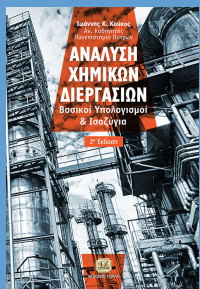




Ισοζύγια μάζας και ενέργειας 4^ο Εξαμ. ΤΧΜ ΔΜΠ 2022/23

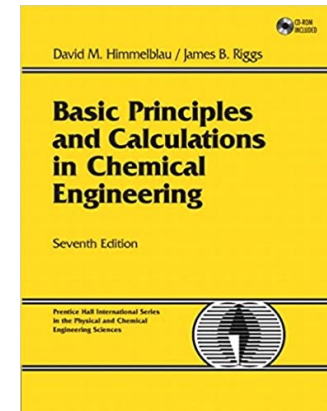
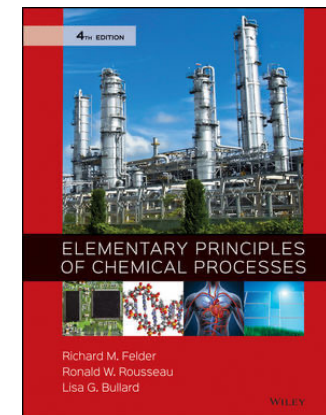
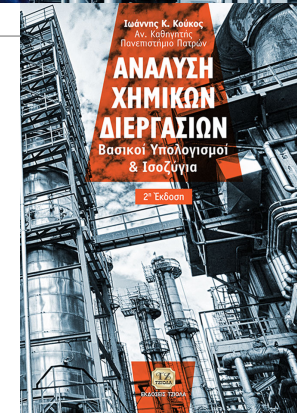
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΚΟΥΚΟΣ – ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΜΑΘΗΜΑ 1: ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΙ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

- Εβδ. 1 Εισαγωγή στο μάθημα, συστήματα μονάδων συμβάσεις.
- Εβδ. 2 Διεργασίες και μεταβλητές
- Εβδ. 3-4 Βασικά Ισοζύγια μάζας & ανάλυση βαθμών ελευθερίας
- Εβδ. 5-6 Μονοφασικά και πολυφασικά συστήματα
- Εβδ. 7 Ισοζύγια ενέργειας
- Εβδ. 8-9 Ισοζύγια σε διεργασίες χωρίς αντίδραση
- Εβδ. 10-11 Ισοζύγια σε διεργασίες με αντίδραση
- Εβδ. 12 Ισοζύγια ενέργειας σε μη μόνιμη κατάσταση
- Εβδ. 13 Επανάληψη - απορίες



ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ



Διδασκαλία μαθήματος

Τρίτη 09:00 – 11:00 &

Παρασκευή 12:00 – 14:00

Eclass: <https://eclass.uowm.gr/courses/CHEMENG313/>

Αξιολόγηση Φοιτητών

Τελικό διαγώνισμα

Προσωπικές εργασίες

Κύριοι στόχοι μαθήματος



Στόχος του μαθήματος είναι η συστηματική ανασκόπηση σε θέματα διαμόρφωσης και επίλυσης προβλημάτων με ισοζύγια μάζας και ενέργειας.

Συνοπτικά επιμέρους στόχοι είναι:

- Η κατανόηση θεμελιωδών αρχών και τεχνικών της χημικής μηχανικής.
- Κατανόηση διαγραμμάτων ροής απλών και σύνθετων διεργασιών/συστημάτων.
- Δυνατότητα κατάστρωσης εξισώσεων που διέπουν μια διεργασία σε μόνιμη και μη μόνιμη κατάσταση.
- Εμβάθυνση σε ισοζύγια μάζας και ενέργειας σε απλές φυσικές ή/και χημικές διεργασίες.

Κύριοι στόχοι μαθήματος



	Περιγραφή
1	Εισαγωγή: εισαγωγικές έννοιες, μονάδες, μετατροπή
2	Ισοζύγια μάζας: με ή χωρίς αντίδραση
3	Ιδανικά και πραγματικά αέρια/ ισορροπία πολυφασικών μιγμάτων
4	Ισοζύγια Ενέργειας
5	Ψυχομετρία
6	Ανάλυση Βαθμών Ελευθερίας
7	Μη μόνιμη κατάσταση

Κύριοι στόχοι μαθήματος

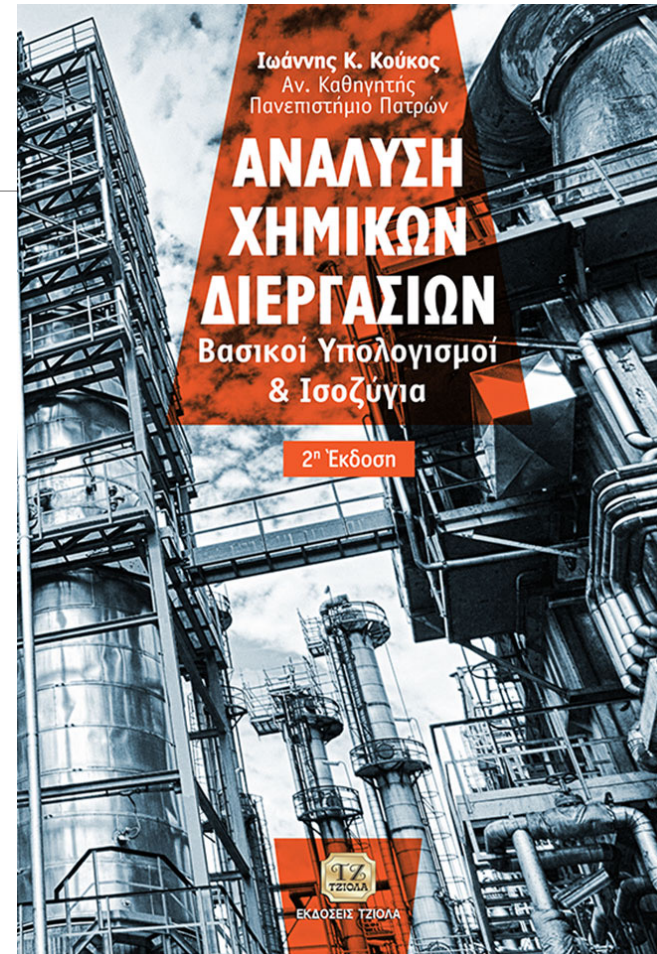


Ο Χημικός Μηχανικός (ή μηχανικός διεργασιών) εφαρμόζει τις αρχές των χημικών, φυσικών, μαθηματικών, οικονομικών και τεχνικών επιστημών, σε πεδία που ανάγονται σε διεργασίες ροής των υλικών, μετασχηματισμού της ύλης και εγκαταστάσεις διεξαγωγής διεργασιών όπου η ύλη υποβάλλεται σε κατεργασία ή επεξεργασία κατά τον ωφελιμότερο τρόπο από κάθε άποψη (τεχνική, οικονομική, κοινωνική).

Έργο του Χημικού Μηχανικού στην πράξη είναι η έρευνα - ανάπτυξη - βελτίωση προϊόντων, μεθόδων και εγκαταστάσεων, η μελέτη - κατασκευή - λειτουργία - τεχνική εξυπηρέτηση χημικών εγκαταστάσεων, και ο σχεδιασμός - παραγωγή - έλεγχος - διάθεση - εφαρμογές των παραγόμενων προϊόντων και υλικών.

<https://www.chemeng.ntua.gr>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



- **Ανοικτό Σύστημα:** Υπάρχει είσοδος ή έξοδος (ροή) μάζας και ενέργειας από αυτό.



Είσοδος

Έξοδος

- **Απομονωμένο Σύστημα:** Δεν υπάρχει ανταλλαγή μάζας και ενέργειας με το περιβάλλον.

- **Κλειστό Σύστημα:** Δεν υπάρχει είσοδος ή έξοδος μάζας από αυτό, μπορεί να υπάρχει περιορισμένη ανταλλαγή ενέργειας.

- **Αδιαβατικό Σύστημα:** Δεν υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.



ΙΔΙΟΤΗΤΑ



Ιδιότητα: Ένα χαρακτηριστικό του υλικού που μπορεί να μετρηθεί ή να υπολογιστεί

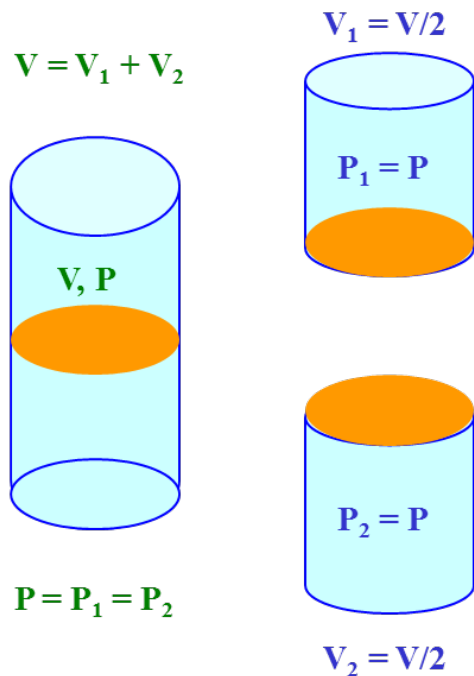
- Εκτατικές: Οι ιδιότητες που εξαρτώνται από την έκταση ή την ποσότητα του συστήματος. Η τιμή της είναι το άθροισμα όλων των υποσυστημάτων που την αποτελούν πχ ο **όγκος** είναι το άθροισμα των επιμέρους όγκων το ίδιο και η **μάζα**.
- Εντατικές: Οι ιδιότητες που είναι ανεξάρτητες από την έκταση ή την ποσότητα του συστήματος. Η τιμή της δεν είναι προσθετική και δεν αλλάζει με την ποσότητα του υλικού στο σύστημα πχ **πίεση, θερμοκρασία, πυκνότητα**.

