



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Χημικών Μηχανικών

Εισαγωγή στη Χημική Μηχανική

Διαστάσεις - Μονάδες

Επ. Καθ. Κυριάκος Λαμπρόπουλος

Διάσταση:

Ιδιότητα που μπορεί να μετρηθεί (μήκος, θερμοκρασία, χρόνος, μάζα) ή υπολογίζεται με πολλ/σμό ή διαίρεση άλλων διαστάσεων

Συστήματα μονάδων: κοινή ορολογία στη μέτρηση των διαστάσεων – τιμή + μονάδες

- [SI - International System of Units](#) (Système international d'unités or SI)
- **CGS - centimetre–gram–second system of units (παραλλαγή του SI)**
- [American Engineering System](#) (AES – UK)

ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Διάσταση	Μονάδες μέτρησης
Μήκος	m, cm, km, in, ft, yd, mile, έτος φωτός
Μάζα	g, kg, t, lb
Χρόνος	s, min, h, day, year
Θερμοκρασία	K, °C, °R, °F
Ταχύτητα	m/s, km/h, mi/h
Πυκνότητα	g/cm ³ , kg/L, kg/m ³
.....	

The International System of Units (SI): Base units

Base quantity		Base unit	
Name	Typical symbol	Name	Symbol
time	t	second	s
length	l, x, r , etc.	metre	m
mass	m	kilogram	kg
electric current	I, i	ampere	A
thermodynamic temperature	T	kelvin	K
amount of substance	n	mole	mol
luminous intensity	I_v	candela	cd

All other SI units can be derived from these, by multiplying together different powers of the base units.

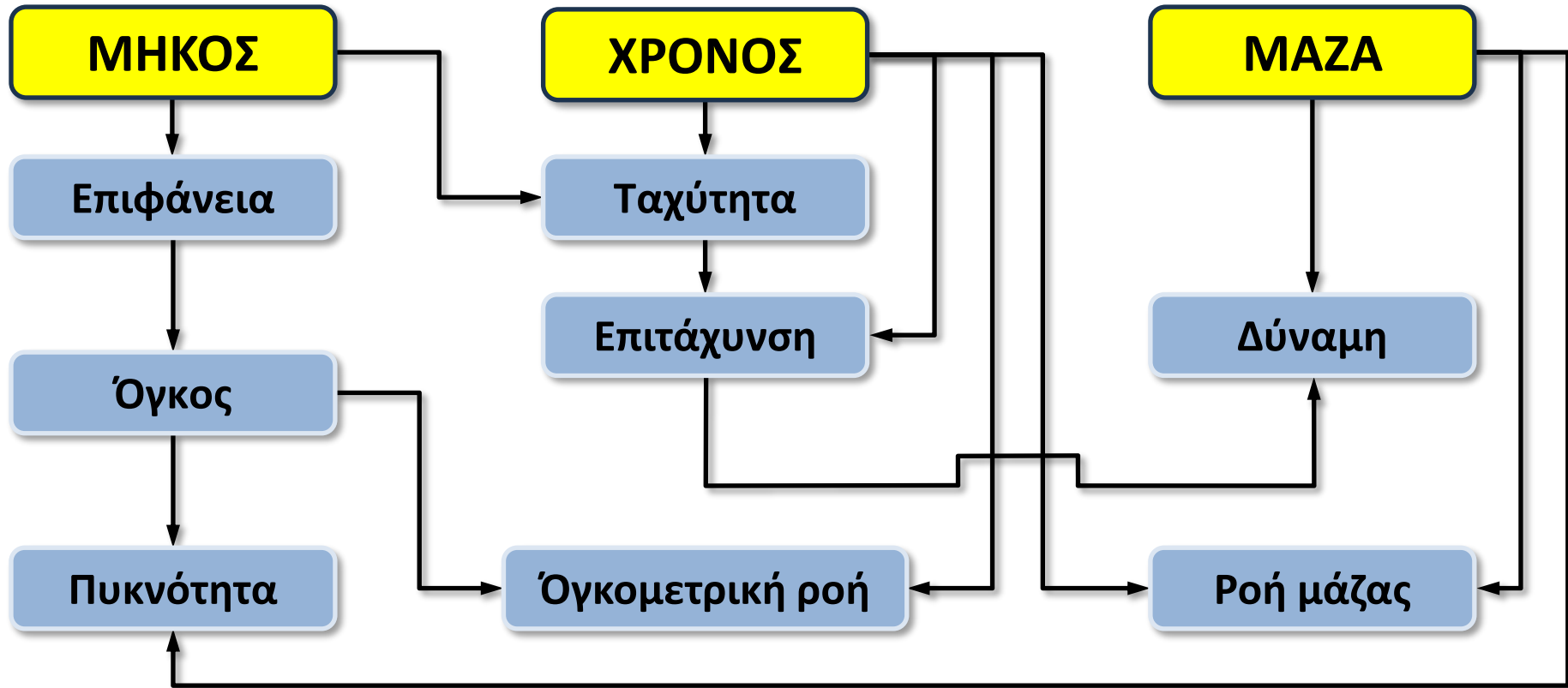
Πηγή:

Bureau International
des Poids et Mesures

Διεθνές σύστημα μονάδων (SI)

Βασική Διάσταση		Βασική μονάδα	
Διάσταση	Σύμβολο	Όνομα	Σύμβολο
Χρόνος	t	δευτερόλεπτο	s
Μήκος	l	μέτρο	m
Μάζα	m	χιλιόγραμμα	kg
Θερμοκρασία	T	Kelvin	K
Ηλεκτρικό ρεύμα	I	Ampere	A
Φωτοβολία	I_v	Candela	cd
Ποσότητα ύλης	n	mole	mol

Βασικές και παραγόμενες διαστάσεις



Παραγόμενες διαστάσεις

$$\text{Επιφάνεια} = \text{μήκος}^2$$

$$\text{Όγκος} = \text{μήκος}^3$$

$$\text{Πυκνότητα} = \frac{\text{μάζα}}{\text{όγκος}} = \frac{\text{μάζα}}{\text{μήκος}^3}$$

$$\text{Ταχύτητα} = \frac{\text{μήκος}}{\text{χρόνος}}$$

$$\text{Επιτάχυνση} = \frac{\text{ταχύτητα}}{\text{χρόνος}} = \frac{\text{μήκος}}{\text{χρόνος}^2}$$

$$\text{Δύναμη} = \text{μάζα} \cdot \text{επιτάχυνση} = \frac{\text{μάζα} \cdot \text{μήκος}}{\text{χρόνος}^2}$$

$$\text{Ενέργεια} = \text{δύναμη} \cdot \text{μήκος} = (\text{μάζα} \cdot \text{επιτάχυνση} \cdot \text{μήκος}) = \text{μάζα} \cdot \text{ταχύτητα}^2$$

$$\text{Ισχύς} = \frac{\text{Ενέργεια}}{\text{χρόνος}}$$

ΣΥΣΤΗΜΑ

SI

Βασικές μονάδες				
Διάσταση		Μονάδα		
Μήκος	l	μέτρο	m	
Μάζα	m	χιλιόγραμμα	kg	
Χρόνος	t	δευτερόλεπτο	s	
Θερμοκρασία	T	βαθμός Kelvin	K	
Ποσότητα ύλης	n	mole (γραμμομόριο)	mol	
Παραγόμενες μονάδες				
Δύναμη	F	Newton	N	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
Ενέργεια	E	Joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
Ισχύς	P	Watt	W	J/s
Πίεση	p	Pascal	Pa	N/m^2
Πυκνότητα	d ή ρ			kg/m^3
Ταχύτητα	v			m/s
Επιτάχυνση	α			m/s^2
Θερμοχωρητικότητα	C			$\text{J} / (\text{kg})(\text{K})$

ΣΥΣΤΗΜΑ
AES

Βασικές μονάδες				
Διάσταση		Μονάδα		
Μήκος	l	πόδι ή ίντσα	ft ή in.	
Μάζα	m	λίβρα (μάζας)	lb _m	
Χρόνος	t	δευτερόλεπτο, ώρα	s, hr	
Θερμοκρασία	T	βαθμός Ranking/Fahrenheit	°R, °F	
Ποσότητα ύλης	n	λίβρα mole	lb mol	
Παραγόμενες μονάδες				
Δύναμη	F	λίβρα (δύναμης)	lb _f	
Ενέργεια	E	Βρεταν. θερμική μονάδα	Btu	(ft) (lb _f)
Ισχύς	P	Ιπποδύναμη	hp	
Πίεση	p		lb _f / in. ²	
Πυκνότητα	d ή ρ		lb _m / ft ³	
Ταχύτητα	v		ft/s	
Επιτάχυνση	a		ft/s ²	
Θερμοχωρητικότητα	C		Btu/(lb _m) (°F)	

