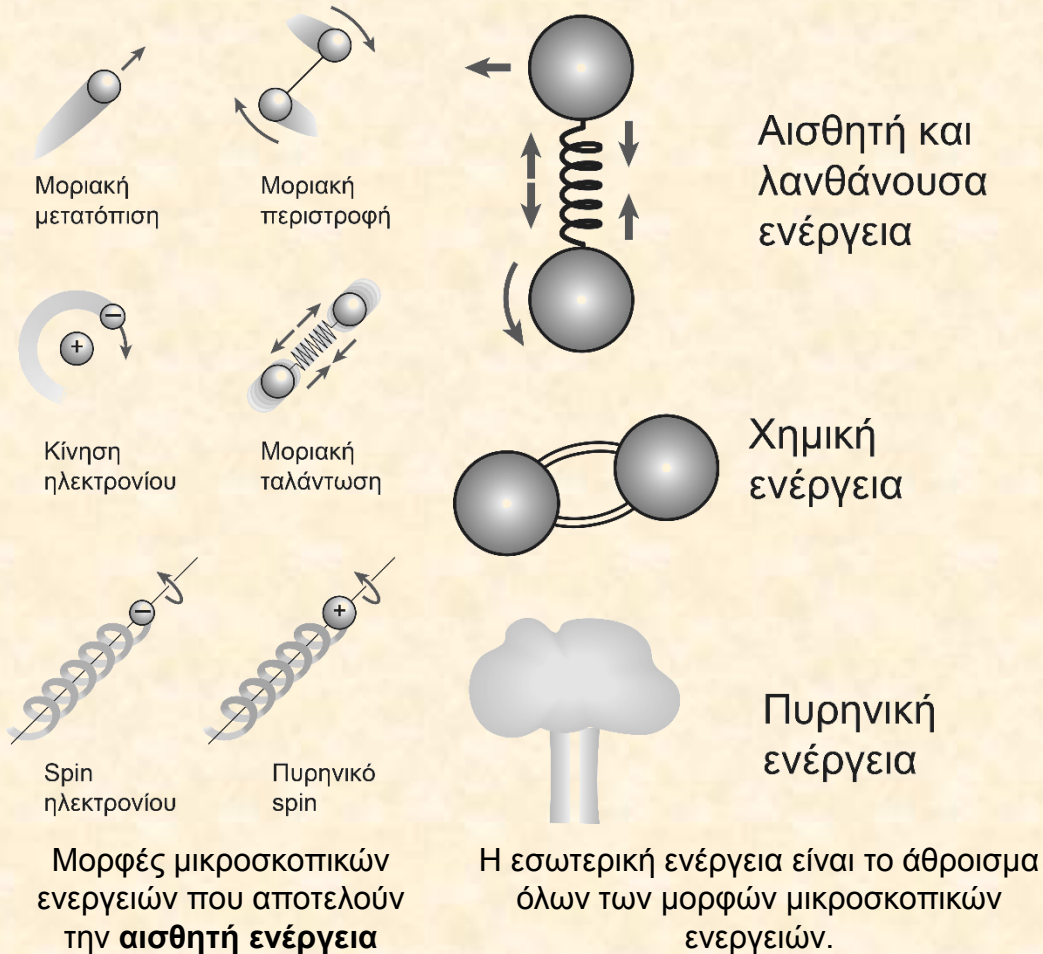
Παροχή μάζας

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A_c V_{avg} \quad (\text{kg/s})$$

Παροχή ενέργειας

$$\dot{E} = \dot{m} e \quad (\text{kJ/s or kW})$$

# Φυσική σημασία της εσωτερικής ενέργειας



**Αισθητή ενέργεια:** είναι το τμήμα της εσωτερικής ενέργειας ενός συστήματος που σχετίζεται με την κινητική ενέργεια των μορίων.

**Λανθάνουσα ενέργεια:** είναι η εσωτερική ενέργεια που σχετίζεται με τη φάση του συστήματος.

**Χημική ενέργεια:** είναι η εσωτερική ενέργεια που σχετίζεται με τους ατομικούς δεσμούς σε ένα μόριο.

**Πυρηνική ενέργεια:** είναι η τεράστια ποσότητα ενέργειας που σχετίζεται με τους ισχυρούς δεσμούς εντός του πυρήνα ενός ατόμου.

**Θερμική = Αισθητή + Λανθάνουσα**

**Εσωτερική = Αισθητή + Λανθάνουσα + Χημική + Πυρηνική**



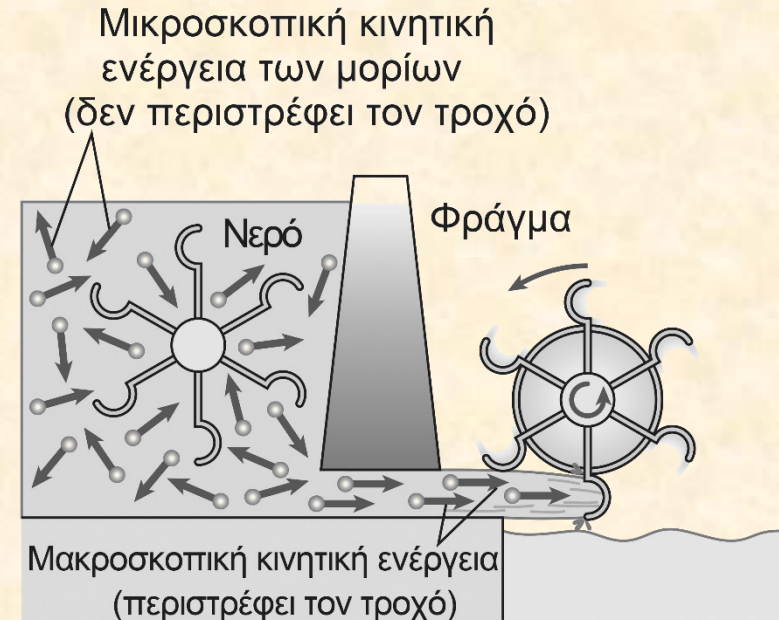
- Η ολική ενέργεια ενός συστήματος μπορεί να περιέχεται ή να αποθηκεύεται στο σύστημα, αποτελώντας τις **στατικές μορφές ενέργειας**.

- Οι μορφές ενέργειας που δεν αποθηκεύονται στο σύστημα αποτελούν τις **δυναμικές μορφές ενέργειας** ή **ενεργειακές αλληλεπιδράσεις**.

- Οι δυναμικές μορφές ενέργειας αναγνωρίζονται στο όριο του συστήματος καθώς το διαπερνούν και αντιστοιχούν στην ενεργειακή απολαβή ή ενεργειακή απώλεια του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας.

- Οι δύο μορφές ενεργειακών αλληλεπιδράσεων που σχετίζονται με κλειστά συστήματα είναι η **μετάδοση θερμότητας** και το **έργο**.

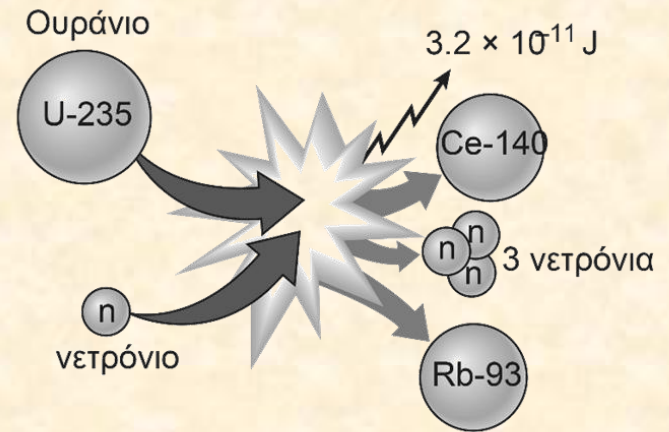
- **Διαφορά μεταξύ μετάδοσης θερμότητας και έργου:** Μια ενεργειακή αλληλεπίδραση είναι μετάδοση θερμότητας, αν η κινούσα δύναμή της είναι μια θερμοκρασιακή διαφορά. Ειδάλλως, είναι έργο.



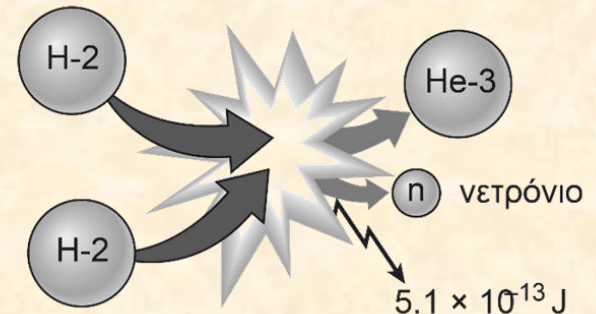
Η μακροσκοπική κινητική ενέργεια είναι μια οργανωμένη μορφή ενέργειας, πολύ πιο ωφέλιμη από τις μη οργανωμένες μικροσκοπικές κινητικές ενέργειας των μορίων.

# Περισσότερα για την Πυρηνική Ενέργεια

- Η πλέον γνωστή **αντίδραση σχάση** αφορά στη διάσπαση του ατόμου του ισότοπου του ουρανίου U-235 σε άλλα στοιχεία και χρησιμοποιείται σε πυρηνικούς σταθμούς (το 2004 λειτουργούν 440 τέτοιοι σταθμοί παγκοσμίως, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 363GW), σε πυρηνικά υποβρύχια και αεροπλανοφόρα, σε διαστημικά οχήματα και στην κατασκευή πυρηνικών όπλων.
- Μέσω **σύντηξης** απελευθερώνεται πυρηνική ενέργεια κατά τη συνένωση δύο μικρών πυρήνων σε έναν μεγαλύτερο.
- Η (ανεξέλεγκτη) αντίδραση σύντηξης επετεύχθη στις αρχές των 50s, όμως όλες οι προσπάθειες για τον έλεγχο της αντίδρασης σύντηξης από laser, μαγνητικά πεδία και ηλεκτρικά ρεύματα, ώστε να αξιοποιηθεί στην ηλεκτροπαραγωγή έχουν ως τώρα αποτύχει.



(α) Σχάση ουρανίου



(β) Σύντηξη υδρογόνου

# Μηχανική ενέργεια

**Μηχανική ενέργεια:** είναι η μορφή της ενέργειας που μπορεί να μετατραπεί εξ' ολοκλήρου σε μηχανικό έργο από μια ιδανική μηχανή (π.χ. έναν στρόβιλο).

