

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

A

Επιμέλεια : Ι. Μολίνου – Προβιδάκη
B. Χαβρεδάκη

ΑΘΗΝΑ 2006

I. ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ

B. Χαβρεδάκη

II. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ JOULE – THOMSON

B. Χαβρεδάκη

III. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ

ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΘΑΡΗΣ ΟΥΣΙΑΣ

B. Χαβρεδάκη

ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

B. Χαβρεδάκη

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΥΣΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΜΗ ΜΕΙΓΝΥΟΜΕΝΩΝ

ΦΑΣΕΩΝ. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΙΟΣΟΡΟΟΠΙΑΣ

B. Χαβρεδάκη

IV. ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

ΜΕΙΓΜΑΤΑ ΠΗΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

I. Μολίνου – Προβιδάκη

ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

I. Μολίνου – Προβιδάκη

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΟΣ

I. Μολίνου – Προβιδάκη

ΜΕΡΙΚΟΣ ΓΡΑΜΜΟΜΟΡΙΑΚΟΣ ΟΓΚΟΣ

I. Μολίνου – Προβιδάκη

V. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΤΗ ΜΕΣΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

B. Χαβρεδάκη

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΕΩΣ

B. Χαβρεδάκη

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ
ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SI)**

Φυσική ποσότητα	Μονάδα	Σύμβολα
Μήκος	μέτρο	m
Μάζα	χιλιόγραμμα	kg
Χρόνος	δευτερόλεπτο	s
Ηλεκτρικό ρεύμα	ampere	A
Θερμοδυναμική θερμοκρασία	kelvin	K
Ποσότητα ουσίας	γραμμομόριο	mol
Φωτεινή ένταση	candela	cd

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ
ΤΟΥ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SI)**

Φυσική ποσότητα	Μονάδα	Σύμβολα	Σύμβολα SI
Δύναμη	newton	N	$\text{kg m/s}^2 = \text{J/m}$
Ενέργεια	joule	J	$\text{kg m}^2/\text{s}^2 = \text{AVs}$
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	siemens	S	$\text{s}^3 \text{A}^2/\text{kg m}^2 = \Omega^{-1}$
Ηλεκτρική αντίσταση	ohm	Ω	$\text{kg m}^2/\text{s}^3 \text{A}^2 = \text{V/A}$
Ηλεκτρική διαφορά δυναμικού	volt	V	$\text{kg m}^2/\text{s}^2 \text{A} = \text{J/As} = \text{J/C}$
Ηλεκτρικό φορτίο	coulomb	C	A s
Ισχύς	watt	W	$\text{kg m}^2/\text{s}^2 = \text{J/s}$
Πίεση	pascal	Pa	$\text{kg/m s}^2 = \text{N/m}^2 = \text{J/m}^3$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Φυσική ποσότητα	Μονάδα	Σύμβολο	Συσχετισμός
Διπολική ροπή	debye	D	$3.33564 \cdot 10^{-30}$
Δύναμη	δύνη	dyn	$10^{-5} \text{N} = 1 \text{ g cm/s}^2$
Ενέργεια	έργιο	erg	$10^{-7} \text{J} = 1 \text{ g cm}^2/\text{s}^2$
	θερμίδα	cal	4.18 J
	ηλεκτρονιοβόλτ	eV	$1.602 \cdot 7732 \cdot 10^{-19} \text{J}$
Ιξώδες	poise	P	$1 \text{ g/cm s} = 10^{-1} \text{ Pa s}$
Μάζα	pound	lb	0.45359 kg
	τόννος	t	10^3 kg
Μήκος	angström	Å	$10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm} = 100 \text{ pm}$
	inch	in	2.54 cm
	micron	μ	10^{-6} m
Ογκος	λίτρο	l	$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
Πίεση	torr	Torr	$133.3224 \text{ Pa} \approx 1 \text{ mm Hg}$
	ατμόσφαιρα	atm	$1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ Torr} = 1.01325 \text{ bar}$
	bar	bar	$10^5 \text{ Pa} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$
Συγκέντρωση	molarity	M	$\text{mol/l} = \text{mol/dm}^3 = 10^{-3} \text{ mol/cm}^3$
Επιφανειακή τάση	dyn cm^{-1}	γ	$1 \text{ dyn cm}^{-1} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ J m}^{-2}$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ

Ταχύτητα φωτός στο κενό	c	$2.99792458 \cdot 10^8$ m/s
Φορτίο πρωτονίου	e	$1.60217733 \cdot 10^{-19}$
Σταθερά Faraday	F	96485.309 C/mol
Κανονική επιτάχυνση της βαρύτητας	g	9.80665 m/s ²
Σταθερά Planck	h	$6.6260755 \cdot 10^{-34}$ J s
Σταθερά Boltzmann	k	$1.380658 \cdot 10^{-23}$ J/K
Σταθερά Avogadro	N	$6.0221367 \cdot 10^{23}$ mol ⁻¹
Σταθερά αερίων	R	8.314510 J/mol K
Θερμοκρασία σημείου πάγου	T _i	273.15 K
Θερμοκρασία τριπλού σημείου ύδατος	T ₃	273.16 K
Ατομική μάζα (m _{C12} / ¹²)	u	$1.6605402 \cdot 10^{-27}$ kg
Γραμμομοριακός όγκος ιδανικού αερίου (273.15K, 1atm)	v _m	22.4141 dm ³ /mol
Κανονική ατμόσφαιρα	atm	$1.01325 \cdot 10^5$ N/m ²
Θερμοχημική θερμίδα	cal	4.184 J
Ηλεκτρονιοβόλτ	eV	$1.60217733 \cdot 10^{-19}$ J

ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΔΕΚΑΔΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Δύναμη	Πρόθεμα	Σύμβολο	Δύναμη	Πρόθεμα	Σύμβολο
10	deca	da	10 ⁻¹	deci	d
10 ²	ecto	h	10 ⁻²	centi	c
10 ³	kilo	k	10 ⁻³	milli	m
10 ⁶	mega	M	10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁹	giga	G	10 ⁻⁹	nano	n
10 ¹²	tera	T	10 ⁻¹²	pico	p
			10 ⁻¹⁵	femto	f
			10 ⁻¹⁸	atto	a

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας βασικών μονάδων του διεθνούς συστήματος (SI)	v
Πίνακας κυριότερων παραγώγων μονάδων	v
Πίνακας συσχετισμού κυριότερων μονάδων	vi
Πίνακας κυριότερων φυσικών σταθερών	vii
Πίνακας συμβολισμού πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων δεκαδικών δυνάμεων	vii
I. ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ	
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ	1
Ενθαλπία και θερμοχωρητικότητα	1
Ενθαλπία αντιδράσεως	2
Θερμοχημικές αντιδράσεις	5
Κανονική ενθαλπία (θερμότητα) σχηματισμού χημικής ενώσεως	5
Υπολογισμός ενθαλπίας αντιδράσεως	6
Νόμος των σταθερών αθροισμάτων θερμότητας του Hess	7
Εξάρτηση της ενθαλπίας αντιδράσεων από την θερμοκρασία.	
Εξίσωση Kirchhoff	8
Βιβλιογραφία	9
II. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ JOULE-THOMSON	10
Θεωρία	10
Βιβλιογραφία	18
III. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ	
ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΘΑΡΗΣ ΟΥΣΙΑΣ	19
Ισορροπία και ευστάθεια φάσεων καθαρής ουσίας σε διάφορες συνθήκες	19
Εξίσωση Clausius-Clapeyron	26
Εξάρτηση της θερμότητας εξατμίσεως από την θερμοκρασία	30
Εξάρτηση της θερμότητας εξατμίσεως από την πίεση	32
Βιβλιογραφία	34
ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ	35
Κανόνας των φάσεων	35
Συστήματα ενός συστατικού	37
Συστήματα δύο συστατικών	38
Διαγράμματα φάσεων υγρού-ατμού	38
Διαγράμματα φάσεων υγρού-υγρού	40
Διαγράμματα φάσεων υγρού-στερεού	43
Κανόνας μοχλού	46
Θερμική ανάλυση	49
Συστήματα τριών συστατικών	51