Σύγκριση συστημάτων μονάδων

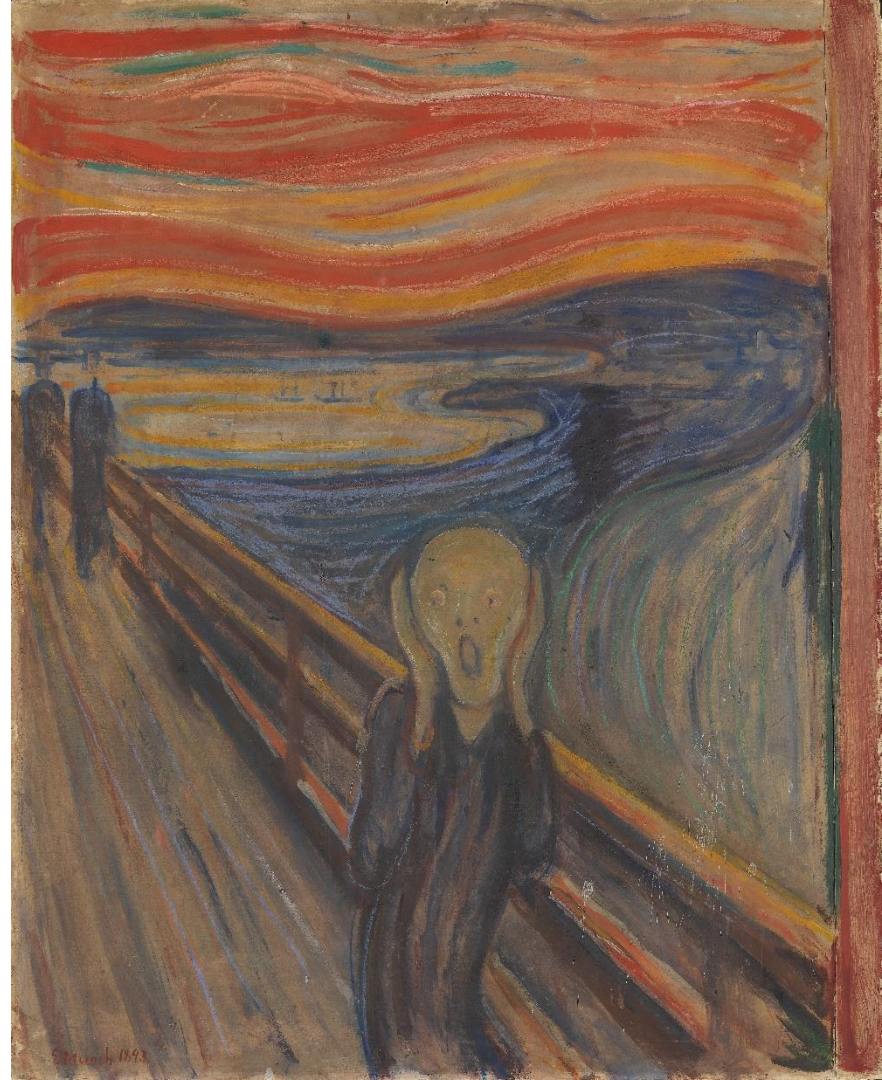
Διάσταση	SI	CGS	UK	US
Μήκος	m	cm	ft	ft
Μάζα	kg	g	slug	lb _m
Χρόνος	s	s	s	s
Δύναμη	N	dyn	lb _w	lb _f
Ενέργεια	J	erg, J, cal	Btu	Btu

Προθέματα για δυνάμεις του δέκα

Δύναμη	Πρόθεμα	Σύντμηση	Δύναμη	Πρόθεμα	Σύντμηση
10^{-24}	γιοκτο	y	10^3	χιλιο	k
10^{-21}	ζεπτο	z	10^6	μεγα	M
10^{-18}	ατο	a	10^9	γιγα	G
10^{-15}	φεμτο	f	10^{12}	τερα	T
10^{-12}	πικο	p	10^{15}	πετα	P
10^{-9}	νανο	n	10^{18}	εχα	E
10^{-6}	μικρο	μ	10^{21}	ζετα	Z
10^{-3}	χιλιοστο	m	10^{24}	γιοττα	Y
10^{-2}	εκατοστο	c			
10^{-1}	δεκατο	d			

$$\begin{aligned} \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ} &= \\ &= \frac{\text{ΝΕΑ ΜΟΝΑΔΑ}}{\text{ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ}} \end{aligned}$$

<https://online.unitconverterpro.com/unit-conversion/convert-alpha/force.php>



(Εύκολο) παράδειγμα: Μετατροπή cm σε m και αντίστροφα

$$\text{Συντελεστής μετατροπής (cm} \rightarrow \text{m)} = \frac{\text{Νέα μοναδα (m)}}{\text{δεδομενη μοναδα (cm)}} = \frac{1}{100} = 10^{-2}$$

$$\text{Συντελεστής μετατροπής (m} \rightarrow \text{cm)} = \frac{\text{Νέα μοναδα (cm)}}{\text{δεδομενη μοναδα (m)}} = \frac{100}{1} = 100$$



ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΗΚΟΥΣ

ΑΠΟ



ΣΕ



	m	km	in	ft	mile
m	1	10^{-3}	39,37	3,2808	$6,214 \times 10^{-4}$
km	1000	1	$39,37 \times 10^{-4}$	3280,8	0,6214
in	0,0254	$2,540 \times 10^{-5}$	1	0,08333	$1,5783 \times 10^{-5}$
ft	0,3048	$3,048 \times 10^{-4}$	12	1	$1,894 \times 10^{-4}$
mile	1609,3	1,61	$6,336 \times 10^4$	5280	1

ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΟΓΚΟΥ

ΑΠΟ



ΣΕ



	in ³	ft ³	gal (USA)	L	m ³
in ³	1	$5,787 \times 10^{-4}$	$4,329 \times 10^{-3}$	$1,639 \times 10^{-2}$	$1,639 \times 10^{-5}$
ft ³	$1,728 \times 10^3$	1	7,481	28,32	$2,832 \times 10^{-2}$
gal (USA)	$2,31 \times 10^2$	0,1337	1	3,785	$3,785 \times 10^{-3}$
L	61,03	$3,531 \times 10^{-2}$	0,2642	1	$1,000 \times 10^{-3}$
m ³	$6,102 \times 10^4$	35,31	264,2	1000	1

ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΑΖΑΣ

ΑΠΟ



ΣΕ



	g	kg	t (μετρικός)	lb	ton (US short)
g	1	10^{-3}	10^{-6}	$2,2046 \times 10^{-3}$	$1,102 \times 10^{-6}$
kg	1000	1	10^{-3}	2,2046	$1,102 \times 10^{-3}$
t (μετρικός)	10^6	1000	1	2204,6	1,1023
lb	453,6	0,4536	$4,536 \times 10^{-4}$	1	5×10^{-4}
ton (US short)	$9,072 \times 10^5$	907,2	0,9072	2000	1

ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΙΕΣΗΣ

ΑΠΟ



ΣΕ



	mm Hg	kPa	atm	bar	psi
mm Hg	1	0,1333	$1,316 \times 10^{-3}$	$1,333 \times 10^{-3}$	0,01934
kPa	7,502	1	$9,869 \times 10^{-3}$	0,01	0,1451
atm	760	101,3	1	1,013	14,696
bar	750,06	100	0,9869	1	14,50
psi	51,71	6,894	0,06805	0,06895	1

ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ & ΕΡΓΟΥ)

ΑΠΟ



ΣΕ



	J	cal	kWh	Btu	ft lb _f	hp h
J	1	0,2390	$2,778 \times 10^{-7}$	$9,478 \times 10^{-4}$	0,7376	$3,725 \times 10^{-7}$
cal	4,184	1	$1,162 \times 10^{-6}$	$3,970 \times 10^{-3}$	3,086	$1,558 \times 10^{-6}$
kWh	$3,6 \times 10^6$	$8,606 \times 10^5$	1	3412,14	$2,655 \times 10^6$	1,341
Btu	1055	252	$2,930 \times 10^{-4}$	1	778,16	$3,930 \times 10^{-4}$
ft lb _f	1,356	0,3241	$3,766 \times 10^{-7}$	$1,285 \times 10^{-3}$	1	$5,051 \times 10^{-7}$
hp h	$2,685 \times 10^6$	$6,416 \times 10^5$	0,7455	2545	$1,980 \times 10^6$	1

ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

ΑΠΟ



ΣΕ



	J s^{-1}	kW	$\text{ft lb}_f / \text{s}$	Btu / s	hp
J s^{-1}	1	10^{-3}	0,7376	$9,478 \times 10^{-4}$	$1,341 \times 10^{-3}$
kW	1000	1	737,56	0,9478	1,341
$\text{ft lb}_f / \text{s}$	1,356	$1,356 \times 10^{-3}$	1	$1,285 \times 10^{-3}$	$1,818 \times 10^{-3}$
Btu / s	1055	1,055	778,16	1	1,415
hp	745,7	0,7457	550	0,7068	1

ΣΤΑΘΕΡΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Τιμή	Μονάδες	
8,31446261815324	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\frac{J}{\text{mol} \cdot K}$
	$\text{Pa m}^3 \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot K}$
0,0820574	$\text{L atm mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot K}$
1,9872	$\text{cal mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot K}$
	$\text{Btu lb-mol}^{-1} {}^{\circ}\text{R}^{-1}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{lb} - \text{mol} \cdot {}^{\circ}\text{R}}$
62,3636	$\text{mm Hg L mol}^{-1} {}^{\circ}\text{R}^{-1}$	
10,7316	$\text{psia ft}^3 \text{lb-mol}^{-1} {}^{\circ}\text{R}^{-1}$	

ΑΠΟ



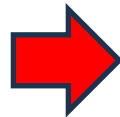
ΣΕ



	g	kg	t (μετρικός)	lb	ton (US short)
g	1	10^{-3}	10^{-6}	$2,2046 \times 10^{-3}$	$1,102 \times 10^{-6}$
kg	1000	1	10^{-3}	2,2046	$1,102 \times 10^{-3}$
t (μετρικός)	10^6	1000	1	2204,6	1,1023
lb	453,6	0,4536	$4,536 \times 10^{-4}$	1	5×10^{-4}
ton (US short)	$9,072 \times 10^5$	907,2	0,9072	2000	1

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ - ΜΑΖΑ

Για παράδειγμα, για μετατροπή **από λίβρες σε γραμμάρια** θα χρησιμοποιήσουμε τον συντελεστή 453,6



$$1 \text{ lb}_m = 453,6 \text{ g}$$

Αντίστροφα, για μετατροπή **από γραμμάρια σε λίβρες** θα χρησιμοποιήσουμε τον συντελεστή $2,20 \times 10^{-3}$ ($=1/453,6$)



$$1 \text{ g} = 2,20 \times 10^{-3} \text{ lb}_m$$

Διαδικασία γρήγορου *cross check*:

Η λίβρα είναι περίπου μισό κιλό (~ 500 γραμμάρια, για την ακρίβεια 453,6 g) →

Άρα η μετατροπή από λίβρα σε γραμμάρια θα μου δώσει «μεγάλο νούμερο» (453,6) ενώ η αντίστροφη μετατροπή κάτι «μικρό» ($1/453,6$)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1



Ένα αυτοκίνητο κάνει τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη (535 km) σε 5 hr.

Ποια είναι η μέση ταχύτητα του αυτοκινήτου σε km/hr, m/s και ft/min.

$$\text{Μέση ταχύτητα } v = \text{απόσταση} / \text{χρόνος} = \frac{535 \text{ km}}{5 \text{ h}} = 107 \text{ km/hr}$$

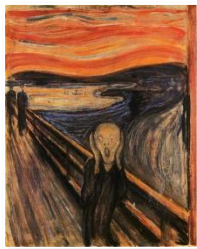
1. Μετατροπή v από km/hr σε m / s

$$v = \frac{535 \text{ km}}{5 \text{ hr}} = \frac{535 \text{ km}}{5 \text{ hr}} \left| \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right| \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = \frac{535}{5} \frac{1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 29.72 \text{ m/s}$$

2. Μετατροπή v από m / s σε ft / min

$$v = 29.72 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 29.72 \frac{\text{m}}{\text{s}} \left| \frac{3.2808 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right| \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 29.72 \frac{3.2808 * 60}{1} \frac{\text{ft}}{\text{min}} = 5850 \text{ ft/min}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2



Σε βιομηχανική μονάδα οι σωλήνες μεταφοράς κάποιου υγρού είναι εσωτερικής διαμέτρου $d=2\frac{3}{8}$ in.

$d(mm)=?$,

διατομή σωλήνα $A(mm^2)=?$

διατομή σωλήνα $A(cm^2)=?$

1. Μετατροπή d από in. σε mm

$$d = 2\frac{3}{8} \text{ in.} = 2\frac{3}{8} \text{ in.} \cdot \left| \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in.}} \right| \cdot \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} = 60.33 \text{ mm}$$

2. Διατομή A σε mm^2

$$A = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{60.33^2 \text{ mm}^2}{4} = 2859 \text{ mm}^2$$

3. Διατομή A σε cm^2

$$A = 2859 \text{ mm}^2 = 2859 \text{ mm}^2 \cdot \left| \frac{1 \text{ cm}^2}{10^2 \text{ mm}^2} \right| = 28.59 \text{ cm}^2$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3



Όχημα μεταφοράς σκυροδέματος (βαρέλα) μεταφέρει 8 m^3 υλικού, μάζας 19 t .

Ποια είναι η πυκνότητα του σκυροδέματος (t/m^3 , kg/L , g/cm^3).

1. Πυκνότητα σε t/m^3

$$d = 19 \text{ t} / 8 \text{ m}^3 = 2.375 \text{ t/m}^3$$

2. Πυκνότητα σε kg / L

$$\begin{aligned} d &= 2.375 \text{ t} / \text{m}^3 = 2.375 \frac{\cancel{\text{t}}}{\cancel{\text{m}^3}} \left| \frac{1000 \cancel{\text{kg}}}{1 \cancel{\text{t}}} \right| \frac{\cancel{1 \text{m}^3}}{1000 \text{ L}} = 2.375 \text{ kg} / \text{L} \\ &= 2.375 \frac{\cancel{\text{kg}}}{\cancel{\text{L}}} \left| \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \cancel{\text{kg}}} \right| \frac{1 \cancel{\text{L}}}{1000 \text{ cm}^3} = 2.375 \text{ g} / \text{cm}^3 \end{aligned}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Μετατροπή $\frac{lb_m \cdot ft}{min^2}$ σε $\frac{kg \cdot cm}{s^2}$



$lb_m \rightarrow g \rightarrow kg$
 $\text{μετά } ft \rightarrow m \rightarrow cm$
 $\text{και τέλος } min \rightarrow s$

$$1 \frac{lb_m \cdot ft}{min^2} \left| \frac{453.6 g}{1 lb_m} \right| \left| \frac{1 kg}{1000 g} \right| \left| \frac{0.3048 m}{1 ft} \right| \left| \frac{100 cm}{1 m} \right| \left| \frac{1 min^2}{60^2 s^2} \right| = 0,00384048 \frac{kg \cdot cm}{s^2}$$
$$= 3.845 \cdot 10^{-3} \frac{kg \cdot cm}{s^2}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5



Χημική βιομηχανία χρησιμοποιεί δεξαμενή διαστάσεων $D=2.00\text{ m}$, $L=4.00\text{ m}$ για την αποθήκευση ενός ενδιάμεσου προϊόντος της παραγωγικής διαδικασίας, το οποίο έχει πυκνότητα 0.900 g/cm^3 . Η δεξαμενή γεμίζει σε 45.0 min και αδειάζει σε 30.0 min .

1. Υπολογίστε το ρυθμό φόρτωσης και εκφόρτωσης της δεξαμενής σε m^3/min , g/s και kg/min .
2. Υπολογίστε τον όγκο της δεξαμενής σε γαλόνια (gal)



Λύση

$$\dot{V}_{\text{IN}} = 0.279\text{ m}^3/\text{min}$$

$$\dot{V}_{\text{OUT}} = 0.419\text{ m}^3/\text{min}$$

$$\dot{m}_{\text{IN}} = 4190\text{ g/s} = 251.4\text{ kg/min}$$

$$\dot{m}_{\text{OUT}} = 6285\text{ g/s} = 377.1\text{ kg/min}$$

$$V = 12.57\text{ m}^3 = 3321\text{ gal}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5**Λύση**

$$① \quad V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L = \pi \frac{2^2 m^2}{4} \cdot 4m = 12.57 m^3$$

$$② \quad \dot{V}_{in} = \frac{V}{t_{in}} = \frac{12.57 m^3}{45 min} = 0.279 m^3/min \quad \dot{V}_{out} = \frac{V}{t_{out}} = \frac{12.57 m^3}{30 min} = 0.419 m^3/min$$

$$③ \quad \rho = \frac{m_p}{V} \Rightarrow m_p = \rho \cdot V = 0.9 \frac{g}{cm^3} \cdot 12.57 m^3 = 0.9 \frac{g}{cm^3} \left| \frac{1 kg}{1000 g} \right| \left| \frac{100^3 cm^3}{m^3} \right| 12.57 m^3 =$$

$$\Rightarrow m_p = 11313 kg$$

$$④ \quad \dot{m}_{in} = \frac{m_p}{t_{in}} = \frac{11313 kg}{t_{in}(min)} = \frac{11313 kg}{45 min} \left| \frac{1000 g}{1 kg} \right| \left| \frac{1 min}{60 s} \right| = 4190 \frac{g}{s}$$

$$= \frac{m_p}{t_{in}} = \frac{11313 kg}{t_{in}(min)} = \frac{11313 kg}{45 min} = 251.4 \frac{kg}{min}$$

$$⑤ \quad m_p = \dot{m}_{in} \cdot t_{in} = \dot{m}_{out} \cdot t_{out}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{out} = \dot{m}_{in} \frac{t_{in}}{t_{out}} = 6285 \frac{g}{s} = 377.1 \frac{kg}{min}$$

$$⑥ \quad V(m^3) \gg (gal)$$

$$V = 12.57 m^3 \left| \frac{264.2 gal}{1 m^3} \right| = 3321 gal$$



Δύναμη: $F = m \cdot a$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2$$

$$1 \text{ lb}_f = 32.174 \text{ lb}_m \cdot \text{ft/s}^2$$

Βάρος: $B = W = m \cdot g$

- Στο SI το Newton (N) αντιστοιχεί σε 1 kg που επιταχύνεται με 1 m/s^2
- Στο αμερικανικό σύστημα μια λίβρα δύναμης (1 lb_f) αντιστοιχεί στην δράση του πεδίου βαρύτητας της γης σε μια λίβρα μάζας (1 lb_m)

$$\text{Όπου } g = 9.8066 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

(σημ. στην επιφάνεια της θάλασσας σε γεωγραφικό πλάτος 45°)