**Kinetic and potential energies:** The familiar forms of mechanical energy.

$$e_{\text{mech}} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \quad \text{Ειδική μηχανική ενέργεια}$$

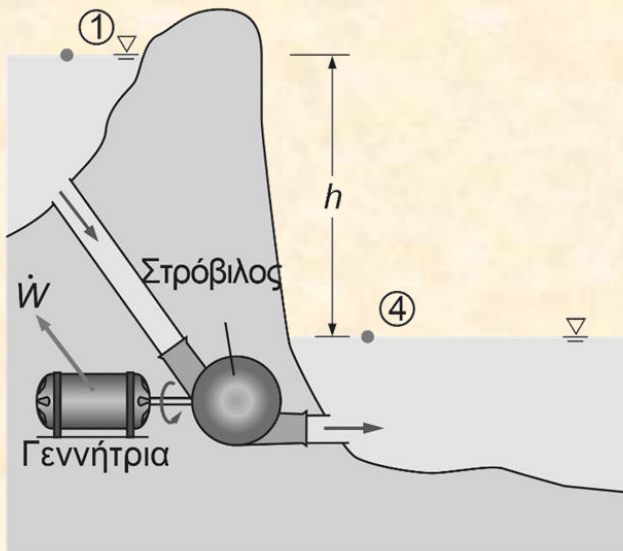
$$\dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m}e_{\text{mech}} = \dot{m} \left( \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad \text{Ρυθμός μεταφοράς της μηχανικής ενέργειας}$$

$$\Delta e_{\text{mech}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad \text{Μεταβολή της ειδικής μηχανικής ενέργειας}$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right) \quad \text{Μεταβολή του ρυθμού μεταφοράς της μηχανικής ενέργειας σε ένα ασυμπιεστο σύστημα}$$



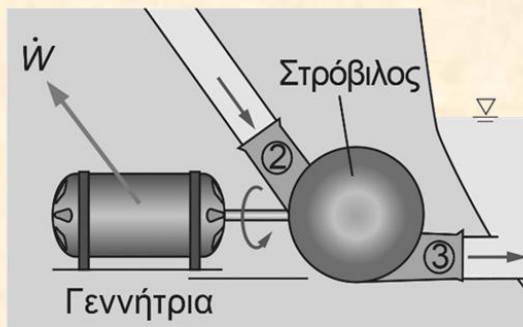
Η μηχανική ενέργεια είναι μια χρήσιμη έννοια σε κάθε «ενεργειακή ροή» που δεν ενέχει σημαντική μεταφορά θερμότητας ή ενεργειακές μετατροπές, όπως η ροή της βενζίνης από μια δεξαμενή προς το ρεζερβουάρ ενός αυτοκινήτου.



$$\dot{W}_{\max} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} g(z_1 - z_4) = \dot{m} g h$$

εφόσον  $P_1 < P_4 = P_{\text{atm}}$  και  $V_1 = V_4 < 0$

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από τον ιδανικό υδροστρόβιλο είναι ανάλογη με την υδατόπτωση (πάνω σχήμα) ή με την πτώση πίεσης στα όρια του υδροστροβίλου (κάτω σχήμα).



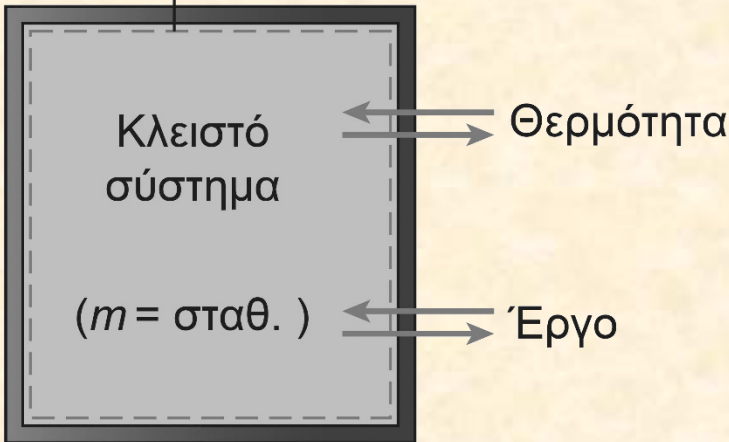
$$\dot{W}_{\max} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} \frac{P_2 - P_3}{\rho} = \dot{m} \frac{\Delta P}{\rho}$$

εφόσον  $V_2 < V_3$  και  $z_2 = z_3$

# Μεταφορά Ενέργειας μέσω θερμότητας

**Θερμότητα:** Η μορφή της ενέργειας που μεταφέρεται μεταξύ δύο συστημάτων λόγω μιας θερμοκρασιακής διαφοράς.

Όριο συστήματος



Η ενέργεια μπορεί να διαπερνά τα όρια ενός κλειστού συστήματος υπό μορφήν θερμότητας ή έργου.



Η κινούσα δύναμη της μετάδοσης θερμότητας είναι η διαφορά θερμοκρασίας: όσο υψηλότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας, τόσο εντονότερη είναι η μετάδοση θερμότητας.

$$q = \frac{Q}{m} \quad (\text{kJ/kg})$$

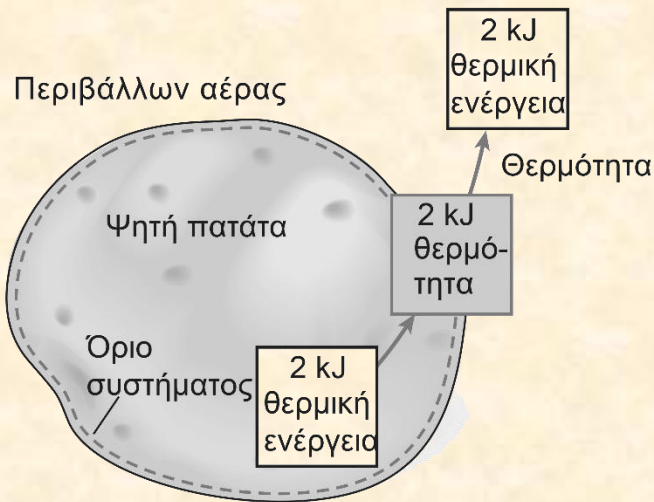
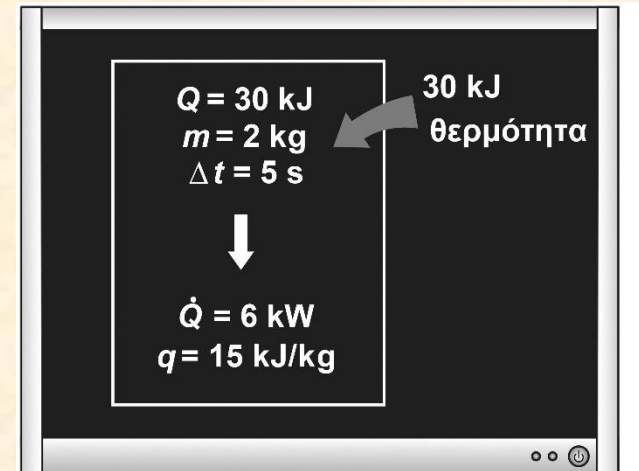
Ρεύμα  
θερμότητας

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

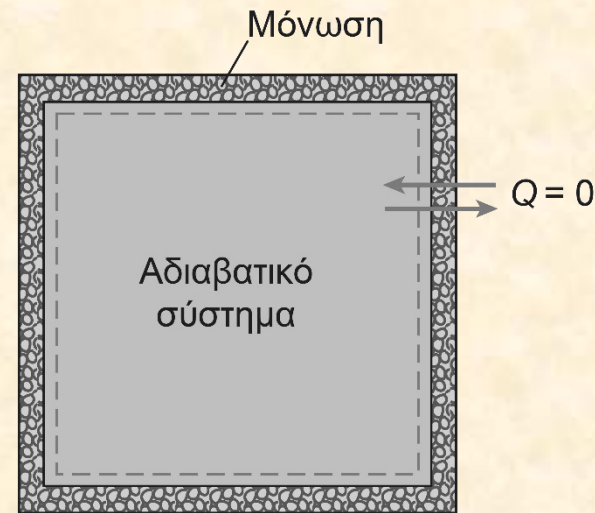
Μεταδιδόμενη  
θερμότητα υπό σταθερό  
ρυθμό

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt \quad (\text{kJ})$$

Μεταδιδόμενη θερμότητα  
υπό χρονικώς  
μεταβαλλόμενο ρυθμό



Η ενέργεια συνιστά μετάδοση θερμότητας μόνο όταν διαπερνά το όριο του συστήματος.



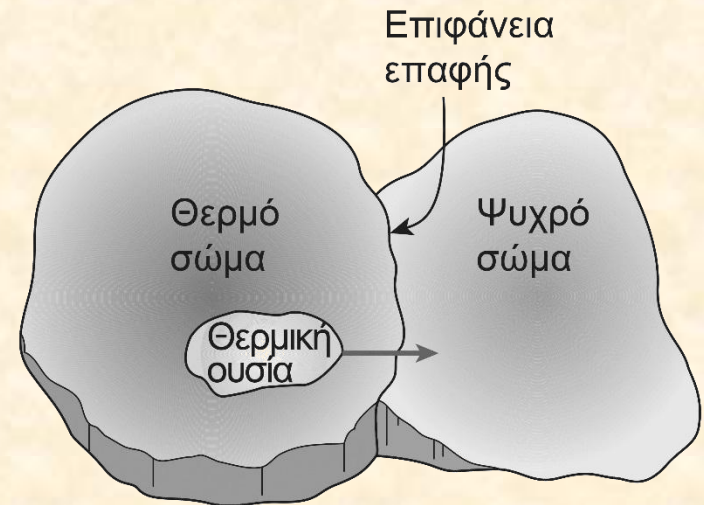
Κατά τη διάρκεια μιας αδιαβατικής διεργασίας, ένα σύστημα δε συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του.

# Ιστορική καταγωγή της Θερμότητας

- **Κινητική θεωρία:** τα μόρια είναι μικροσκοπικές κινούμενες σφαίρες, συνεπώς χαρακτηρίζονται από κινητική ενέργεια.
- **Θερμότητα:** είναι η ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία κίνηση ατόμων και μορίων.

## Μηχανισμοί Μετάδοσης Θερμότητας:

- **Αγωγή:** είναι η μεταφορά ενέργειας από τα πιο «ενεργητικά» σωματίδια μιας ουσίας προς τα γειτονικά της, λιγότερο «ενεργητικά» σωματίδια, συνεπεία της αλληλεπίδρασης μεταξύ σωματιδίων.
- **Συναγωγή:** είναι η μεταφορά ενέργειας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας κι ενός γειτνιαζόντος κινούμενου ρευστού.
- **Ακτινοβολία:** είναι η μεταφορά ενέργειας λόγω εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ή φωτονίων).

