

4 Έργο – ενέργεια- μεταβολισμός

- Έργο – ενέργεια
- Αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας
- Θεώρημα έργου – ενέργειας
- Η θερμότητα ως μορφή ενέργειας
- 1^ο και 2^ο θερμοδυναμικό αξίωμα
- Απόδοση μηχανής
- Το ανθρώπινο σώμα ως μηχανή
- Μεταβολισμός & ενεργειακές ανάγκες του σώματος

Μαρία Κατσικίνη
katsiki@auth.gr
users.auth.gr/katsiki

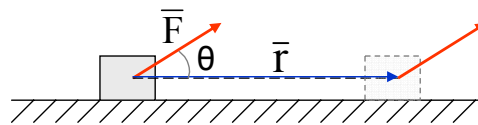
Ορισμοί

- **Έργο:** Μία δύναμη παράγει έργο όταν μετατοπίζει το σημείο εφαρμογής της.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{r} = Fr \cos \theta$$

εσωτερικό
γινόμενο

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$$



Μονάδα μέτρησης: **Joule**

- **Ενέργεια:** Ένα σώμα έχει ενέργεια όταν έχει την ικανότητα να παράγει έργο.

Μονάδα μέτρησης: **Joule**

- **Θερμότητα:** Η ενέργεια που ρέει από ένα σώμα θερμότερο σε ένα ψυχρότερο

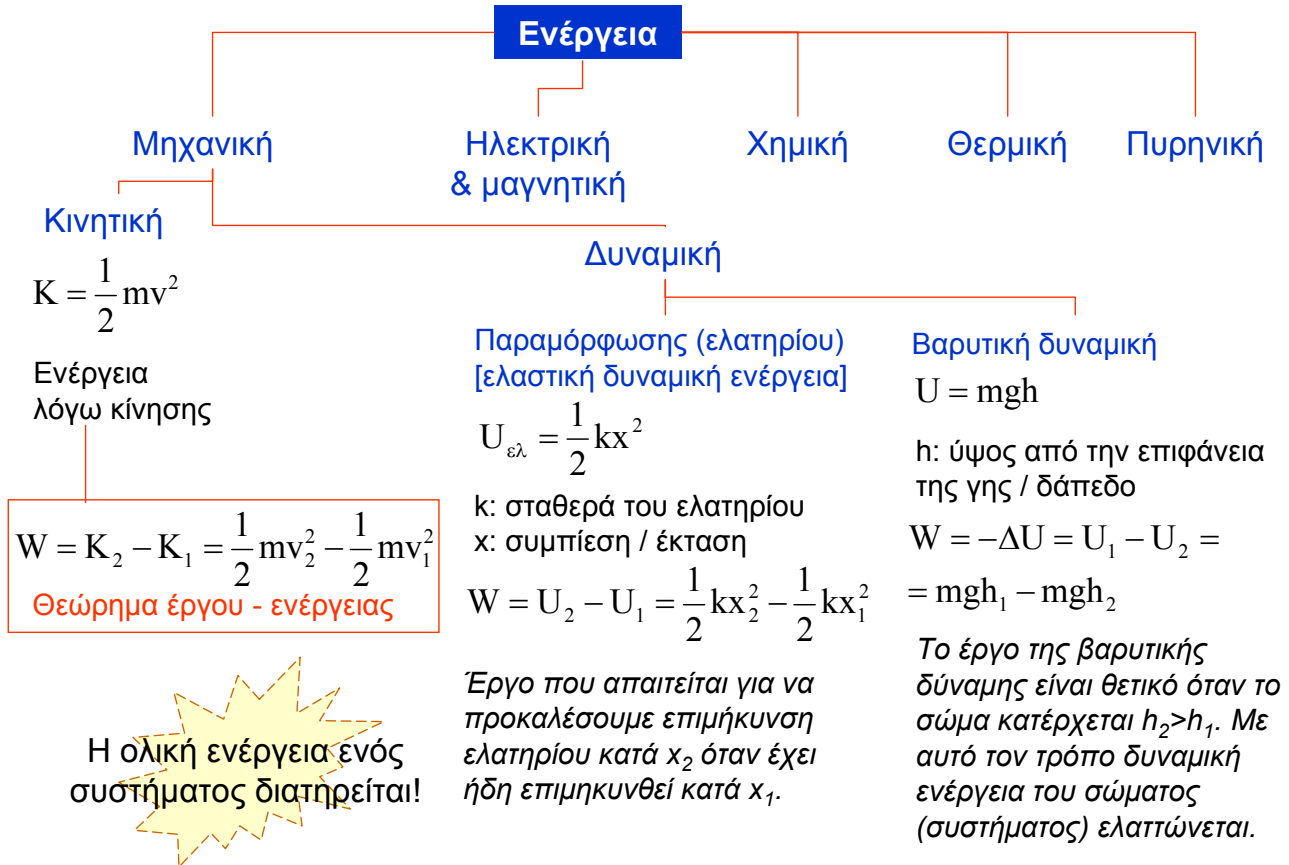
- **Ισχύς:** Ρυθμός παραγωγής έργου.

$$P = \frac{W}{t}$$

Μονάδα μέτρησης: **Watt**
1hp (ίππος) = 746W

Για μηχανή που κινείται με σταθερή ταχύτητα v $P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv$

Ορισμοί



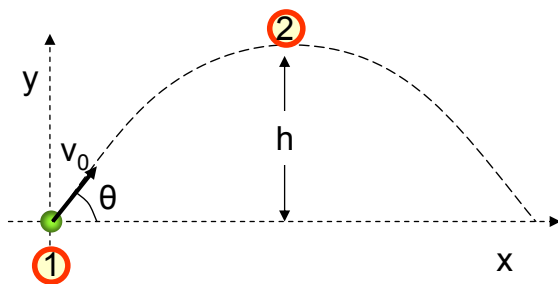
Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας

$E = K + U = \text{σταθερό}$ σώμα κινείται υπό την επίδραση του βάρους

$$E_1 = E_2 \Rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow U_1 - U_2 = K_2 - K_1$$

δύο διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος (ή δύο διαφορετικές θέσεις του σώματος)

Εφαρμογή: υπολογισμός μέγιστου ύψους σε βολή σφαίρας



- Σώμα ρίπτεται υπό γωνία θ με αρχική ταχύτητα v_0

- Στη θέση μέγιστου ύψους η v_y μηδενίζεται

- $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ Πυθαγόρειο

- $v_{0x} = v_{2x}$ η x-συνιστώσα της ταχύτητας δεν μεταβάλλεται

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}m(v_{0x}^2 + v_{0y}^2) + 0 = \frac{1}{2}mv_{2x}^2 + mgh \Rightarrow v_{0y}^2 = 2gh \Rightarrow h = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