Αν δεν θυμόμαστε το 32.174 ft/s^2 δεν ήρθε και το τέλος του κόσμου (ακόμα!)

$$g = 9.8066 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \left| \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right| = 32.174 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6



Το νερό έχει πυκνότητα $62.4 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$.
Πόσο ζυγίζουν (σε lb_f) 2.000 ft^3 νερού:

α. στην επιφάνεια της θάλασσας
($g = 32.174 \text{ ft/s}^2$)

β. σε πόλη σε υψόμετρο πάνω από τη θάλασσα $5,374 \text{ ft}$
($g = 32.139 \text{ ft/s}^2$)



Λύση:

$$B_1 = 124.8 \text{ lb}_f$$

$$B_2 = 124.7 \text{ lb}_f$$

$$d = \frac{m}{V} \quad \Rightarrow m = 62.4 \frac{lb_m}{ft^3} \cdot 2.000 ft^3 = 124.8 lb_m$$

$$\text{Όμως } B = m \cdot g = 124.8 lb_m \cdot g$$

$$\text{Άρα (α) επιφάνεια της θάλασσας όπου } g = 9.80665 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

$$B_{sea-level} = 124.8 lb_m \cdot 32.174 \frac{ft}{s^2} \left| \frac{1 lb_f}{32.174 \frac{lb_m \cdot ft}{s^2}} \right| = 124.8 lb_f$$

$$B_{5374ft} = 124.8 lb_m \cdot 32.139 \frac{ft}{s^2} \left| \frac{1 lb_f}{32.174 \frac{lb_m \cdot ft}{s^2}} \right| = 124.7 lb_f$$

$$\text{Εναλλακτικά: } m = \frac{B_1}{g_{sea-level}} = \frac{B_2}{g_{5374ft}} \quad \Rightarrow B_2 = B_1 \frac{g_{5374ft}}{g_{sea-level}} = 124.8 lb_f \frac{32.139 \frac{ft}{s^2}}{32.174 \frac{ft}{s^2}} = 124.7 lb_f$$

- Η τεχνική η οποία μας επιτρέπει να ελέγχουμε αν μια εξίσωση έχει τη σωστή μορφή.
- Μπορούμε να χειριστούμε τις διαστάσεις (μήκος, μάζα, χρόνος, συνδυασμοί) ως αλγεβρικά μεγέθη.
- Τα δύο σκέλη της εξίσωσης **πρέπει να έχουν τις ίδιες διαστάσεις.**
- Μια εξίσωση είναι σωστή μόνο αν οι διαστάσεις και στα δύο σκέλη της είναι ίδιες.

Κάθε όρος μιας εξίσωσης πρέπει να έχει τις ίδιες **διαστάσεις** και **μονάδες** με κάθε όρο που προστίθεται αφαιρείται ή εξισώνεται.

Παράδειγμα:

Στην εξίσωση τέλειων αερίων $PV=nRT$ ποιες πρέπει να είναι οι μονάδες του R ;

- Το αριστερό σκέλος έχει μονάδες [πίεση] x [όγκος]
- Το δεξί σκέλος έχει μονάδες [mol] x [R ???] x [θερμοκρασία]

Για να έχουν και τα δύο σκέλη τις ίδιες διαστάσεις, τότε οι διαστάσεις του R πρέπει να είναι [πίεση] x [όγκος] / [mol] x [θερμοκρασία]

$$R = 0.08206 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{mol} \cdot \text{K}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7



Θεωρείστε την παρακάτω εξίσωση μεταβολής ύψους μιας δεξαμενής

$$D \text{ (ft)} = A \cdot t \text{ (s)} + B$$

- i. Αν η εξίσωση είναι σωστή προσδιορίστε τις διαστάσεις των σταθερών A και B
- ii. Αν η εξίσωση είναι ορθή, ποιες είναι οι μονάδες των A και B ?
- iii. Αν $D(\text{ft}) = 3 \cdot t \text{ (s)} + 4$, τότε δώστε την εξίσωση εκφρασμένη σε m και min , δηλαδή $D' \text{ (m)} = A' \cdot t' \text{ (min)} + B'$

(i) Για να είναι σωστή η εξίσωση, πρέπει να υπάρχει διαστατική ομοιογένεια.

Επειδή το αριστερό σκέλος έχει διαστάσεις μήκους, πρέπει και κάθε όρους του δεξιού σκέλους να έχει και αυτός διαστάσεις μήκους

Άρα καθώς ο όρος $A \cdot t \text{ (s)}$ θα πρέπει να έχει διαστάσεις μήκους $\Rightarrow A = \frac{\text{μνηκος}}{\text{χρόνος}}$

Αντίστοιχα, ο όρος B θα πρέπει να έχει διαστάσεις μήκους

(ii) Μονάδες

$$A [=] \text{ ft/s}$$

$$B [=] \text{ ft}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7



Θεωρείστε την παρακάτω εξίσωση μεταβολής ύψους μιας δεξαμενής

$$D \text{ (ft)} = A \cdot t \text{ (s)} + B$$

- Αν η εξίσωση είναι σωστή προσδιορίστε τις διαστάσεις των σταθερών A και B
- Αν η εξίσωση είναι ορθή, ποιες είναι οι μονάδες των A και B ?
- Αν $D(\text{ft}) = 3 \cdot t \text{ (s)} + 4$, τότε δώστε την εξίσωση εκφρασμένη σε m και min , δηλαδή $D' \text{ (m)} = A' \cdot t' \text{ (min)} + B'$

(iii) Αν θεωρήσουμε $D' \text{ (m)}$ και $t' \text{ (min)}$ τότε:

$$D' \text{ (m)} = D \text{ (ft)} \left| \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right| = 0.3048 D$$

$$t' \text{ (min)} = t \text{ (s)} \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| = \frac{1}{60} t$$

$$\text{Άρα } D = A \cdot t + B \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{0.3048} D' \text{ (m)} = A \cdot 60 \cdot t' \text{ (min)} + B \Rightarrow$$

$$D' \text{ (m)} = 0.3048 \cdot 60 \cdot A \cdot t \text{ (min)} + 0.30148 \cdot B \Rightarrow \mathbf{D' \text{ (m)} = 54.86 t' \text{ (min)} + 1.22}$$

**Complex
problems
have simple,
easy to
understand,
wrong
answers.**

Erik Spiekermann



997
habe

ΟΚ, ας υποθέσουμε ότι δεν τα καταλαβαίνουμε όλα αυτά (σημ. συμβαίνει και αυτό στη ζωή).

Το δεξί σκέλος $A(\text{ft/s}) \cdot t(\text{s}) + B(\text{ft})$ μας δίνει αποτέλεσμα σε ft, Ας πάμε να μετατρέψουμε κάθε μέρος του:

$$A\left(\frac{\text{ft}}{\text{s}}\right) \left| \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right| \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \text{ ο όρος αυτός πλέον θα έχει μονάδες m/min}$$

και θα μας δίνει m μόνο εφόσον ο χρόνος $t'(\text{min})$. Ειδάλλως θα πολλαπλασιάζουμε m/min με s και δεν θα βγάζουμε άκρη!

$$B(\text{ft}) \left| \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right| \text{ ο όρος αυτός πλέον θα έχει μονάδες m}$$

$$\text{Άρα } D'(\text{m}) = 0.3048 \cdot 60 \cdot A \cdot t'(\text{min}) + 0.3048 \cdot B$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7



Θεωρείστε την παρακάτω εξίσωση μεταβολής ύψους μιας δεξαμενής

$$D \text{ (ft)} = A \cdot t \text{ (s)} + B$$

- i. Αν η εξίσωση είναι σωστή προσδιορίστε τις διαστάσεις των σταθερών A και B
- ii. Αν η εξίσωση είναι ορθή, ποιες είναι οι μονάδες των A και B?
- iii. Δώστε την εξίσωση εκφρασμένη σε m και min. (Αν $A=3$ και $B=4$)

Αν έχουμε υπαρκτικές αγωνίες αν το κάναμε σωστά, αρκεί να δοκιμάσουμε μερικές τιμές

$$D(\text{ft}) = 3 t \text{ (s)} + 4$$

$$D'(\text{m}) = 54.86 t'(\text{min}) + 1.22$$

Check, π.χ. για $t = 100 \text{ s}$

$$\Rightarrow D \text{ (ft)} = 304 \text{ ft}$$

(δηλ. αναμένουμε $304 \times 0.3048 \text{ m/ft} = 92,66 \text{ m}$)