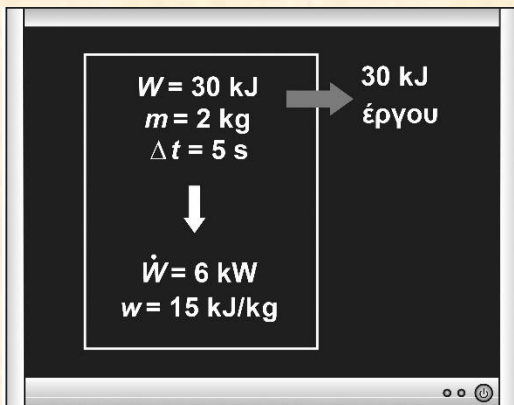


Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η θερμότητα θεωρείτο ως ένα αόρατο ρευστό («θερμική ουσία») που έρεε από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα.



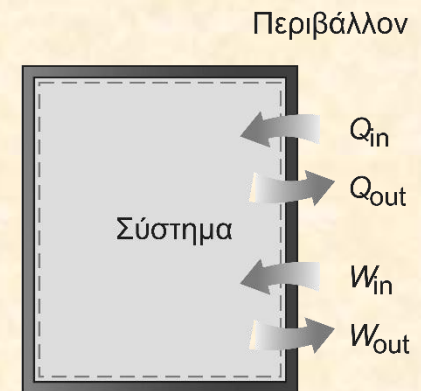
# Μεταφορά ενέργειας μέσω έργου

- **Έργο:** είναι η μεταφορά ενέργειας που σχετίζεται με μια δύναμη που ασκείται κατά μήκος μιας απόστασης.
  - ✓ Ένα κινούμενο έμβολο, μια στρεφόμενη άτρακτος κι ένα ηλεκτρικό καλώδιο που διαπερνά τα όρια ενός συστήματος συνιστούν αλληλεπιδράσεις έργου.
- **Σύμβαση προσήμων:** Η θερμότητα που μεταδίδεται προς ένα σύστημα και το έργο που παράγεται από ένα σύστημα είναι *θετικά*. Η θερμότητα που απάγεται από ένα σύστημα και το έργο που παράγεται εντός ενός συστήματος είναι *αρνητικά*.



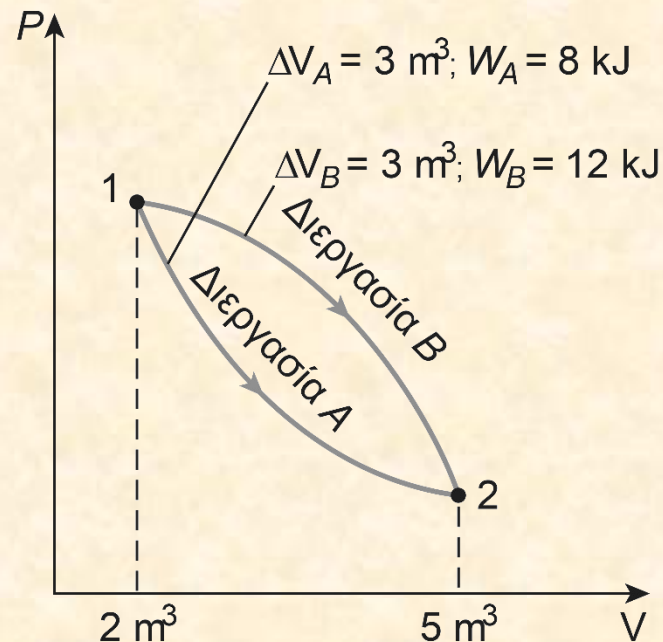
$$w = \frac{W}{m} \quad (\text{kJ/kg})$$

Ειδικό έργο



# Θερμότητα αντί έργου

- Αμφότερα αναγνωρίζονται στα όρια του συστήματος, καθώς τα διαπερνούν, δηλαδή αποτελούν **οριακά** φαινόμενα.
- Ένα σύστημα εμπεριέχει ενέργεια, αλλά όχι θερμότητα ή έργο.
- Αμφότερα σχετίζονται με μια **διεργασία** και όχι με μια κατάσταση.
- Σε αντίθεση με τις ιδιότητες, ούτε η θερμότητα ούτε το έργο έχουν νόημα σε μια κατάσταση.
- Αμφότερα είναι **ατελή διαφορικά** (δηλαδή, το μέτρο τους εξαρτάται από τη διαδρομή μεταξύ μιας αρχικής και μιας τελικής κατάστασης)/



Οι ιδιότητες είναι σημειακές συναρτήσεις, ενώ η θερμότητα και το έργο είναι ατελή διαφορικά.

Οι ιδιότητες είναι σημειακές συναρτήσεις  
κι έχουν τέλεια διαφορικά.

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1 = \Delta V$$

Ατελή  
διαφορικά ( $\delta$ )

$$\int_1^2 \delta W = W_{12}$$

# Ηλεκτρικό έργο

Ηλεκτρικό έργο:

$$W_e = \mathbf{VN}$$

Ηλεκτρική ισχύς:

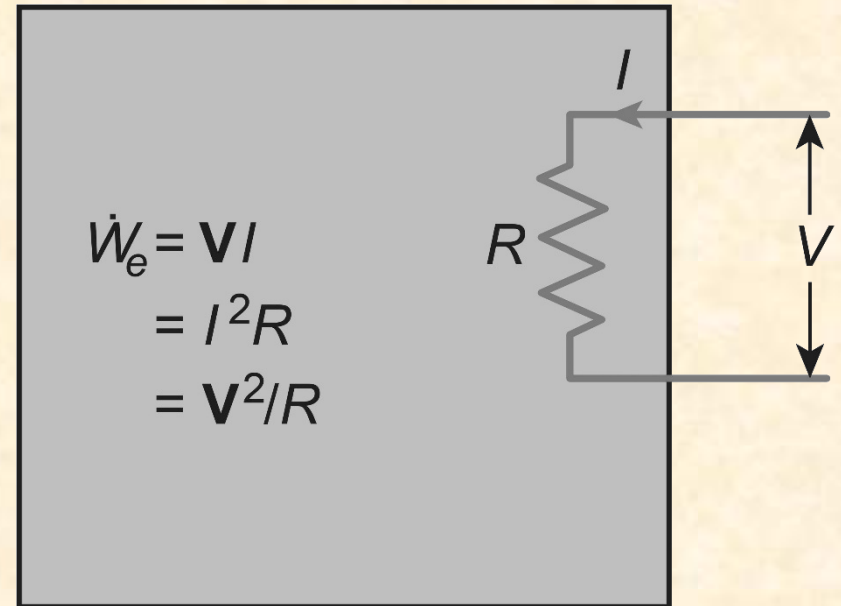
$$\dot{W}_e = \mathbf{VI} \quad (\text{W})$$

Έργο υπό χρονικώς μεταβαλλόμενες συνθήκες:

$$W_e = \int_1^2 \mathbf{VI} dt \quad (\text{kJ})$$

Έργο υπό σταθερές συνθήκες:

$$W_e = \mathbf{VI} \Delta t \quad (\text{kJ})$$



Ηλεκτρικό έργο συναρτήσκει της αντίστασης, του ρεύματος και της τάσης.

# Μηχανικές μορφές έργου

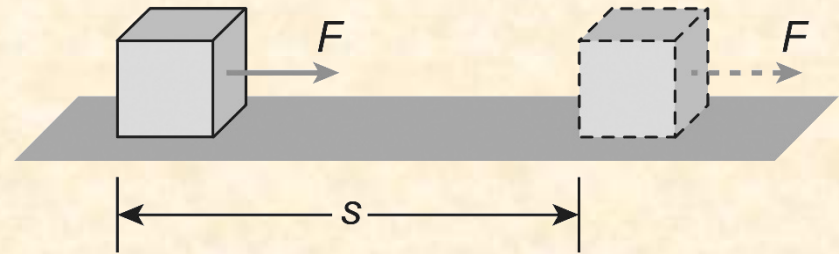
- Για να υπάρξει αλληλεπίδραση έργου μεταξύ συστήματος και ορίου, απαιτούνται δύο χαρακτηριστικά:
  - ✓ Να ασκείται μια **δύναμη** στο όριο.
  - ✓ Το όριο να **κινείται**.

Έργο = Δύναμη × Μετατόπιση

$$W = F s \quad (\text{kJ})$$

Έργο μεταβαλλόμενης δύναμης

$$W = \int_1^2 F ds \quad (\text{kJ})$$



Το παραγόμενο έργο είναι ανάλογο της εφαρμοζόμενης δύναμης και της διανυθείσας απόστασης.

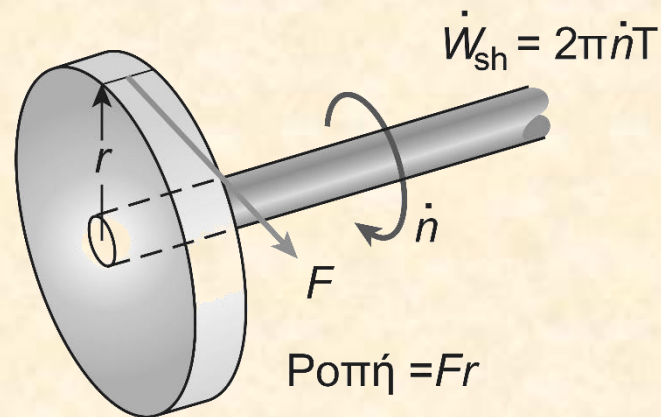
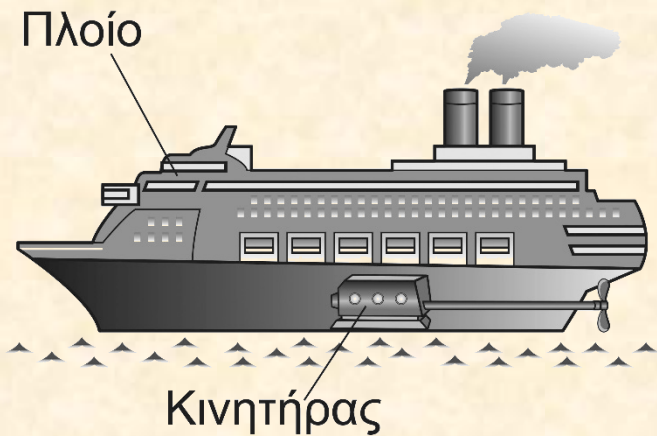
# Έργο περιστροφής άξονα

Δύναμη που ασκείται σε μοχλοβραχίονα παράγει ροπή:  $T = Fr \rightarrow F = \frac{T}{r}$

Αυτή η δύναμη ασκείται για μετατόπιση, ίση με:  $s = (2\pi r)n$

Έργο περιστροφής άξονα  $W_{sh} = Fs = \left(\frac{T}{r}\right)(2\pi rn) = 2\pi nT \quad (\text{kJ})$

Η μεταφερόμενη ισχύς είναι ίση με το έργο περιστροφής του άξονα στη μονάδα του χρόνου.  $\dot{W}_{sh} = 2\pi\dot{n}T \quad (\text{kW})$



Η μεταφορά ενέργειας με άξονες είναι ευρύτατα διαδεδομένη.