Διατηρητικές (συντηρητικές) δυνάμεις

Βάρος & δύναμη ελατηρίου = διατηρητικές δυνάμεις

→ Το έργο που παράγουν «αποθηκεύεται» και μπορεί να μετατραπεί ξανά σε κινητική ενέργεια σώματος

Έργο διατηρητικών δυνάμεων

1. Είναι ανεξάρτητο της τροχιάς που ακολουθεί το σώμα μεταξύ της αρχικής και τελικής κατάστασης
2. Εκφράζεται ως διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής τιμής μιας συνάρτησης δυναμικής ενέργειας
3. Είναι αντιστρεπτό
4. Σε μια κλειστή διαδρομή είναι μηδέν

Τριβή = μη-διατηρητική δύναμη

→ Το έργο της είναι αρνητικό (η τριβή είναι πάντα αντίθετη στη διεύθυνση κίνησης του σώματος)

Όταν ένα σώμα ολισθαίνει σε δάπεδο με τριβή, η τριβή μειώνει τη μηχανική ενέργεια του σώματος αλλά αυξάνει τη θερμοκρασία του → αύξηση της εσωτερικής ενέργειας

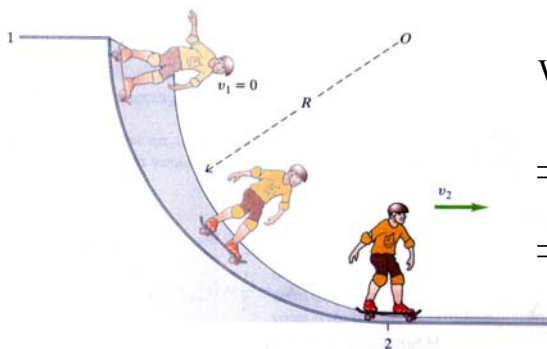
$$\Delta U_{\text{εσωτερική}} = -W_f$$

Μεταβολή της μηχανικής ενέργειας

$W_{\text{μη-διατηρητικές}} + W_{\text{βαρυτικές}} = K_2 - K_1$ όταν ασκούνται και άλλες δυνάμεις (π.χ. τριβές)

$$W_{\text{μη-διατηρητικές}} + U_1 - U_2 = K_2 - K_1 \Rightarrow W_{\text{μη-διατηρητικές}} + K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

⇒ **Εφαρμογή:** υπολογισμός έργου της τριβής



$$W_f = K_2 - K_1 + U_2 - U_1 = \frac{1}{2} M v_2^2 - 0 + 0 - MgR \Rightarrow$$

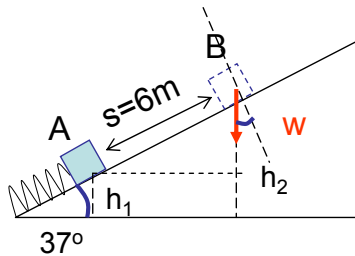
$$\Rightarrow W_f = M \left(\frac{1}{2} v_2^2 - gR \right) = 25 \left(\frac{1}{2} 36 - 10 \cdot 3 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_f = -300J$$

- Μάζα αγοριού + πατινιού = $M = 25kg$
- $R = 3m$
- Ταχύτητα στο κατώτατο σημείο = $6m/s$
- Να βρεθεί το έργο της τριβής

Άσκηση

Ένα σώμα μάζας 2kg τοποθετείται στο άκρο ενός συμπιεσμένου ελατηρίου στο κατώτατο σημείο ενός κεκλιμένου επιπέδου με κλίση 37° (σημείο A). Το ελατήριο όταν αποδεσμευτεί εκτοξεύει τον κύβο προς τα πάνω κατά μήκος του κεκλιμένου. Στη θέση B που απέχει απόσταση 6m από το σημείο A ο κύβος έχει ταχύτητα 4m/s (παράλληλη στο κεκλιμένο με φορά προς τα πάνω). Ο συντελεστής τριβής $\mu_\delta=0.5$. Να υπολογιστεί η ποσότητα δυναμικής ενέργειας που είχε αποθηκευτεί αρχικά στο ελατήριο.



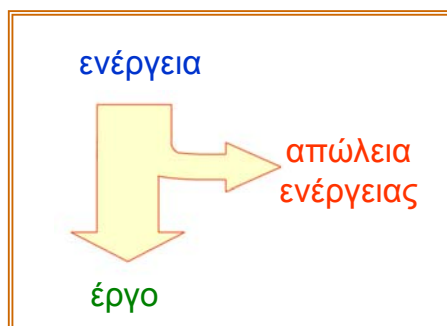
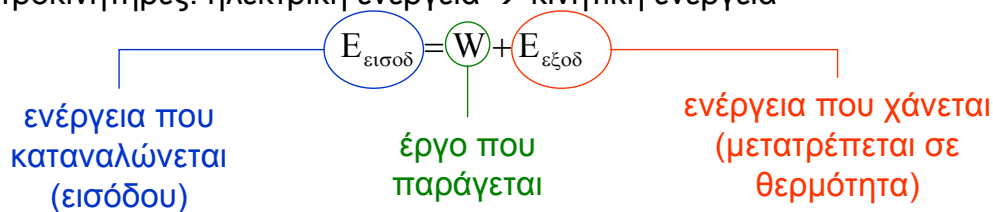
$$\sin 37 = \frac{h_2 - h_1}{s}$$

$$\begin{aligned} W_{\mu\eta\text{-}\delta\text{ια}\text{τη}\rho\eta\text{η}\text{τ}\text{ι}\text{κ}\acute{\epsilon}\varsigma} + U_{\epsilon\lambda} + K_1 + U_1 &= K_2 + U_2 \Rightarrow W_f + U_{\epsilon\lambda} + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \\ \Rightarrow U_{\epsilon\lambda} &= K_2 + U_2 - U_1 - W_f = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_2 - mgh_1 + (mg \cos 37)\mu_\delta \cdot s \Rightarrow \\ \Rightarrow U_{\epsilon\lambda} &= \frac{1}{2}mv^2 + (mg \sin 37) \cdot s + (mg \cos 37)\mu_\delta \cdot s = \\ &= \frac{1}{2}mv^2 + mgs(\sin 37 + \mu_\delta \cos 37) = 118 + 16 = 134\text{J} \end{aligned}$$