Εντατικές Ιδιότητες είναι επίσης όλες εκείνες που ορίζονται ανά μονάδα μάζας ή όγκου:

Πυκνότητα : $\rho = M/V \text{ kg/m}^3$

Θερμοχωρητικότητα: $\text{cal/g} \cdot \text{K}$

ΕΝΤΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ



Ας θεωρήσουμε ένα σώμα όγκου V και πίεσης P . Αν το διαιρέσουμε στη μέση τότε ο όγκος του κάθε τμήματος που θα προκύψει θα είναι αντίστοιχα:

$$V_1 = V/2 \text{ και } V_2 = V/2$$

ο όγκος του κάθε τμήματος που θα προκύψει θα είναι αντίστοιχα:

$$P_1 = P \text{ και } P_2 = P$$

Τι ιδιότητα είναι:

Η συγκέντρωση :

Το ιξώδες:

Η θερμική αγωγιμότητα:

Η ενέργεια:

Η ενέργεια ανά kg πετρελαίου:

ΠΙΕΣΗ (P)



Πίεση

$$P = \text{Δύναμη/Επιφάνεια} = F/A$$

Metric unit MKS: Bar (bar)

English unit: atmosphere (atm)

cgs: Pascal (Pa)

Μετατροπές

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} = 10^5 \text{ N m}^{-2}$$

$$= 10^5 \text{ Pa} = 10^2 \text{ kPa}$$

$$= 10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$$

$$= 0.986 \text{ atm} = 14.504 \text{ psia} = 750 \text{ torr}$$



$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

1 atm = pressure exerted by the air at
see level

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psia}$$

1 psia = 1 pound per square inch
absolute

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (T)



Θερμοκρασία

Metric unit: Kelvin (K)

English unit: Rankine (R)

Μετατροπές

$$T (K) = T(^{\circ}C) + 273 = T(R)/1.8$$

$$T (R) = T(^{\circ}F) + 460$$

$$T (^{\circ}F) = 1.8 T(^{\circ}C) + 32$$



Ερώτηση: Ποια είναι η σωστή γραφή;

- | | | | | | |
|----------------|-----------------|------------------|------------------|---------------|---------------|
| 1. kmole/sec | 9. Kmole/sec | 17. kmole/secs | 25. Kmole/secs | 33. kmole/s | 41. Kmole/s |
| 2. k-mole/sec | 10. K-mole/sec | 18. k-mole/secs | 26. K-mole/secs | 34. k-mole/s | 42. K-mole/s |
| 3. kgmol/sec | 11. Kgmol/sec | 19. kgmol/secs | 27. Kgmol/secs | 35. kgmol/s | 43. Kgmol/s |
| 4. kg-mol/sec | 12. Kg-mol/sec | 20. kg-mol/secs | 28. Kg-mol/secs | 36. kg-mol/s | 44. Kg-mol/s |
| 5. kmols/sec | 13. Kmols/sec | 21. kmols/secs | 29. Kmols/secs | 37. kmols/s | 45. Kmols/s |
| 6. k-mols/sec | 14. K-mols/sec | 22. k-mols/secs | 30. K-mols/secs | 38. k-mols/s | 46. K-mols/s |
| 7. kgmols/sec | 15. Kgmols/sec | 23. kgmols/secs | 31. Kgmols/secs | 39. kgmols/s | 47. Kgmols/s |
| 8. kg-mols/sec | 16. Kg-mols/sec | 24. kg-mols/secs | 32. Kg-mols/secs | 40. kg-mols/s | 48. Kg-mols/s |

Νόμου Ν.Δ. 3957, 30 Ιουνίου 1959 «Περί εισαγωγῆς ἐν Ἑλλάδι τοῦ Διεθνoῦς Συστήματος Μέτρων καὶ Σταθμῶν» ὅπου αναφέρεται ὅτι «Ἀπὸ 1ης Ἀπριλίου 1959» εἶναι σε ἰσχὺ τὸ Ἄρθρο 4 του ἐν λόγῳ νόμου

Ἄρθρον 4.

Χρῆσις νομίμων μέτρων καὶ σταθμῶν.

1. Ἀπὸ τῆς ὑποχρεωτικῆς κατὰ τὰ ἄνω ἰσχύος ἐκάστης τῶν μετρικῶν ἢ σταθμικῶν μονάδων τοῦ διεθνoῦς μετρικοῦ συστήματος ὑποχρεοῦνται ἅπαντες οἱ συναλλασσόμενοι εἰς ἅπασας τὰς συναλλαγὰς αὐτῶν καὶ τὰ ὑπ' αὐτῶν συντασσόμενα ἔγγραφα, ὡς καὶ ἅπαντες οἱ ἀσχοῦντες δημοσίαν ὑπηρεσίαν λειτουργοὶ νὰ ποιῶνται ἀποκλειστικῶς χρῆσιν τῶν κατὰ τὰ ἄνω νομίμων μονάδων τοῦ διεθνoῦς μετρικοῦ συστήματος.

Ἄρθρον 13.

Ποινικαὶ διατάξεις.

1. Οἱ παραβάται τῶν διατάξεων τοῦ ἄρθρου 4 τοῦ παρόντος νόμου τιμωροῦνται διὰ προστίμου 500—2.000 μεταλλικῶν δραχμῶν.

2. Ὅστις ἐξακολουθεῖ νὰ μεταχειρίζεται παλαιὰ μέτρα καὶ σταθμὰ καὶ ὄργανα μετρήσεως καὶ ζυγίσεως μετὰ τὴν ἐναρξιν τῆς ἐφαρμογῆς τοῦ διεθνoῦς μετρικοῦ συστήματος ἢ ἀνακριβῆ τοιαῦτα, τιμωρεῖται διὰ κρατήσεως μέχρι 10 ἡμερῶν ἢ διὰ προστίμου μέχρι 15.000 μεταλλικῶν δραχμῶν.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥ SI



Πίνακας 1.3. Θεμελιώδεις μονάδες του SI.

Θεμελιώδης μονάδες του SI		
Θεμελιώδης ποσότητα	Όνομα	Σύμβολο
Μήκος	meter	m
Μάζα	kilogram	kg
Χρόνος	second	s
Ηλεκτρικό ρεύμα	ampere	A
Θερμοκρασία	kelvin	K
Ποσότητα ουσίας	mole	mol
Ένταση φωτεινότητας	candela	cd



ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ



Πίνακας 1.4. Παραδείγματα από παράγωγες μονάδες του SI.

Παραγόμενη ποσότητα	Όνομα	Σύμβολο	Έκφραση σε άλλες μονάδες SI	Έκφραση σε θεμελιώδεις μονάδες SI
Δύναμη	newton	N		$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Πίεση, τάση	pascal	Pa	N/m^2	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\text{s}^{-2}$
Ενέργεια, έργο, θερμότητα	joule	J	$\text{N}\cdot\text{m}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\text{s}^{-2}$
Ισχύς	watt	W	J/s	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\text{s}^{-3}$
Δυναμικό ιξώδες		Pa·s		$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$
Θερμοκρασία			$^{\circ}\text{C}$	K
Ροή θερμότητας			W/m^2	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$
Ειδική θερμοχωρητικότητα			$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$\text{m}^2\text{s}^{-2}\text{K}^{-1}$
Ειδική ενέργεια			J/kg	m^2s^{-2}
Θερμική αγωγιμότητα			$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-3}\text{K}^{-1}$
Πυκνότητα			kg/m^3	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Συγκέντρωση			mol/m^3	
Ειδικός όγκος			m^3/kg	kg^{-1}m^3
Ταχύτητα			m/s	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