Όμως $t = 100 \text{ s}$ σημαίνει $t'(\text{min}) = 100 / 60 = 1,667 \text{ min}$

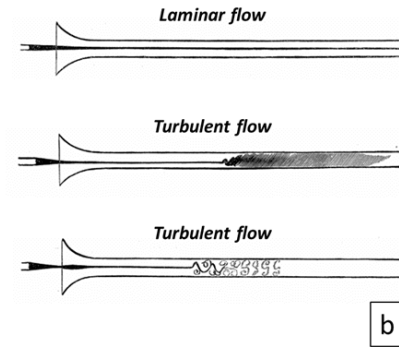
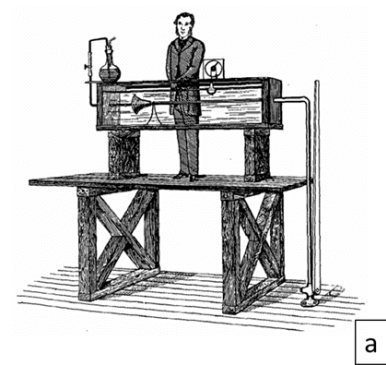
$$D'(\text{m}) = 54.86 t'(\text{min}) + 1.22 = 54.86 \cdot 1.667 + 1.22 = 92.66 \text{ m}$$

Η συνεπής διαστασιολόγηση είναι σημαντική στους αδιάστατους αριθμούς που χρησιμοποιούνται στη Χημική Μηχανική

Π.χ. Αριθμός Reynolds N_{re} = αδιάστατος αριθμός

$$N_{RE} = \frac{\rho \cdot u \cdot L}{\mu} = \frac{\frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s} \cdot m}{\frac{kg}{m \cdot s}}$$

όπου ρ = πυκνότητα του ρευστού (kg/m^3)
 u = ταχύτητα ροής (m/s)
 L = χαρακτηριστικό μήκος (m)
 μ = δυναμικό ιξώδες του ρευστού ($Pa \cdot s$ ή $N \cdot s/m^2$ ή $kg/m \cdot s$)



Επίσης, οι εκθέτες στις δυνάμεις (π.χ. X^2) και οι ποσότητες X σε $\log(X)$, $\ln(X)$, e^X είναι αδιάστατοι.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8



Αν η πυκνότητα του υγρού δίνεται από την εξίσωση

$$\rho = (A + BT) e^{CP}$$

όπου ρ = πυκνότητα (g/cm^3), T = θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), P = πίεση (atm)
ποιες είναι οι μονάδες των A , B , C για να είναι η εξίσωση
διαστασιολογικά συνεπής;

$$\rho [=] \text{g}/\text{cm}^3 = A \cdot e^{CP} + B \cdot T \cdot e^{CP}$$

$$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} e^{\cancel{\text{atm}^{-1}} \cancel{\text{atm}}} + \frac{\text{g}}{\text{cm}^3 \cancel{^{\circ}\text{C}}} \cdot \cancel{^{\circ}\text{C}} \cdot e^{\text{atm}^{-1} \text{atm}}$$

$$\text{Άρα} \quad A [=] \text{g}/\text{cm}^3 \quad B [=] \text{g}/\text{cm}^3 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad C [=] \text{atm}^{-1}$$

Σημαντικά ψηφία

Τα βέβαια ψηφία και ένα με κάποια αβεβαιότητα



Το πλήθος των σημαντικών ψηφίων

Το πλήθος των ψηφίων της αριθμητικής τιμής ενός φυσικού μεγέθους όταν αυτή γράφεται με επιστημονική μορφή.

Το πλήθος των σημαντικών ψηφίων καθορίζεται από την ακρίβεια προσδιορισμού της τιμής ενός φυσικού μεγέθους. **Πρέπει πάντα να γράφουμε το αποτέλεσμα μιας μέτρησης με τόσα σημαντικά ψηφία, με όσα μας επιτρέπει η ακρίβεια του οργάνου που χρησιμοποιήσαμε.**

Πρώτο σημαντικό ψηφίο:

Το πρώτο από αριστερά μη μηδενικό ψηφίο.

Τελευταίο σημαντικό ψηφίο:

- ***Αν υπάρχει υποδιαστολή:*** Το τελευταίο ψηφίο του αριθμού ακόμα κι αν είναι μηδέν.
- ***Αν δεν υπάρχει υποδιαστολή:*** Το τελευταίο μη μηδενικό ψηφίο.

325	ΣΨ = 3
325.4	4
325.0	4
325.40	5
0.0325	3
0.03250	4
32500	3
$32.5 \cdot 10^4$	3
$33.0 \cdot 10^4$	3
$33 \cdot 10^4$	2

Αριθμός σημαντικών ψηφίων

<i>Τέσσερα</i>	<i>Τρία</i>	<i>Δύο</i>
24.00	24.0	24
0.6789	0.679	0.68
0.08333	0.0833	0.83
1.800×10^{-5}	1.80×10^{-5}	1.8×10^{-5}

Πλήθος σημαντικών ψηφίων στο αποτέλεσμα αριθμητικών πράξεων

ΠΡΟΣΘΕΣΗ – ΑΦΑΙΡΕΣΗ:

Το τελικό αποτέλεσμα έχει τόσα δεκαδικά ψηφία όσα έχει ο αριθμός με τα λιγότερα δεκαδικά ψηφία.

ΠΟΛ/ΣΜΟΣ – ΔΙΑΙΡΕΣΗ:

Το τελικό αποτέλεσμα έχει τόσα σημαντικά ψηφία, όσα έχει ο αριθμός με τα λιγότερα σημαντικά ψηφία.

ΠΡΟΣΘΑΦΑΙΡΕΣΗ

$$2.3422 + 3.1 = \mathbf{5.4}422$$

Κριτήριο τα δεκαδικά ψηφία:

Κρατάμε τόσα όσα έχει ο
αριθμός με τα λιγότερα
δεκαδικά ψηφία

$$2.3422 + 3.10 = \mathbf{5.44}22$$

$$0.022 + 2.32 = \mathbf{2.34}2$$

$$0.022 + 2.3 = \mathbf{2.3}42$$

ΠΟΛΛ/ΣΜΟΣ - ΔΙΑΙΡΕΣΗ

$$15.1 * 20.54 = \mathbf{310.}154$$

Κριτήριο τα σημαντικά ψηφία:

Κρατάμε τόσα όσα έχει ο
αριθμός με τα λιγότερα
σημαντικά ψηφία

$$15.10 * 20.54 = 310.154 \rightarrow \mathbf{310.2}$$

$$15 * 20.54 = 308.1 \rightarrow \mathbf{3.1 * 10^2}$$

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ – ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ

Αριθμός	ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΨΗΦΙΟ			
	3 ^ο δεκαδικό	2 ^ο δεκαδικό	1 ^ο δεκαδικό	Μονάδες
12.3456...	12.346	12.35	12.3	12
22.38450	22.348	22.35	22.3	22
54,3546...	54.355	54.36	54.4	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

Έστω ότι θέλουμε να στρογγυλοποιήσουμε τον αριθμό, **1234.56X** στο 2^ο δεκαδικό ψηφίο.

Αν το ψηφίο X παίρνει 1,2,3,4 τότε $1234.56X = 1234.56$

Αν το ψηφίο X παίρνει 6,7,8,9 τότε $1234.56X = 1234.57$

Αν $X=5$, ;;;

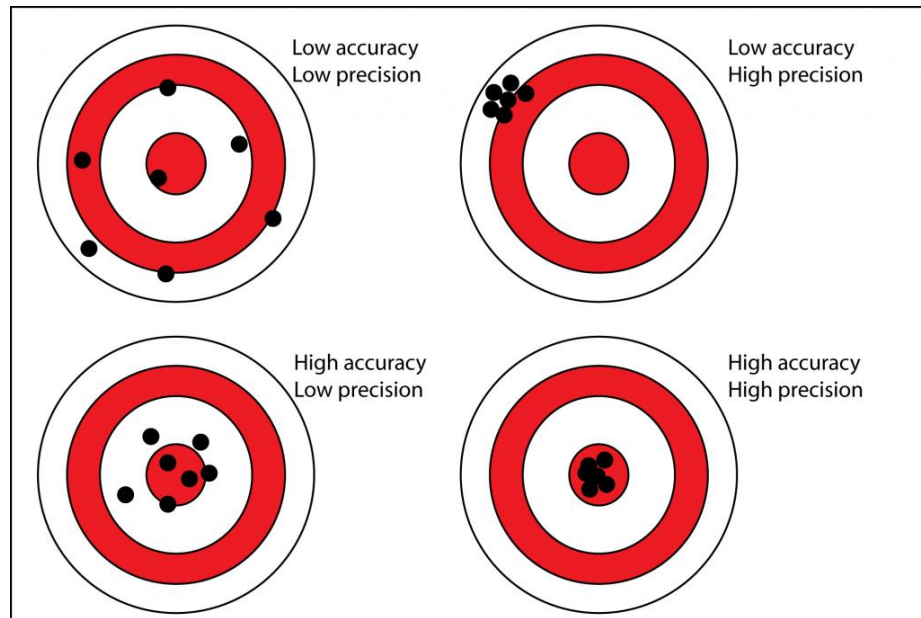
- αν δεν έχει υπάρχει άλλος αριθμός μετά το 5 τότε:
 - ❖ αν το προηγούμενο ψηφίο είναι άρτιος να μένει όπως είναι, (π.χ. $98.765 \rightarrow 98.76$)
 - ❖ αν το προηγούμενο ψηφίο είναι περιττό, να προσauxάνεται κατά μία μονάδα (π.χ. $99.955 \rightarrow 99.96$)
- αν υπάρχει άλλος αριθμός μετά το 5 τότε στρογγυλοποιείται κατά μια μονάδα. (π.χ. $98.7651 \rightarrow 98.77$)