Απόδοση μηχανής

Οι μηχανές μετατρέπουν την ενέργεια από μια μορφή σε άλλη και παράγουν έργο

- Κινητήρες εσωτερικής καύσης: καύσιμο \rightarrow χημική ενέργεια \rightarrow κινητική ενέργεια
- Ηλεκτροκινητήρες: ηλεκτρική ενέργεια \rightarrow κινητική ενέργεια



$$\text{απόδοση } (\epsilon) = \frac{\text{έργο που παράγεται}}{\text{ενέργεια που καταναλώνεται}}$$

απώλεια ενέργειας \rightarrow μετατροπή σε θερμότητα (λόγω τριβών κλπ)

Απόδοση μηχανής

⇒ Εφαρμογή:

Ένα λίτρο βενζίνης παράγει $3.43 \times 10^7 \text{ J}$ ενέργειας κατά την καύση του. Ένα αυτοκίνητο μάζας 1500 kg επιταχύνεται από την ηρεμία ως την ταχύτητα 37 m/s σε 10 s . Ο κινητήρας έχει απόδοση 15% . Πόσα λίτρα βενζίνης καταναλώνει το αυτοκίνητο αυτό για την επιτάχυνσή του;

□ Έργο που παράγεται από τη μηχανή:

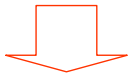
$$W = \Delta K = K_2 - K_1 = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} 1500 \cdot 37^2 = 1026750 \text{ J}$$

□ Ενέργεια που καταναλώνεται: $\varepsilon = \frac{W}{E} = \frac{15}{100} \Rightarrow E = \frac{100}{15} W = 6.85 \times 10^6 \text{ J}$

□ Βενζίνη για επιτάχυνση: $\frac{6.85 \times 10^6}{3.43 \times 10^7} = 0.2 \text{ lt}$

Θερμοδυναμική

S. Carnot: προσπαθούσε να βελτιώσει την απόδοση **θερμικών μηχανών**



Μηχανή που μετατρέπει θερμική ενέργεια σε μηχανικό έργο

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Κλάδος της φυσικής που μελετά:

- μακροσκοπικά συστήματα τα οποία αποτελούνται από μεγάλο πλήθος μορίων
- θερμικές διεργασίες π.χ. μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε θερμότητα και αντίστροφα

Q → θερμότητα που προσφέρεται ή παράγεται → ενέργεια που μεταφέρεται από περιοχή υψηλότερης προς περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας

W → έργο που προσφέρεται σε ή παράγεται από ένα σύστημα (π.χ. ιδανικό αέριο)

ΔU → μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος → άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας των συστατικών του συστήματος → δυναμική + κινητική

$$U = \sum_i U_i + \sum_i K_i$$

Μακροσκοπική θεωρία (δεν επηρεάζεται από την εσωτερική δομή της ύλης)

Θερμική ισορροπία – θερμοδυναμικά συστήματα

Θερμική ισορροπία:

- Δύο σώματα που βρίσκονται σε επαφή και έχουν την ίδια θερμοκρασία βρίσκονται σε θερμική ισορροπία.
- Εάν δύο αντικείμενα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο, τότε βρίσκονται και μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία.

Μηδενικό θερμοδυναμικό αξίωμα

Θερμοδυναμικό σύστημα είναι ένα σύστημα που μπορεί να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον με 2 τρόπους ένας εκ των οποίων είναι η διάδοση θερμότητας

Κλειστό σύστημα

Είναι ένα σύστημα που δεν ανταλλάσσει μάζα αλλά ανταλλάσσει ενέργεια με το περιβάλλον



Μόνο σε κλειστό σύστημα έχει νόημα η θερμική ισορροπία

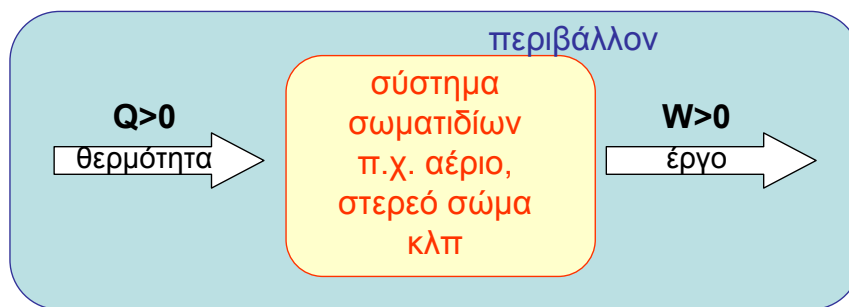
Ανοικτό σύστημα

Είναι ένα σύστημα που ανταλλάσσει μάζα και ενέργεια με το περιβάλλον
π.χ. ζώα (πρόσληψη και αποβολή θρεπτικών συστατικών, νερού, οξυγόνου κλπ)



Σταθερή κατάσταση: ισορροπία μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης συνολικής ενέργειας

1^ο θερμοδυναμικό αξίωμα



Η εσωτερική ενέργεια U του συστήματος μεταβάλλεται → άθροισμα κινητικών και δυναμικών ενεργειών όλων των σωματιδίων του συστήματος

1^ο θερμοδυναμικό αξίωμα = αρχή διατήρησης της ενέργειας

$$Q = \Delta U + W$$

Αν σε ένα σύστημα προσφέρουμε ενέργεια με τη μορφή θερμότητας τότε μέρος της προστιθέμενης ενέργειας παραμένει στο σύστημα αυξάνοντας την εσωτερική του ενέργεια ($U_2 - U_1 > 0$) και το υπόλοιπο εγκαταλείπει το σύστημα καθώς παράγει έργο στο περιβάλλον του.

Μονωμένο σύστημα

Σημαντική ιδιότητα:

Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας U ενός θερμοδυναμικού συστήματος που μεταβαίνει από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 2 είναι ανεξάρτητη του τρόπου μετάβασης

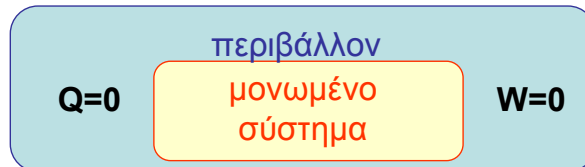
Η U είναι μικροσκοπικό μέγεθος και είναι δύσκολο να υπολογιστεί αλλά είναι καταστατική μεταβλητή.

★ Οι καταστατικές μεταβλητές προσδιορίζουν μια κατάσταση του συστήματος π.χ. για το ιδανικό αέριο P, V, T .

★ Η U για ένα ιδανικό αέριο σχετίζεται με τη θερμοκρασία.

