



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ  
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ  
ΔΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΨΥΞΕΩΣ



1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

- 1.— *Μαθηματικὰ A', B'*
- 2.— *Φυσικὴ A', B'*
- 3.— *Χημεία*
- 4.— *Μηχανικὴ A', B', Γ'*
- 5.— *Μηχανουργικὴ Τεχνολογία A', B'*
- 6.— *Ηλεκτρολογία A', B', Γ'*
- 7.— *Ραδιοτεχνία A', B'*
- 8.— *Εἰσαγωγὴ στὴν Τεχνικὴ τῆς Τηλεφωνίας*
- 9.— *Ηλεκτρολογία Μηχανολόγου*
- 10.— *Έργα στηριακαὶ Ἀσκήσεις Ηλεκτρολογίας*
- 11.— *Εφημοσμένη Ηλεκτροχημεία*
- 12.— *Κινητήριαι Μηχαναὶ A', B'*
- 13.— *Στοιχεῖα Μηχανῶν*
- 14.— *Δομικὰ Υλικὰ A', B'*
- 15.— *Γενικὴ Δομικὴ A', B', Γ'*
- 16.— *Οἰκοδομικὴ A', B', Γ', Δ'*
- 17.— *Υδραυλικὰ Ἐργα A', B'*
- 18.— *Συγκοινωνιακὰ Ἐργα A', B', Γ'*
- 19.— *Τοπογραφία*
- 20.— *Οἰκοδομικαὶ Σχεδιάσεις*
- 21.— *Σχεδιάσεις Τεχνικῶν Ἐργων*
- 22.— *Οργάνωσις - Διοίκησις Ἐργων*
- 23.— *Τεχνικὸν Σχέδιον*
- 24.— *Τεχνολογία Αὐτοκινήτου A', B'*
- 25.— *Μεταλλογνωσία*
- 26.— *Κλιματισμός*
- 27.— *Ἄννψωτικὰ Μηχανήματα*

‘Ο Εὐγένιος Εὐγενίδης, ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Εὐγενίδου» προεῖδεν ἐνωρίτατα και ἐσχημάτισε τὴν βαθεῖαν πεποίθησιν, ὅτι ἀναγκαῖον παράγοντα διὰ τὴν πρόοδον του ἔθνους θὰ ἀπετέλει ἡ ἀρτία κατάρτισις τῶν τεχνικῶν μας ἐν συνδυασμῷ πρὸς τὴν ἡθικὴν ἀγωγὴν αὐτῶν.

Τὴν πεποίθησίν του αὐτὴν τὴν μετέτρεψεν εἰς γενναιόφρονα πρᾶξιν εὐδεργεσίας, ὅταν ἐκληροδότησε σεβαστὸν ποσὸν διὰ τὴν σύστασιν ‘Ιδρύματος, ποὺ θὰ είχε σκοπὸν νὰ συμβάλῃ εἰς τὴν τεχνικὴν ἐκπαίδευσιν τῶν νέων τῆς Ἑλλάδος.

Διὰ του Β. Διατάγματος τῆς 10ης Φεβρουαρίου 1956, συνεστήθη τὸ “Ιδρυμα Εὐγενίδου και κατὰ τὴν ἐπιθυμίαν του διαθέτου ἐτέθη ὑπὸ τὴν διοίκησιν τῆς ἀδελφῆς του Κυρίας Μαρ. Σίμου. Ἀπὸ τὴν στιγμὴν ἐκείνην ἥρχισαν πραγματοποιούμενοι οἱ σκοποὶ ποὺ ὠραματίσθη ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης και συγχρόνως ἡ πλήρωσις μιᾶς ἀπὸ τὰς βασικωτέρας ἀνάγκας του ἔθνικου μας βίου.

\* \* \*

Κατὰ τὴν κλιμάκωσιν τῶν σκοπῶν του, τὸ “Ιδρυμα προέταξε τὴν ἔκδοσιν τεχνικῶν βιβλίων τόσον διὰ λόγους θεωρητικοὺς ὅσον και πρακτικούς. Ἐκριθη, πράγματι, ὅτι ἀπετέλει πρωταρχικὴν ἀνάγκην ὁ ἐφοδιασμὸς τῶν μαθητῶν μὲ σειρὰς βιβλίων, αἱ ὁποῖαι θὰ ἔθετον ὁρθὰ θεμέλια εἰς τὴν παιδείαν των και αἱ ὁποῖαι θὰ ἀπετέλουν συγχρόνως πολύτιμον βιβλιοθήκην διὰ κάθε τεχνικόν.

Τὸ ὄλον ἔργον ἥρχισε μὲ τὴν ὑποστήριξιν του ‘Υπουργείου Βιομηχανίας, τότε ἀρμοδίου διὰ τὴν τεχνικὴν ἐκπαίδευσιν, και συνεχίζεται ἡδη μὲ τὴν ἔγκρισιν και τὴν συνεργασίαν του ‘Υπουργείου ‘Εθνικῆς Παιδείας, βάσει του Νομοθετικοῦ Διατάγματος 3970/1959.

Αἱ ἐκδόσεις του ‘Ιδρυματος διαιροῦνται εἰς τὰς ἀκολούθους βασικὰς σειράς, αἱ ὁποῖαι φέρουν τοὺς τίτλους:

«Βιβλιοθήκη του Τεχνίτη», «Βιβλιοθήκη του Τεχνικοῦ», «Βιβλιοθήκη του Τεχνικοῦ βοηθοῦ Χημικοῦ», «Τεχνικὴ Βιβλιοθήκη».

‘Εξ αὐτῶν ἡ πρώτη περιλαμβάνει τὰ βιβλία τῶν Σχολῶν Τεχνιτῶν,

ή δευτέρα τὰ βιβλία τῶν Μέσων Τεχνικῶν Σχολῶν, ή τρίτη τῶν Σχολῶν Τεχνικῶν βοηθῶν Χημικῶν, ή τετάρτη τὰ βιβλία τὰ προοριζόμενα διὰ τὰς ἀνωτέρας Τεχνικὰς Σχολὰς (ΚΑΤΕ, ΣΕΛΕΤΕ, Σχολαι· Υπομηχανικῶν). Παραλλήλως, ἀπὸ τοῦ 1966 τὸ "Ιδρυμα ἀνέλαβε καὶ τὴν ἐκδοσιν βιβλίων διὰ τὰς Δημοσίας Σχολὰς Ε.Ν.

Αἱ σειραι αὐται θὰ ἐμπλουτισθοῦν καὶ μὲ βιβλία εὐρυτέρου τεχνικοῦ ἐνδιαφέροντος χρήσιμα κατὰ τὴν ἀσκησιν τοῦ ἐπαγγέλματος.

\* \* \*

Οἱ συγγραφεῖς καὶ η Ἐπιτροπὴ Ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος καταβάλλονταν κάθε προσπάθειαν, ὥστε τὰ βιβλία νὰ εἰναι ἐπιστημονικῶς ἄρτια ἀλλὰ καὶ προσηρμοσμένα εἰς τὰς ἀνάγκας καὶ τὰς δυνατότητας τῶν μαθητῶν. Αἱ' αὐτὸ καὶ τὰ βιβλία αὐτὰ ἔχουν γραφῆ εἰς ἀπλῆν γλῶσσαν καὶ ἀνάλογον πρὸς τὴν στάθμην τῆς ἐκπαίδευσεως δι' ἣν προορίζεται ἐκάστη σειρὰ τῶν βιβλίων. Ή τιμή των ὡρίσθη τόσον χαμηλή, ὥστε νὰ εἰναι προσιτὰ καὶ εἰς τοὺς ἀπόρους μαθητάς.

Οὕτω προσφέρονται εἰς τὸ εὐρὺ κοινὸν τῶν καθηγητῶν καὶ τῶν μαθητῶν τῆς τεχνικῆς μας παιδείας αἱ ἐκδόσεις τοῦ Ἰδρύματος, τῶν ὅποιων η συμβολὴ εἰς τὴν πραγματοποίησιν τοῦ σκοποῦ τοῦ Εὐγενίου Εὐγενίδου ἐλπίζεται νὰ εἰναι μεγάλῃ.

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΑΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Αλέξανδρος Ι. Παππᾶς, Όμ. Καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος

Χρυσόστομος Φ. Καθουνίδης, Διπλ.-Μηχ. - Ήλ. ΕΜΠ, Διοικητής Ο.Τ.Ε., Αντιπρόεδρος

Μιχαὴλ Γ. Ἀγγελόπουλος, Τακτικὸς Καθηγητής ΕΜΠ, Διοικητής ΔΕΗ

Παναγιώτης Χατζηιωάννου, Μηχ. - Ήλ. ΕΜΠ, Γεν. Δ/ντης Ἐπαγγελματικῆς Εκπ. Υπ.

Παιδείας

Ἐπιστημ. Σύμβουλος, Γ. Ροδόσσος, Χημ. - Μηχ. ΕΜΠ

Σύμβουλος ἐπὶ τῶν ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος, Κ. Α. Μανάφης, Μόν. Ἐπικ. Καθηγητής Παν/μίου Ἀθηνῶν

Γραμματεὺς, Δ. Π. Μεγαρίτης

#### Διατελέσαντα μέλη η σύμβουλοι τῆς Ἐπιτροπῆς

Γεώργιος Κακοιδῆς † (1955 - 1959) Καθηγητής ΕΜΠ, "Ἀγγελος Καλογερᾶς † (1957 - 1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιας (1957 - 1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαὴλ Σπετσιέρης (1956 - 1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960 - 1967)



Ι ΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΑΘΑΝ. ΚΟΥΡΕΜΕΝΟΥ  
Καθηγητού Ε.Μ.Π.

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΔΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΨΥΞΕΩΣ

Α ΘΗΝΑΙ  
1978





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τὸ βιβλίον αὐτὸ ἀπευθύνεται εἰδικά εἰς τοὺς μαθητὰς σχολῶν τεχνικῶν βοηθῶν ἐργοδηγῶν γνῶσεως, ἢ δὲ ἔκτασίς του προστρμόσθη κατὰ τὸ πρόγραμμα τοῦ ‘Υπουργείου Παιδείας.

‘Η ὑλη ἔχει διαταχθῆ κατὰ τρόπον, δ ὅποιος ὁδηγεῖ ἀμέσως εἰς τὴν οὐσίαν τοῦ ὑπ’ ὅψιν μαθήματος, δηλαδὴ εἰς τὴν ἔξετασιν τοῦ ψυκτικοῦ κύκλου μηχανικῆς συμπιέσεως ἀτμοῦ.

Χρησιμοποιοῦνται δλα τὰ συστήματα μονάδων, δπως ἀκριβῶς συμβαίνει καὶ εἰς τὴν ἐλληνικὴν πρᾶξιν. Ἐντὸς ὀλίγων ἐτῶν, μετὰ τὴν ἀναμενομένην ἀποκλειστικὴν ἐπικράτησιν τοῦ Διεθνοῦς Συστήματος Μονάδων, θὰ πρέπει καὶ τὸ βιβλίον νὰ προσαρμοσθῇ ἀναλόγως.