Ακρίβεια τιμής (Accuracy):

Πόσο κοντά βρίσκεται η τιμή μιας μέτρησης στην πραγματική τιμή

Ακρίβεια Μέτρησης (Precision):

δηλώνει την επαναληψιμότητα των μετρήσεων.



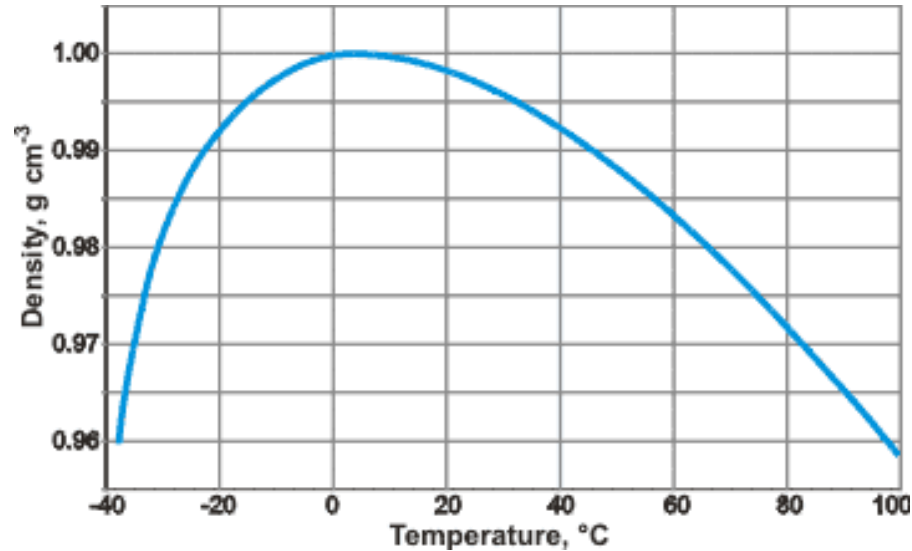
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ

$$\text{Πυκνότητα } d = \rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{Ειδικό βάρος } \varepsilon = \frac{\rho_{\text{ουσιας}}}{\rho_{\text{ref}}}$$

↑
Σημ. αδιάστατο!

Πυκνότητα νερού vs. θερμοκρασία



- Για τα υγρά ως ουσία αναφοράς λαμβάνουμε την **πυκνότητα του καθαρού νερού στους 4°C** ήτοι $\rho_{\text{ref}} = 1.00 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 = 62.43 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
- Για τα αέρια ως ουσία αναφοράς χρησιμοποιείται ο αέρας

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9

Υπολογίστε (i) την πυκνότητα του Hg σε $\text{lb}_m / \text{ft}^3$ όταν το ειδικό βάρος ε είναι 13.546 στους 20°C και (ii) τον όγκο (ft^3) που καταλαμβάνουν 215 kg. Δίνεται $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 62.43 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$

(i) Ειδικό βάρος $\varepsilon = \frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{ref}}} = 13.546 \Rightarrow$

$$\rho_{\text{Hg}} = \varepsilon \cdot \rho_{\text{ref}} = 13.546 \cdot 62.43 \text{ lb}_m / \text{ft}^3 = 845.68 \text{ lb}_m / \text{ft}^3 = \mathbf{845.7 \text{ lb}_m / \text{ft}^3}$$

(σημ. 4 σημαντικά ψηφία, λόγω $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$)

(ii) Όγκος $\rho_{\text{Hg}} = \frac{m_{\text{Hg}}}{V_{\text{Hg}}} \Rightarrow$

$$V_{\text{Hg}} = \frac{m_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{Hg}}} = 215 \text{ kg} \left| \frac{1 \cancel{\text{lb}_m}}{0.4536 \cancel{\text{kg}}} \right| \left| \frac{1 \cancel{\text{ft}^3}}{845.7 \cancel{\text{lb}_m}} \right| = 0.560 \text{ ft}^3$$

*Η έννοια του mole (συμβολίζεται με mol)
είναι βασική έννοια στη στοιχειομετρία αντιδράσεων*

- Ένα **mole** είναι η ποσότητα μιας ουσίας που αποτελείται από $6.02214076 \times 10^{23}$ (αριθμός του Avogadro) μόρια ή τυπικές μονάδες αυτής
⇒ *mole είναι η ποσότητα ενός στοιχείου ή χημικής ένωσης που ζυγίζει τόσα γραμμάρια όσα είναι το μοριακό της βάρος*
- **Μοριακό βάρος** είναι η μάζα ενός μορίου σε σύγκριση με τη μάζα ενός νουκλεονίου του ισοτόπου άνθρακα 12 (^{12}C)
⇒ *προκύπτει από το άθροισμα των ατομικών βαρών των συστατικών του (λαμβάνοντας υπόψη και τους δείκτες)*

Παράδειγμα:

Πόσα mol CaCO_3 περιέχονται σε 150 g CaCO_3 ; (Ar: Ca=40, C=12, O=16)

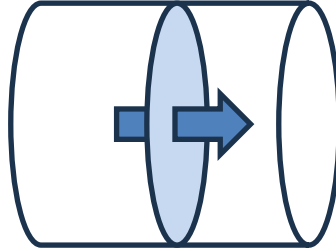
1.5 mol CaCO_3

Πόσα mol Ca, C, O_2 περιέχονται στην παραπάνω ποσότητα;

Ca: 1.5 mol, C:1.5 mol, O_2 :2.25 mol

Πόσα g Ca, C και O_2 περιέχονται στην παραπάνω ποσότητα;

60 g Ca, 18 g C, 72 g O_2



Ρυθμός ροής μάζας

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

Γραμμομοριακός ρυθμός ροής

$$\dot{n} = \frac{n}{t} \Rightarrow \dot{n} = \frac{\dot{m}}{M_i}$$

Ογκομετρικός ρυθμός ροής

$$F = \dot{V} = \frac{V}{t}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10

Υγρό τολουόλιο ρέει σε σωλήνα με ρυθμό $175 \text{ m}^3/\text{h}$.

i. Ποιος είναι ο μαζικός ρυθμός ροής σε kg/min ;

ii. Ποια είναι η μολαρική ροή σε mol/s ?

Δίνονται $M_{r_{\text{τολ}}} = 92.13$, $\rho_{\text{τολ}} = 0.866 \text{ kg}/\text{L}$.

$$\Xi\acute{\epsilon}\rho\omicron\upsilon\mu\epsilon \text{ \textbf{ότι} } \rho = m / V \Leftrightarrow m = V \cdot \rho \Leftrightarrow \dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 175 \frac{\cancel{\text{m}^3}}{\cancel{\text{h}}} \cdot 0.866 \frac{\cancel{\text{kg}}}{\cancel{\text{L}}} \left| \frac{1000 \cancel{\text{L}}}{1 \cancel{\text{m}^3}} \right| \frac{1 \cancel{\text{h}}}{60 \text{ min}} = 2525.8 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$\dot{n} = \frac{n}{t} = \frac{m/M_r}{t} = \frac{m}{t} \cdot \frac{1}{M_r} = \dot{m} \cdot \frac{1}{M_r} = 2525.8 \frac{\cancel{\text{kg}}}{\cancel{\text{min}}} \left| \frac{1 \cancel{\text{mol}}}{92.13 \cancel{\text{g}}} \right| \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \cancel{\text{kg}}} \left| \frac{1 \cancel{\text{min}}}{60 \text{ s}} \right| = 457,5 \text{ mol/s}$$

Μοριακό ή μολαρικό κλάσμα

$$y_A = \frac{mol_A}{mol_m}$$

Κλάσμα μάζας

$$x_A = \frac{\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha_A}{\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha_m} = \frac{m_A}{m_m}$$

Κλάσμα όγκου

$$u_A = \frac{\acute{o}\gamma\kappa\omicron\varsigma\alpha_A}{\acute{o}\gamma\kappa\omicron\varsigma_m} = \frac{V_A}{V_m}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11