Για κυκλική μεταβολή: $U_2 = U_1 \Rightarrow \Delta U = 0$ άρα $Q = W$

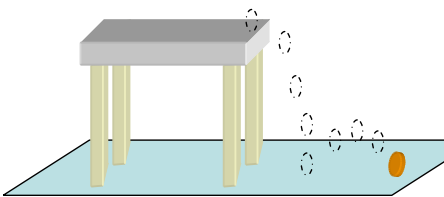
Ένα μονωμένο σύστημα δεν ανταλλάσσει ποσά θερμότητας με το περιβάλλον και δεν προσφέρει έργο σε αυτό



$$\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow U_2 = U_1$$

2° θερμοδυναμικό αξίωμα

Καθορίζει την κατεύθυνση των θερμοδυναμικών μεταβολών.



① Κέρμα ισορροπεί στο τραπέζι → δυναμική ενέργεια

② Κέρμα πέφτει στο δάπεδο → κινητική ενέργεια

③ Κέρμα ισορροπεί στο δάπεδο → η θερμοκρασία του δαπέδου αυξάνει τοπικά

Η ωφέλιμη ενέργεια (κινητική και δυναμική) ξοδεύεται για την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος η οποία όμως δεν μπορεί να μετατραπεί ξανά σε μηχανική ενέργεια

★ Το αντίστροφο (3 → 2 → 1) δεν μπορεί να συμβεί

Υπάρχουν διεργασίες που δεν είναι αντιστρεπτές π.χ. ένα αντικείμενο που σπάει δεν ανασυντίθεται, το νερό που χύνεται από ένα δοχείο δεν επιστρέφει πίσω, ο καπνός του τσιγάρου δεν γυρίζει πίσω.

Η φορά μιας αυθόρμητης διεργασίας είναι από μια κατάσταση μικρότερης σε μια κατάσταση μεγαλύτερης πιθανότητας (αυξημένης αταξίας)

Τάξη και αταξία



- τρία νομίσματα → 8 διαφορετικοί συνδυασμοί κορώνα-γράμματα
→ 8 μικροκαταστάσεις
- πιθανότητα να ξανασυμβεί κάποιος συνδυασμός = $1/8$

← (μικρο) κατάσταση πλήρους τάξης

σε ένα σύστημα με πάρα πολλά σωματίδια (π.χ. 10^{22})
η πιθανότητα πλήρους τάξης είναι μηδαμινή

$$\frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^{1000000000000000000000000}} \rightarrow 0$$

Εντροπία → $S = k_B \ln \Omega$

Ω είναι ο πλήθος των μικροκαταστάσεων που αντιστοιχεί
σε μια μακροκατάσταση

Αριθμός κατάληψης της
μακροκατάστασης 2 κορώνες –
1 γράμματα = 3

Σταθερά του Boltzmann $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$

2^ο θερμοδυναμικό αξίωμα

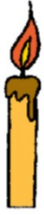
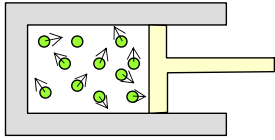
Η αυθόρμητη μεταβολή ενός συστήματος γίνεται από μια κατάσταση μικρότερης πιθανότητας προς μία κατάσταση μεγαλύτερης πιθανότητας.

Η συνολική εντροπία στις μεταβολές ενός απομονωμένου συστήματος πάντα αυξάνεται $\Delta S \geq 0$ (το “=” ισχύει για αντιστρεπτές μεταβολές).

Η συνολική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος ποτέ δεν ελαττώνεται.

Δεν υπάρχει σύστημα που να υφίσταται μια μεταβολή κατά την οποία να απορροφά θερμότητα από μία δεξαμενή σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, να τη μετατρέψει εξ' ολοκλήρου σε μηχανικό έργο και να καταλήγει στην ίδια αρχική του κατάσταση

Θερμότητα & 2^ο θερμοδυναμικό αξίωμα



1 Θερμότητα εισέρχεται στο αέριο

μεταφέρεται ενέργεια από θερμότερο σε ψυχρότερο σώμα → αυξάνεται η κινητική/δονητική ενέργεια των μορίων

ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΣ Ο ΑΚΡΙΒΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

2 Η κινητική ενέργεια των μορίων του αυξάνει

3 Η εσωτερική ενέργεια (U) αυξάνει

4 Τα μόρια με συνιστώσα της ταχύτητάς τους κάθετα στην επιφάνεια του εμβόλου ασκούν σε αυτό δύναμη F

5 Το έμβολο μετακινείται κατά dx και παράγεται έργο (=pdV)

6 Η θερμότητα (Q) μετατράπηκε σε έργο (W)

Αλλά:



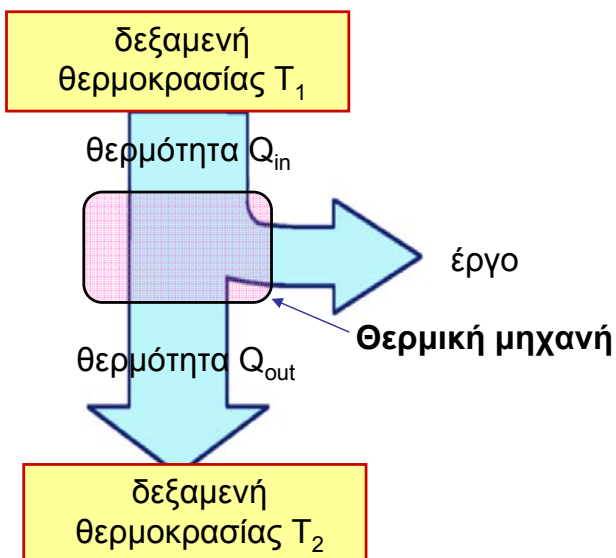
$Q > W$ λόγω της τυχαιότητας της διεύθυνσης των ταχυτήτων

Η θερμότητα ως μορφή ενέργειας χαρακτηρίζεται από τυχαιότητα (π.χ. ταχυτήτων των μορίων ενός αερίου)



Δεν είναι δυνατή η πλήρης μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας

Θερμική μηχανή



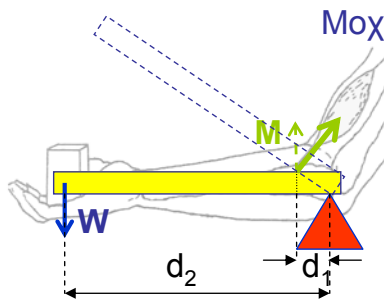
Η θερμότητα μετατρέπεται **μερικώς** σε έργο καθώς ρέει από περιοχή υψηλότερης σε περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας

απόδοση $\rightarrow \varepsilon = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Για να πετύχουμε $Q_{in} = W$ θα πρέπει $T_2 = 0 \rightarrow$ αδύνατο

Το ανθρώπινο σώμα ως μηχανή

Ανθρώπινος σκελετός: σύνολο από μοχλούς που κινούνται με τη βοήθεια μυών (μετατροπή χημικής ενέργειας σε κινητική).