‘Ο συγγραφεὺς



1954

## Π Ι Ν Α Ξ Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Ω Ν

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

#### Κ Ε Φ. 1 Θερμότης—Έργον

Παράγρ.	Σελίς
1 - 1 Θερμοκρασία .....	1
1 - 2 Μέτρησις Θερμοκρασίας .....	2
1 - 3 Κλίμακες Θερμοκρασιῶν .....	4
1 - 4 Μηχανικὸν Ἐργον - Ἰσχὺς .....	10
1 - 5 Θερμότης .....	13
1 - 6 Ειδικὴ θερμοχωρητικότης .....	15
1 - 7 Ἐργον ὁγκομεταβολῆς .....	20
1 - 8 Ἐσωτερικὴ ἐνέργεια .....	23
1 - 9 Πρώτον Θερμοδυναμικὸν Ἀξιώμα .....	28
1 - 10 Ἀνοικτὸν σύστημα .....	30
1 - 11 Ἐνθαλπία .....	34
1 - 12 Καταστατικὰ μεγέθη .....	36

#### Κ Ε Φ. 2 Τέλειον ἀέριον

2 - 1 Ὁρισμὸς τοῦ τελείου ἀερίου .....	37
2 - 2 Ἰσογοκὸς μεταβολὴ .....	40
2 - 3 Ἰσόθλιππος μεταβολὴ .....	42
2 - 4 Ἰσοθερμοκρασιακὴ μεταβολὴ .....	44
2 - 5 Ἀδιαβατικὴ μεταβολὴ .....	46
2 - 6 Στραγγαλισμὸς ἀερίου .....	49
2 - 7 Κυλικαὶ μεταβολαὶ .....	50
2 - 8 Κύκλος Καρνό .....	52

#### Κ Ε Φ. 3 Ἄτμοι

3 - 1 Ἄτμοποίησις .....	56
3 - 2 Πίεσις καὶ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως .....	58
3 - 3 Στερεοτοίησις .....	63
3 - 4 Ὅπόψυκτον ὑγρόν .....	64
3 - 5 Στραγγαλισμὸς ὑγροῦ .....	66
3 - 6 Συμπύκνωσις .....	68

**Κ Ε Φ. 4****Ψυκτικός κύκλος**

4 - 1	Ψυκτική ίσχυς .....	71
4 - 2	Άπορριπτομένη θερμότης .....	73
4 - 3	Ψυκτικός κύκλος .....	75
4 - 4	Θερμοκρασία ψυκτικοῦ κύκλου .....	80
4 - 5	Συντελεστής συμπεριφορᾶς .....	82
4 - 6	“Υγρόψυξης συμπυκνώματος .....	85

**Κ Ε Φ. 5****Μετάδοσις θερμότητος**

5 - 1	Τρόποι μεταδόσεως θερμότητος .....	87
5 - 2	‘Αγωγιμότης .....	88
5 - 3	Συναγωγή .....	92
5 - 4	Συνδυασμός Συναγωγῆς - ‘Αγωγιμότητος .....	96
5 - 5	‘Ακτινοβολία .....	98

**Κ Ε Φ. 6****Δεύτερον Θερμοδυναμικόν ‘Αξίωμα**

6 - 1	‘Αναστρέψιμα καὶ μὴ ἀναστρέψιμα φαινόμενα .....	101
6 - 2	Δεύτερον Θερμοδυναμικὸν ‘Αξίωμα .....	101
6 - 3	‘Εντροπία .....	102
	Εύρετήριον .....	104

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ν 1

### Θ ΕΡΜΟΤΗΣ — ΕΡΓΟΝ

#### 1 · 1 Θερμοκρασία.

"Οταν ἐγγίζωμεν μὲ τὸ χέρι μας τὸ καλοριφέρ ἢ ὅταν εύρισκώμεθα πλησίον θερμάστρας ἢ φωτιᾶς αἰσθανόμεθα ζέστην. Καταλήγομεν ἔτσι ἀμέσως εἰς τὴν διαπίστωσιν, ὅτι τὸ καλοριφέρ, ἢ θερμάστρα ἢ ἡ φωτιὰ εἶναι πιὸ ζεστὰ ἀπὸ τὸ χέρι μας ἢ τὸ σῶμα μας.

"Οταν ἀντιθέτως πλησιάζωμεν τὸ χέρι μας εἰς τὸ ἐσωτερικὸν τοῦ ψυγείου ἢ ὅταν ἐγγίζωμεν ἔνα κομμάτι πάγου, τότε αἰσθανόμεθα κρύο, ὅποτε καταλήγομεν εἰς τὴν διαπίστωσιν, ὅτι ὁ πάγος ἢ τὸ ψυγεῖον εἶναι πιὸ κρύα ἀπὸ τὸ σῶμα μας

Τὸ ἀνθρώπινον λοιπὸν σῶμα δύναται νὰ διακρίνῃ, ἀν τὰ γύρω του σώματα εἶναι πιὸ ζεστὰ ἢ πιὸ κρύα ἀπὸ αὐτό.

"Αν συνδέομεν ἔνα ἡλεκτρικὸν σίδερο μὲ τὸν ρευματοδότην (πρίζα) καὶ τὸ ἐγγίζωμεν συνεχῶς μὲ τὸ χέρι μας, διαπιστώνομεν ὅτι τὸ σίδερο γίνεται ὅλον καὶ θερμότερον. Τὸ ἀνθρώπινον λοιπὸν σῶμα ὅχι μόνον διακρίνει τὰ σώματα τοῦ περιβάλλοντος εἰς θερμὰ καὶ κρύα, ἀλλὰ εἶναι εἰς θέσιν νὰ τὰ κατατάξῃ καὶ εἰς μίαν σειρὰν ἀναλόγως τῆς θερμοκρασίας των.

"Η κατάταξις ὅμως αὐτὴ δὲν εἶναι ἀπολύτως ἀκριβής, διότι ἔξαρταται πολὺ ἀπὸ τὸ ἀτομόν, ποὺ κάνει τὴν σύγκρισιν. Ἐκτὸς αὐτοῦ ὅμως πρέπει νὰ ὑπάρχῃ καὶ τρόπος μετρήσεως τῆς ίδιότητος αὐτῆς. "Αν θέλη νὰ γράψῃ ἔνας ἀνθρωπος ἀπὸ μίαν πόλιν εἰς μίαν ἄλλην, σχετικῶς μὲ τὴν θερμοκρασίαν ὧρισμένων σωμάτων, θὰ πρέπει νὰ ἔχῃ ἀκριβῆ τρόπον περιγραφῆς τοῦ πόσον ζεστὸν ἢ κρύον εἶναι τὸ σῶμα, διὰ τὸ δποῖον ἐνδιαφέρεται.

Τὸ πρόβλημα τῆς σωστῆς κατατάξεως τῶν σωμάτων εἰς κρύα καὶ ζεστὰ καὶ ἡ ἀκριβής μέτρησις τῆς ίδιότητος αὐτῆς λύεται μὲ τὴν θερμοκρασίαν.

"Ενα ζεστὸν σῶμα ἔχει μεγάλην θερμοκρασίαν. "Ενα κρύον σῶμα ἔχει μικράν θερμοκρασίαν. "Η θερμοκρασία κάθε σώματος δεικνύει πόσον ζεστὸν ἢ πόσον κρύον εἶναι τὸ σῶμα αὐτό.

"Οπως ἀνεφέρθη προηγουμένως, αἱ ἔννοιαι ζεστὸς καὶ κρύος εἰναι δυνατὸν νὰ δρισθοῦν βάσει τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος. Διὰ νὰ ἔχωμεν ὅμως συγκρίσεις χωρὶς τὴν βοήθειαν τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος, δὲν θὰ χρησιμοποιοῦνται πλέον αἱ λέξεις ζεστός-κρύος, ἀλλὰ θὰ ἀναφέρεται ἀπλῶς ἡ θερμοκρασία ἐνὸς σώματος. Διὰ τὸν σκοπὸν αὐτὸν πρέπει νὰ ἔχετάσωμεν, πῶς μετρεῖται ἡ θερμοκρασία τῶν διαφόρων σωμάτων.

## 1 · 2 Μέτρησις θερμοκρασίας.

"Οταν ἔνα σῶμα γίνεται θερμότερον ἢ ψυχρότερον, ὅταν δηλαδὴ ἀλλάσσηται ἡ θερμοκρασία του, τότε μεταβάλλονται καὶ πολλαὶ ἀπὸ τὰς ιδιότητάς του. Ἐὰν λάβωμεν π.χ. μίαν ράβδον σιδήρου μπετὸν μήκους 1 μ. καὶ τὴν θερμάνωμεν εἰς τὴν φλόγα τοῦ ὀξυγόνου, μέχρι νὰ ἀρχίσῃ νὰ κοκκινίζῃ, τότε τὸ μῆκος της θὰ αὔξηθῇ κατὰ 7 ἢ 8 μ.μ. "Οπως εἰναι γνωστὸν ἀπὸ τὴν Φυσικήν, τὰ σώματα κατὰ κανόνα ὅταν θερμαίνωνται, διαστέλλονται, ἢ δὲ διαστολή των αὐτή ἔχει τάται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν. "Ετσι, ὅσον μεγαλυτέρα εἰναι ἡ θερμοκρασία, τόσον μεγαλυτέρα εἰναι καὶ ἡ διαστολή.

Εἰναι δυνατὸν λοιπὸν ἡ μέτρησις τῆς θερμοκρασίας ἐνὸς σώματος νὰ γίνῃ ἀπὸ τὴν μεταβολὴν τοῦ μήκους τοῦ σώματος, ὅταν αὐτὸ συστέλλεται ἢ διαστέλλεται.

Ἡ μεταβολὴ ὅμως αὐτή εἰς τὰ στερεὰ σώματα εἰναι πολὺ μικρὴ καὶ δὲν μᾶς διευκολύνει διὰ τὴν μέτρησιν τῆς θερμοκρασίας.

'Αντ' αὐτῆς χρησιμοποιεῖται ἡ διαστολὴ τῶν ὑγρῶν σωμάτων, διότι καὶ εἰς αὐτὰ μεταβάλλεται ὁ ὅγκος των ὀναλόγων περίπου τῆς θερμοκρασίας. Εἰς ὑψηλοτέραν δηλαδὴ θερμοκρασίαν τὰ ὑγρά ἔχουν μεγαλύτερον ὅγκον, ἐνῶ εἰς χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν ὁ ὅγκος των περιορίζεται. Ἐπειδὴ ὅμως ἡ διαστολὴ τοῦ ὅγκου τῶν ὑγρῶν εἰναι μεγαλυτέρα ἀπὸ τὴν διαστολὴν τῶν στερεῶν, εἰναι εύκολώτερον νὰ χρησιμοποιοῦνται ὑγρὰ διὰ τὴν μέτρησιν τῆς θερμοκρασίας.