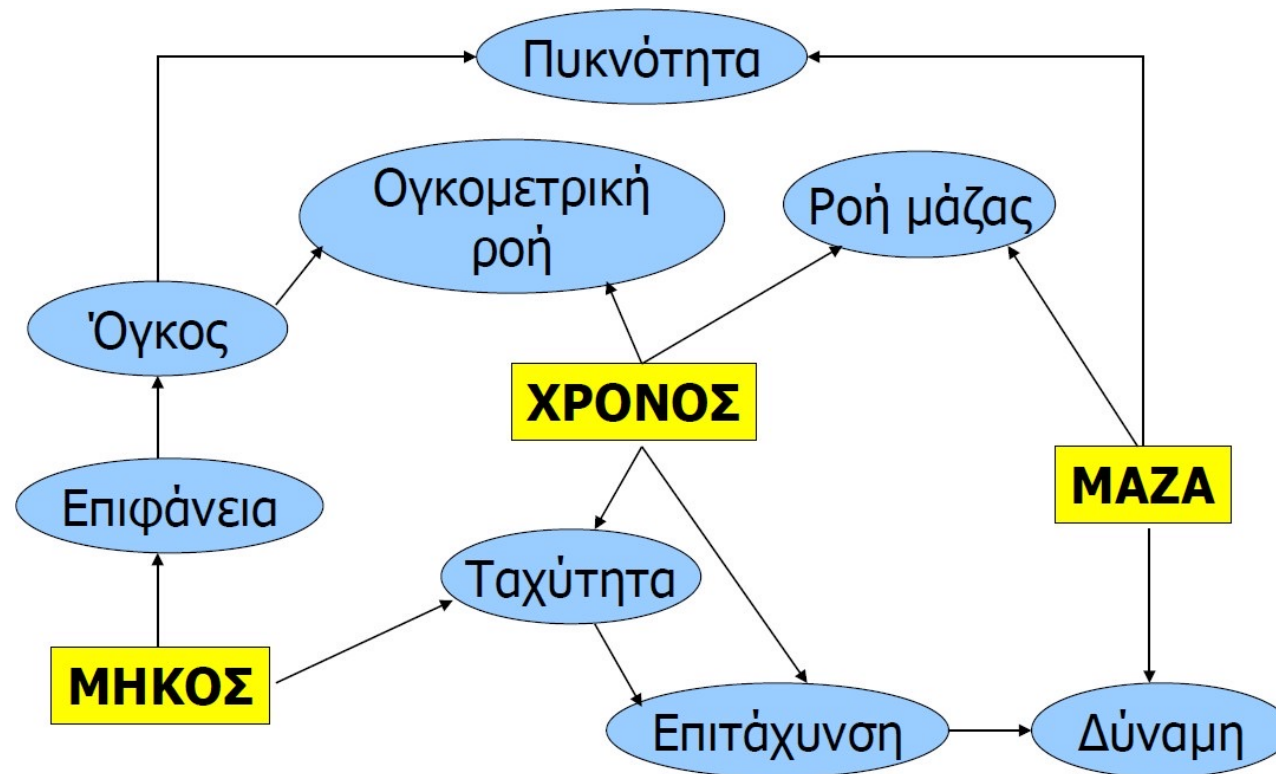
$$\vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}$$

$$P = \vec{F} / \vec{A}$$

$$w = \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

Διεθνές όνομα	Σύμβολο	Ελληνικά	Πολ/στής	Διεθνές όνομα	Σύμβολο	Ελληνικά	Πολ/στής
Πολλαπλάσια				Υποπολλαπλάσια			
yotta	Y	γιοττα	10^{24}	deci	d	δεκατο	10^{-1}
zetta	Z	ζεττα	10^{21}	centi	c	εκατοστο	10^{-2}
exa	E	εξα	10^{18}	milli	m	χιλιοστο	10^{-3}
peta	P	πετα	10^{15}	micro	μ	μικρο	10^{-6}
tera	T	τερα	10^{12}	nano	n	νανο	10^{-9}
giga	G	γιγα	10^9	pico	p	πικο	10^{-12}
mega	M	μεγα	10^6	femto	f	φεμτο	10^{-15}
kilo	k	χιλιο	10^3	atto	a	απτο	10^{-18}
hecto	h	εκατο	10^2	zepto	z	ζεπτο	10^{-21}
deca	da	δεκα	10^1	yocto	y	γιοκτο	10^{-24}

ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ



Διάσταση	SI	CGS	UK	US
Μήκος	m	Cm	ft	ft
Μάζα	kg	g	slug	lbm
Χρόνος	s	s	s	s
Δύναμη	N	dyn	lbw	lbf
Ενέργεια	J	erg, J, cal	BTU	BTU

ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥ SI



Κατά τη γραφή των μονάδων δεν χρησιμοποιούνται *πλάγια (italics)* ή **έντονη (bold)** γραφή.

Οι μονάδες γράφονται με μικρούς (πεζούς) χαρακτήρες εκτός εάν η μονάδα προκύπτει από κύριο όνομα (όνομα ενός προσώπου) (π.χ. W - Watt, J - Joule, K - Kelvin). Η μόνη εξαίρεση είναι το λίτρο το οποίο γράφεται με κεφαλαίο γράμμα (L) για να αποφευχθεί η σύγχυση με τον αριθμό 1. (1 l ή 1 L)

Οι μονάδες ακολουθούν την αριθμητική τιμή και χωρίζονται από αυτή με κενό (32.2 W και όχι 32.2W, 10 °C και όχι 10°C).

Όταν οι μονάδες ενός μεγέθους αποτελούνται από πολλές μονάδες του SI αυτές θα πρέπει να χωρίζονται με κενό ή τελεία (Pa s ή Pa·s αλλά όχι Pas, m N ή m·N αλλά όχι mN).

Μεταξύ προθέματος και μονάδας δεν παρεμβάλλεται κενό ή τελεία (kW και όχι k W, MJ και όχι M J).

Εάν οι μονάδες μιας ποσότητας σχηματίζονται από το λόγο μονάδων του SI θα πρέπει να ακολουθείται η καλή πρακτική που φαίνεται στο Πίνακα 1.4.

Η μονάδα για το mole είναι mol (και όχι mole).

Η μονάδα θερμοκρασίας K δεν γράφεται ποτέ ως βαθμοί kelvin (°K είναι λανθασμένο).

ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



Βασικές μετατροπές

Μήκος: 1 m	= 3.28084 ft = 6.214·10 ⁻⁴ mile = 39.37008 in	(0.3045 m = 1 ft) (1610 m = 1 mile) (1 in = 2.54 cm)
Όγκος: 1 m ³	= 35.31 ft ³ = 264.2 US gal = 6.29 bbl (barrel) = 1000 L	
Μάζα: 1 kg	= 2.205 lb _m (0.4536 kg = 1 lb _m) = 9.842·10 ⁻⁴ long ton = 1.102·10 ⁻⁴ short ton = 1·10 ⁻³ t (ή tonne ή metric tonne)	
Δύναμη: 1 N	= 1 kg·m·s ⁻² = 1·10 ⁵ dyne (g·cm·s ⁻²) = 0.2248 lb _f	
Πίεση: 1 Pa	= 1 N·m ⁻² = 1 kg·m ⁻¹ ·s ⁻² = 1.450·10 ⁻⁴ psia = 9.869·10 ⁻⁶ atm = 1·10 ⁻⁵ bar = 7.50·10 ⁻³ mm Hg	(14.7 psia = 101.3 kPa) (1 atm = 101.3 kPa) (1 bar = 100 kPa) (760 mmHg = 101.3 kPa)
Ενέργεια: 1 J	= 1 N·m = kg·m ² ·s ⁻² = 9.478·10 ⁻⁴ Btu = 2.778·10 ⁻⁷ kWh = 0.2388 cal = 10 ⁷ erg (g·cm ² ·s ⁻² ή dyne·cm)	(1 Btu = 1055 J) (1 cal = 4.184 J)
Ισχύς: 1 W	= 1.360·10 ⁻³ hp	
Θερμοκρασία:	T(K) = T(°C) + 273 T(°R) = 1.8 T(°C) + 492 T(°F) = 1.8 T(°C) + 32	ΔT(°C) = ΔT(K) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°R) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°F)

$$c_p = \frac{\text{btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} = \dots = ? \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



Βασικές μετατροπές

Μήκος: 1 m	= 3.28084 ft = 6.214·10 ⁻⁴ mile = 39.37008 in	(0.3045 m = 1 ft) (1610 m = 1 mile) (1 in = 2.54 cm)
Όγκος: 1 m ³	= 35.31 ft ³ = 264.2 US gal = 6.29 bbl (barrel) = 1000 L	
Μάζα: 1 kg	= 2.205 lb _m (0.4536 kg = 1 lb _m) = 9.842·10 ⁻⁴ long ton = 1.102·10 ⁻⁴ short ton = 1·10 ⁻³ t (ή tonne ή metric tonne)	
Δύναμη: 1 N	= 1 kg·m·s ⁻² = 1·10 ⁵ dyne (g·cm·s ⁻²) = 0.2248 lb _f	
Πίεση: 1 Pa	= 1 N·m ⁻² = 1 kg·m ⁻¹ ·s ⁻² = 1.450·10 ⁻⁴ psia = 9.869·10 ⁻⁶ atm = 1·10 ⁻⁵ bar = 7.50·10 ⁻³ mm Hg	(14.7 psia = 101.3 kPa) (1 atm = 101.3 kPa) (1 bar = 100 kPa) (760 mmHg = 101.3 kPa)
Ενέργεια: 1 J	= 1 N·m = kg·m ² ·s ⁻² = 9.478·10 ⁻⁴ Btu = 2.778·10 ⁻⁷ kWh = 0.2388 cal = 10 ⁷ erg (g·cm ² ·s ⁻² ή dyne·cm)	(1 Btu = 1055 J) ← (1 cal = 4.184 J)
Ισχύς: 1 W	= 1.360·10 ⁻³ hp	
Θερμοκρασία:	T(K) = T(°C) + 273 T(°R) = 1.8 T(°C) + 492 T(°F) = 1.8 T(°C) + 32	ΔT(°C) = ΔT(K) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°R) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°F)

$$c_p = \frac{\text{btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} = \frac{\text{btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} * \frac{1.055 \text{ kJ}}{1 \text{ btu}}$$

ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



Βασικές μετατροπές

Μήκος: 1 m	= 3.28084 ft = 6.214·10 ⁻⁴ mile = 39.37008 in	(0.3045 m = 1 ft) (1610 m = 1 mile) (1 in = 2.54 cm)
Όγκος: 1 m ³	= 35.31 ft ³ = 264.2 US gal = 6.29 bbl (barrel) = 1000 L	
Μάζα: 1 kg	= 2.205 lb _m (0.4536 kg = 1 lb _m) = 9.842·10 ⁻⁴ long ton = 1.102·10 ⁻⁴ short ton = 1·10 ⁻³ t (ή tonne ή metric tonne)	
Δύναμη: 1 N	= 1 kg·m·s ⁻² = 1·10 ⁵ dyne (g·cm·s ⁻²) = 0.2248 lb _f	
Πίεση: 1 Pa	= 1 N·m ⁻² = 1 kg·m ⁻¹ ·s ⁻² = 1.450·10 ⁻⁴ psia = 9.869·10 ⁻⁶ atm = 1·10 ⁻⁵ bar = 7.50·10 ⁻³ mm Hg	(14.7 psia = 101.3 kPa) (1 atm = 101.3 kPa) (1 bar = 100 kPa) (760 mmHg = 101.3 kPa)
Ενέργεια: 1 J	= 1 N·m = kg·m ² ·s ⁻² = 9.478·10 ⁻⁴ Btu = 2.778·10 ⁻⁷ kWh = 0.2388 cal = 10 ⁷ erg (g·cm ² ·s ⁻² ή dyne·cm)	(1 Btu = 1055 J) (1 cal = 4.184 J)
Ισχύς: 1 W	= 1.360·10 ⁻³ hp	
Θερμοκρασία:	T(K) = T(°C) + 273 T(°R) = 1.8 T(°C) + 492 T(°F) = 1.8 T(°C) + 32	ΔT(°C) = ΔT(K) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°R) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°F)

$$C_p = \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} = \frac{\text{btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} * \frac{1.055 \text{ kJ}}{1 \text{ btu}} * \frac{1 \text{ lb}_m}{0.4536 \text{ kg}}$$

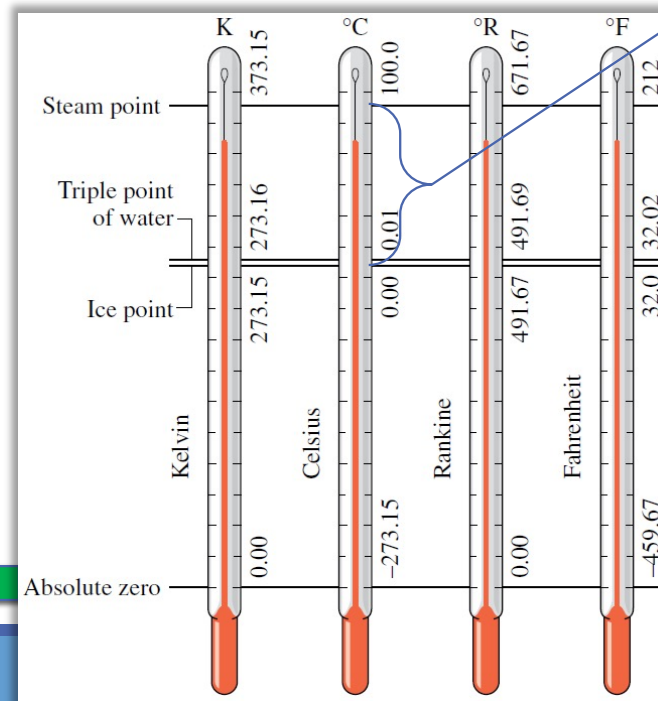
ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



Βασικές μετατροπές

Μήκος: 1 m	= 3.28084 ft = 6.214·10 ⁻⁴ mile = 39.37008 in	(0.3045 m = 1 ft) (1610 m = 1 mile) (1 in = 2.54 cm)
Όγκος: 1 m ³	= 35.31 ft ³ = 264.2 US gal = 6.29 bbl (barrel) = 1000 L	
Μάζα: 1 kg	= 2.205 lb _m (0.4536 kg = 1 lb _m) = 9.842·10 ⁻⁴ long ton = 1.102·10 ⁻⁴ short ton = 1·10 ⁻³ t (ή tonne ή metric tonne)	
Δύναμη: 1 N	= 1 kg·m·s ⁻² = 1·10 ⁵ dyne (g·cm·s ⁻²) = 0.2248 lb _f	
Πίεση: 1 Pa	= 1 N·m ⁻² = 1 kg·m ⁻¹ ·s ⁻² = 1.450·10 ⁻⁴ psia = 9.869·10 ⁻⁶ atm = 1·10 ⁻⁵ bar = 7.50·10 ⁻³ mm Hg	(14.7 psia = 101.3 kPa) (1 atm = 101.3 kPa) (1 bar = 100 kPa) (760 mmHg = 101.3 kPa)
Ενέργεια: 1 J	= 1 N·m = kg·m ² ·s ⁻² = 9.478·10 ⁻⁴ Btu = 2.778·10 ⁻⁷ kWh = 0.2388 cal = 10 ⁷ erg (g·cm ² ·s ⁻² ή dyne·cm)	(1 Btu = 1055 J) (1 cal = 4.184 J)
Ισχύς: 1 W	= 1.360·10 ⁻³ hp	
Θερμοκρασία:	T(K) = T(°C) + 273 T(°R) = 1.8 T(°C) + 492 T(°F) = 1.8 T(°C) + 32	ΔT(°C) = ΔT(K) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°R) ΔT(°C) = 1.8 ΔT(°F)

$$c_p = \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} = \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_m \text{ } ^\circ\text{F}} * \frac{1.055 \text{ kJ}}{1 \text{ Btu}} * \frac{1 \text{ lb}_m}{0.4536 \text{ kg}} * \frac{180 \Delta^\circ\text{F}}{100 \Delta^\circ\text{C}}$$



ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΗΚΟΥΣ

	μέτρο	ίντσα	πόδι	μίλι
μέτρο	1	39.37	3.2808	6.214×10^{-4}
ίντσα	2.54×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}	1.58×10^{-5}
πόδι	0.3048	12	1	1.8939×10^{-4}
μίλι	1.61×10^3	6.336×10^4	5280	1

	m ³	l	ft ³	barrel*	gal*
m ³	1	1000	35,315	6,2898	264,17
l	0,001	1	0,03532	0,00629	0,2642
ft ³	0,02832	28,317	1	0,1781	7,4805
barrel*	0,15899	158,987	5,6146	1	42
gal*	0,003785	3,7854	0,1337	0,02381	1

* πετρελαίου

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



ΠΙΕΣΗ

	bar	atm	psi	kPa
bar	1	0,9869	14,5	100
atm	1,013	1	14,7	101,3
psi	0,06895	0,06805	1	6,895
kPa	0,01	0,009869	0,145	1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

	F	°C	K	R
F	1	$9/5 \text{ } ^\circ\text{C} + 32$	$9/5 \text{ K} - 459,67$	$\text{R} - 459,67$
°C	$5/9 (\text{F} - 32)$	1	$\text{K} - 273,15$	$5/9 (\text{R} - 491,67)$
K	$5/9 (\text{F} + 459,67)$	$^\circ\text{C} + 273,15$	1	$5/9 \text{ R}$
R	$\text{F} + 459,67$	$9/5 \text{ } ^\circ\text{C} + 491,67$	$9/5 \text{ K}$	1

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



ΕΝΕΡΓΕΙΑ

	kJ	BTU	kcal	kWh	toe
kJ	1	0,9478	0,2388	0,000278	$2,38 \cdot 10^{-8}$
BTU	1,0551	1	0,252	0,000293	$2,52 \cdot 10^{-8}$
kcal	4,187	3,9683	1	0,001163	10^{-7}
kWh	3600	3411	859,84	1	0,000086
toe	$4,187 \cdot 10^7$	$3,9683 \cdot 10^7$	10^7	11630	1