Μοχλός 3ου είδους

$$Wd_2 = Md_1 \Rightarrow \frac{M}{W} = \frac{d_2}{d_1} \gg 1$$

• $M > W$

αλλά

- λεπτά άκρα (μύες κοντά στα οστά)
- μικρή μεταβολή του μήκους του μυός κατά τη συστολή



Τρεις καταστάσεις του μυός

- 1 Συστολή μυός → παραγωγή έργου από τον μυ (ενέργεια πρέπει να παρέχεται σ' αυτόν)
- 2 Διατήρηση του μήκους του (π.χ. όταν κρατάμε ένα αντικείμενο στο χέρι) → παρόλο που δεν παράγεται έργο καταναλώνεται ενέργεια
- 3 Επιμήκυνση του μυός (προκαλείται από κάποια εξωτερική δύναμη) → μικρότερη κατανάλωση ενέργειας

Το ανθρώπινο σώμα ως θερμική μηχανή



Έστω άνθρωπος τελείως μονωμένος σε ακινησία → ΔQ με το περιβάλλον = 0 και $W=0$

Μπορεί να ζήσει χωρίς παροχή ενέργειας;

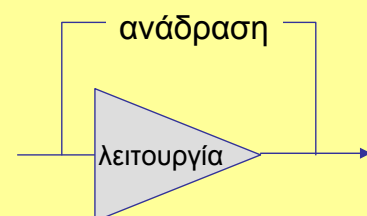
2^ο θερμοδυναμικό αξίωμα

ΟΧΙ

- Το σώμα είναι ένα εξαιρετικά τακτοποιημένο σύστημα
- Πρωτεΐνες κλπ βιομόρια έχουν συγκεκριμένη & πολύπλοκη δομή και λειτουργία
- Η λειτουργία των κυττάρων είναι εξειδικευμένη

Ένα τακτοποιημένο σύστημα αν αφηθεί ελεύθερο μεταβαίνει σε μια λιγότερο τακτοποιημένη κατάσταση → αύξηση αταξίας

- «Τριβή» του αίματος στις φλέβες → θερμότητα
- Συγκέντρωση μεταλλικών στοιχείων στα κύτταρα → εξισορρόπηση με το περιβάλλον
- Τα κύτταρα που πεθαίνουν πρέπει να αναπληρωθούν → σύνθεση μορίων και κυττάρων από μικρότερα συστατικά



Έλεγχος με αρνητική ανάδραση → **ομοιόσταση**

Ιδιότητα του σώματος να διατηρεί σταθερότητα

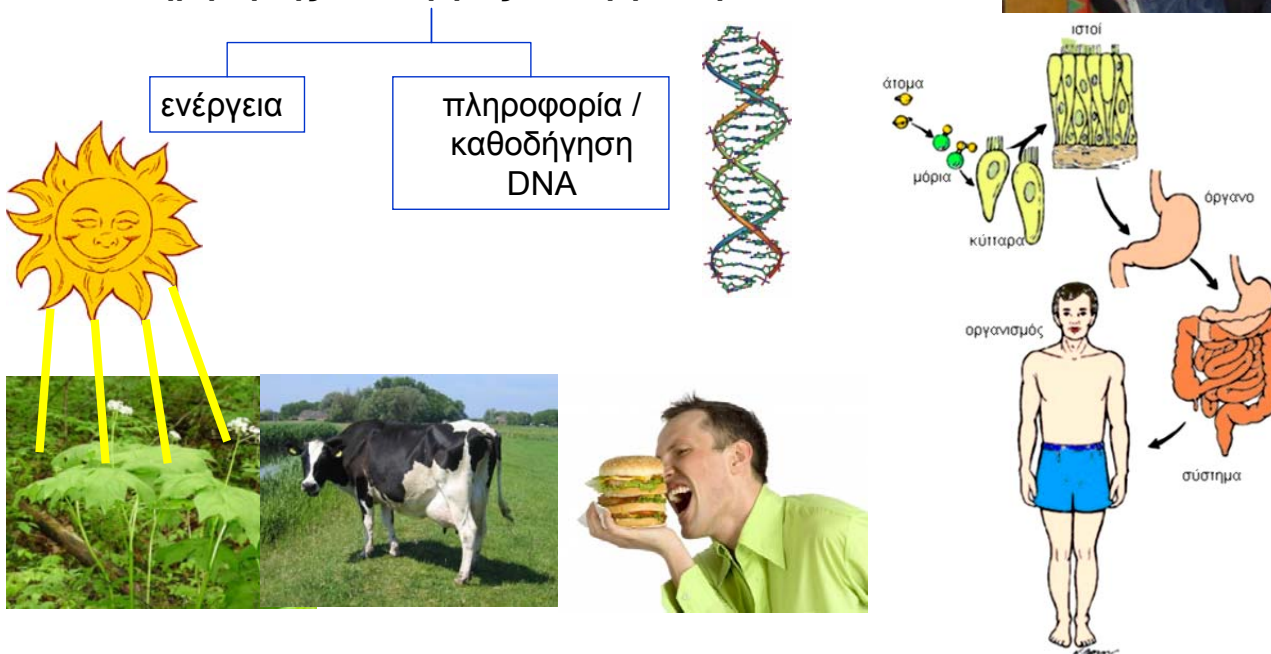
- σταθερή θερμοκρασία
- ποσότητα γλυκόζης στο αίμα κ.α.