Ἡ μέτρησις τῆς θερμοκρασίας γίνεται μὲ τὰ θερμόμετρα. Τὰ συνηθέστερα ἀπὸ αὐτὰ εἰναι τὰ ὑάλινα θερμόμετρα μὲ ὑγρόν (σχ. 1 · 2). Τὰ θερμόμετρα αὐτοῦ τοῦ τύπου ἔχουν εἰς τὸ κάτω ἄκρον των ἔνα μικρὸν χῶρον γεμάτον ἀπὸ ὑγρόν. Ὁ χῶρος αὐτὸς συγκοινωνεῖ μὲ ἔνα πολὺ λεπτὸν τριχοειδῆ σωλῆνα, μέσω τοῦ διποίου δύναται νὰ κινῆται τὸ ὑγρόν, καθὼς διαστέλλεται ἢ συστέλλεται. Κατὰ μῆκος

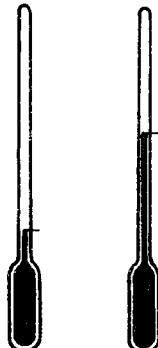
τοῦ τριχοειδοῦς σωλῆνος τὸ θερμόμετρον φέρει βαθμολογημένην κλίμακα. Ἀναλόγως τῆς θεσεως τοῦ ύγρου μέσα εἰς τὸν σωλῆνα διαβάζομεν καὶ τὴν ἀντίστοιχον διαίρεσιν τῆς κλίμακος καὶ ἔτσι προκύπτει ἡ θερμοκρασία. Ὡς ύγρα χρησιμοποιοῦνται ὑδράργυρος, οἰνόπνευμα, πεντάνιον κ.λπ.

"Οσον μεγαλυτέρα είναι ἡ θερμοκρασία, τόσον περισσότερον διαστέλλεται τὸ ύγρὸν καὶ τόσον μεγαλύτερον χῶρον καταλαμβάνει εἰς τὸν τριχοειδῆ σωλῆνα. Ἀντιθέτως, ὅταν ἡ θερμοκρασία ἐλαττώνεται, τὸ ύγρὸν συστέλλεται, μικραίνει ὁ δγκος του καὶ κατέρχεται ἡ στήλη του εἰς τὸν τριχοειδῆ σωλῆνα.

Διὰ νὰ είναι σωστὴ ἡ μέτρησις τῆς θερμοκρασίας καὶ μάλιστα ἡ ίδια εἰς ὅλα τὰ μέρη τῆς Γῆς, ὅπου καὶ ἀν κατασκευάζωνται τὰ θερμόμετρα, θὰ πρέπει νὰ ὑπάρχῃ ἔνας τρόπος ἀκριβοῦς βαθμολογήσεως τῶν θερμομέτρων αὐτῶν. Ὁ τρόπος αὐτὸς ἔχει γίνει ἡδη ταραδεκτὸς ἀπὸ ὅλα τὰ κράτη καὶ ἔτσι ἔχομεν δμοιόμορφον βαθμολόγησιν. Ὁ τρόπος αὐτὸς βαθμολογήσεως τῶν θερμομέτρων δὲν θὰ ἐκτεθῇ λεπτομερῶς, διότι χρειάζεται ἔκτενής περιγραφή· εἰς τὰ ἐπόμενα ὅμως ἀναφέρονται χαρακτηριστικῶς ὡρισμέναι βασικαὶ ἔννοιαι.

"Ἐὰν ἔνα δοχεῖον περιέχῃ καθαρὸν νερό μὲ κομμάτια πάγου καὶ ἔχῃ περάσει ἀρκετὴ ὥρα, ὥστε τὸ θερμόμετρον νὰ μὴ κατεβαίνη ἄλλο, τότε ἡ θερμοκρασία αὐτὴ ὀνομάζεται, σύμφωνα μὲ τὴν διεθνῆ συμφωνίαν, θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{C}$ . Διὰ νὰ ὑπάρχῃ μεγάλη ἀκρίβεια, τὸ δοχεῖον αὐτὸς θὰ πρέπει νὰ εύρισκεται ὑπὸ κανονικήν ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν.

"Η θερμοκρασία τῶν  $100^{\circ}\text{C}$  δρίζεται καὶ πάλιν βάσει τοῦ νεροῦ. Ἐὰν ἔνα δοχεῖον περιέχῃ νερό, τὸ ὅποιον βράζει καὶ ἔχη φυσικὰ καὶ ὑδραστιμοὺς εἰς τὸ ἐπάνω μέρος αὐτοῦ, τότε παραδεχόμεθα ὅτι ἡ θερμοκρασία του είναι  $100^{\circ}\text{C}$ . Τὸ δοχεῖον πρέπει ἐπίσης ἀπαραιτήτως νὰ εύρισκεται ὑπὸ ὡρισμένην ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν, διότι ἡ θερμοκρασία βρασμοῦ μεταβάλλεται παρὰ πολὺ μὲ τὴν μεταβολὴν τῆς πίεσεως. Αἱ θερμοκρασίαι κάτω τῶν  $0^{\circ}\text{C}$  καὶ ἀνω τῶν  $100^{\circ}\text{C}$  καθορίζονται μὲ τὴν βοήθειαν ὅχι τοῦ νεροῦ, ἀλλὰ ἄλλων σωμάτων. Αἱ κάτω



Σχ. 1.2.

"Γάλινα θερμόμετρα ύγροῦ.

τῶν  $0^{\circ}\text{C}$  δρίζονται μὲ τὸ δέξιγόνον, τὸ ὅποῖον ὑπὸ κανονικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν ἀτμοποιεῖται εἰς τοὺς  $-183^{\circ}\text{C}$ . Αἱ θερμοκρασίαι ἄνω τῶν  $100^{\circ}\text{C}$  καθορίζονται βάσει τοῦ σημείου τήξεως στερεῶν σωμάτων, ὅπως π.χ. τοῦ θείου ( $444,6^{\circ}\text{C}$ ), τοῦ ἀργύρου ( $960,8^{\circ}\text{C}$ ) κ.λπ.

“Οταν ἡ θερμοκρασία, ποὺ πρέπει νὰ μετρηθῇ, είναι χαμηλοτέρα τῶν  $0^{\circ}\text{C}$ , τότε φυσικὰ προκύπτουν θερμοκρασίαι ἀρνητικαὶ. Ὁπως προκύπτει ἀπὸ τὴν Θερμοδυναμικήν, ἡ κατωτέρα θερμοκρασία, ποὺ είναι: δυνατὸν νὰ συναντήσωμεν εἰς τὴν φύσιν, είναι περίπου  $-273$  βαθμοὶ Κελσίου. Ἡ θερμοκρασία αὐτὴ ὀνομάζεται ἀπόλυτον μῆδέν.

Διὰ τὴν μέτρησιν τῆς θερμοκρασίας χρησιμοποιοῦνται καὶ ἄλλαι ἴδιότητες τῶν σωμάτων ἐκτὸς ἀπὸ τὴν διαστολὴν τοῦ ὅγκου των. Χρησιμοποιοῦνται ἐπὶ παραδείγμαστι θερμοηλεκτρικὰ στοιχεῖα ἡ ἡλεκτρικαὶ ἀντιστάσεις, αἱ ὅποιαι μεταβάλλουν τὴν τιμήν των συναρτήσει τῆς θερμοκρασίας. Τὰ θερμοηλεκτρικὰ στοιχεῖα είναι δύο σύμρατα διαφορετικῶν ύλικῶν, π.χ. σιδήρου καὶ χαλκοῦ, τὰ ὅποια ἔχουν δύο σημεία συγκολλήσεως. “Οταν ἡ μία θέσις συγκολλήσεως ἔχῃ διαφορετικὴν θερμοκρασίαν ἀπὸ τὴν ἄλλην, τότε παράγεται μία μικρὴ ἡλεκτρικὴ τάσις, μὲ τὴν ὅποιαν μετρεῖται ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ τῶν δύο σημείων συγκολλήσεως.

### 1 · 3 Κλίμακες Θερμοκρασιῶν.

“Οπως ἥδη ἀνεπτύχθη εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον, ἡ πλέον συνήθης είναι ἡ κλίμαξ τοῦ Κελσίου, ποὺ λέγεται καὶ ἑκατονταριθμιος. Ἐκτὸς ὅμως ἀπὸ αὐτὴν ὑπάρχουν καὶ ἄλλαι δύο, αἱ ὅποιαι χρησιμοποιοῦνται ἀρκετὰ συχνά. Αἱ κλίμακες αὐταὶ είναι ἡ κλίμαξ τοῦ Κέλβιν ἡ κλίμαξ ἀπόλυτου θερμοκρασίας καὶ ἡ κλίμαξ τοῦ Φάρενάϊτ.

‘Ανεφέρθη προηγουμένως ὅτι, τὸ ἀπόλυτον μῆδέν τῆς θερμοκρασίας εύρισκεται εἰς θερμοκρασίαν  $-273$  Κελσίου. Ἐὰν συνεπῶς χρησιμοποιηθῇ τὸ σημεῖον αὐτὸ ὡς ἀρχὴ τῆς κλίμακος τῶν θερμοκρασιῶν, τότε προκύπτει ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία, ἡ ὅποια ὅμως ἐκφράζεται εἰς βαθμοὺς Κέλβιν· ίσχύει δὲ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ κάτωθι σχέσις:

$$\text{Βαθμοὶ Κέλβιν} = \text{Βαθμοὶ Κελσίου} + 273$$

καὶ ἀντιστρόφως:

$$\text{Βαθμοὶ Κελσίου} = \text{Βαθμοὶ Κέλβιν} - 273.$$

Εις τὴν Ἀγγλίαν καὶ τὰς Ἡνωμένας Πολιτείας τῆς Ἀμερικῆς χρησιμοποιεῖται ἀντὶ τῆς κλίμακος Κελσίου, καὶ ἡ κλίμαξ Φάρενάϊτ. Εις τὴν Ἑλλάδα ἡ κλίμαξ Φάρενάϊτ χρησιμοποιεῖται συνήθως εἰς τὸν κλιματισμὸν καὶ ἐνίστε εἰς τὰ ψυκτικὰ μηχανῆματα.

Κατὰ συνέπειαν πρέπει νὰ μᾶς είναι γνωστὴ ἡ σχέσις μεταξὺ τῶν κλιμάκων Κελσίου καὶ Φάρενάϊτ. Διὰ τὴν μετατροπὴν αὐτὴν εἶναι καλύτερα νὰ χρησιμοποιοῦνται πίνακες πρὸς ἀποφυγὴν λαθῶν. Ὁ Πίναξ 1·3 δίδει τὰς ἀντιστοιχους τιμάς. Εις τὴν κλίμακα Φάρενάϊτ τὸ 0 Κελσίου ἔχει τιμὴν 32 καὶ τὸ σημεῖον βρασμοῦ τοῦ νεροῦ, δηλαδὴ οἱ 100 βαθμοὶ Κελσίου, ἀντιστοιχοῦν εἰς 212 Φάρενάϊτ (σχ. 1·3).