ΙΣΧΥΣ

	kW	BTU/h	kcal/h	HP
kW	1	3,412	860	1,341
BTU/h	0,000293	1	0,252	0,000393
kcal/h	0,001163	3,9683	1	0,00156
HP	0,7457	2,544	641,19	1

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ



ΠΡΟΣΟΧΗ

Ίδιες διαστάσεις:

- Και στα δύο μέλη εξισώσεων (όχι απαραίτητο αλλά σωστή πρακτική)
 - Σε όρους που προσθαφαιρούνται (υποχρεωτικά)
- * Οι μονάδες και οι τιμές τους υψώνονται στην ίδια δύναμη

Παράδειγμα:

- $1\text{ m}=100\text{ cm}$. $1^2\text{ m}^2 = 100^2\text{ cm}^2$. $1\text{ m}^2 =10000\text{ cm}^2$
- Ενέργεια: $1\text{ kcal} = 3,966\text{ Btu} = 4,184\text{ kj} = 0,001163\text{ kwh}$
- Ισχύς: $1\text{kcal/h} = 0,001163\text{kw} = 0,00156\text{HP}$. (Ενέργεια/χρόνο = ισχύς)

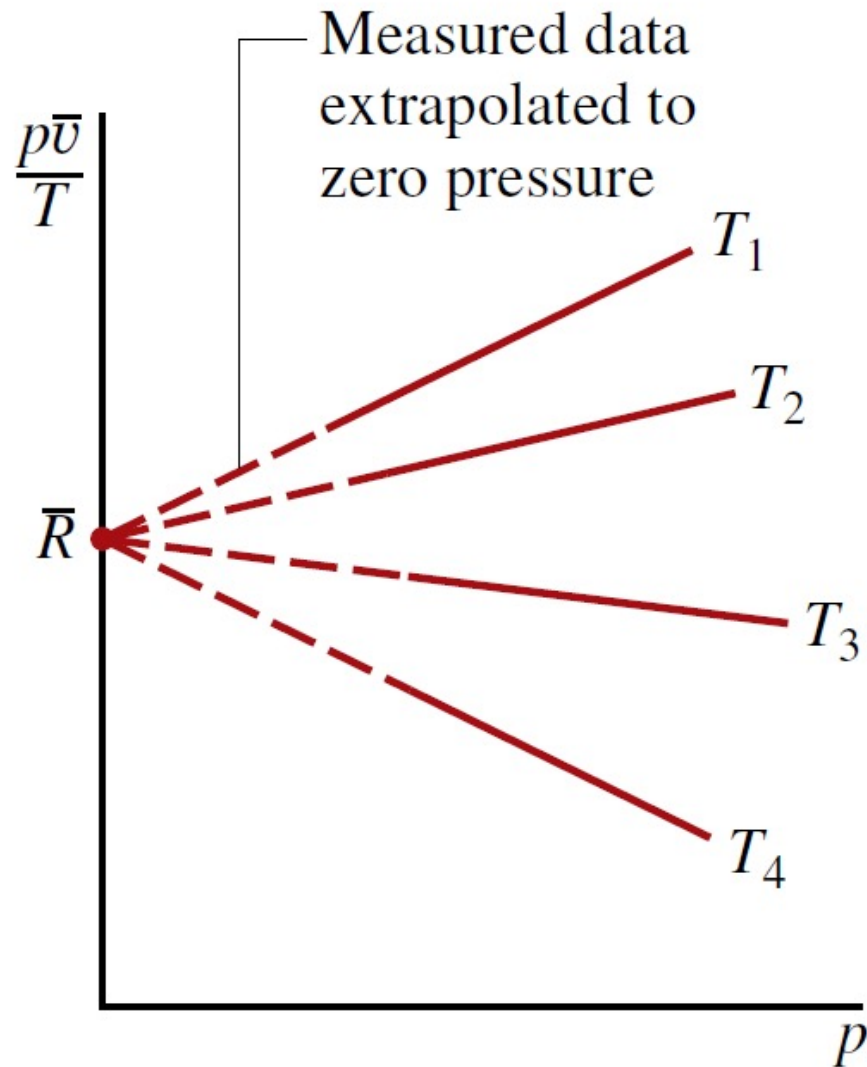
Όγκος ιδανικού αερίου σε (25 °C, 1 atm)

$$PV = nRT \Rightarrow$$

$$v = n \frac{RT}{P} = \frac{1 \text{ mol} \cdot \frac{8.314472 \text{ m}^3 \text{ bar}}{10^5 \text{ mol K}} \cdot 25 \text{ }^\circ\text{C}}{1.013 \text{ bar}} = 0.0021 \text{ m}^3 = 2.1 \text{ L}$$

$$v = n \frac{RT}{P} = \frac{1 \text{ mol} \cdot \frac{8.314472 \text{ m}^3 \text{ bar}}{10^5 \text{ mol K}} \cdot 298.15 \text{ K}}{1 \text{ bar}} = 0.0228 \text{ m}^3 = 24.5 \text{ L}$$

R =	8.314 472 J·mol ⁻¹ K ⁻¹	=8.314 472 m ³ Pa·mol ⁻¹ K ⁻¹
-----	---	--



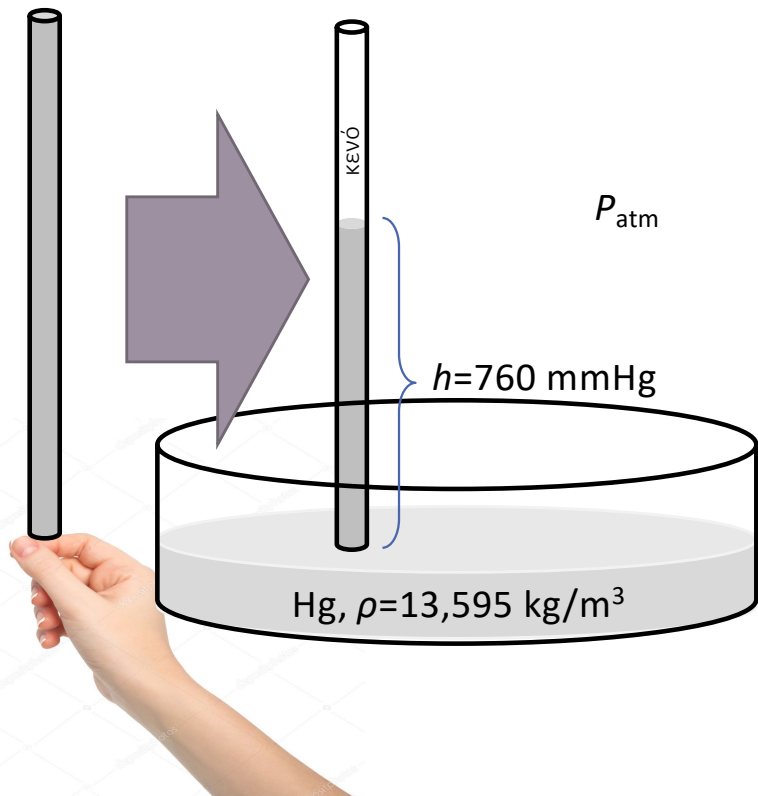
$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{p\bar{v}}{T} = \bar{R}$$

$$PV = nRT \Rightarrow$$

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1.013 \text{ bar} \cdot 0.0224 \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \cdot (273.15 + 0) \text{ K}}$$

$$\approx 8.31 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3 \text{ bar}}{\text{mol K}} [=] ? \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Παράδειγμα



Πίνακας 1.4. Παραδείγματα από παράγωγες μονάδες του SI.

Παραγόμενη ποσότητα	Όνομα	Σύμβολο	Έκφραση σε άλλες μονάδες SI	Έκφραση σε θεμελιώδεις μονάδες SI
Δύναμη	newton	N		kg·m·s ⁻²
Πίεση, τάση	pascal	Pa	N/m ²	kg·m ⁻¹ ·s ⁻²
Ενέργεια, έργο, θερμότητα	joule	J	N·m	kg·m ² ·s ⁻²
Ισχύς	watt	W	J/s	kg·m ² ·s ⁻³
Δυναμικό ιξώδες		Pa·s		kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹
Θερμοκρασία			°C	K
Ροή θερμότητας			W/m ²	kg·s ⁻³
Ειδική θερμοχωρητικότητα			J/(kg·K)	m ² ·s ⁻² ·K ⁻¹
Ειδική ενέργεια			J/kg	m ² ·s ⁻²
Θερμική αγωγιμότητα			W/(m·K)	kg·m·s ⁻³ ·K ⁻¹
Πυκνότητα			kg/m ³	kg·m ⁻³
Συγκέντρωση			mol/m ³	
Ειδικός όγκος			m ³ /kg	kg ⁻¹ ·m ³
Ταχύτητα			m/s	m·s ⁻¹

$$\begin{aligned}
 P_{atm} &= \rho g h = 13,595 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.76 \text{ m} = 101,358.9 \frac{\text{kg}}{\text{m s}^2} \\
 &= 101,358 \text{ Pa} \\
 &= 101.36 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Παράδειγμα (βαβέλ!!!)