Το ανθρώπινο σώμα ως θερμική μηχανή

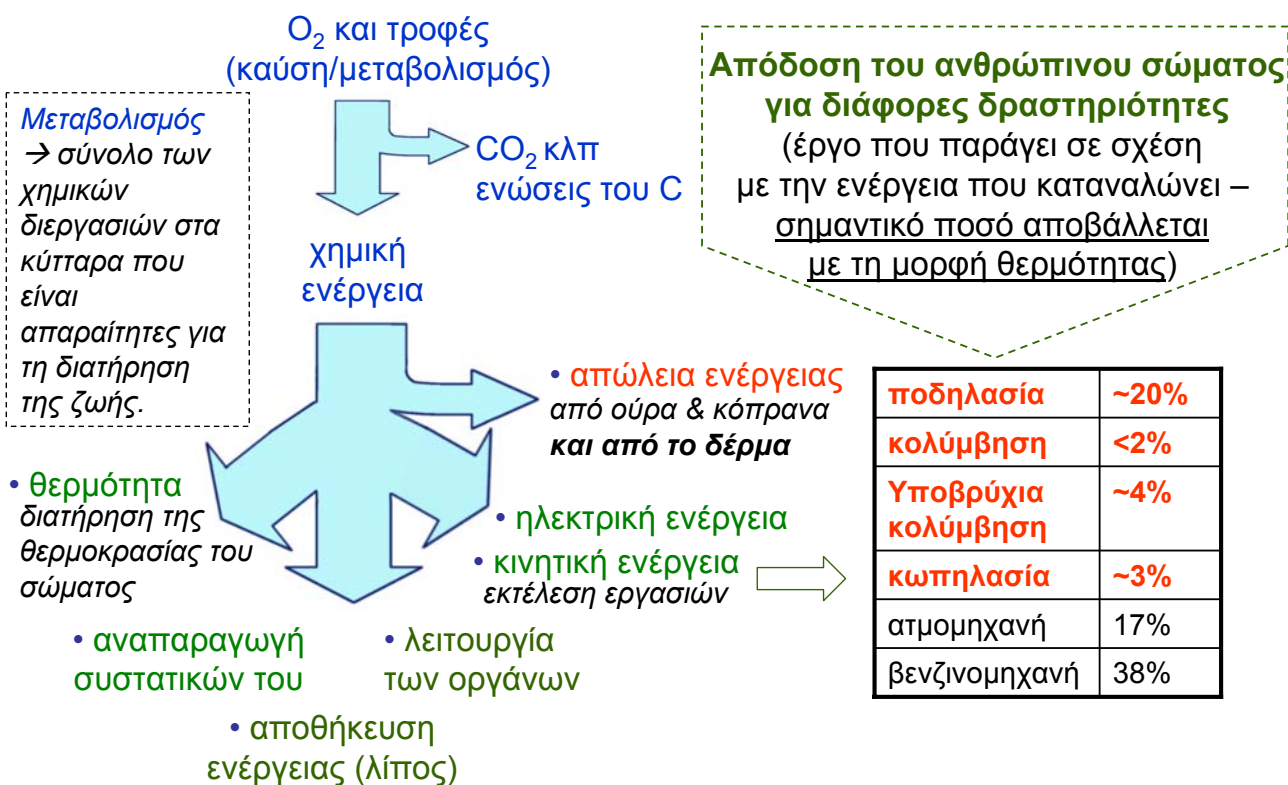
Για να τακτοποιηθεί ένα δωμάτιο εκτός από ενέργεια απαιτείται και καθοδήγηση



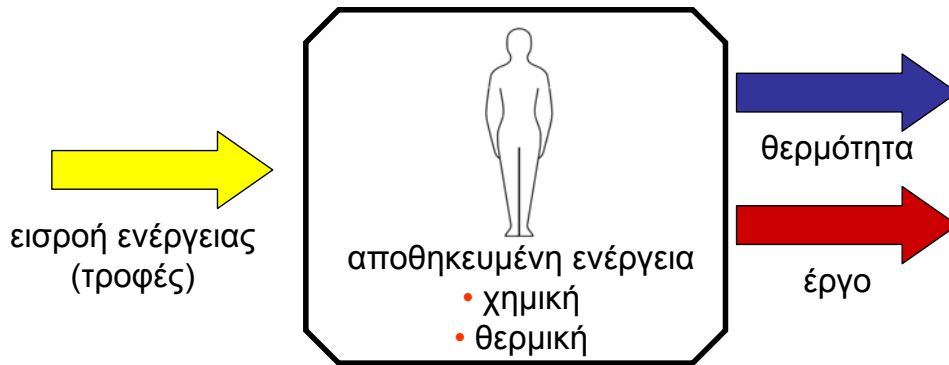
Διατήρηση της λειτουργίας του οργανισμού



Το ανθρώπινο σώμα ως θερμική μηχανή



Το ανθρώπινο σώμα ως θερμική μηχανή



Για σταθερή (εσωτερική) θερμοκρασία σώματος και σταθερή μάζα σώματος
 → χημική & θερμική ενέργεια = σταθερή

ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΩΜΑ



Ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπινου σώματος

Ενέργεια: απαραίτητη για τις λειτουργίες των ζωντανών οργανισμών

- κυκλοφορία αίματος
- μεταφορά οξυγόνου
- επιδιόρθωση κυττάρων κ.α.

για άνδρα 70 κιλών **σε ηρεμία** → 70 Cal την ώρα

1000cal = 1Cal ← διατροφική θερμίδα

1cal = 4.18J

1Cal/h = 1.16W

1cal = ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία 1gr νερού κατά 1°C

Οι ενεργειακές ανάγκες του ατόμου εξαρτώνται από τη **μάζα** του και την **κατασκευή** του

αλλά

$\frac{\text{ενέργεια που καταναλώνεται}^*}{\text{επιφάνεια σώματος}} = \sim \text{ίδια για όλους τους ανθρώπους}$

* για συγκεκριμένη δραστηριότητα

Ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπινου σώματος

$$\frac{\text{ενέργεια που καταναλώνεται}}{\text{επιφάνεια σώματος} \times \text{χρονικό διάστημα}}$$



ρυθμός μεταβολισμού

$$1\text{Cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

**ξάπλωμα=βασικός
ρυθμός μεταβολισμού**

ύπνος

$$35\text{Cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$40\text{Cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

όρθια στάση

$$60\text{Cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

περπάτημα

$$140\text{Cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

τρέξιμο

$$600\text{Cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Εμπειρικός τύπος υπολογισμού του εμβαδού του σώματος

$$A(\text{m}^2) = 0.202 \times W^{0.425} \times H^{0.725}$$

\downarrow \downarrow
 βάρος (kgr) ύψος (m)

$$W=70\text{kg}$$

$$H=1.55\text{m}$$



$$A=1.70\text{m}^2$$

$$40 \times 1.70 = 68 \approx$$

$$70\text{Cal} / \text{h}$$

βασικός
μεταβολισμός

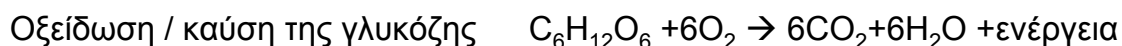
Εμπειρικοί τύποι υπολογισμού του βασικού ρυθμού μεταβολισμού (BMR) – απόλυτη ηρεμία

Ανδρες $\text{BMR}[\text{Cal} / \text{day}] = 66.47 + 13.75M[\text{kg}] + 5.00H[\text{cm}] - 6.76Y[\text{years}]$

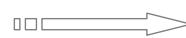
Γυναίκες $\text{BMR}[\text{Cal} / \text{day}] = 655.09 + 9.56M[\text{kg}] + 1.85H[\text{cm}] - 4.67Y[\text{years}]$

Ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπινου σώματος

Η ενέργεια προέρχεται από την καύση των τροφών



1gr



3.81Cal

- Για την οξειδωση των τροφών είναι απαραίτητη η δράση ενζύμων (βιο-καταλύτες)
- Το ποσό ενέργειας που παράγεται από την οξειδωση είναι διαφορετικό για διάφορα τρόφιμα (λίπη: 9Cal/gr, υδατάνθρακες: 4 Cal/gr, αλκοόλ: 7Cal/gr κλπ)
- Για κάθε λίτρο οξυγόνου που καταναλώνεται κατά την καύση παράγεται ενέργεια 4.83 Cal ($\sim 2 \times 10^4 \text{J}$).