Ἡ σχέσις ποὺ συνδέει τὰς δύο κλίμακας είναι ἡ ἀκόλουθος:

$$\text{Βαθμοὶ Κελσίου} = / 5 \times (\text{Βαθμοὶ Φάρενάϊτ} - 32) / : 9$$

καὶ ἀντιστρόφως:

$$\text{Βαθμοὶ Φάρενάϊτ} = / 9 \times (\text{Βαθμοὶ Κελσίου}) / : 5 + 32.$$

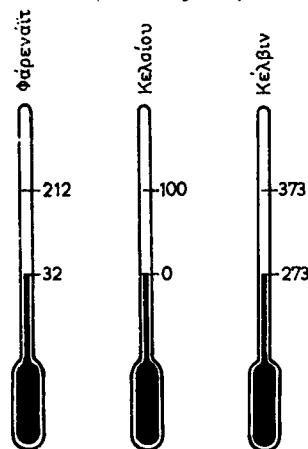
Ἄπὸ τὰς σχέσεις αὐτὰς ἔχουν προκύψει αἱ τιμαὶ τοῦ Πίνακος 1·3. Ὁ Πίναξ ἔχει τρεῖς στήλας. Εις τὴν μεσαίαν εύρισκεται ἡ θερμοκρασία, ποὺ πρέπει νὰ μετατραπῇ. Ἐάν ἡ τιμὴ τῆς θερμοκρασίας εἴναι εἰς βαθμοὺς Φάρενάϊτ, τότε ἀριστερά τῆς δίδεται ἡ ἀντίστοιχος τιμὴ εἰς βαθμοὺς Κελσίου, ἐάν ὅμως είναι Κελσίου, τότε δεξιά τῆς δίδεται ἡ τιμὴ εἰς βαθμοὺς Φάρενάϊτ.

#### Παραδείγματα.

1. Δίδεται θερμοκρασία 40 βαθμῶν Κελσίου. Ποία ἡ ἀντίστοιχος θερμοκρασία Φάρενάϊτ;

Λύσις:

Ἄπὸ τὸν Πίνακα 1·3 εύρισκομεν εἰς τὴν μεσαίαν στήλην τὴν τιμὴν 40 καὶ δεξιά τῆς τὴν τιμὴν  $+ 104^{\circ}\text{F}$ .



Σχ. 1.3.  
Σύγκρισις κλιμάκων θερμοκρασιῶν Κελσίου, Φάρενάϊτ καὶ Κέλβιν.

## Π Ι Ν Α Ζ 1 · 3

Μετατροπής Θερμοκρασιῶν C, F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
C	C ή F	F	C	C ή F	F
—40,0	—40	—40,0	—17,8	0	+32,0
—39,4	—39	—38,2	—17,2	+1	+33,8
—38,9	—38	—36,4	—16,7	+2	+35,6
—38,3	—37	—34,6	—16,1	+3	+37,4
—37,8	—36	—32,8	—15,6	+4	+39,2
—37,2	—35	—31,0	—15,0	+5	+41,0
—36,7	—34	—29,2	—14,4	+6	+42,8
—36,1	—33	—27,4	—13,9	+7	+44,6
—35,6	—32	—25,6	—13,3	+8	+46,4
—35,0	—31	—23,8	—12,8	+9	+48,2
—34,4	—30	—22,0	—12,2	+10	+50,0
—33,9	—29	—20,2	—11,7	+11	+51,8
—33,3	—28	—18,4	—11,1	+12	+53,6
—32,8	—27	—16,6	—10,6	+13	+55,4
—32,2	—26	—14,8	—10,0	+14	+57,2
—31,7	—25	—13,0	—9,4	+15	+59,0
—31,1	—24	—11,2	—8,9	+16	+60,8
—30,6	—23	—9,4	—8,3	+17	+62,6
—30,0	—22	—7,6	—7,8	+18	+64,4
—29,4	—21	—5,8	—7,2	+19	+66,2
—28,9	—20	—4,0	—6,7	+20	+68,0
—28,3	—19	—2,2	—6,1	+21	+69,8
—27,8	—18	—0,4	—5,5	+22	+71,6
—27,2	—17	+1,4	—5,0	+23	+73,4
—26,7	—16	+3,2	—4,4	+24	+75,2
—26,1	—15	+5,0	—3,9	+25	+77,0
—25,6	—14	+6,8	—3,3	+26	+78,8
—25,0	—13	+8,6	—2,8	+27	+80,6
—24,4	—12	+10,4	—2,2	+28	+82,4
—23,9	—11	+12,2	—1,7	+29	+84,2
—23,3	—10	+14,0	—1,1	+30	+86,0
—22,8	—9	+15,8	—0,6	+31	+87,8
—22,2	—8	+17,6	0	+32	+89,6
—21,7	—7	+19,4	+0,6	+33	+91,4
—21,1	—6	+21,2	+1,1	+34	+93,2
—20,6	—5	+23,0	+1,7	+35	+95,0
—20,0	—4	+24,8	+2,2	+36	+96,8
—19,4	—3	+26,6	+2,8	+37	+98,6
—18,9	—2	+28,4	+3,3	+38	+100,4
—18,3	—1	+30,2	+3,9	+39	+102,2

(συνεχίζεται)

(συνέχεια Πίνακος 1·3)

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
C	C & F	F	C	C & F	F
+4,4	+40	+104,0	+26,7	+80	+176,0
+5,0	+41	+105,8	+27,2	+81	+177,8
+5,5	+42	+107,6	+27,8	+82	+179,6
+6,1	+43	+109,4	+28,3	+83	+181,4
+6,7	+44	+111,2	+28,9	+84	+183,2
+7,2	+45	+113,0	+29,4	+85	+185,0
+7,8	+46	+114,8	+30,0	+86	+186,8
+8,3	+47	+116,6	+30,6	+87	+188,6
+8,9	+48	+118,4	+31,1	+88	+190,4
+9,4	+49	+120,2	+31,7	+89	+192,2
+10,0	+50	+122,0	+32,2	+90	+194,0
+10,6	+51	+123,8	+32,8	+91	+195,8
+11,1	+52	+125,6	+33,3	+92	+197,6
+11,7	+53	+127,4	+33,9	+93	+199,4
+12,2	+54	+129,2	+34,4	+94	+201,2
+12,8	+55	+131,0	+35,0	+95	+203,0
+13,3	+56	+132,8	+35,6	+96	+204,8
+13,9	+57	+134,6	+36,1	+97	+206,6
+14,4	+58	+136,4	+36,7	+98	+208,4
+15,0	+59	+138,2	+37,2	+99	+210,2
+15,6	+60	+140,0	+37,8	+100	+212,0
+16,1	+61	+141,8	+38,3	+101	+213,8
+16,7	+62	+143,6	+38,9	+102	+215,6
+17,2	+63	+145,4	+39,4	+103	+217,4
+17,8	+64	+147,2	+40,0	+104	+219,2
+18,3	+65	+149,0	+40,6	+105	+221,0
+18,9	+66	+150,8	+41,1	+106	+222,8
+19,4	+67	+152,6	+41,7	+107	+224,6
+20,0	+68	+154,4	+42,2	+108	+226,4
+20,6	+69	+156,2	+42,8	+109	+228,2
+21,1	+70	+158,0	+43,3	+110	+230,0
+21,7	+71	+159,8	+43,9	+111	+231,8
+22,2	+72	+161,6	+44,4	+112	+233,6
+22,8	+73	+163,4	+45,0	+113	+235,4
+23,3	+74	+165,2	+45,6	+114	+237,2
+23,9	+75	+167,0	+46,1	+115	+239,0
+24,4	+76	+168,8	+46,7	+116	+240,8
+25,0	+77	+170,6	+47,2	+117	+242,6
+25,6	+78	+172,4	+47,8	+118	+244,4
+26,1	+79	+174,2	+48,3	+119	+246,2

(συνεχίζεται)

(συνέχεια Πίνακος 1.3)

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
C	C ή F	F	C	C ή F	F
+48,9	+120	+248,0	+71,1	+160	+320,0
+49,4	+121	+249,8	+71,7	+161	+321,8
+50,0	+122	+251,6	+72,2	+162	+323,6
+50,6	+123	+253,4	+72,8	+163	+325,4
+51,1	+124	+255,2	+73,3	+164	+327,2
+51,7	+125	+257,0	+73,9	+165	+329,0
+52,2	+126	+258,8	+74,4	+166	+330,8
+52,8	+127	+260,6	+75,0	+167	+332,6
+53,3	+128	+262,4	+75,6	+168	+334,4
+53,9	+129	+264,2	+76,1	+169	+336,2
+54,4	+130	+266,0	+76,7	+170	+338,0
+55,0	+131	+267,8	+77,2	+171	+339,8
+55,6	+132	+269,6	+77,8	+172	+341,6
+56,1	+133	+271,4	+78,3	+173	+343,4
+56,7	+134	+273,2	+78,9	+174	+345,2
+57,2	+135	+275,0	+79,4	+175	+347,0
+57,8	+136	+276,8	+80,0	+176	+348,8
+58,3	+137	+278,6	+80,6	+177	+350,6
+58,9	+138	+280,4	+81,1	+178	+352,4
+59,4	+139	+282,2	+81,7	+179	+354,2
+60,0	+140	+284,0	+82,2	+180	+356,0
+60,6	+141	+285,8	+82,8	+181	+375,8
+61,1	+142	+287,6	+83,3	+182	+359,6
+61,7	+143	+289,4	+83,9	+183	+361,4
+62,2	+144	+291,2	+84,4	+184	+363,2
+62,8	+145	+293,0	+85,0	+185	+365,0
+63,3	+146	+294,8	+85,6	+186	+366,8
+63,9	+147	+296,6	+86,1	+187	+368,6
+64,4	+148	+298,4	+86,7	+188	+370,4
+65,0	+149	+300,2	+87,2	+189	+372,2
+65,6	+150	+302,0	+87,8	+190	+374,0
+66,1	+151	+303,8	+88,3	+191	+375,8
+66,7	+152	+305,6	+88,9	+192	+377,6
+67,2	+153	+307,4	+89,4	+193	+379,4
+67,8	+154	+309,2	+90,0	+194	+381,2
+68,3	+155	+311,0	+90,6	+195	+383,0
+68,9	+156	+312,8	+91,1	+196	+384,8
+69,4	+157	+314,6	+91,7	+197	+386,6
+70,0	+158	+316,4	+92,2	+198	+388,4
+70,6	+159	+318,2	+92,8	+199	+390,2

(συνεχίζεται)



(συνέχεια Πίνακος 1·3)