Μετατροπή σύστασης κατά μάζα σε μολαρική σύσταση

Αέριο μίγμα έχει την ακόλουθη σύσταση κατά μάζα

O_2 16.0% CO 4.0% CO_2 17.0% και N_2 63.0%

Ποιο το μοριακό κλάσμα (γ) των επιμέρους αερίων;

Ποιο το κλάσμα όγκου (μ) των επιμέρους αερίων;

Λύση:

Μοριακά κλάσματα:

O_2 0.15

CO 0.04

CO_2 0.12

N_2 0.69



Κλάσμα όγκου (μ) των επιμέρους αερίων: Ίδιο με το γ

Ορίζουμε ως βάση υπολογισμού τα 100g μίγματος αερίων

Συστατικό i	Κλάσμα βάρους x_i	Μάζα (g) $m_i = x_i m_{ολ}$	M_i (g/mol)	$n_i = \frac{m_i}{M_i}$	$y_i = \frac{n_i}{n_{ολ}}$
O ₂	0.16	16	32	0.50	$\frac{0.50}{3.28} = 0.15$
CO	0.04	4	28	0.14	0.04
CO ₂	0.17	17	44	0.39	0.12
N ₂	0.63	63	28	2.20	0.69
TOTAL	1.00	100		3.28	1.00

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12



Ποιο είναι το μέσο μοριακό βάρος $\bar{M}_i$ του αέρα θεωρώντας σύσταση 21% O_2 και 79 % N_2 ανά mole αέρα;

Λύση:

Βάση υπολογισμού 1 mol αέρα:

$$m_{O_2} = 1 \text{ mol αερα} \left| \frac{0.21 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol αερα}} \right| \left| \frac{32.00 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } O_2} \right| = 6.72 \text{ g } O_2$$

$$m_{N_2} = 1 \text{ mol αερα} \left| \frac{0.79 \text{ mol } N_2}{1 \text{ mol αερα}} \right| \left| \frac{28.20 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2} \right| = 22.28 \text{ g } N_2$$

Άρα η μάζα 1 mol αέρα είναι $m_{O_2} + m_{N_2} = 6.72 + 22.28 = 29 \text{ g}$,
δηλ. **$\bar{M}_i = 29 \text{ g / mol}$**

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (Διαλύματα)

Συγκέντρωση μια διαλυμένης ουσίας είναι η μάζα της ουσίας ανά όγκο διαλύματος (g/L, kg/m³...).

Μοριακή συγκέντρωση είναι τα mol της ουσίας ανά όγκο διαλύματος (mol/m³, lb mol/ ft³...).

Μοριακότητα είναι τα mol της ουσίας ανά λίτρο διαλύματος.

Για **ίχνη διαλυμένης ουσίας** (πολύ μικρές συγκεντρώσεις) χρησιμοποιούνται οι όροι ppm (parts per million) και ppb (parts per billion).

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb. (g ή mol) , ppm} = y_i * 10^6, \text{ ppb} = y_i * 10^9$$

Τα ppm/ppb είναι αδιάστατοι αριθμοί και είναι σχέσεις όμοιων ποσοτήτων (πχ g, kg, L, mol κλπ).

Παρασκευάστηκε διάλυμα που περιέχει **100 g NaOH** σε **2 L** διαλύματος.

- Συγκέντρωση NaOH σε g/L, kg/m³
- Μοριακότητα διαλύματος

$$C = 50 \text{ g/L} = 50 \text{ kg/m}^3$$

$$M = 1.25 \text{ mol/L}$$

Συγκέντρωση Ni: 0.06 mg/L

- Συγκέντρωση σε ppm και ppb?

$$C = 0.06 \text{ ppm} = 60 \text{ ppb}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14



Το τριοξειδίο του θείου (SO_3) απορροφάται σε διάλυμα θειικού οξέος H_2SO_4 σχηματίζοντας περισσότερο πυκνό θειικό οξύ. Αν το αέριο που πρόκειται να απορροφηθεί περιέχει 55% SO_3 , 41% N_2 , 3% SO_2 και 1% O_2

- Πόσα ppm O_2 υπάρχουν στο αέριο;
- Ποια η σύσταση του αερίου, αν δεν λάβουμε υπόψη το N_2 ;

Λύση:

10^4 ppm (O_2)

SO_3 93.2 % mol/mol

O_2 1.7 % mol/mol

SO_2 5.1 % mol/mol



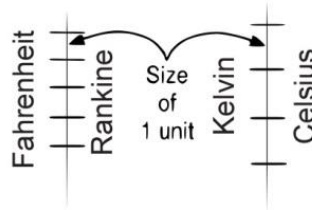
$$(\alpha) 1\% O_2 = \frac{1 \text{ mol } O_2}{100 \text{ mol αεριου}} = \frac{1 \text{ mol } O_2}{100 \text{ mol αεριου}} \cdot \frac{10^4}{10^4} = \frac{10^4 \text{ mol } O_2}{10^6 \text{ mol αεριου}} = 10^4 \text{ ppm } (O_2)$$

(β) Διαλέγω βάση 100 mol αερίου

	mol (με N ₂)	mol (χωρίς N ₂)	Κλάσμα y_i (χωρίς N ₂)	% mol (χωρίς N ₂)
SO ₃	55	55	55/59 = 0.932	93.2 %
O ₂	1	1	1/59 = 0.017	1.7 %
SO ₂	3	3	3/59 = 0.051	5.1 %
N ₂	41			
	100	59	1.000	100.0 %

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
Fahrenheit	Rankine		Kelvin	Celsius
-460	0	Απόλυτο μηδέν	0	-273



$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) + 459.67$$

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

$$T(^{\circ}R) = 1.8 \cdot T(K)$$

Συντελεστές μετατροπής διαφοράς θερμοκρασίας

$$(\Delta T) = 1.8^{\circ}\text{F} / ^{\circ}\text{C}$$

$$= 1.8 \text{ } ^\circ\text{R} / \text{K}$$

$$= 1\text{ }^{\circ}\text{F} / \text{ }^{\circ}\text{R}$$

$$= 1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{K}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 15

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) + 459.67$$

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

$$T(^{\circ}R) = 1.8 \cdot T(K)$$

Συντελεστές μετατροπής
διαφοράς θερμοκρασίας
(ΔT)

- $= 1.8 \text{ }^{\circ}F / ^{\circ}C$
- $= 1.8 \text{ }^{\circ}R / K$
- $= 1 \text{ }^{\circ}F / ^{\circ}R$
- $= 1 \text{ }^{\circ}C / K$

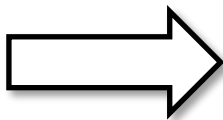
$$\rho_{H_2O @ 20C} = 998.188 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{H_2O @ 70C} = 977.817 \text{ kg/m}^3$$

Σε ένα ταχυθερμοσίφωνα ισχύουν τα παρακάτω:

$$T_{\text{εισ}} = 20^{\circ}C, T_{\text{εξ}} = 70^{\circ}C, F = 0.50 \text{ L/min}$$

- Διάγραμμα ροής;
- Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου (T) σε $^{\circ}C$, K, $^{\circ}F$ και $^{\circ}R$;
- Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου (ΔT) σε $^{\circ}C$, K, $^{\circ}F$ και $^{\circ}R$;
- Παροχές (σε kg/min και L/min);



$$T_{\text{εισ}} = 20^{\circ}C = 293 \text{ K} = 68^{\circ}F = 528^{\circ}R$$

$$T_{\text{εξ}} = 70^{\circ}C = 343 \text{ K} = 158^{\circ}F = 618^{\circ}R$$

$$\Delta T = 50^{\circ}C = 50 \text{ K} = 90^{\circ}F = 90^{\circ}R$$

$$F_{\text{mass}}^{\text{IN}} = F_{\text{vol}}^{\text{IN}} \cdot \rho_{H_2O @ 20C} = 0.50 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot 998.188 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left| \frac{\text{m}^3}{1000\text{L}} \right| = 0.50 \text{ kg/min}, \quad \text{σημ. } F_{\text{mass}}^{\text{OUT}} = F_{\text{mass}}^{\text{IN}}$$

$$F_{\text{vol}}^{\text{OUT}} = F_{\text{mass}}^{\text{OUT}} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O @ 70C}} = 0.50 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{1}{977.817 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \left| \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} \right| = 0.51 \text{ L/min}$$

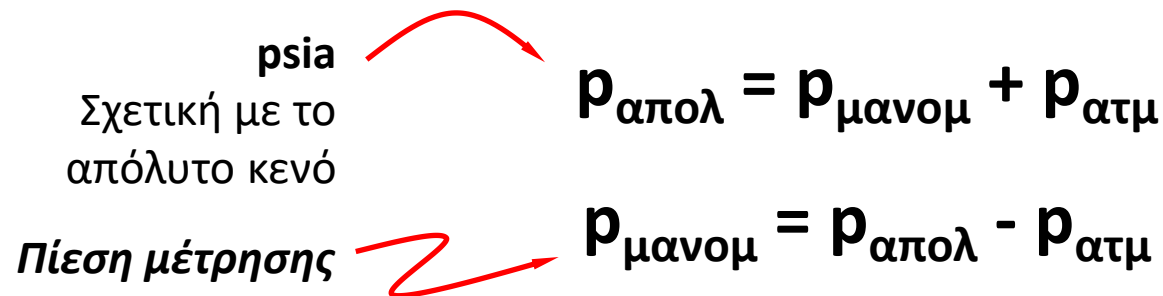
- **Ατμοσφαιρική πίεση** είναι η πίεση που ασκείται από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της θάλασσας (=1 atm).
- **Σχετική πίεση** είναι η πίεση που μετριέται με πίεση αναφοράς την ατμοσφαιρική πίεση.
- **Απόλυτη πίεση** είναι η πίεση που μετριέται με πίεση αναφοράς τη μηδενική πίεση (κενό).