Από την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται υπολογίζεται ο ρυθμός μεταβολισμού για διάφορες δραστηριότητες.

Έργο και ενέργεια

ΕΡΓΟΜΕΤΡΟ:

Προσδιορισμός του εξωτερικού έργου που παράγεται και της ενέργειας που καταναλώνεται

σταθερό ποδήλατο με μεταβαλλόμενη τριβή (δυνατότητα επιλογής της αντίστασης)

οξυγόνο που καταναλώνεται (20 kJ ή 4.83 Cal ανά 1lt O₂ που καταναλώνεται)



Παράδειγμα

Για 1 min ποδηλασία καταναλώνεται 1.45 lt O₂

→ Ρυθμός μεταβολισμού =
= 1.45lt × 2 × 10⁴ = 483 J/s =
= 416 Cal/h

1 cal = 4.18 J
1 min = 60 sec
1lt O₂ → 20 kJ
1lt O₂ → 4.83 Cal

Ρυθμός μεταβολισμού

Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό μεταβολισμού

○ Επιφάνεια του σώματος

P1 (1kg, 80Cal/day) P2 (10kg, 450Cal/day)

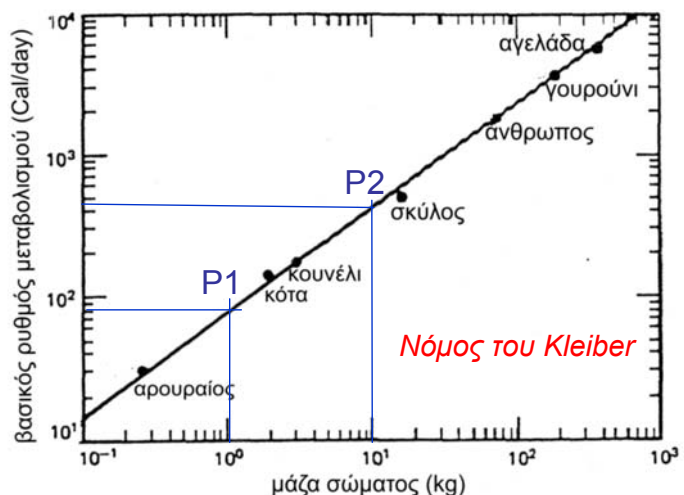
$$\kappa\lambda\iota\sigma\eta = \frac{\log 450 - \log 80}{\log 10 - \log 1} = 0.75 = \frac{3}{4} \Rightarrow \log \text{BMR} = A + \frac{3}{4} \log m \Rightarrow \text{BMR} = A' \cdot m^{\frac{3}{4}}$$

Βασικός ρυθμός μεταβολισμού ∝ επιφάνειας σώματος (s)

επιφάνεια σώματος (s) ∝ L²

μάζα σώματος (m) ∝ L³

$$\left. \begin{array}{l} L \propto m^{\frac{1}{3}} \\ s \propto m^{\frac{2}{3}} \end{array} \right\}$$



Ρυθμός μεταβολισμού

Παράγοντες που επηρεάζουν
το ρυθμό μεταβολισμού

○ Λειτουργία θυρεοειδούς

Υπερθυρεοειδισμός = αύξηση BMR

○ Θερμοκρασία

Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1° C → αύξηση του BMR κατά 10%

π.χ. πυρετός

Ελάττωση της θερμοκρασίας κατά 3° C → ελάττωση του BMR κατά 30%
→ ελάττωση της απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου

Χειμερία νάρκη

Ενεργειακό ισοζύγιο

Ενεργειακές ανάγκες κατά τη διάρκεια της ημέρας

δραστηριότητα	ενεργειακή δαπάνη (Cal/m ²)
8 ωρ. ύπνος	280
8 ωρ. εργασία	1200
4 ωρ. διάβασμα, TV	240
1 ωρ. βαριά εργασία	300
3 ωρ. ντύσιμο, φαγητό	300
σύνολο	2320

Ενεργειακό περιεχόμενο τροφών

τροφή	μάζα (gr)	Ενέργεια (Cal)
Πλήρες γάλα	976	660
1 αυγό	50	75
1 χάμπουργκερ	85	245
1 κούπα καρότα	150	45
1 μεσαία πατάτα ψημένη	100	100
Μήλο	130	70
1 φέτα ψωμί	23	55
Ντόνατ	33	135

Ο οργανισμός δεν έχει μηχανισμούς αποβολής των περιττών θερμίδων

Ενεργειακό ισοζύγιο

- Το σώμα βρίσκεται σε σταθερή θερμοκρασία → διαθέσιμη ενέργεια από κατανάλωση τροφής και αποθηκευμένο λίπος.

φυσιολογικό βάρος
BMI=18.5-25



BMI = body mass index

$$BMI = \frac{\text{μάζα [kg]}}{(\text{ύψος [m]})^2}$$

- Περιττή ενέργεια + εργασία → ο οργανισμός «χτίζει» μύες & αποθηκεύει λίπος
- Έλλειμμα ενέργειας → ο οργανισμός «καταναλώνει» δικούς του ιστούς (1gr λίπους ανά 9Cal έλλειμμα ενέργειας).

Μετά από παρατεταμένη ασιτία ο οργανισμός καταναλώνει ιστούς (1gr/4Cal).

Μηχανισμοί ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος

Γενικά οι ρυθμοί μεταβολισμού (διαίρεση κυττάρων, λειτουργία ενζύμων) αυξάνουν με τη θερμοκρασία

- Ο άνθρωπος και άλλα θερμόαιμα ζώα διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή.