Διαγράμματα φάσεων συστημάτων τριών υγρών συστατικών	54
Βιβλιογραφία	59
ΣΤΑΘΕΡΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΔΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	60
Θεωρία	60
Βιβλιογραφία	64
IV. ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ	
ΜΕΙΓΜΑΤΑ ΠΗΤΗΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΗΜΕΙΟΥ ΖΕΣΕΩΣ – ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ	65
Ιδανικά διαλύματα	65
Νόμοι Raoult και Henry	67
Αραιά ιδανικά διαλύματα	68
Πραγματικά διαλύματα	69
Θερμοδυναμικές ιδιότητες μείξεως ιδανικών και πραγματικών διαλυμάτων	70
Ιδιότητες μείξεως σε ιδανικά διαλύματα	70
Πραγματικά διαλύματα	71
Μεταβολές της συναρτήσεως Gibbs σε πραγματικά διαλύματα	72
Πρόσθετες θερμοδυναμικές ιδιότητες	72
Διαγράμματα τάσεων ατμών-συνθέσεως	73
Ερμηνεία διαγραμμάτων τάσεως ατμών-συνθέσεως	75
Αποκλίσεις από τον νόμο Raoult	76
Ερμηνεία διαγραμμάτων σημείου ζέσεως-συνθέσεως	79
Κλασματική απόσταξη	80
Βιβλιογραφία	84
ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	85
Ισορροπία σε διαλύματα	85
Ισορροπία μεταξύ ιδανικού διαλύματος και καθαρής κρυσταλλικής ουσίας	86
Ταπείνωση του σημείου πήξεως	87
Ιδανική διαλυτότης στερεών σε υγρά	90
Ανύψωση του σημείου ζέσεως	93
Πραγματικά διαλύματα. Προσδιορισμός ενεργότητας σε μη ηλεκτρολυτικά διαλύματα από προσθετικές ιδιότητες	95
Εξίσωση Gibbs – Duhem	97
Προσδιορισμός ενεργότητας σε ηλεκτρολυτικά διαλύματα από προσθετικές ιδιότητες	97
Ωσμωτικός συντελεστής	100
Προσθετικές ιδιότητες και συντελεστής van't Hoff	101
Βιβλιογραφία	101

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΟΣ	102
Ενεργότητες ιόντων σε διάλυμα. Συντελεστής ενεργότητας.	
Καταστάσεις αναφοράς.	102
Ιοντικά διαλύματα. Θεωρία Debye-Hückel	104
Διερεύνηση της εξισώσεως Debye-Hückel	108
Υπολογισμός της σταθεράς του γινομένου διαλυτότητας	109
Επίδραση άλατος με κοινό ιόν στην διαλυτότητα	110
Επίδραση άλατος χωρίς κοινό ιόν στην διαλυτότητα	110
Βιβλιογραφία	111
ΜΕΡΙΚΟΣ ΓΡΑΜΜΟΜΟΡΙΑΚΟΣ ΟΓΚΟΣ	117
Μέθοδοι προσδιορισμού μερικού γραμμομοριακού όγκου	119
Βιβλιογραφία	124
V. ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΤΗ ΜΕΣΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	125
Επιφανειακή τάση υγρών	125
Φαινόμενα σε καμπύλες επιφάνειες ή μεσεπιφάνειες	129
Μέθοδοι προσδιορισμού επιφανειακής τάσεως υγρών	133
Κατάσταση και δομή της επιφάνειας ή μεσεπιφάνειας υγρού	135
Θερμοδυναμική της επιφάνειας καθαρής ουσίας	137
Εξάρτηση της επιφανειακής τάσεως από την θερμοκρασία	139
Εξάρτηση της επιφανειακής τάσεως από την πίεση	140
Επιφανειακή τάση διαλυμάτων	140
Θερμοδυναμική της επιφάνειας διαλύματος	144
Βιβλιογραφία	150
ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΕΩΣ	151
Φυσική και χημική προσρόφηση	151
Αλληλεπιδράσεις αερίου-στερεού στην φυσική προσρόφηση	153
Ισόθερμες προσροφήσεως	157
Θερμοδυναμική της προσροφήσεως	158
Ισόθερμη προσροφήσεως Gibbs	163
Ισόθερμη προσροφήσεως Langmuir	163
Ισόθερμη προσροφήσεως BET	166
Ισόθερμη προσροφήσεως Freundlich	166
Υπολογισμός ισοστερικής ενθαλπίας προσροφήσεως	167
Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας στερεού	168
Προσρόφηση από διαλύματα	169
Βιβλιογραφία	170
Πίνακας συμβόλων	171