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
C	C ή F	F	C	C ή F	F
+93,3	+200	+392,0	+115,6	+240	+464,0
+93,9	+201	+393,8	+116,1	+241	+465,8
+94,4	+202	+395,6	+116,7	+242	+467,6
+95,0	+203	+397,4	+117,2	+243	+469,4
+95,6	+204	+399,2	+117,8	+244	+471,2
+96,1	+205	+401,0	+118,3	+245	+473,0
+96,7	+206	+402,8	+118,9	+246	+474,8
+97,2	+207	+404,6	+119,4	+247	+476,6
+97,8	+208	+406,4	+120,0	+248	+478,4
+98,3	+209	+408,2	+120,6	+249	+480,2
+98,9	+210	+410,0	+121,1	+250	+482,0
+99,4	+211	+411,8	+122,4	+252	+485,6
+100,0	+212	+413,6	+123,3	+254	+489,2
+100,6	+213	+415,4	+124,4	+256	+492,8
+101,1	+214	+417,2	+125,5	+258	+496,4
+101,7	+215	+419,0	+126,7	+260	+500,0
+102,2	+216	+420,8	+127,8	+262	+503,6
+102,8	+217	+422,6	+128,9	+264	+507,2
+103,3	+218	+424,4	+130,0	+266	+510,8
+103,9	+219	+426,2	+131,3	+268	+514,4
+104,4	+220	+428,0	+132,2	+270	+518,0
+105,0	+221	+429,8	+133,3	+272	+521,6
+105,6	+222	+431,6	+134,4	+274	+525,2
+106,1	+223	+433,4	+135,6	+276	+528,8
+106,7	+224	+435,2	+136,7	+278	+532,4
+107,2	+225	+437,0	+137,8	+280	+536,0
+107,8	+226	+438,8	+138,9	+282	+539,6
+108,3	+227	+440,6	+140,0	+284	+543,2
+108,9	+228	+442,4	+141,1	+286	+546,8
+109,4	+229	+444,2	+142,2	+288	+550,4
+110,0	+230	+446,0	+143,3	+290	+554,0
+110,6	+231	+447,8	+144,4	+292	+557,6
+111,1	+232	+449,6	+145,6	+294	+561,2
+111,7	+233	+451,4	+146,7	+296	+564,8
+112,2	+234	+453,2	+147,8	+298	+568,4
+112,8	+235	+455,0			
+113,3	+236	+456,8			
+113,9	+237	+458,6			
+114,4	+238	+460,4			
+115,0	+239	+462,2			

Συνεπῶς οἱ 40 βαθμοὶ Κελσίου ἀντιστοιχοῦν εἰς +104 βαθμοὺς Φάρενάῖτ.

2. Δίδεται θερμοκρασία 75 βαθμῶν Φάρενάῖτ. Εἰς πόσους βαθμοὺς Κελσίου ἀντιστοιχεῖ;

Λύσις:

Ἄπὸ τὴν μεσαίαν στήλην τοῦ πίνακος εύρισκομεν τὴν τιμὴν 75, ἀριστερὰ τῆς ὁποίας εύρισκεται ἡ τιμὴ +23,9. Συνεπῶς οἱ 75 βαθμοὶ Φάρενάῖτ ἀντιστοιχοῦν εἰς +23,9 βαθμοὺς Κελσίου.

#### 1.4 Μηχανικὸν Ἔργον - Ἰσχύς.

Ἡ ἔννοια τοῦ μηχανικοῦ ἔργου εἶναι γνωστὴ ἀπὸ τὴν Φυσικὴν. Ἐδῶ θὰ γίνη ἀπλῶς ὑπενθύμισις αὐτῆς.

Ἐργον ἐμφανίζεται, ὅταν ἔχωμεν μετατόπισιν τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς μιᾶς δυνάμεως. Ὅταν ἀνεβάζωμεν ἓνα βράχον εἰς ἓνα ὑψωμα, τότε μετατοπίζομεν τὴν δυναμιν-«βάρος» πρὸς τὰ ἐπάνω. Διὰ τὴν μετατόπισιν αὐτὴν πρέπει νὰ καταβάλλωμεν (νὰ ἔξιδεύσωμεν) ἔργον.

Ὅταν ἀφίσωμεν τὸν βράχον νὰ κυλήσῃ πρὸς τὰ κάτω, τότε ἔχομεν πάλιν μετατόπισιν τῆς δυνάμεως («βάρους»). Τώρα ὅμως δὲν ἔξιδεύομεν, ἀλλὰ λαμβάνομεν ἔργον.

Διὰ νὰ διακρίνωμεν τὰς δύο αὐτὰς περιπτώσεις εἰς τοὺς ὑπολογισμούς μας κάνομεν τὴν ἔχησ συμφωνίαν:

*Ἐργον ποὺ ἔξιδεύομεν: → ἀρνητικὸν σημεῖον.*

*Ἐργον ποὺ λαμβάνομεν: → θετικὸν σημεῖον.*

Εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς τῆς δυνάμεως μετατοπίζεται καθέτως πρὸς τὴν δύναμιν. Τότε οὔτε παράγεται οὔτε καταναλίσκεται ἔργον· τὸ ἔργον τότε εἶναι μηδέν.

Ἡ ἔννοια τοῦ ἔργου εἶναι βασικῆς σημασίας. Ἡ Θερμοδυναμικὴ ἀσχολεῖται μὲν μηχανάς, ποὺ παράγουν μηχανικὸν ἔργον, ἀλλὰ καὶ μὲν μηχανάς, ποὺ καταναλίσκουν μηχανικὸν ἔργον.

Αἱ μηχαναὶ τῶν αὐτοκινήτων παράγουν ἔργον. Οἱ ἀεροσυμπιεσταὶ καὶ οἱ συμπιεσταὶ ψυκτικῶν ἐγκαταστάσεων καταναλίσκουν μηχανικὸν ἔργον. Καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις τὸ μηχανικὸν ἔργον συνδέεται μὲν τὰς μεταβολὰς ἐνὸς ἢ περισσοτέρων ἀερίων μέσα εἰς

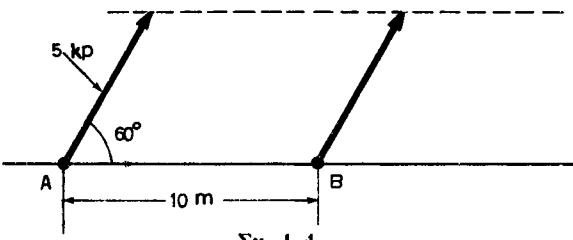
τὴν μηχανήν. Ἐπομένως πρέπει νὰ γνωρίζωμεν, πῶς γίνονται αἱ μεταβολαὶ αὐτὰ τῶν ἀερίων καὶ τὶ ἔργον παράγουν ἢ καταναλίσκουν. Τοῦτο ἀποτελεῖ ἔνα ἀπὸ τὰ θέματα τῆς Θερμοδυναμικῆς.

Αἱ μονάδες μετρήσεως τοῦ ἔργου προκύπτουν ἀπὸ τὸν δρισμόν του. Ὅπως εἰναι γνωστὸν ἀπὸ τὴν Φυσικήν, τὸ ἔργον ἰσοῦται μὲ τὸ γινόμενον τῆς δυνάμεως ἐπὶ τὸ διάστημα, κατὰ τὸ ὅποιον μετατοπίζεται τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς της καὶ ἐπὶ τὸ συνημίτονον τῆς γωνίας, ποὺ σχηματίζουν ἢ διεύθυνσις τῆς δυνάμεως καὶ ἢ διεύθυνσις τῆς μετατοπίσεως.

Ἐὰν ἡ δύναμις μετρῆται εἰς χιλιόγραμμα βάρους (χιλιοπόντ, σύμβολον kp) καὶ ὁ δρόμος εἰς μέτρα (σύμβολον m), τότε τὸ ἔργον προκύπτει εἰς kpm, δηλαδὴ χιλιοποντόμετρα.

#### Παράδειγμα.

Ἡ διεύθυνσις δυνάμεως 5 kp σχηματίζει γωνίαν  $60^{\circ}$  μὲ τὴν εὐθεῖαν, ἐπὶ τῆς ὅποιας μετατοπίζεται τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς της (σχ.



Σχ. 1·4.

Παράδειγμα ὑπολογισμοῦ Μηχανικοῦ Ἐργοῦ.

1·4). Ἡ μετατόπισις αὐτὴ εἰναι 10 m. Πόσον ἔργον παράγεται;

Λύσις:

$$\text{Ἐργον} = \Delta\text{ύναμις} \times \Delta\text{ιάστημα} \times \Sigma\text{υνημίτονον} \quad \text{ἢ}$$

$$\text{Ἐργον} = 5 \text{ kp} \times 10 \text{ m} \times 0,5 = 50 \times 0,5 = 25 \text{ kpm}.$$

Συνεπῶς παράγεται ἔργον 25 kpm.

Ἐκτὸς ἀπὸ τὸ χιλιοποντόμετρον (τὸ ὅποιον πλέον καταργεῖται) τὸ ἔργον μετρεῖται καὶ μὲ ἄλλας μονάδας, ὅπως εἰς τζούλ (σύμβολον J), ἴσχυε δέ:

$$1 \text{ χιλιοποντόμετρον} = 9,81 \text{ τζούλ} = 9,81 \text{ J.}$$

Συχνά ως μονάς χρησιμοποιείται τὸ χιλιοτζούλ (σύμβολο κJ), δηλαδὴ 1000 τζούλ.

### Ίσχυς.

Εἰς τὴν ἔννοιαν τοῦ ἔργου δὲν λαμβάνεται καθόλου ὑπ’ ὅψιν ὁ χρόνος, μέσα εἰς τὸν ὄποιον γίνεται ἡ μετατόπισις τῆς δυνάμεως. Εἰς τὸ παράδειγμα τοῦ σχήματος 1 · 4 ἡ μετατόπισις ἀπὸ τὸ σημεῖον Α εἰς τὸ σημεῖον Β δυνατὸν νὰ διαρκέσῃ π.χ. ἐνα δευτερόλεπτον ἢ δύο χρόνια. Τὸ ἔργον, ποὺ θὰ παραχθῇ καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις, θὰ είναι τὸ ἴδιον, δηλαδὴ 25 κρι (χιλιοποντόμετρα).

Εἰς τὸ προηγούμενον παράδειγμα, διὰ νὰ ἀνεβάσωμεν τὸν βράχον εἰς τὸν λόφον, δυνατὸν νὰ χρησιμοποιήσωμεν ἐνα ἄλογον ἢ δέκα ἄλογα ταυτοχρόνως, δπότε βεβαίως ἡ ἄνοδος θὰ γίνη πολὺ πιὸ γρήγορα. Εἴτε χρησιμοποιήσωμεν ἐνα ἄλογον εἴτε δέκα, τὸ ἔργον ποὺ θὰ καταναλωθῇ θὰ είναι τὸ ἴδιον, διότι τὸ ἔργον, ὅπως ἀνεφέρθη, ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴν δύναμιν (βάρος βράχου), τὸ διάστημα καὶ τὴν γωνίαν καὶ ὅχι ἀπὸ τὸ ἀν ἡ μετατόπισις γίνη γρήγορα ἢ ἀργά.