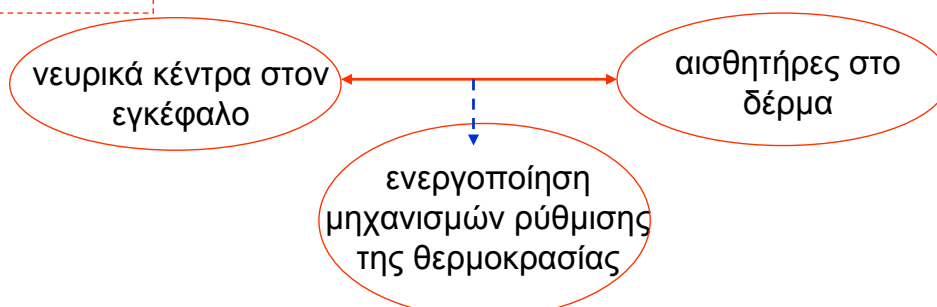
37° C

Θ=44° C

Οι πρωτεΐνες που επιτελούν λειτουργίες καταστρέφονται

Θ=28° C

Η καρδιά σταματάει



Μέγιστη απόδοση μυών στην εργασία: ~20%
⇒ ~80% της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα στο σώμα

Μηχανισμοί ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος



κατανάλωση ενέργειας στο περπάτημα

$$140\text{Cal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

×

άνθρωπος
H=1.70 & W=70

$$A = 1.7\text{m}^2$$

=

$$\sim 240\text{Cal}/\text{h}$$

80%

$$190\text{Cal}/\text{h}$$

θερμότητα στο σώμα



αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά $\sim 3^\circ\text{C}/\text{h}$

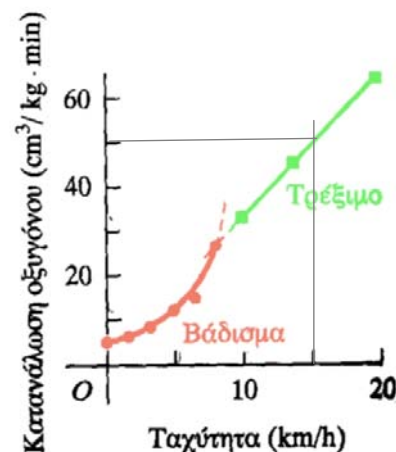


Μηχανισμοί ελέγχου θερμοκρασίας

- μικρή απώλεια λόγω αγωγής (ιστοί \rightarrow όχι πολύ καλοί αγωγοί).
- εφίδρωση
- σημαντική απώλεια μέσω της κυκλοφορίας του αίματος
- σημαντικότεροι μηχανισμοί: μεταφορά, ακτινοβολία, εξάτμιση (βλ. σημειώσεις Ε. Κ. Παλούρα)

Άσκηση

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου για άνδρες που βαδίζουν ή τρέχουν δίνεται στο διπλανό σχήμα. Ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τον όγκο του O_2 που καταναλώνεται ανά kg μάζας σώματος και λεπτό. Αν για κάθε $1\text{cm}^3 \text{O}_2$ που μεταβολίζεται αποδεσμεύονται 20J ενέργειας να βρεθεί η ενέργεια που καταναλώνεται για να καλύψει ένας άνδρας 70kg απόσταση 1km με τα πόδια για $v = (\alpha) 5\text{km}/\text{h}$, $(\beta) 10\text{km}/\text{h}$, $(\gamma) 15\text{km}/\text{h}$



v (km/h)	t (min)	VO_2 ($\text{cm}^3/\text{kg}\cdot\text{min}$)	VO_2 (cm^3)	E (J)
5	$s/v=1/5\text{h}=12\text{min}$	12	$12 \times 70 \times 12 = 10080$	$10080 \times 20 = 2.0 \times 10^5$
10	$1/10\text{h}=6\text{min}$	32	$32 \times 70 \times 6 = 13440$	$13440 \times 20 = 2.7 \times 10^5$
15	$1/15\text{h}=4\text{min}$	50	$50 \times 70 \times 4 = 14000$	$14000 \times 20 = 2.8 \times 10^5$

* μικρότερη κατανάλωση ενέργειας

Άσκηση

Πόσο μπορεί να ζήσει ένας άνθρωπος με επιφάνεια σώματος 1.70m^2 σε αεροστεγές δωμάτιο όγκου 27m^3 ;

- Βασικός ρυθμός μεταβολισμού για άνθρωπο σε ηρεμία = $40\text{ Cal/m}^2\cdot\text{h}$
- Δηλαδή $(40\text{ Cal/m}^2\cdot\text{h})\times(1.70\text{m}^2)= 68\text{ Cal/h}$
- Όγκος αέρα που περιέχεται στο δωμάτιο = $27\text{m}^3 = 27\times 10^6\text{cm}^3 = 27\times 10^3\text{lt}$
- Όγκος O_2 που περιέχεται στο δωμάτιο = $0.2 \times 27 \times 10^3\text{ lt} = 5400\text{ lt}$
- Για 4.83 Cal ενέργειας που παράγονται καταναλώνεται 1lt O_2
- Με την κατανάλωση όλου του O_2 παράγονται $5400\times 4.83=26082\text{ Cal}$
- Δηλαδή $(26082\text{ Cal})/(68\text{ Cal/h})= 383\text{ h}$

Άσκηση

Υποθέστε ότι ένας άνθρωπος βάρους (μάζας) 60kg και ύψους 1.40m κοιμάται 1 ώρα τη μέρα λιγότερο προκειμένου να διαβάσει καθιστός. Αν η παροχή τροφής είναι ίδια πόσο βάρος θα χάσει σε 1 έτος; (ύπνος $\rightarrow 35\text{ Cal/m}^2\cdot\text{h}$, καθιστή θέση $\rightarrow 50\text{ Cal/m}^2\cdot\text{h}$)

- Επιφάνεια σώματος: $A(\text{m}^2) = 0.202 \times W^{0.425} \times H^{0.725} \Rightarrow$
 $\Rightarrow A = 0.202 \times 60^{0.425} \times 1.4^{0.725} = 1.47\text{m}^2$
- Διαφορά ενέργειας από την αλλαγή στάσης = $50-35=15\text{ Cal/m}^2\cdot\text{h}$
ή $(15\text{ Cal/m}^2\cdot\text{h})\times(1.47\text{ m}^2) = 22\text{ Cal/h}$ ή 22 Cal τη μέρα
- Κατά την καύση 1gr αποθηκευμένου λίπους αποδίδονται 9 Cal
- Δηλαδή κάθε μέρα «καίγονται» $22/9=2.45\text{ gr}$ λίπους
- Σε 1 χρόνο καίγονται $365\times 2.45=894\text{ gr} \sim 0.9\text{kg}$