Η ογκομετρική παροχή αέρα από το σύστημα κλιματισμού είναι $10^6 \text{ ft}^3/\text{h}$

Ιδιότητες βενζολίου: πυκνότητα υγρού 0.879 g/cm^3 , Μοριακή μάζα 78.11 lb/lb-mol

Βενζόλιο, ρυθμός εξάτμισης
 $0.15 \text{ in}^3 \text{ υγρού}/\text{min}$

Συνθήκες περιβάλλοντος: $528 \text{ }^\circ\text{R}$, 740 Torr

Μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση βενζολίου: 1 ppm

Σταθερά των αερίων: $8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Ποια η στρατηγική «αντιμετώπισης»?



Μονάδες που δεν ανήκουν στο SI αλλά είναι αποδεκτή η χρήση τους

Μονάδα	Σύμβολο	Ισοδύναμο SI
minute	min	60 s
hour	h	3600 s
day	d	86400 s
year	γ ή a	31536000 s
liter	L	1/1000 m ³
bar	bar	10 ⁵ Pa =100 kPa
atmosphere	atm	101325 Pa=101.325 kPa
metric ton	t	10 ⁶ g=1 Mg=1000 kg

ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΚΑΔΙΚΩΝ

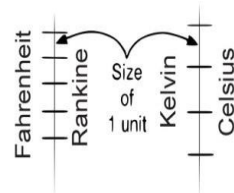


Αριθμός	Στρογγύλεμα αριθμού στο ψηφίο			
	3 ^ο δεκαδικό	2 ^ο δεκαδικό	1 ^ο δεκαδικό	μονάδες
22,3456...	22,346	22,35	22,3	22
22,34850	22,348	22,35	22,3	22
54,3546...	54,355	54,35	54,4	54
54,5643...	54,564	54,56	54,6	54
55,5643...	55,564	55,56	55,6	56
98,7650	98,765	98,76	98,8	99
99,9555	99,956	99,96	100,0	100

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



212	672	Σημείο βρασμού του νερού στα 760 mm Hg	373	100
180				100
32	492	Σημείο πήξεως του νερού	273	0
0	460		255	-18
-40	420	°F = °C	233	-40
-460	0	Απόλυτο μηδέν	0	-273



- $T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$
- $T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$
- $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$
- $T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(^{\circ}\text{K})$

ΠΙΕΣΗ



- Ατμοσφαιρική πίεση είναι η πίεση που ασκείται από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της θάλασσας (=1 atm).
- Σχετική πίεση ως προς την ατμοσφαιρική πίεση.
- Απόλυτη πίεση ως προς τη μηδενική πίεση (κενό).

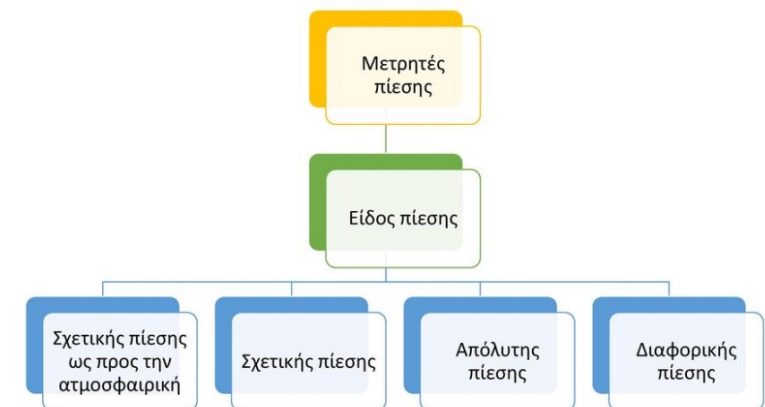
Η υδροστατική πίεση δεν εξαρτάται από το σχήμα, τον συνολικό όγκο και τη συνολική μάζα του υγρού.

$$\text{Πίεση } P = \frac{\text{βάρος}}{\text{εμβαδό}} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot (h \cdot A) \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$

$V = h \cdot A = \text{όγκος}$
 $\text{Βάρος} = B = m \cdot g$

$P = \rho g h$

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ



MOLES ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ



- Η έννοια του mole (γραμμομόριο) χρειάζεται κυρίως στη στοιχειομετρία των αντιδράσεων για να γίνονται οι μετατροπές από μάζα σε αριθμό μορίων και αντίστροφα.
- Mole είναι η ποσότητα ενός στοιχείου ή χημικής ένωσης που ζυγίζει τόσα γραμμάρια όσα είναι το μοριακό της βάρος.
- Μοριακό βάρος ουσίας: προκύπτει από το άθροισμα των ατομικών βαρών των συστατικών του.
- Υπάρχει επίσης kg mole (kmol) ή lb mole.

ΣΥΣΤΑΣΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ



- Μοριακό κλάσμα $y_A = \frac{mol_A}{mol_m}$
- Κλάσμα μάζας $x_A = \frac{μάζα_A}{μάζα_m} = \frac{m_A}{m_m}$
- Κλάσμα όγκου $v_A = \frac{όγκος_A}{όγκος_m} = \frac{v_A}{v_m}$

Ένα μίγμα αερίων έχει σύσταση (κατά μάζα): O₂ 16%, CO 4%, CO₂ 17%, N₂ 63%.

- Μοριακό κλάσμα (y) των επιμέρους αερίων =?
- Κλάσμα όγκου (v) των επιμέρους αερίων =?

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ



- Μάζα ανα μονάδα όγκου
- Moles ανα μονάδα όγκου
- Κλάσμα μάζας
- Γραμμομοριακό κλάσμα
- ppm / ppb

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ



- Πυκνότητα = μάζα/όγκος
- Ειδικός όγκος = $1/\text{πυκνότητα}$
- Ειδικό βάρος = πυκνότητα μιας ουσίας/πυκνότητα ουσίας αναφοράς
- Φαινόμενη πυκνότητα = ολική μάζα στερεών/ολικός όγκος κενού χώρου

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ



$$\frac{10 \text{ meters}}{1 \text{ sees}} \times \frac{60 \text{ sees}}{1 \text{ min}} = \frac{600 \text{ meters}}{1 \text{ min}}$$

$$\frac{600 \text{ meters}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ mins}}{1 \text{ hour}} = \frac{36,000 \text{ meters}}{1 \text{ hour}}$$

$$\frac{36,000 \text{ meters}}{1 \text{ hour}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ meters}} = \frac{36 \text{ km}}{1 \text{ hour}}$$

Starting amount	Equal amounts	End Amount
24 inches	1 foot	= feet
	12 inches	
24 inches	1 foot	= 2 feet
	12 inches	

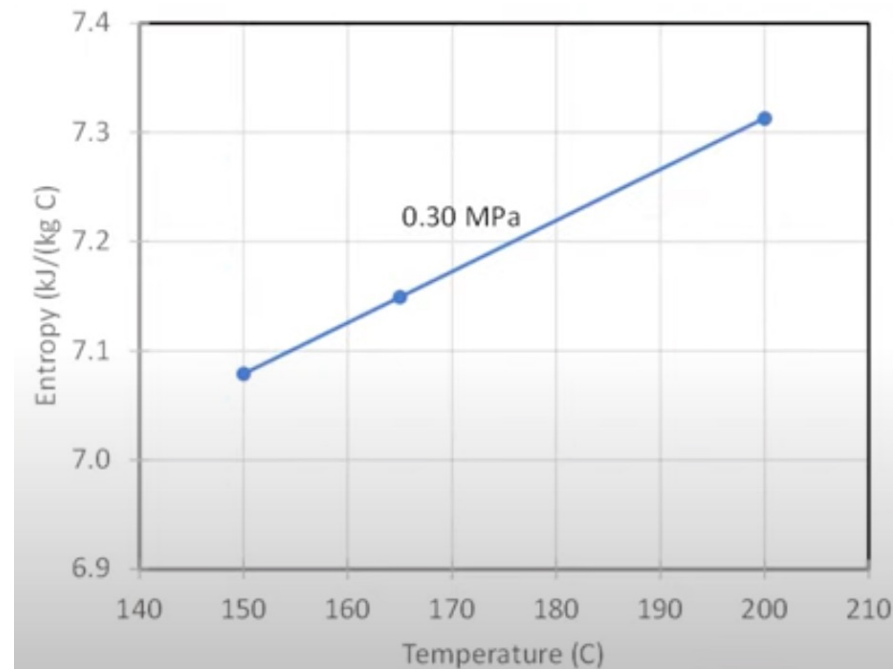
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ



Ποια είναι η εντροπία του ατμού στους 165 °C και στα 0.30 MPa;