Ἐπειδὴ ὅμως μᾶς ἐνδιαφέρει καὶ ὁ χρόνος, μέσα εἰς τὸν ὄποιον παράγεται ὡρισμένον ἔργον, δι’ αὐτὸ διαλογούμεν καὶ περὶ ἴσχυος. Καὶ αὐτὴ είναι γνωστή ἀπὸ τὴν Φυσικήν. ‘Ως γνωστόν, ἴσχυς είναι τὸ εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου παραγόμενον (ἢ καταναλισκόμενον) μηχανικὸν ἔργον.

Συνήθης μονάς μηχανικῆς ἴσχυος είναι ἀκόμη ὁ (ἔνας) ἵππος, ποὺ είναι ἵσος μὲ τὴν ἴσχυν τῶν 75 χιλιοποντομέτρων ἀνὰ δευτερόλεπτον (s).

**Μηχανικὸς Ἰππος = [χιλιοποντόμετρα / δευτερόλεπτον] : 75.**

### Παράδειγμα.

Ποιά ἡ ἴσχυς τῆς μετατόπισεως ΑΒ εἰς τὸ σχῆμα 1 · 4, ἂν ἡ μετατόπισις γίνεται εἰς 1/30 δευτερολέπτου γροκύπτει ἴσχυς:

Λύσις:

Τὸ ἔργον εύρεθη ἥδη 25 κρι.

α) Διὰ μετατόπισιν εἰς χρόνον 1/30 δευτερολέπτου γροκύπτει ἴσχυς:

Μηχ. ἴσχυς = [25/(1/30)] : 75 = 750 : 75 = 10 ἵπποι.

β) Διὰ μετατόπισιν εἰς 3 δευτερόλεπτα:

Μηχ. ἴσχυς = [25/3] : 75 = 25 : 225 = 1/9 ἵπποι.

"Ωστε, ή ίδια μετατόπισις και τὸ ίδιον ἔργον ἀπαιτεῖ μηχανή κὴν ίσχὺν 10 ἵππων διὰ νὰ γίνη γρήγορα (δηλαδὴ εἰς χρόνον 1/30 τοῦ δευτερολέπτου), ἀλλὰ ίσχὺν μόνον 1/9 τοῦ ἵππου διὰ νὰ γίνη ἀργά (δηλαδὴ εἰς 3 δευτερόλεπτα).

'Η μηχανική ίσχύς εἰς ἵππους συμβολίζεται συνήθως μὲ τὰ λατινικὰ γράμματα PS.

'Αντὶ τοῦ ἵππου, ὁ ὄποιος καταργεῖται, ή ίσχὺς μετρεῖται εἰς βάττ, W (ἢ κιλοβάττ, kW).

'Ισχύουν δὲ αἱ σχέσεις:

$$1 \text{ kW (κιλοβάττ)} = 1000 \text{ W (βάττ)}$$

$$1 \text{ PS (ἵππος)} = 736 \text{ W (βάττ)}$$

$$\text{ἢ } 1 \text{ kW (κιλοβάττ)} = 1,36 \text{ PS (ἵπποι)}.$$

Εἰς τὴν Ἀγγλίαν καὶ τὰς Ἡνωμένας Πολιτείας τῆς Ἀμερικῆς χρησιμοποιεῖται καὶ ἔνας ἄλλος ἵππος, λίγο μεγαλύτερος, ὁ ὄποιος συμβολίζεται μὲ HP.

'Ισχύει δὲ ἡ σχέσις:

$$1 \text{ HP} = 1,014 \text{ PS.}$$

## 1.5 Θερμότης.

'Ομιλήσαμεν ἡδη εἰς τὴν παράγραφον 1.1 διὰ τὴν ἔννοιαν τῆς θερμοκρασίας. "Οταν ἔχωμεν ὡρισμένην ποσότητα νεροῦ, δυνατὸν αὐτὴ ἡ ποσότης νὰ εύρισκεται εἰς θερμοκρασίαν  $10^{\circ}\text{C}$  ἢ  $90^{\circ}\text{C}$ . Τί εἶναι ἑκεῖνο ὅμως, τὸ ὄποιον προκαλεῖ τὴν μεταβολὴν τῆς θερμοκρασίας; Τί εἶναι ἑκεῖνο, τὸ ὄποιον αὐξάνει τὴν θερμοκρασίαν τοῦ νεροῦ ἀπὸ 10 εἰς 90 βαθμούς:

'Η αἴτια, ποὺ αὐξάνει τὴν θερμοκρασίαν τοῦ νεροῦ, εἶναι ἡ θερμότης. "Οταν εἰς τὸ νερὸ δίδεται θερμότης, ἡ θερμοκρασία του αὐξάνει. 'Αντιθέτως, ὅταν ἀφαιρῆται ἀπὸ αὐτὸ θερμότης, ἡ θερμοκρασία του ἐλαττώνεται.

'Εὰν προσδοθῇ εἰς τὸ νερὸ ἀρκετὴ θερμότης, τότε ἡ θερμοκρασία του θὰ ἀνέρχεται μέχρι καὶ τοῦ σημείου βρασμοῦ. 'Ἐν συνεχείᾳ ἡ προσδιδομένη θερμότης θὰ μετατρέπῃ τὸ νερὸ εἰς ύδρατμόν. Τί εἶναι ὅμως ἡ θερμότης καὶ πῶς εἶναι δυνατὸν νὰ μετρηθῇ;

Θερμότης ἐμφανίζεται π.χ. ὅταν ἔλθουν εἰς θερμικὴν ἐπαφὴν

δύο σώματα διαφορετικῶν θερμοκρασιῶν. Τότε ἡ θερμότης μεταφέρεται ἀπὸ τὸ σῶμα μὲ τὴν ὑψηλοτέραν θερμοκρασίαν πρὸς τὸ σῶμα μὲ τὴν χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν. Ἔτοι, ἐὰν ἔνα ζεστὸ κομμάτι σιδήρου τοποθετηθῇ μέσα εἰς ἔνα δοχεῖον μὲ νερό, τότε μεταφέρεται θερμότης ἀπὸ τὸν σίδηρον εἰς τὸ νερό. Ἀπὸ τὸν σίδηρον δηλαδὴ ἀφαιρεῖται θερμότης καὶ ἔτοι ἡ θερμοκρασία του πίπτει εἰς τὸ νερό ὅμως προσδίδεται ἡ θερμότης, ποὺ φεύγει ἀπὸ τὸν σίδηρον, καὶ ἔτοι ἡ θερμοκρασία τοῦ νεροῦ αὐξάνει.

Αὐτό, ποὺ εἰς τὴν πραγματικότητα φεύγει ἀπὸ τὸν σίδηρον καὶ πηγαίνει εἰς τὸ νερό, εἶναι ἐνέργεια. Συνεπῶς πρόκειται περὶ μεταφορᾶς ἐνέργειας ἀπὸ τὸν σίδηρον εἰς τὸ νερὸ ὑπὸ τὴν μορφὴν θερμότητος. Πρὶν γίνη αὐτὴ ἡ μεταφορά, δο σίδηρος εἶχε ὑψηλὴν θερμοκρασίαν καὶ περιεῖχε περισσοτέραν ἐνέργειαν. Ὅταν ὅμως ἐτοποθετήθη εἰς τὸ νερό, τότε μέρος τῆς ἐνέργειας του μετέβη πρὸς τὸ νερὸ καὶ τελικῶς δο σίδηρος ἔμεινε μὲ μικρότερον ποσὸν ἐνέργειας καὶ μικροτέραν θερμοκρασίαν.

*Θερμότης εἶναι ἐνέργεια, ποὺ μεταφέρεται ἀπὸ ἔνα σῶμα ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας εἰς ἄλλο σῶμα πιὸ χαμηλῆς θερμοκρασίας, ὅταν τὰ δύο αὐτὰ σώματα εὐρίσκωνται εἰς θερμικὴν ἐπαφήν.*

‘Ο δρισμὸς αὐτὸς δὲν εἶναι ἀπόλυτα ὄρθος, ἀλλὰ περιλαμβάνει τὰς περισσοτέρας περιπτώσεις. ‘Ο ἀκριβὴς δρισμὸς τῆς θερμότητος δίδεται μὲ τὴν βοήθειαν τῆς ἐννοίας τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας.

Διὰ πολλὰ ἔτη δὲν ἔτοι γνωστόν, τί ἀκριβῶς εἶναι ἡ θερμότης. Μετὰ ἀπὸ πολλὰς ἔρεύνας οἱ ἀνθρωποι κατέληξαν εἰς τὸ συμπέρασμα, ὅτι «*Θερμότης εἶναι μία μορφὴ ἐνέργειας*». Καὶ αὐτὸ δόμως σήμερον δὲν θεωρεῖται σωστό. “Ενα σῶμα δὲν περιέχει ποσὰ θερμότητος, ἀλλὰ ἐνέργειαν. Μόνον ὅταν ἀφαιρεῖται ἡ προστίθεται ἐνέργεια καὶ ἀκριβῶς κατὰ τὴν διάρκειαν αὐτῆς τῆς μεταβολῆς ἐμφανίζεται ἡ θερμότης. Μόλις παύσῃ αὐτὴ ἡ μεταφορά, δὲν ἔχει νόημα νὰ διμιουργεῖ διὰ θερμότητα.

‘Απὸ τὰ ἀνωτέρω εἶναι φανερὸν ὅτι, ἡ θερμότης μετρεῖται μὲ τὰς ίδιας μονάδας, ποὺ μετρεῖται καὶ τὸ μηχανικὸν ἔργον, δηλαδὴ εἰς τζούλ (J) ἢ κιλοτζούλ (kJ) ἢ χιλιοποντόμετρα (kpm).

‘Η θερμότης μετρεῖται ἐπίσης καὶ μὲ μίαν ίδιαιτέραν μονάδα,

τὴν *θερμίδα* (cal) ή τὴν *χιλιοθερμίδα* (kcal). Ἡ μονάς αὐτή, ὅπως θὰ ἀναφερθῇ εἰς τὴν ἐπομένην παράγραφον, δρίζεται μὲ βάσιν τὸ νερό. Αἱ σχέσεις μεταξὺ τῶν μονάδων αὐτῶν εἰναι:

$$1 \text{ kcal} (\text{χιλιοθερμίς}) = 427 \text{ kpm} (\text{χιλιοποντόμετρα})$$

$$1 \text{ kcal} (\text{χιλιοθερμίς}) = 4,18 \text{ kJ} (\text{κιλοτζούλ}).$$

Συχνὰ εἰς τὸν κλιματισμὸν καὶ τὴν ψῦξιν χρησιμοποιεῖται καὶ ἡ Ἐγγλοαμερικανικὴ μονάς *θερμότητος* ή BTU (μπί-τί-γιού).