Το έργο περιστροφής άξονα είναι ανάλογο της ροπής και της ταχύτητας περιστροφής του άξονα.

# Έργο Ελατηρίου

Κατά την απειροστή μεταβολή του μήκους ενός ελατηρίου υπό την επίδραση μιας δύναμης  $F$ , το έργο του ελατηρίου είναι:

$$\delta W_{\text{spring}} = F dx$$

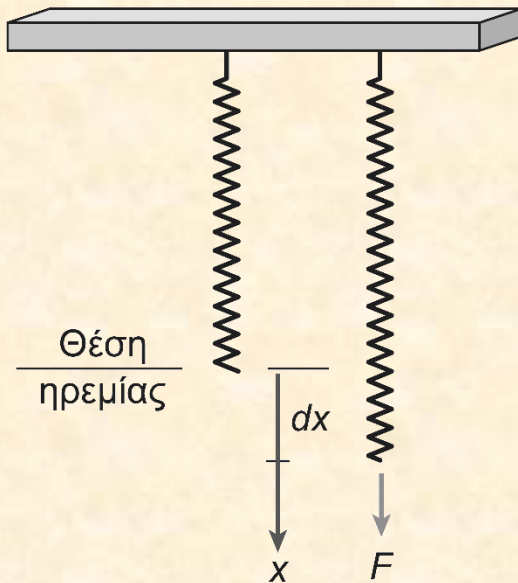
Σε γραμμικώς ελαστικά ελατήρια, η μετατόπιση είναι ανάλογη της δύναμης:

$$F = kx \quad (\text{kN}) \quad k: \text{σταθερά ελατηρίου} \quad (\text{kN/m})$$

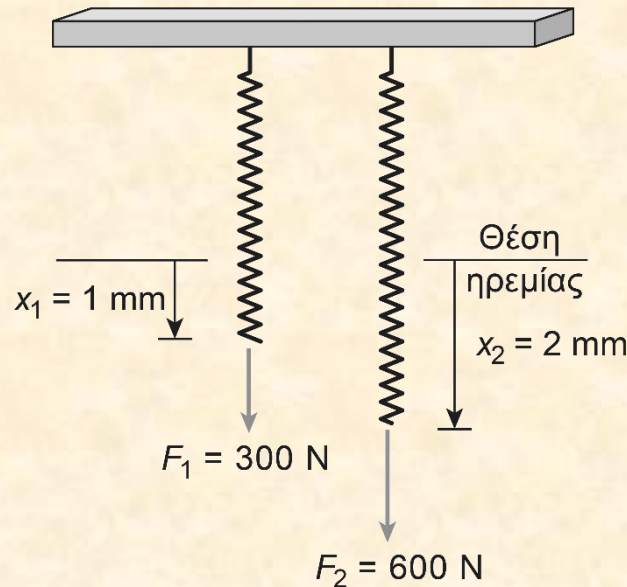
Με αντικατάσταση και ολοκλήρωση λαμβάνουμε:

$$W_{\text{spring}} = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) \quad (\text{kJ})$$

$x_1$  και  $x_2$ : αρχική και τελική θέση του ελατηρίου



Επιμήκυνση ελατηρίου υπό την επίδραση δύναμης



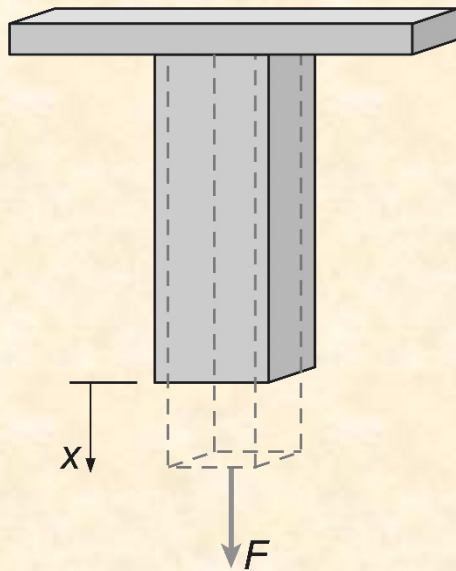
Η επιμήκυνση ενός γραμμικού ελατηρίου θα διπλασιαστεί, αν διπλασιαστεί η εφαρμοζόμενη δύναμη.

## Έργο διάτασης υγρού υμενίου

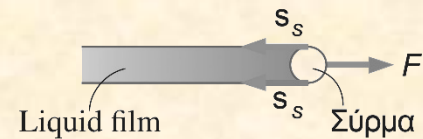
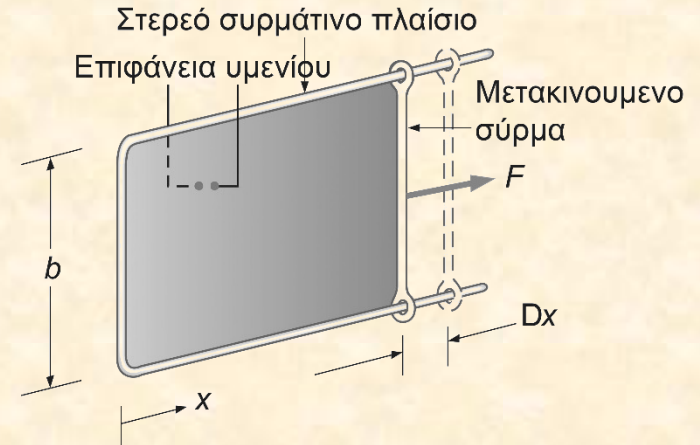
$$W_{\text{surface}} = \int_1^2 \sigma_s dA \quad (\text{kJ})$$

## Έργο ελαστικών στερεών ράβδων

$$W_{\text{elastic}} = \int_1^2 F dx = \int_1^2 \sigma_n A dx \quad (\text{kJ})$$



Οι στέρεες ράβδοι συμπεριφέρονται ως ελατήρια υπό την επίδραση κάποιας δύναμης.



Διάταση υγρού υμενίου, με χρήση ενός κινούμενου σύρματος.

# Έργο για την Ανύψωση ή την Επιτάχυνση ενός Σώματος

1. Το έργο που απαιτείται για την ανύψωση ενός σώματος είναι ίσο με τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειάς του.
2. Το έργο που απαιτείται για την επιτάχυνση ενός σώματος είναι ίσο με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειάς του.

## Μη μηχανικές μορφές έργου

**Ηλεκτρικό έργο:** Το ρόλο της «δύναμης» παίζει η *τάση* και το ρόλο της «μετατόπισης» παίζει το *ηλεκτρικό φορτίο*.

**Μαγνητικό έργο:** Το ρόλο της «δύναμης» παίζει η *ένταση του μαγνητικού πεδίου* και το ρόλο της «μετατόπισης» παίζει η *μαγνητική διπολική ροπή*.

**Έργο ηλεκτρικής πόλωσης:** Το ρόλο της «δύναμης» παίζει η *ένταση του ηλεκτρικού πεδίου* και το ρόλο της «μετατόπισης» παίζει η *πόλωση του μέσου*.



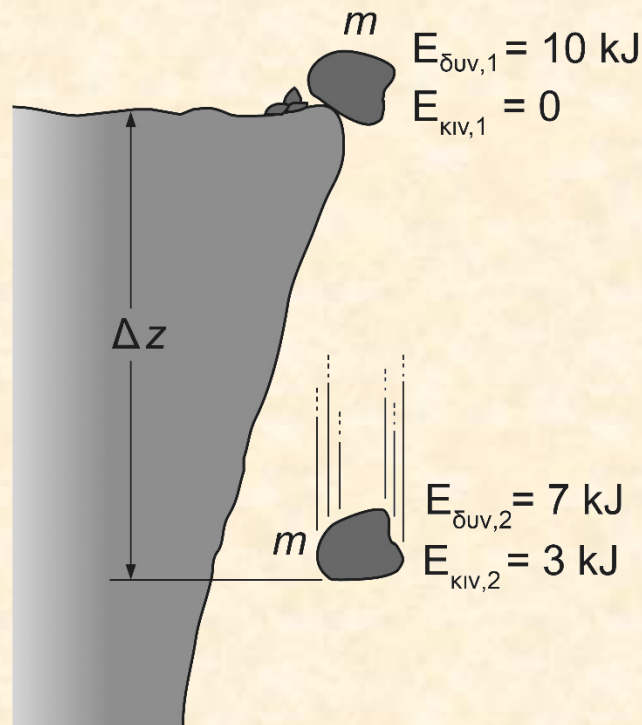
Η ενέργεια που μεταφέρεται σε ένα σώμα, καθώς αυτό ανυψώνεται, ισούται με τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειάς του.



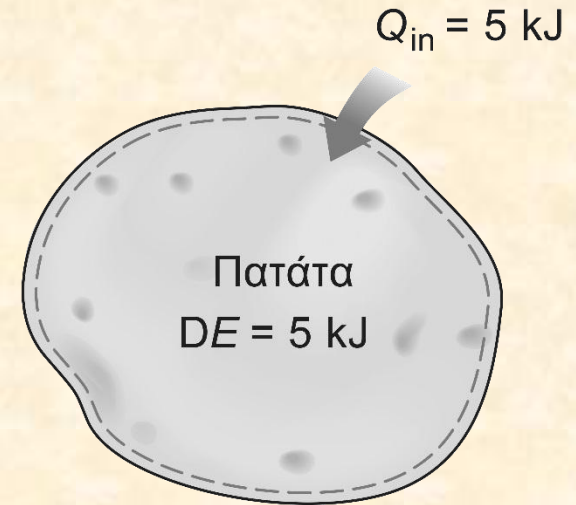
# Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής

- Ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής (αρχή διατήρησης της ενέργειας) αποτελεί ένα στέρεο υπόβαθρο για τη μελέτη της σχέσης των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων μορφών ενέργειας και των ενεργειακών αλληλεπιδράσεων. Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο, **η ενέργεια δε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, αλλά μόνο αλλάζει μορφές.**

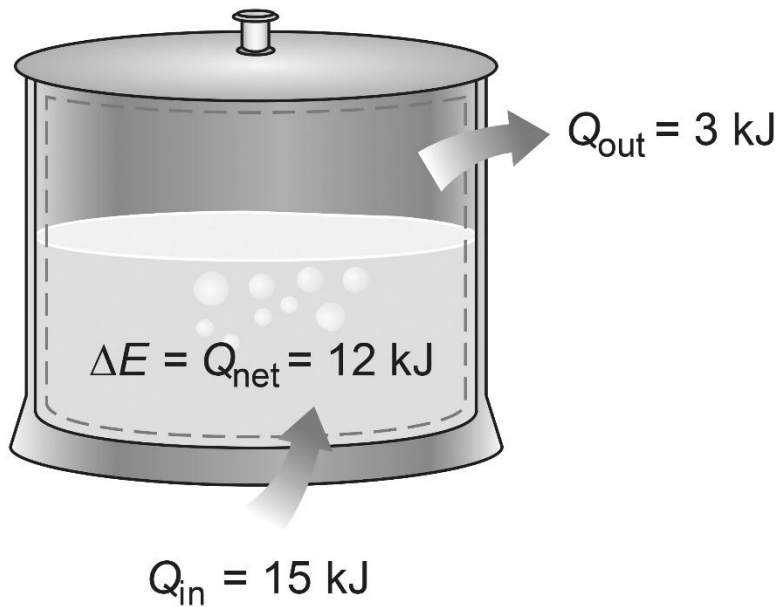
**Σύμφωνα με τον Πρώτο Νόμο:** Για κάθε αδιαβατική διεργασία μεταξύ δύο δεδομένων καταστάσεων ενός κλειστού συστήματος, το καθαρό παραγόμενο έργο είναι το ίδιο, ανεξαρτήτως της φύσης του συστήματος και της διεργασίας.