	Pressure (MPa)
Temperature (C)	0.30
150	7.079
165	?
200	7.313

	Pressure (MPa)
Temperature (C)	0.30
150	7.079
165	7.149
200	7.313



ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

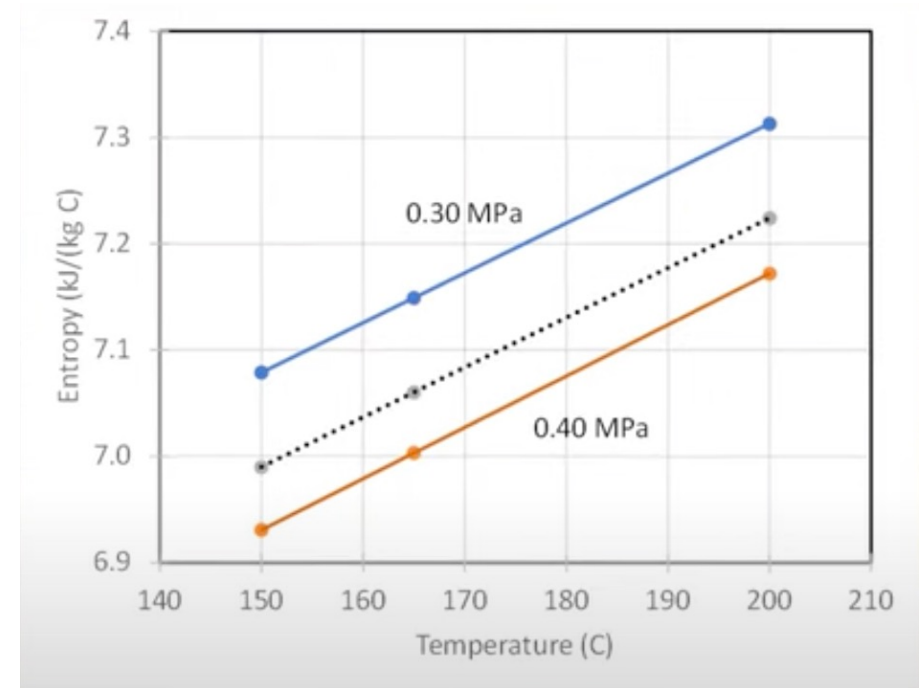


Ποια είναι η εντροπία του ατμού στους 165 °C και στα 0.36 MPa;

	Pressure (MPa)		
Temperature (C)	0.30	0.36	0.40
150	7.079		6.931
165		?	
200	7.313		7.172

	Pressure (MPa)		
Temperature (C)	0.30	0.36	0.40
150	7.079	6.990	6.931
165	7.149	7.060	7.003
200	7.313	7.224	7.172

	Pressure (MPa)		
Temperature (C)	0.30	0.36	0.40
150	7.079	6.990	6.931
165	7.149	7.062	7.003
200	7.313	7.224	7.172



ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΓΡΑΜΜΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

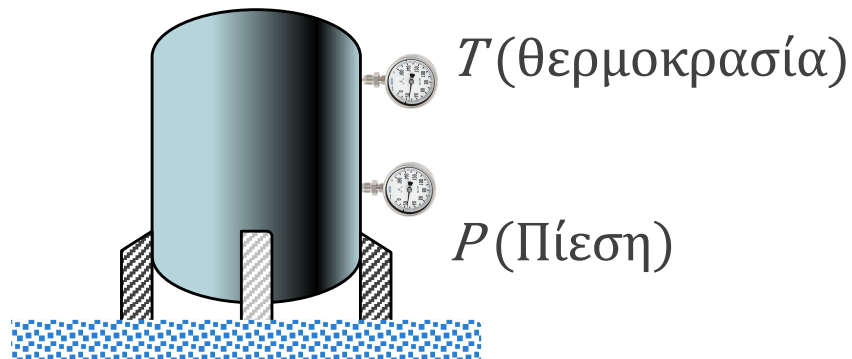


ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ



- Σύστημα
- Περιβάλλον
- Όγκος Ελέγχου
- Επιφάνεια όγκου ελέγχου
- Ανοικτό σύστημα
- Κλειστό σύστημα
- Μονωμένο σύστημα
- Απομονωμένο σύστημα

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ



$$f(v, T, P) = Pv - RT = 0$$

T, P, \dots μετρήσιμες **φυσικές** ιδιότητες
 $h(T, P), c_p(T, P), \dots$ **θερμοφυσικές** ιδιότητες

Ιδιότητα: μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των οποίων η τιμή **δεν** εξαρτάται από την διαδρομή (ιστορικό) αλλά μόνο από την παρούσα κατάσταση.

Καταστατικές εξισώσεις: εκφράζουν τις θερμοφυσικές ιδιότητες ως συναρτήσεις των φυσικών ή θερμοδυναμικών ιδιοτήτων (ή συντεταγμένων).

ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Η **ενέργεια** συνδέεται με την ικανότητα παραγωγής έργου.

Εσωτερική ενέργεια (u): σχετίζεται με την μικροσκοπική δομή, διαμόρφωση και κίνηση της ύλης - δεν αποτελεί μετρήσιμο μέγεθος.

Ενθαλπία ($h = u + Pv$): εκφράζει το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας και της ενέργειας «ροής» Pv . Βολική θερμοδυναμική συνάρτηση σε συστήματα ροής.

Κινητική ενέργεια: ενέργεια λόγω μακροσκοπικής κίνησης.

Δυναμική ενέργεια: ενέργεια λόγω θέσης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Η ενέργεια αποτελεί *σημειακή συνάρτηση*.

$\psi = \Psi(x, y)$ είναι *σημειακή συναρτηση* $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y \partial x}$

$$\Leftrightarrow \int_0^f d\Psi = \Psi_f - \Psi_0$$

$$v^{ig} = \psi(T, P) = \frac{RT}{P} \rightarrow$$

$$\frac{\partial^2 v^{ig}}{\partial T \partial P} = \frac{\partial^2 v^{ig}}{\partial P \partial T} = -\frac{R}{P^2}$$

ΕΡΓΟ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Το *έργο* & η *θερμότητα* είναι μορφές ενέργειας σε *κίνηση*.

Η θερμότητα σχετίζεται με διαφορά θερμοκρασίας.

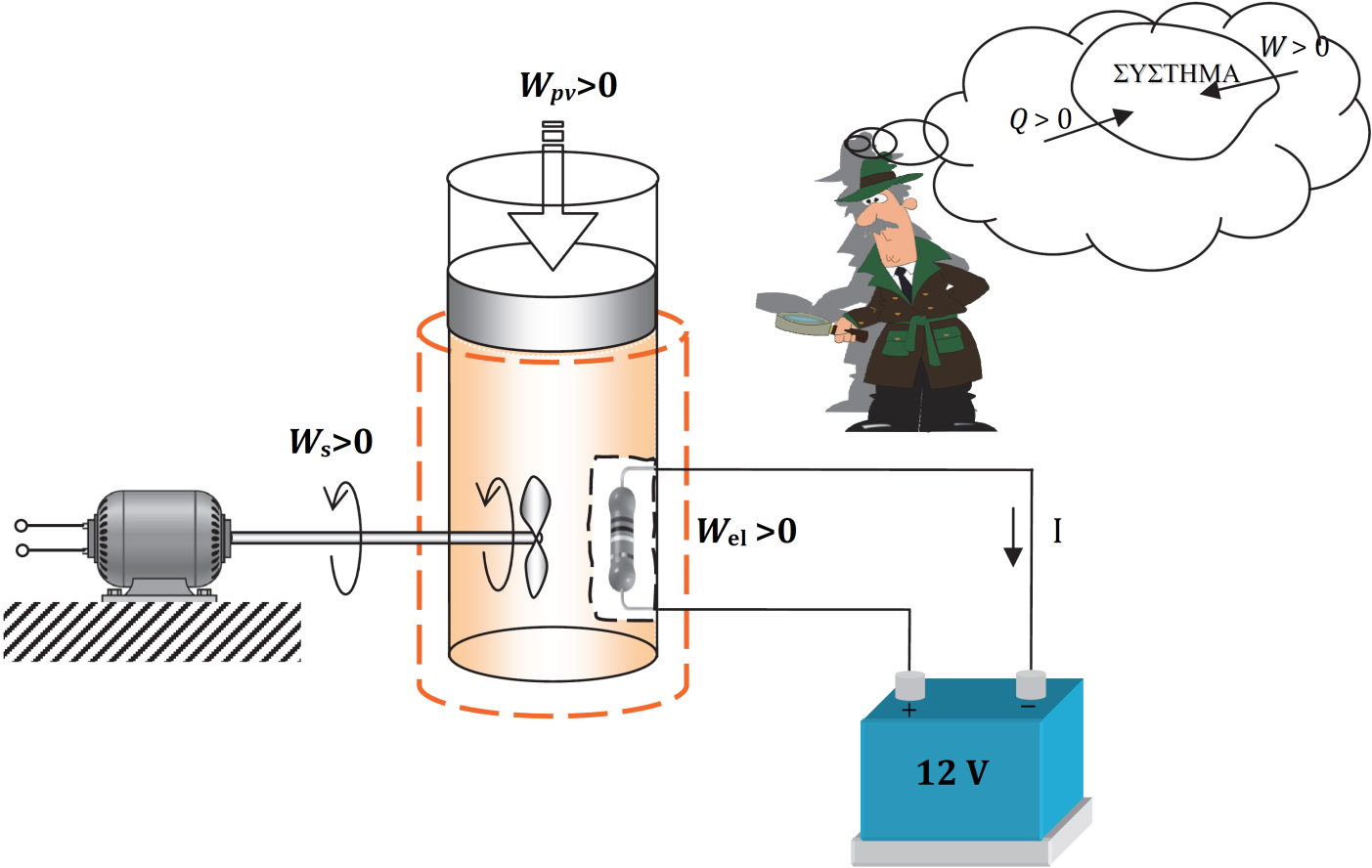
Το έργο με μετακίνηση του σημείου εφαρμογής μιας δύναμης.