Ἡ BTU εἰναι περίπου τέσσαρας φορὰς μικρότερη ἀπὸ τὴν χιλιοθερμίδα καὶ διὰ τὴν ἀκρίβειαν:

$$1 \text{ kcal} (\text{χιλιοθερμίς}) = 3,97 \text{ BTU}$$

$$\text{καὶ} \quad 1 \text{ BTU} = 1,05 \text{ kJ} (\text{κιλοτζούλ}).$$

## 1 · 6 Ειδικὴ θερμοχωρητικότης.

Ἡ ειδικὴ θερμοχωρητικότης, ποὺ παλαιότερα ὠνομάζετο καὶ ειδικὴ θερμότης, εἰναι χαρακτηριστικὴ ἴδιότητος κάθε σώματος. Θὰ ἔξηγηθῇ ἀμέσως, τί παριστᾶ καὶ εἰς τί χρησιμεύει.

Ἐστω ὅτι ἔνα δοχεῖον περιέχει 1 kg νεροῦ καὶ εύρισκεται ἐπάνω εἰς ἔνα ἡλεκτρικὸν μάτι. Τὸ δοχεῖον καὶ τὸ μάτι περιβάλλονται μὲ πολὺν καλὴν θερμικὴν μόνωσιν, ὥστε νὰ μὴ ὑπάρχουν καθόλου ἀπώλειαι εἰς τὸ περιβάλλον. Μέσα εἰς τὸ δοχεῖον ὑπάρχει ἔνα θερμόμετρον, ποὺ μετρεῖ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ νεροῦ. Τὸ ἡλεκτρικὸν μάτι εἰναι συνδεδεμένον μὲ ἡλεκτρικὸν μετρητὴν ἐνέργειας καὶ ἔτσι εἰναι δυνατὸν νὰ γνωρίζωμεν πόσῃ ἐνέργεια προσδίδεται εἰς τὸ νερό.

Τὸ νερὸ θὰ ἀρχίσῃ νὰ θερμαίνεται καὶ τὸ θερμόμετρον θὰ ἀνεβαίνῃ. Ὄταν ἡ θερμοκρασία τοῦ νεροῦ ἀνεβῇ κατὰ 1 βαθμὸν Κελσίου, βλέπομεν εἰς τὸν μετρητὴν, πόσῃ ἐνέργεια πέρασε καὶ προσετέθη εἰς τὸ νερό. Ὁ μετρητής δεικνύει ὅτι ἀπερροφήθη ἀπὸ τὴν ἡλεκτρικὴν ἔστιαν ἐνέργεια ἵστη μὲ 4,18 kJ, δηλαδὴ ἵστη μὲ 1 χιλιοθερμίδα. Τὸ προσὸν αὐτὸ τῆς ἐνέργειας ὠνομάζεται ειδικὴ θερμοχωρητικότης.

Ειδικὴ θερμοχωρητικότης εἶναι τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὅποιον πρέπει νὰ προσδοθῇ εἰς σῶμα μάζης 1 χιλιογράμμου διὰ νὰ ἔχῃ ἡ θερμοκρασία του κατὰ 1 βαθμὸν Κελσίου.

Εὔκολως ἀντιλαμβανόμεθα ὅτι διὰ νὰ κατεβῇ ἡ θερμοκρασία

τοῦ σώματος κατὰ 1 βαθμόν, θὰ πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ τὸ ἴδιον ποσὸν θερμότητος.

"Οπως εἶναι φανερόν, αἱ μονάδες τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητος εἶναι:

'Ενέργεια / Μονάδα μάζης καὶ βαθμὸν θερμοκρασίας.

Δηλαδή: kcal/kg °C

ή kJ/kg °C.

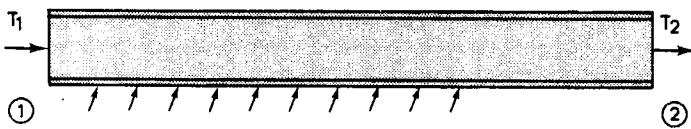
'Η εἰδικὴ θερμοχωρητικότης δὲν εἶναι ἡ ἴδια δι' ὅλα τὰ σώματα. Τὸ νερό, ὅπως ἀνεφέρθη, ἔχει εἰς τὴν θερμοκρασίαν τῶν 14 ἔως 15 °C εἰδικὴν θερμοχωρητικότητα ἵσην μὲ 4,18 kJ/kg °C. 'Ο ἀέρας ἔχει πολὺ μικροτέραν, δηλαδὴ εἰς θερμοκρασίαν 20 °C καὶ ὑπὸ ὀπόλυτον πίεσιν 1 atm, ἔχει 1 kJ/kg °C.

'Η εἰδικὴ θερμοχωρητικότης συνήθως μεταβάλλεται μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ σώματος. Εἰς ἄλλα σώματα μεταβάλλεται πολὺ καὶ εἰς ἄλλα πιὸ λίγο. 'Ἐπίσης εἰς τὰ πραγματικὰ ἀέρια ἡ εἰδικὴ θερμοχωρητικότης μεταβάλλεται ὅχι μόνον μὲ τὴν θερμοκρασίαν, ἀλλὰ καὶ μὲ τὴν πίεσιν.

Προκειμένου περὶ ἀέριων ἢ ἀτμῶν ὑπάρχουν δύο εἰδῶν εἰδικαὶ θερμοχωρητικότητες: 'Η εἰδικὴ θερμοχωρητικότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ ἡ εἰδικὴ θερμοχωρητικότης ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον. Τὸ ὄνομα κάθε θερμοχωρητικότητος φανερώνει καὶ τὴν σημασίαν της.

*Εἰδικὴ θερμοχωρητικότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.*

Τὸ σχῆμα 1 · 6 α παριστᾶ τὴν κλασσικὴν περίπτωσιν ἐφαρμο-



Σχ. 1·6 α.

'Αέριον σταθερᾶς πιέσεως ρέει διὰ τοῦ σωλῆνος καὶ θερμαίνεται ἀπὸ θερμοκρασίαν εἰσόδου  $T_1$  μέχρι θερμοκρασίας ἔξόδου  $T_2$ . Διὰ τοῦ σωλῆνος ρέει μᾶζα ( $m/t$ ) kg ἀέριον εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου.

γῆς τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητος ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Μέσω ἐνὸς σωλῆνος, ὁ δόποιος θερμαίνεται, ρέει ἀέριον ἢ ἀτμὸς ὑπὸ σταθερὰν

πίεσιν. Δια της προσδιδομένης θερμότητος, ή θερμοκρασία είσοδου  $T_1$ , τού άερίου αύξάνει και γίνεται είς τήν έξοδον  $T_2$ .

Η ειδική θερμοχωρητικότης ύπο σταθεράν πίεσιν συμβολίζεται με τὸ γράμμα c καὶ δείκτην p, δηλαδὴ ὡς  $c_p$ . Η θερμότης q παρέχεται είς χρόνον t καὶ συνεπῶς ἀνὰ μονάδα χρόνου γίνεται συναλλαγὴ προσοῦ θερμότητος ίσου μὲ q/t. Συνεπῶς διὰ τὸ παράδειγμα τοῦ σχήματος 1 · 6 α τῆς θερμάνσεως ύπο σταθεράν πίεσιν ίσχύει ή σχέσις:

$$\frac{q}{t} = c_p (T_2 - T_1) \cdot \frac{m}{t} \quad (1)$$

ὅπου:

q/t: ή ἀνὰ μονάδα χρόνου συναλλασσομένη θερμότης εἰς kcal/s ή J/s = W,

$c_p$ : ή ειδική θερμοχωρητικότης τοῦ άερίου ύπο σταθεράν πίεσιν εἰς kcal/kg °C, ή kJ/kg °C,

$T_1$ ,  $T_2$ : θερμοκρασίαι εἰς τήν είσοδον καὶ τήν έξοδον τοῦ σωλήνος εἰς °C καὶ

m/t: ή ἀνὰ μονάδα χρόνου ροή μάζης (παροχὴ μάζης) εἰς kg/s.

Παράδειγμα.

Δι' ἐνὸς σωλήνος ρέει ἀέρας ύπο σταθεράν πίεσιν. Εἰσέρχεται μὲ θερμοκρασίαν 30 °C καὶ ἔξερχεται μὲ θερμοκρασίαν 230 °C. Η παροχὴ μάζης είναι 2 kg/s.

Η ειδική θερμοχωρητικότης τοῦ άερος ύπο σταθεράν πίεσιν είναι 1 kJ/kg °C. Ποία ή ἀνὰ μονάδα χρόνου παρεχομένη θερμότης;

Λύσις:

Ἐκ τῶν δεδομένων ἔχομεν:

$$T_1 = 30 \text{ °C}, \quad T_2 = 230 \text{ °C}, \quad m = 2 \text{ kg/s} \quad \text{καὶ} \quad c_p = 1 \text{ kJ/kg °C}.$$

Ἐκ τῆς σχέσεως (1) εύρισκεται ή προσδιδομένη θερμότης:

$$\begin{aligned} q/t &= c_p (T_2 - T_1) \cdot m/t = \\ &= 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg °C}} (230 - 30) \text{ °C} \cdot 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \\ &= 1 \times (200) \times 2 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 400 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 400 \text{ kW}, \end{aligned}$$

ῶστε:  $q/t = 400 \text{ kW}$ .

*Ειδική θερμοχωρητικότης ύπό σταθερὸν ὅγκον.*

Έστω κλειστὸν δοχεῖον μὲ ίσχυρὰ τοιχώματα, ποὺ περιέχει ἀέριον (σχ. 1 · 6 β). Τὸ δοχεῖον θερμαίνεται ἔξωτερικῶς καὶ φυσικά ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέριου ποὺ περιέχει αὐξάνει, ἐνῶ ταυτοχρόνως αὐξάνει καὶ ἡ πίεσίς του. Ὁ ὅγκος του ὅμως παραμένει σταθερός. Ἔτοι ἔχομεν πρόσδοσιν θερμότητος ύπό σταθερὸν ὅγκον. Διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ προσδιδούντος ποσοῦ θερμότητος ἀπαιτεῖται τώρα ἡ χρησιμοποίησις τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητος ύπό σταθερὸν ὅγκον. Ἡ θερμοχωρητικότης ύπό σταθερὸν ὅγκον συμβολίζεται διὰ τοῦ  $c_v$ . Τὸ ποσὸν τῆς προσδιδούντος θερμότητος οὐ εύρισκεται ἀπὸ τὴν σχέσιν:

$$q = c_v (T_2 - T_1) m \quad (2)$$

ὅπου:

q: ἡ συναλλασσομένη θερμότης εἰς kcal ἢ εἰς kJ,

$T_1$ ,  $T_2$ : αἱ θερμοκρασίαι εἰς τὴν ἀρχὴν καὶ εἰς τὸ τέλος τῆς θερμάνσεως εἰς °C,

$c_v$ : ἡ εἰδικὴ θερμοχωρητικότης ύπό σταθερὸν ὅγκον εἰς kcal/kg °C ἢ kJ/kg °C καὶ

m: ἡ μᾶζα τοῦ ἀέριου εἰς kg.