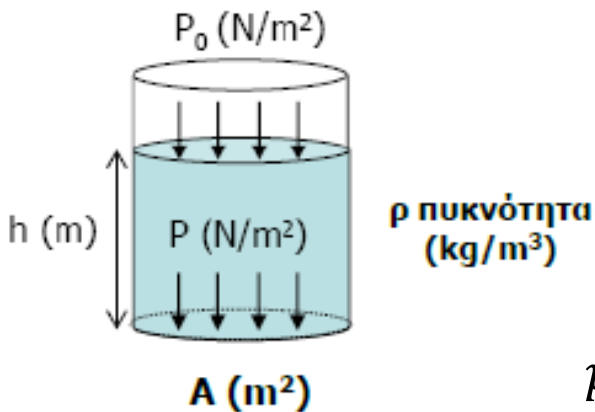
p_{sia}
Σχετική με το
απόλυτο κενό

$p_{απολ} = p_{μανομ} + p_{ατμ}$

Πίεση μέτρησης

$p_{μανομ} = p_{απολ} - p_{ατμ}$





Υδροστατική πίεση (σταθερή στήλη υδραργύρου)

$$P = B_{Hg}/A + P_0 \leftarrow \text{ατμοσφαιρική πίεση}$$

πίεση που ασκείται από τον Hg

$$p = \frac{mg}{A} + p_0 = \frac{\rho V g}{A} + p_0 = \frac{\rho A h g}{A} + p_0 = \rho h g + p_0$$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ - ΠΙΕΣΗ

	mm Hg	in. Hg	bar	atm	kPa	psia
mm Hg	1	3.937×10^{-2}	1.333×10^{-3}	1.316×10^{-3}	0.1333	1.934×10^{-2}
in. Hg	25.40	1	3.386×10^{-3}	3.342×10^{-2}	3.386	0.4912
bar	750.06	29.53	1	0.9869	100	14.51
atm	760.0	29.92	1.013	1	101.3	14.696
kPa *	7.502	0.2954	1.000×10^{-2}	9.872×10^{-3}	1	0.1451
psia	51.71	2.036	6.893×10^{-2}	6.805×10^{-2}	6.893	1

Πίεση = δύναμη / επιφάνεια

Μονάδα SI: **Pascal (Pa) = N/m²**

Μονάδα AES: **lb_f/in² (psi)**



Συνήθεις μονάδες (αντιστοιχίες):

$$1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} = 1.013 \text{ bar} = 760 \text{ mm Hg} = 14.7 \text{ psi}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16



Η μανομετρική πίεση σε ένα δοχείο οξυγονοκολλητή είναι 22.4 psig.
Η βαρομετρική πίεση είναι 28.6 in. Hg.

Υπολογίστε την απόλυτη πίεση στο δοχείο:

α) lb_f/ft^2 , β) in. Hg γ) N/m^2 και δ) ft H_2O

Συμβουλές:

1. **Don't panic**

2. Αν όντως πανικοβληθείτε, κάντε το διακριτικά....

3. Θυμηθείτε (και λάβετε υπόψη σας) τα ακόλουθα:

- $\text{psi} [=] \text{lb}_f / \text{in}^2$
- $1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi} = 1.013 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 = 22.92 \text{ in. Hg} = 33.94 \text{ ft H}_2\text{O}$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16**Λύση**

- $\text{psi [=]} \text{ lb}_f / \text{in}^2$
- $1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 22.92 \text{ in. Hg} = 33.94 \text{ ft H}_2\text{O}$

ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ

α) lb_f/ft^2 , β) in. Hg
 γ) N/m^2 και δ) $\text{ft H}_2\text{O}$

$$P_{\text{απόλυτη}} = P_{\text{μανομετρική}} + P_{\text{βαρομετρική}}$$

$$22.4 \text{ psig} \quad 28.6 \text{ in. Hg}$$

$$(\alpha) \ p_{\alpha\pi\omicron\lambda} = 22.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \left| \frac{12^2 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \right| + 28.6 \text{ in Hg} \left| \frac{14.7 \text{ psi}}{22.92 \text{ in Hg}} \right| \left| \frac{1 \text{ lb}_f/\text{in}^2}{\text{psi}} \right| \left| \frac{12^2 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \right| = 5248 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$$

$$(\beta) \ p_{\alpha\pi\omicron\lambda} = 22.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \left| \frac{22.92 \text{ in Hg}}{14.7 \text{ psi}} \right| + 28.6 \text{ in Hg} = 74.2 \text{ in Hg}$$

$$(\gamma) \ p_{\alpha\pi\omicron\lambda} = 22.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \left| \frac{1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{14.7 \text{ psi}} \right| + 28.6 \text{ in Hg} \left| \frac{1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{29.92 \text{ in Hg}} \right| = 2.51 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$(\delta) \ p_{\alpha\pi\omicron\lambda} = 22.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \left| \frac{33.94 \text{ ft H}_2\text{O}}{14.7 \text{ psi}} \right| + 28.6 \text{ in Hg} \left| \frac{33.94 \text{ ft H}_2\text{O}}{29.92 \text{ in Hg}} \right| = 84.16 \text{ ft H}_2\text{O}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 17



Στην εξίσωση τελείων αερίων: $PV=nRT$, $R = 0.08206 \text{ (L} \cdot \text{atm)/(mol} \cdot \text{K)}$.

Ποια είναι η τιμή του R σε $(\text{ft}^3 \cdot \text{psi}) / (\text{lb}_{\text{mol}} \cdot ^\circ\text{R})$

$$1 \text{ mol} = \frac{\mu\alpha\zeta\alpha \text{ (g)}}{MB} \left| \frac{1 \text{ lb}}{453.6 \text{ g}} \right| = \frac{1}{453.6} \text{ lbmol}$$



$$\begin{aligned} R &= 0.08206 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \left| \frac{1 \text{ ft}^3}{0.3048^3 \text{ m}^3} \right| \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| \left| \frac{14.696 \text{ psi}}{1 \text{ atm}} \right| \left| \frac{453.6 \text{ mol}}{1 \text{ lbmol}} \right| \left| \frac{1 \text{ K}}{1.8^\circ\text{R}} \right| \\ &= 10.73 \frac{\text{ft}^3 \cdot \text{psia}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}} \end{aligned}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 18



$$p = \underbrace{\rho gh}_{P_{\text{σχετ}}} + \underbrace{p_o}_{P_{\text{απολ}}}$$

Πόση είναι η απόλυτη και η σχετική πίεση 30 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ($\rho = 1.025 \text{ g/cm}^3$) σε Pa, MPa, atm και psi.

$$P_{\text{σχετ}} = \rho gh = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 30 \text{ m} = 3.02 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 3.02 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 3.02 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} \text{Μετατροπές: } P_{\text{σχετ}} &= 3.02 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.302 \text{ MPa} = 3.02 \times 10^5 \text{ Pa} \left| \frac{1 \text{ atm}}{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}} \right| = 2.98 \text{ atm} \\ &= 2.98 \text{ atm} \left| \frac{14.7 \text{ psi}}{1 \text{ atm}} \right| = 43.8 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{απολ}} &= 3.02 \times 10^5 \text{ Pa} + 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 4.03 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.403 \text{ MPa} \\ &= 2.98 \text{ atm} + 1 \text{ atm} = 3.98 \text{ atm} = 43.8 \text{ psi} + 14.7 \text{ psi} = 58.5 \text{ psia} \end{aligned}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 19

Στα πόσα μέτρα βάθους στη θάλασσα η απόλυτη πίεση γίνεται διπλάσια της ατμοσφαιρικής πίεσης

$P_{\text{απολ}}$

$$\rho = 1.025 \text{ g/cm}^3$$



$$p = \rho g h + p_o$$

$P_{\text{σχετ}}$

$$p_{\text{απολ}} = \rho h g + p_{\text{atm}} \Rightarrow 2p_{\text{atm}} = \rho h g + p_{\text{atm}} \Rightarrow \rho h g = p_{\text{atm}} \Rightarrow h = \frac{p_{\text{atm}}}{\rho g}$$

$$\Rightarrow h = \frac{1.013 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1025 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ s}^2}{9.806 \text{ m}} = 10.1 \text{ m}$$



THAT'S IT.