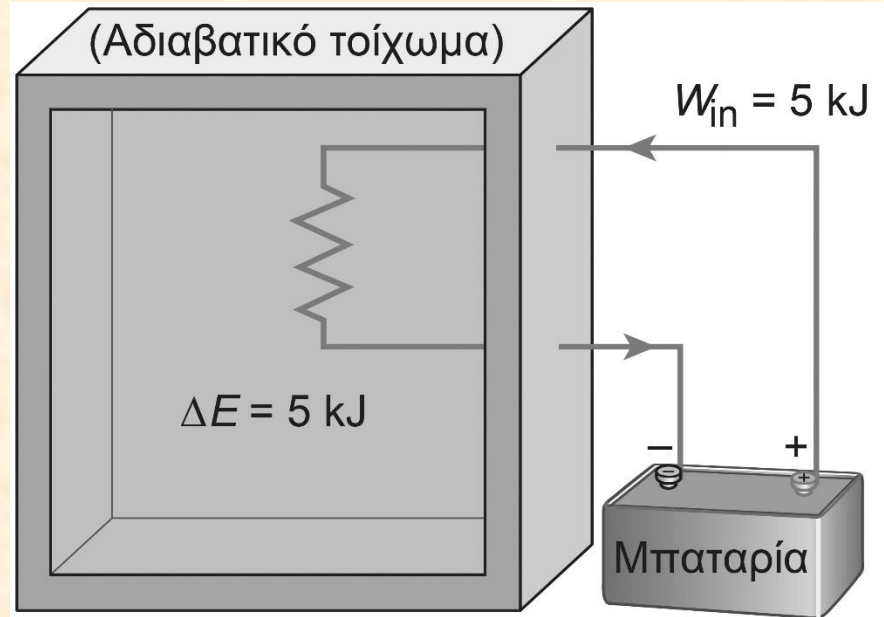
Η ενέργεια δε μπορεί ούτε να δημιουργηθεί, ούτε να καταστραφεί. Μπορεί μόνο να αλλάξει μορφές



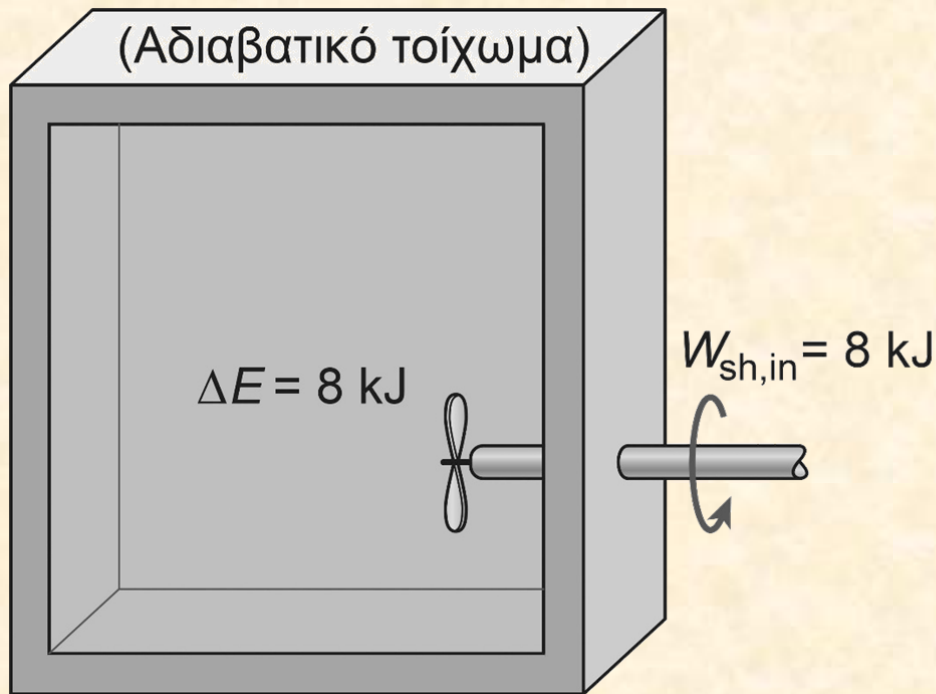
Η αύξηση της ενέργειας μια πατάτας που ψήνεται στο φούρνο είναι ίση με το θερμότητα που της προσδίδεται



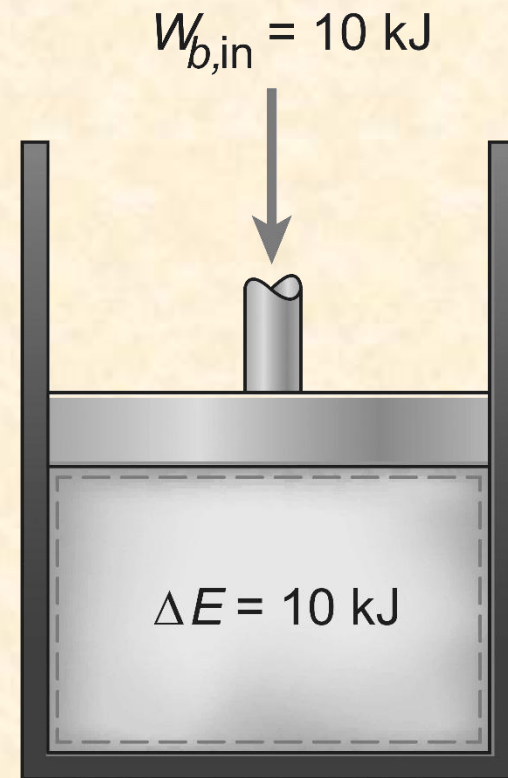
Αν δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις έργου, η ενεργειακή μεταβολή σε ένα σύστημα ισούται με το τελικό μεταφερόμενο ποσό θερμότητας προς αυτό.



Το ηλεκτρικό έργο που παράγεται σε ένα αδιαβατικό σύστημα ισούται με την αύξηση της ενέργειας του συστήματος.



Το παραγόμενο έργο περιστροφής σε ένα αδιαβατικό σύστημα ισούται με την αύξηση της ενέργειας του συστήματος.



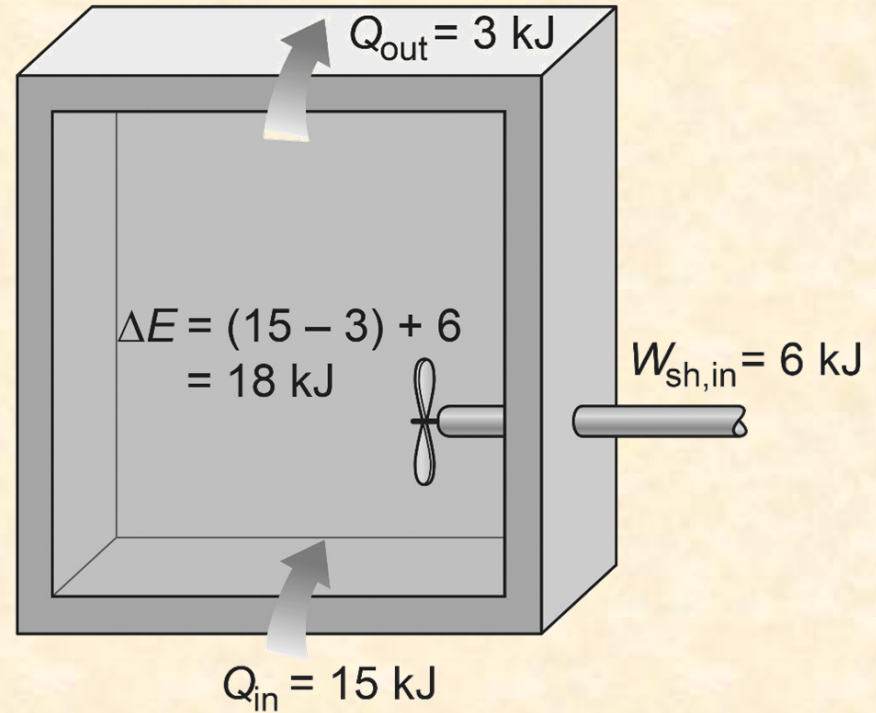
(Αδιαβατικό τοίχωμα)

Το παραγόμενο έργο ογκομεταβολής σε ένα αδιαβατικό σύστημα ισούται με την αύξηση της ενέργειας του συστήματος.