Δεν αποτελούν ιδιότητες αλλά ποσότητες:

$$\int_0^f dQ = \delta Q, \int_0^f dW = \delta W$$



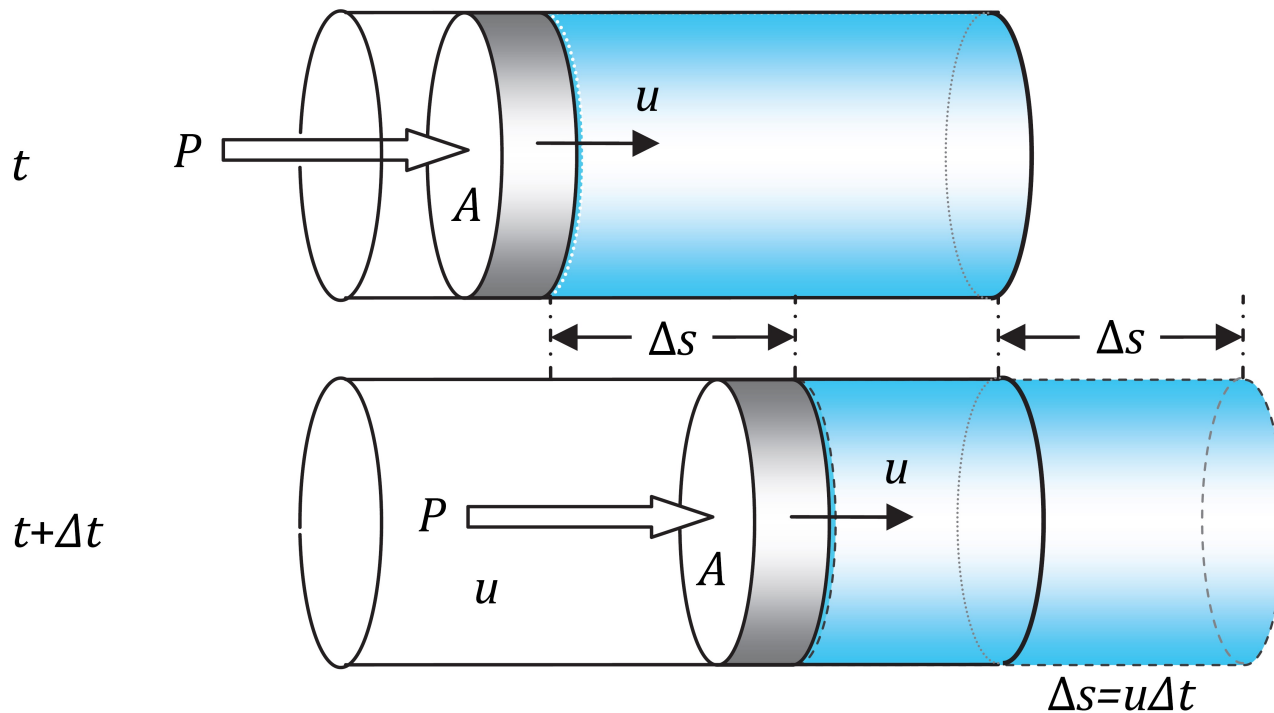
ΕΡΓΟ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ



$$W_s = \int_0^f \omega(t)M(t)dt$$

$$W_{el} = \int_0^f V(t)I(t)dt$$

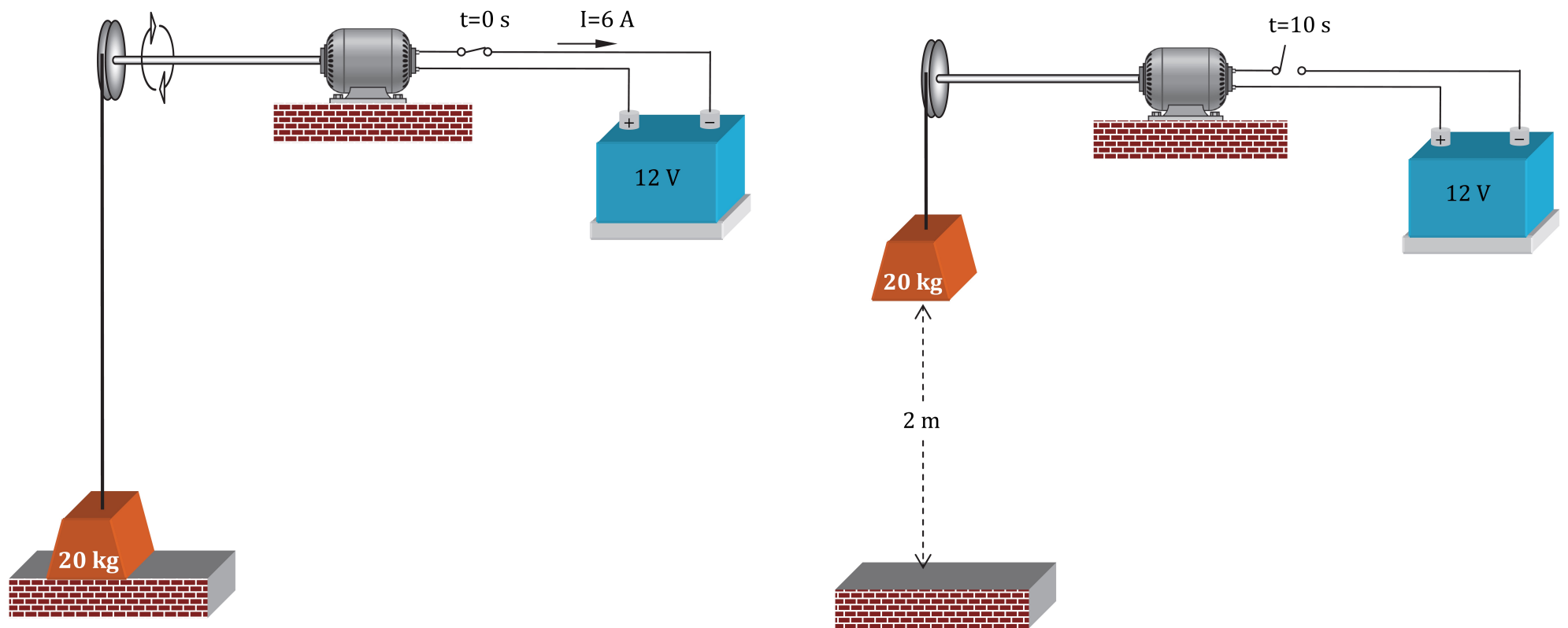
ΕΡΓΟ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ



$$W_{PV} = - \int (PA) ds = -P(Au) \int dt$$

$$-\frac{W_{PV}}{\delta t} = -\dot{W}_{PV} = P\dot{V} = P\frac{1}{\rho}\dot{m} = \dot{m} \cdot Pv$$

Παράδειγμα



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.11

Στο σύστημα ηλεκτρική μπαταρίας/κινητήρα/βαρούλκο του **Σχήματος 1.10** το κύκλωμα ανοίγει μέσω του διακόπτη το χρόνο $t=0$ s και κλείνει μετά από 10 s. Εάν το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα της μπαταρίας των 12 V είναι 6 A και το βάρος των 20 kg ανυψώνεται για 2 m ποια είναι η απόδοση του συστήματος;



Λύση

Αρχικά υπολογίζουμε την ηλεκτρική ισχύ της μπαταρίας

$$\dot{W}_{el} = V I = 12 \text{ V} \times 6 \text{ A} = 12 \frac{\text{J}}{\text{C}} \times 6 \frac{\text{C}}{\text{s}} = 72 \text{ W}$$

Το ποσό της ενέργειας που αποδίδει η μπαταρία στα 10 s που λειτουργεί είναι

$$W_{el} = \dot{W}_{el} \Delta t = 72 \text{ W} \times 10 \text{ s} = 720 \text{ J}$$

Η μεταβολή της δυναμικής ενέργεια του σώματος μάζας 20 kg κατά την ανύψωσή του κατά 2 m είναι

$$E_p = mgh = 20 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2 \text{ m} = 392.4 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 392.4 \text{ J}$$

Ως απόδοση μπορούμε να θεωρήσουμε την μεταβολή της δυναμικής ενέργειας του σώματος προς το παρεχόμενο ηλεκτρικό έργο $100 \times (392.4/720) = 54.5 \%$.