# Ενεργειακό Ισοζύγιο

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta E_{\text{system}}$$

Η καθαρή μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της ολικής ενέργειας ενός συστήματος κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας είναι ίσο προς τη διαφορά μεταξύ της ολικής ενέργειας που εισάγεται στο σύστημα και της ολικής ενέργειας που εξέρχεται από αυτό, κατά τη διάρκεια της εν λόγω διεργασίας



# Ενεργειακή Μεταβολή Συστήματος, $\Delta E_{\text{system}}$

$$\Delta E_{\text{system}} = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}} = E_2 - E_1$$

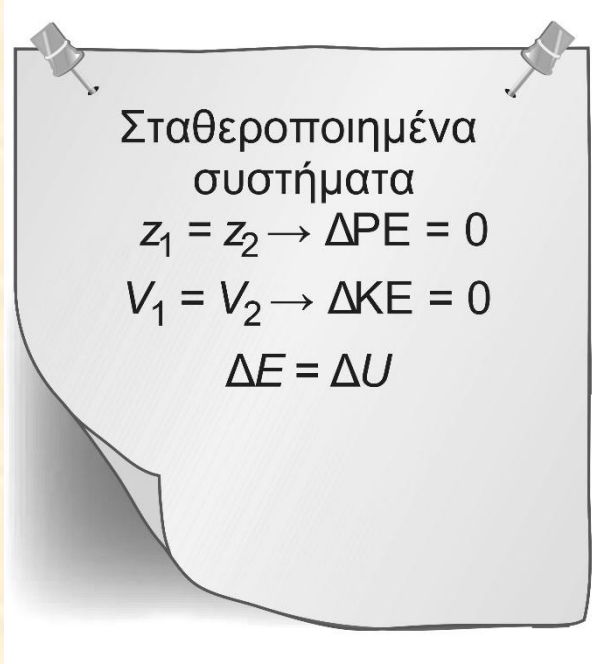
$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

Μεταβολές της εσωτερικής,  
της κινητικής και της  
δυναμικής ενέργειας:

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$



Σταθεροποιημένα  
συστήματα  
 $z_1 = z_2 \rightarrow \Delta PE = 0$   
 $V_1 = V_2 \rightarrow \Delta KE = 0$   
 $\Delta E = \Delta U$

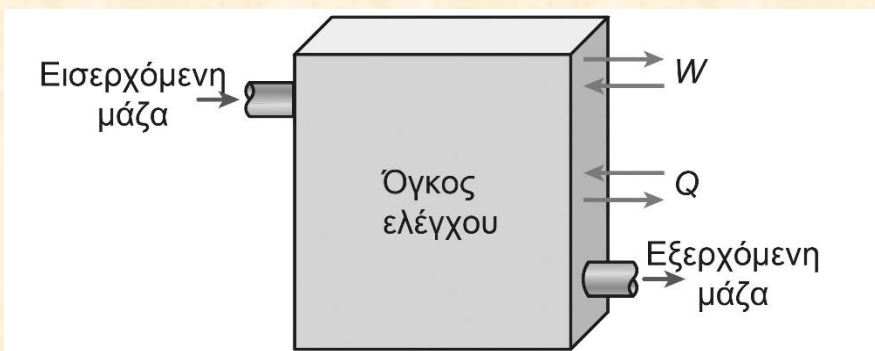
Μηχανισμοί  
μεταφοράς  
ενέργειας:

- Μετάδοση θερμότητας
- Μεταφορά έργου
- Μεταφορά μάζας

Ένα κλειστό σύστημα μπορεί να εκτελεί μόνο μεταφορά έργου και μετάδοση θερμότητας.

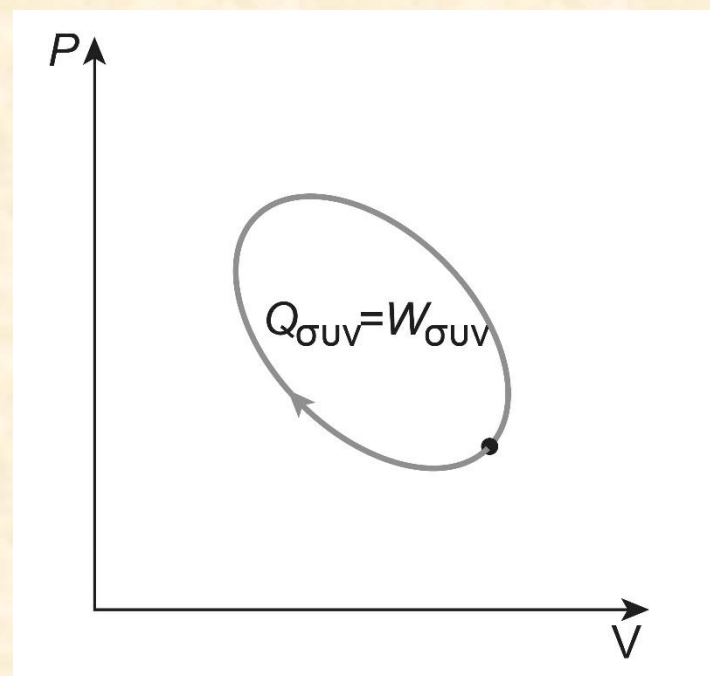
$$E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta E_{system}$$

$$W_{net,out} = Q_{net,in} \quad \text{or} \quad \dot{W}_{net,out} = \dot{Q}_{net,in} \quad (\text{for a cycle})$$



Το ενεργειακό περιεχόμενο ενός όγκου ελέγχου μπορεί να μεταβάλλεται μέσω μεταφοράς μάζας, καθώς και μέσω αλληλεπιδράσεων θερμότητας κι έργου.

Για κάθε κύκλο ισχύει  $\Delta E = 0$ , άρα και  $Q = W$ .



# Συντελεστές απόδοσης ενερ. μετατροπών

Η **Απόδοση** είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους όρους στη Θερμοδυναμική κι αποτελεί μέτρο του πόσο καλά επιτυγχάνεται μια ενεργειακή μετατροπή.

**Απόδοση ενός θερμαντήρα νερού:** είναι ο λόγος της ενέργειας που παρέχεται στο σπίτι μέσω του ζεστού νερού προς την ενέργεια, με την οποία τροφοδοτείται ο θερμαντήρας.

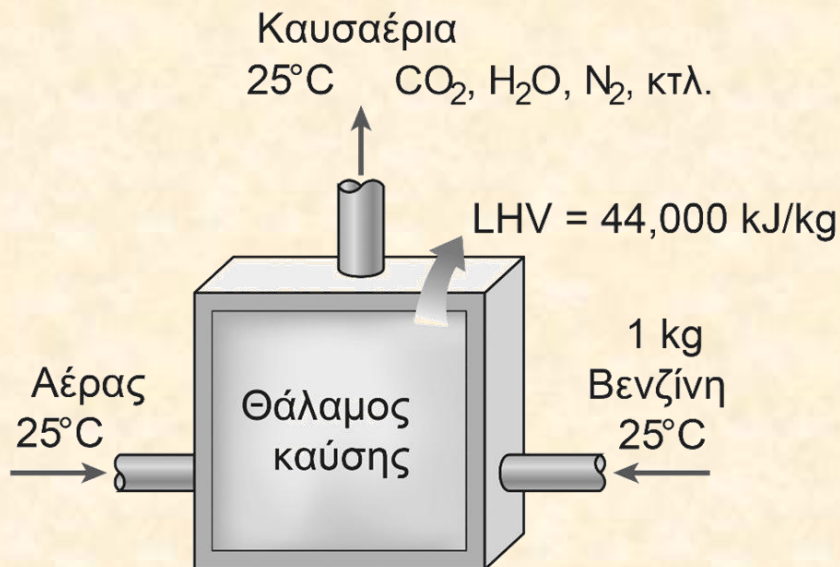


$$\eta_{\text{combustion}} = \frac{Q}{HV}$$

**Θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου:** είναι η ποσότητα της θερμότητας που απελευθερώνεται όταν μια μονάδα μάζας καυσίμου υπό θερμοκρασία δωματίου καίγεται πλήρως και τα προϊόντα της καύσης αποθερμαίνονται μέχρι θερμοκρασίας δωματίου.

**Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (LHV):** όταν ο υδρατμός των καυσαερίων απάγεται.

**Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (HHV):** όταν ο υδρατμός των καυσαερίων συμπυκνώνεται πλήρως, ώστε να ανακτάται η θερμότητα ατμοποίησης.



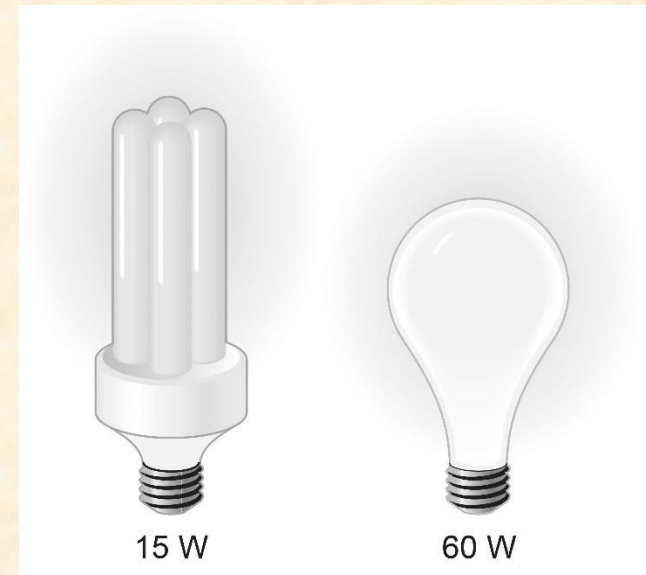
Η απόδοση των συστημάτων θέρμανσης χώρων κατοικιών και κτηρίων επαγγελματικής χρήσης συνήθως εκφράζεται σε όρους της **απόδοσης ετήσιας χρήσης καυσίμου (AFUE)**, για την οποία λαμβάνεται υπ' όψιν τόσο ο βαθμός απόδοσης της καύσης, όσο κι άλλες απώλειες.



## Ολική απόδοση ενός ηλεκτροπαραγωγού σταθμού

$$\eta_{\text{overall}} = \eta_{\text{combustion}} \eta_{\text{thermal}} \eta_{\text{generator}} = \frac{\dot{W}_{\text{net,electric}}}{\text{HHV} \times \dot{m}_{\text{fuel}}}$$

- **Γεννήτρια:** είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- **Απόδοση γεννήτριας:** είναι ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδει η γεννήτρια προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά.
- **Θερμική απόδοση θερμοηλεκτρικού σταθμού:** είναι ο λόγος της καθαρής παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την «ισχύ» καυσίμου που καταναλώνεται στο σταθμό



Ένας λαμπτήρας φθορισμού μικρών διαστάσεων 15W παράγει τόσο φως, όσο κι ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως των 60W

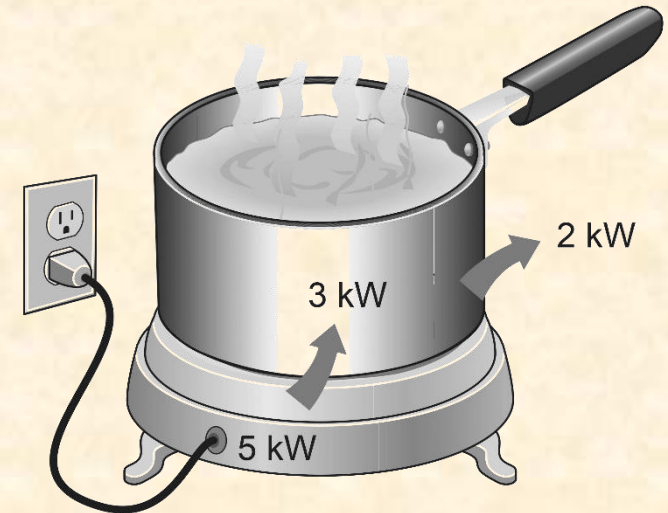
## Πίνακας 2-1:

Αποδοτικότητα διαφόρων συστημάτων φωτισμού

Τύπος φωτισμού	lumens/W
<i>Καύση</i>	
Κερί	0,3
Κηροζίνη	1-2
<i>Πυράκτωση</i>	
Συμβατικός λαμπτήρας	6-20
Λαμπτήρας αλογόνου	15-35
<i>Φθορισμός</i>	
Συμπαγής	40-87
Λαμπτήρας	60-120
<i>Εκκένωση υψηλής τάσης</i>	
Ατμός υδραργύρου	40-60
Αλογόνου	65-118
Νάτριο υψηλής πίεσης	85-140
Νάτριο χαμηλής πίεσης	70-200
<i>Στερεά κατάσταση</i>	
LED	20-160
OLED	15-60
Θεωρητικό όριο	300*

**Φωτεινή απόδοση:**  
είναι η ποσότητα του παραγόμενου φωτός (lm) ανά W ηλεκτρικής κατανάλωσης.

- Με χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών, **εξοικονομούμε ενέργεια**.
- Έτσι, συμβάλλουμε στην προστασία του **περιβάλλοντος** μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Από την καύση των ορυκτών καυσίμων εκπέμπονται
  - **Διοξείδιο του άνθρακα** (συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου).
  - **Οξείδια του αζώτου και υδρογονάνθρακες** (προκαλούν αιθαλομίχλη)
  - **Μονοξείδιο του άνθρακα** (είναι τοξικό)
  - **Διοξείδιο του θείου** (προκαλεί όξινη βροχή).



$$\begin{aligned} \text{Απόδοση} &= \frac{\text{Χρησιμοποιημένη ενέργεια}}{\text{Παρεχόμενη ενέργεια}} \\ &= \frac{3 \text{ kWh}}{5 \text{ kWh}} = 0.60 \end{aligned}$$

Η απόδοση μιας μαγειρικής εστίας είναι το κλάσμα της ενέργειας που μεταφέρεται στο φαγητό προς την ενέργεια, με την οποία τροφοδοτείται η συσκευή.

**Πίνακας 2-2** Ενεργειακά κόστη μαγειρέματος σε μια κατσαρόλα, με τη χρήση διαφορετικών συσκευών<sup>1</sup>

<i>Συσκευή μαγειρέματος</i>	<i>Θερμοκρασία μαγειρέματος</i>	<i>Χρόνος μαγειρέματος</i>	<i>Χρησιμοποιούμενη ενέργεια</i>	<i>Κόστος ενέργειας</i>
Ηλεκτρική εστία	177°C	1 h	20 kWh	\$ 0.19
Αερόθερμος φούρνος	163°C	45min	1.39 kWh	\$ 0.13
Φούρνος με φυσικό αέριο	177°C	1 h	0.112 therm	\$ 0.13
Τηγάνι	216°C	1 h	0.9 kWh	\$ 0.09
Φρυγανιέρα	218°C	50 min	0.95 kWh	\$ 0.09
Κεραμική εστία	93°C	7 h	0.7 kWh	\$ 0.07
Φούρνος μικροκυμάτων	“υψηλή”	15 min	0.36 kWh	\$ 0.03

# Απόδοση μηχανικών & ηλεκτρικών συσκευών

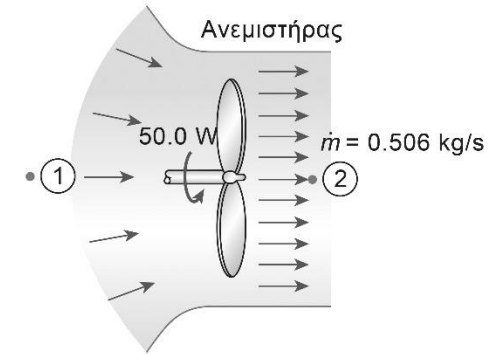
Μηχανική απόδοση:

$$\eta_{\text{μηχ}} = \frac{\text{μηχανική ενέργεια εξόδου}}{\text{μηχανική ενέργεια εισόδου}} = \frac{E_{\text{μηχ. out}}}{E_{\text{μηχ. in}}} = 1 - \frac{E_{\text{μηχ. απωλ.}}}{E_{\text{μηχ. in}}}$$

Η απόδοση της διεργασίας μετατροπής του μηχανικού έργου και της μηχανικής ενέργειας ενός ρευστού εκφράζεται από την **απόδοση αντλίας** και την **απόδοση στροβίλου**.

$$\eta_{\text{αντλίας}} = \frac{\text{αύξηση μηχανικής ενέργειας ρευστού}}{\text{μηχανική ενέργεια εισόδου}} = \frac{\dot{\Delta E}_{\text{μηχ. ρευστού}}}{\dot{W}_{\text{άξονα, in}}} = \frac{\dot{W}_{\text{αντλίας, αφ.}}}{\dot{W}_{\text{αντλίας}}}$$

$$\eta_{\text{στροβ.}} = \frac{\text{μηχανική ενέργεια εξόδου}}{\text{ελάττωση μηχανικής ενέργειας ρευστού}} = \frac{\dot{W}_{\text{άξονα, out}}}{|\dot{\Delta E}_{\text{μηχ. ρευστού}}|} = \frac{\dot{W}_{\text{στροβ}}}{\dot{W}_{\text{στροβ. εξ}}}$$



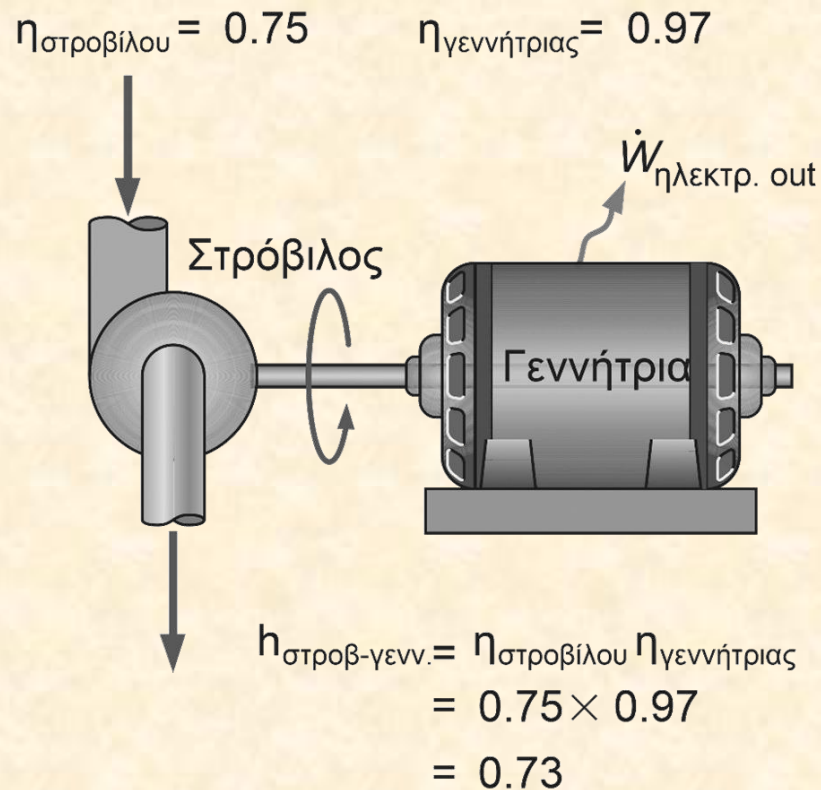
$$V_1 \approx 0, V_2 = 12.1 \text{ m/s}$$

$$z_1 = z_2$$

$$P_1 \approx P_{\text{atm}} \text{ και } P_2 \approx P_{\text{atm}}$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{μηχ. αν}} &= \frac{\Delta \dot{E}_{\text{μηχ. ρευστού}}}{\dot{W}_{\text{αξ, εισ}}} = \frac{\dot{m} V_2^2 / 2}{\dot{W}_{\text{αξ, εισ}}} \\ &= \frac{(0.506 \text{ kg/s})(12.1 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 50.0 \text{ W}} \\ &= 0.741 \end{aligned}$$

Η μηχανική απόδοση ενός ανεμιστήρα είναι ο λόγος του ρυθμού αύξησης της μηχανικής ενέργειας του αέρα ως προς τη μηχανική ισχύ εισόδου.



Η ολική απόδοση μιας διάταξης υδροστροβίλου – γεννήτριας είναι το γινόμενο των συντελεστών απόδοσης του υδροστροβίλου και της γεννήτριας κι εκφράζει το κλάσμα της μηχανικής ισχύος του ρευστού που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ.

# Ενέργεια & Περιβάλλον

- Η μετατροπή της ενέργειας από μια μορφή σε άλλη συχνά επηρεάζει το περιβάλλον και τον αέρα με διάφορους τρόπου, συνεπώς η μελέτη της ενέργειας θα είναι ατελής αν δε ληφθεί υπ' όψιν η επίδρασή της στο περιβάλλον.
- Οι ρυπαντές που εκπέμπονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων ευθύνονται για την **αιθαλομίχλη**, την **όξινη βροχή** και την **υπερθέρμανση του πλανήτη**.
- Η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι τόσο έντονη, ώστε να επιφέρει σοβαρές βλάβες στη **χλωρίδα**, στην **άγρια ζωή** και στην **ανθρώπινη υγεία**.



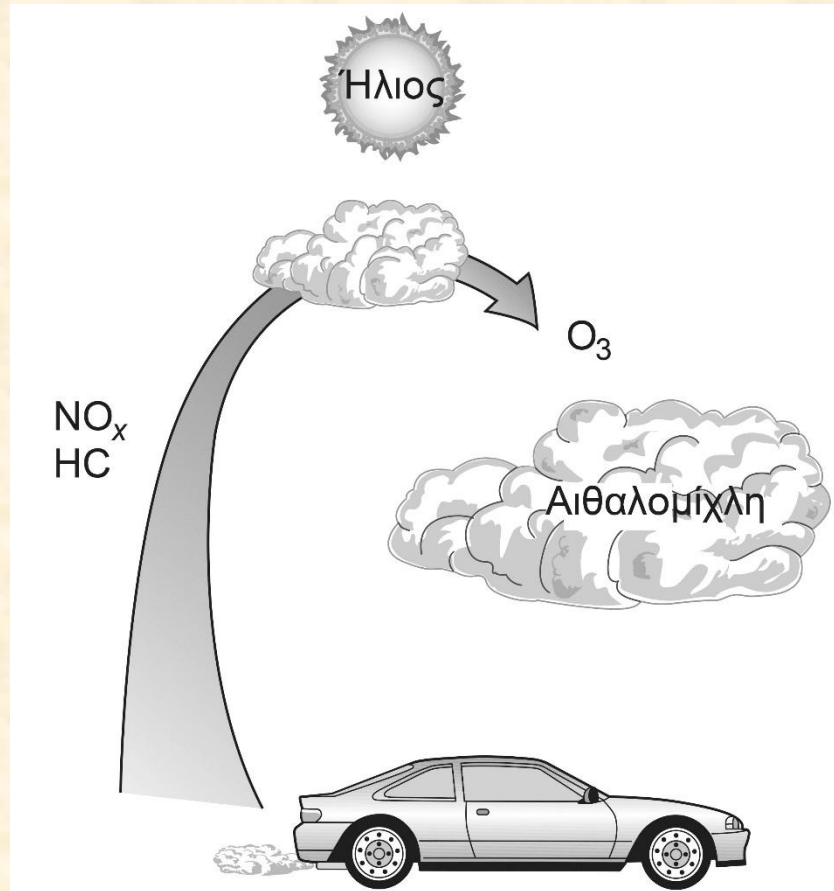
Οι κινητήρες των οχημάτων αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή αέριας ρύπανση.

Οι ενεργειακές μετατροπές συνοδεύονται συχνά από ρύπανση του περιβάλλοντος.



# Όζον & Αιθαλομίχλη

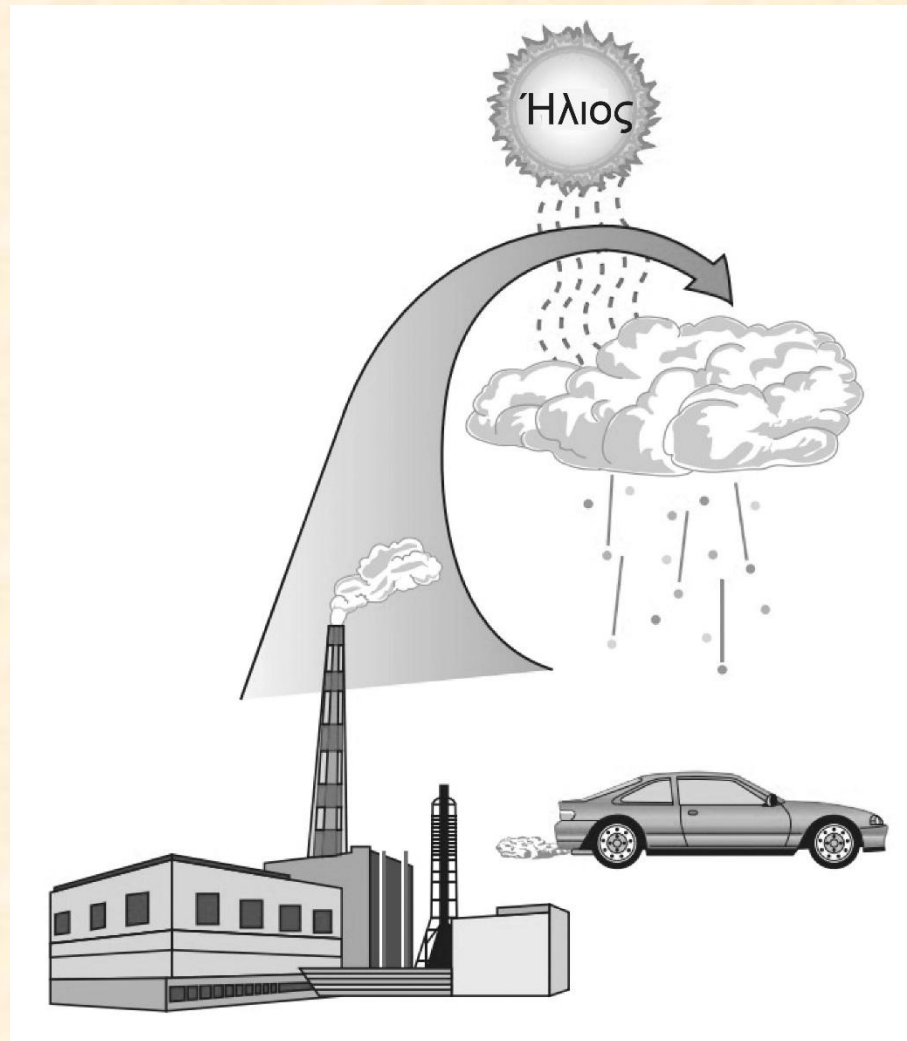
- **Αιθαλομίχλη:** σχηματίζεται από το όζον σε χαμηλό υψόμετρο ( $O_3$ ), αλλά περιέχει κι άλλες χημικές ενώσεις, όπως  $CO$ , αιωρούμενα σωματίδια (π.χ. τέφρα και σκόνη), πτητικές οργανικές ενώσεις (π.χ. βενζόλιο, βουτάνιο κι άλλους  $H/C$ ).
- **$H/C$**  και  **$NO_x$** : αντιδρούν υπό το ηλιακό φως και με τη βοήθεια της άπνοιας, σχηματίζοντας όζον στη στάθμη του εδάφους.
- **Το όζον** προκαλεί οφθαλμολογικά και αναπνευστικά προβλήματα.
- Ο άλλος πολύ επιβλαβής ρυπαντής είναι το **μονοξείδιο του άνθρακα**, ένα άχρωμο, άοσμο και δηλητηριώδες αέριο, που εκπέμπεται κυρίως από τους κινητήρες των οχημάτων. Παρεμποδίζει τα όργανα του σώματος να παραλάβουν οξυγόνο, καταλαμβάνοντας τη θέση του οξυγόνου στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Σε υψηλές δόσεις, είναι θανατηφόρο.
- **Τα αιωρούμενα σωματίδια**, όπως η **σκόνη** κι η **τέφρα** εκπέμπονται από οχήματα και βιομηχανίες. Προκαλούν οφθαλμολογικά και αναπνευστικά προβλήματα.



Το όζον στο επίπεδο του εδάφους αποτελεί το κύριο συστατικό της αιθαλομίχλης και σχηματίζεται κατά την αντίδραση  $\text{H/C}$  και  $\text{NO}_x$  υπό την επίδραση του φωτός, κατά τις ημέρες με άπνοια.

# Όξινη βροχή

- Το θείο των καυσίμων αντιδρά με το οξυγόνο, παράγοντας διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), το οποίο είναι ατμοσφαιρικός ρυπαντής.
- Η κύρια πηγή εκπομπής  $\text{SO}_2$  είναι οι θερμικοί σταθμοί, οι οποίοι καίνε γαιάνθρακα υψηλής συγκέντρωσης σε θείο.
- Μια μικρή συμμετοχή στις εκπομπές  $\text{SO}_2$  έχουν και τα οχήματα, μιας και η βενζίνη και το πετρέλαιο περιέχουν μικρές ποσότητες θείου.
- Τα  $\text{SO}_x$  και τα  $\text{NO}_x$  αντιδρούν με την ατμοσφαιρική υγρασία και με άλλα χημικά σε υψηλά υψόμετρα, υπό την παρουσία του ηλιακού φωτός, παράγοντας θειικά και νιτρικά οξέα. The sulfur oxides and nitric oxides react with water vapor and other chemicals high in the atmosphere in the presence of sunlight to form sulfuric and nitric acids.
- Τα οξέα αυτά διαλύονται στα σύννεφα ή στη ομίχλη, προκαλώντας την **όξινη βροχή**.



Το θειικό και το νιτρικό οξύ σχηματίζονται όταν τα  $\text{SO}_x$  και τα  $\text{NO}_x$  αντιδρούν με υδρατμούς κι άλλα χημικά στοιχεία στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, παρουσία ηλιακού φωτός.

# Το φαινόμενο του θερμοκηπίου



- Το CO<sub>2</sub> παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως οι **γαιάνθρακες**, το **πετρέλαιο** και το **φυσικό αέριο**.

- **Φαινόμενο του θερμοκηπίου:** Το γυαλί επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να το διαπεράσει προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου, αλλά όχι και την υπέρυθη ακτινοβολία που παράγεται από το εσωτερικό του. Έτσι, αυξάνεται η εσωτερική θερμοκρασία, συνεπεία της συσσώρευσης θερμικής ενέργειας στο εσωτερικό.
- Η επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται την ημέρα λόγω της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας, ψύχεται τη νύχτα ακτινοβολώντας μέρος αυτής της ενέργειας προς το διάστημα ως υπέρυθη ακτινοβολία..
- Το **CO<sub>2</sub>**, ο υδρατμός και ίχνη άλλων αερίων (π.χ. μεθάνιο και NO<sub>x</sub>) δρουν σαν μια «κουβέρτα» εμποδίζοντας τη θερμότητα που εκπέμπεται από τη γη να απομακρυνθεί. Το αποτέλεσμα είναι η **υπερθέρμανση του πλανήτη**.
- Τα αέρια αυτά καλούνται “**αέρια του θερμοκηπίου**,” κύριο συστατικό των οποίων είναι το CO<sub>2</sub>.

- **Έκθεση του 1995:** Η Γη έχει ήδη θερμανθεί κατά περίπου **0.5°C** κατά τον τελευταίο αιώνα και αναμένεται επιπρόσθετη αύξηση κατά **2°C** ως το έτος 2100.
- Αυτή η αύξηση μπορεί να προκαλέσει **σημαντικές μεταβολές στον καιρό**, με καταιγίδες και πλημμύρες, με ξηρασία, με λιώσιμο των πάγων στους πόλους, περιορισμό των παραθαλάσσιων εκτάσεων (λόγω της ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας) κι άλλα αρνητικά αποτελέσματα.

- Η αυξημένη απόδοση των συσκευών και των μηχανών
- Η ανάκτηση της ενέργειας
- Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

μπορούν να μειώσουν την υπερθέρμανση του πλανήτη.



Ένα τυπικό αυτοκίνητο παράγει ετησίως πολλές φορές το βάρος του σε CO<sub>2</sub>.



Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι η αιολική, ονομάζονται «πράσινη ενέργεια».

# Περίληψη

- Μορφές της ενέργειας
  - ✓ Μακροσκοπική = κινητική + δυναμική
  - ✓ Μικροσκοπική = Εσωτερική (αισθητή + λανθάνουσα + χημική + πυρηνική)
- Μεταφορά ενέργειας μέσω θερμότητας
- Μεταφορά ενέργειας μέσω έργου
- Μηχανικές μορφές του έργου
- Ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής
  - ✓ Ενεργειακό ισοζύγιο
  - ✓ Μεταβολή της ενέργειας σε ένα σύστημα
  - ✓ Μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας (θερμότητα, έργο, παροχή μάζας)
- Συντελεστές απόδοσης μετατροπών ενέργειας
  - ✓ Αποδόσεις μηχανικών και ηλεκτρικών συσκευών
- Ενέργεια και περιβάλλον
  - ✓ Όζον κι αιθαλομίχλη
  - ✓ Όξινη βροχή
  - ✓ Το φαινόμενο του θερμοκηπίου: η υπερθέρμανση του πλανήτη κι η κλιματική αλλαγή.