### Παραδείγματα.

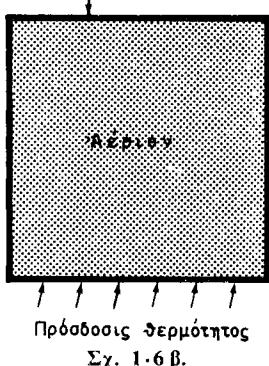
1. Δοχεῖον σταθεροῦ ὅγκου περιέχει 3 kg ἀέρος θερμοκρασίας 20 °C. Ὁ ἀέρας θερμαίνεται μέσα εἰς τὸ δοχεῖον μέχρι θερμοκρασίας 320 °C. Ἡ εἰδικὴ θερμοχωρητικότης τοῦ ἀέρος ύπό σταθερὸν ὅγκον είναι 0,70 kcal/kg °C.

Τί ποσὸν θερμότητος ἀπαιτεῖται διὰ τὴν θέρμανσιν;

Λύσις:

Ἐδόθησαν  $c_v = 0,70 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ ,

$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 320 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $m = 3 \text{ kg}$ .



Δοχεῖον σταθεροῦ ὅγκου περιέχει ἀέριον, τὸ ὅποιον θερμαίνεται. Διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ ποσοῦ θερμότητος ἀπαιτεῖται ἡ εἰδικὴ θερμοχωρητικότης ύπό σταθερὸν ὅγκον.

Από την σχέσιν (2) προκύπτει:

$$\begin{aligned} q &= c_v (T_2 - T_1) m = \\ &= 0,70 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (320 - 20)^\circ\text{C} \cdot 3 \text{ kg} = \\ &= 0,70 \times (300) \times 3 \text{ kJ} = 630 \text{ kJ}, \end{aligned}$$

Ωστε:  $q = 630 \text{ kJ}$ .

Αι σχέσεις (1) και (2) δὲν χρησιμοποιούνται μόνον διὰ τὴν θέρμανσιν ἀλλὰ καὶ διὰ τὴν ψῦξιν. "Οταν δηλαδὴ ἀφαιρῆται θερμότης ἀπὸ ἀέριον ἢ ἀτμόν, δύπολογισμὸς θὰ γίνη κατὰ τὸν ἴδιον τρόπον. Τὸ ποσὸν θερμότητος ὅμως, ποὺ θὰ προκύψῃ, θὰ τὸ συμβολίσωμεν ὡς ἀρνητικόν.

2. Μέσα εἰς κλειστὸν δοχεῖον σταθεροῦ ὅγκου εύρισκεται μᾶζα ἀέρος  $1,5 \text{ kg}$  θερμοκρασίας  $100^\circ\text{C}$ . Ἡ μᾶζα ψύχεται μέχρι θερμοκρασίας  $20^\circ\text{C}$ . Τί ποσὸν θερμότητος πρέπει νὰ ἀποβληθῇ; Δίδεται εἰδικὴ θερμοχωρητικότης ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον  $c_v = 0,70 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .

Λύσις:

Μὲ βάσιν τὴν σχέσιν (2), ἡ ὁποία ἰσχύει διὰ σταθερὸν ὅγκον, ἐργαζόμεθα ὡς ἔξῆς: Δίδονται τὰ ἀκόλουθα μεγέθη  $c_v = 0,70 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 100^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 20^\circ\text{C}$  καὶ  $m = 1,5 \text{ kg}$ . Ἐκ τῆς σχέσεως (2) προκύπτει:

$$\begin{aligned} q &= c_v (T_2 - T_1) m = \\ &= 0,70 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (20 - 100)^\circ\text{C} \cdot 1,5 \text{ kg} = \\ &= 0,70 \times (-80) \times 1,5 \text{ kJ} = \\ &= -84 \text{ kJ}. \end{aligned}$$

Ωστε:  $q = -84 \text{ kJ}$ . Συνεπῶς πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ τὸ ποσὸν τῶν  $84 \text{ kJ}$ . Ἀνάλογα ἰσχύουν καὶ διὰ τὴν ψῦξιν οἱουδήποτε ἀερίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Δι' ὑγρὰ καὶ στερεὰ σώματα ὑπάρχουν εἰδικαὶ θερμοχωρητικότητες ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον ἢ σταθερὰν πίεσιν, ἀκριβῶς ὅπως καὶ διὰ τὰ ἀέρια. Εἰς αὐτὰ ὅμως τὰ σώματα οἱ εἰδικαὶ θερμοχωρητικότητες ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον καὶ σταθερὰν πίεσιν δὲν διαφέρουν

μεταξύ των ἀλλὰ είναι πρακτικῶς ίσαι. Μόνον εἰς τὰ ἀέρια καὶ τοὺς ἀτμούς παρουσιάζεται ἡ διαφορὰ αὐτή.

Τὸ μέγεθος τῆς τιμῆς τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητος κάθε σώματος εἴτε ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον εἴτε ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν προσδιορίζεται μὲν πειράματα. Αἱ τιμαὶ αὗται διὰ τὰ διάφορα σώματα ὑπάρχουν εἰς πίνακας.

### 1.7 Ἔργον ὁγκομεταβολῆς.

"Εστω κύλινδρος μὲ στεγανὸν ἔμβολον, ὃπως εἰς τὸ σχῆμα 1.7. Μέσα εἰς τὸν κύλινδρον ὑπάρχει ἀέριον μὲ πίεσιν.

"Η πίεσις τοῦ ἀερίου δρᾶ ἐπὶ τοῦ ἔμβολου μὲ κάποιαν δύναμιν καὶ τὸ ὥθετι πρός τὰ ἔξω. "Ετσι, τὸ ἔμβολον είναι δυνατὸν νὰ κινήσῃ μίαν μηχανὴν καὶ νὰ παραγάγῃ μηχανικὸν ἔργον.

Βεβαίως τὸ ἔργον αὐτὸν παράγεται ἀπὸ τὴν ἐκτόνωσιν τοῦ ἀερίου καὶ είναι δυνατὸν νὰ ὑπολογισθῇ, ἀν είναι γνωστὴ ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου καὶ αἱ διαστάσεις τοῦ ἔμβολου. 'Ο ὑπολογισμὸς αὐτὸς γίνεται εὐκόλως ὡς ἔξῆς:

Πίεσις ἀερίου:  $p$

Ἐπιφάνεια ἔμβολου:  $F$

Μικρὴ μετατόπισις ἔμβολου:  $s$

Δύναμις:  $K$

$\Delta\text{ύναμις} = \text{Πίεσις} \times \text{Ἐπιφάνεια}.$

ἢ  $K = p \cdot F$

$\text{Ἔργον} = \Delta\text{ύναμις} \times \Delta\text{ιάστημα} \times \Sigma\text{υημίτονον}$

ἢ  $\text{Ἔργον} = K \cdot s \cdot 1$

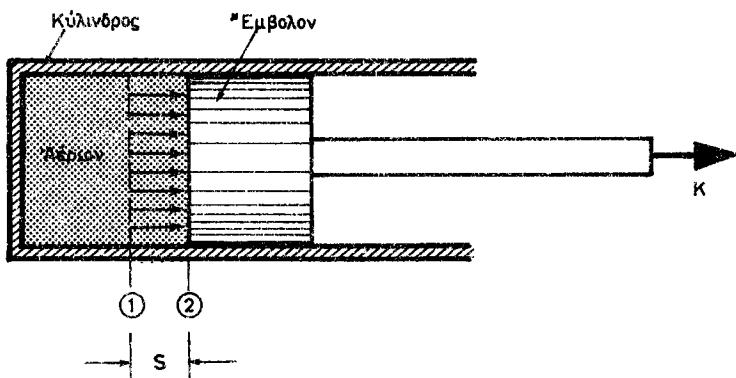
ἢ  $= p \cdot F \cdot s.$

'Επειδὴ ὅμως ἡ ἐπιφάνεια  $F$  πολλαπλασιάζεται μὲ τὴν μικρὴν μετατόπισιν  $s$ , προκύπτει ὁ μικρὸς ὅγκος  $V$  καὶ είναι:  $V = F \cdot s$ .

Συνεπῶς τὸ ἔργον, ποὺ παράγεται κατὰ τὴν μικρὴν μετατόπισιν  $s$ , ἰσοῦται μὲ τὴν μικρὴν μεταβολὴν τοῦ ὅγκου τοῦ ἀερίου ἐπὶ τὴν πίεσιν τοῦ ἀερίου.

Εἰς τὸ σχῆμα 1.7 ὁ ὅγκος τοῦ ἀερίου περιορίζεται ἀρχικῶς μέχρι τῆς θέσεως 1. 'Εν συνεχείᾳ τὸ ἔμβολον μετακινεῖται μέχρι τῆς θέσεως 2 καὶ ὁ ὅγκος τοῦ ἀερίου αὔξανει. Τὴν μεταβολὴν τοῦ ὅγκου,

τὴν διαφορὰν δηλαδὴ τοῦ τελικοῦ καὶ ἀρχικοῦ ὅγκου, τὴν συμβολίζομεν μὲ ΔV. Συνεπῶς τὸ ἔργον, τὸ δόποιον παράγεται κατὰ μίαν μικρὴν μεταβολὴν, ὑπελογίσθη ὅτι εἶναι ἵσον μὲ τὸ γινόμενον τῆς πιέσεως ἐπὶ τὴν μικρὴν μεταβολὴν τοῦ ὅγκου.



Σχ. 1.7.

Έμβολον ἐπιτραπείας  $F$  ὠθεῖται ἀπὸ τὸ ἀέριον πρὸς τὰ δεξιὰ καὶ παράγεται ἔργον.

Συνεπῶς διὰ μικρὴν μεταβολὴν ὅγκου  $\Delta V$ :

Έργον = Πίεσις × Μικρὴν μεταβολὴν ὅγκου

$$\text{ή } W = p \cdot \Delta V \quad (3)$$

### Παράδειγμα.

Εἰς κύλινδρον μηχανῆς Ντῆζελ τὰ ἀέρια ἔχουν ὅγκον  $1,0 \text{ dm}^3$  καὶ πίεσιν μανομετρικὴν 3 ἀτμοσφαιρῶν. Τὰ ἀέρια διαστέλλονται καὶ ὁ ὅγκος μεταβάλλεται κατὰ 2 %. Τί ἔργον παράγεται;

Λύσις:

Πίεσις μανομετρικὴ ἀερίων = 3 ἀτμόσφαιραι ή  $3 \text{ kp/cm}^2$ .

Απὸ τὴν ἄλλην πλευράν τοῦ ἐμβόλου ύφισταται ή ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις. Ἐπειδὴ ὅμως ή πίεσις  $3 \text{ kp/cm}^2$  εἶναι μανομετρικὴ (δηλαδὴ πίεσις, ποὺ μετρεῖται ἀπὸ μανόμετρον), σημαίνει ὅτι δὲν εἶναι ή ἀπόλυτος πίεσις, ή ὅποια δρᾶ ἐπάνω εἰς τὸ ἐμβόλον. Ἐπάνω εἰς τὸ ἐμβόλον ἔχομεν ἀπόλυτον πίεσιν μεγαλυτέρον ἀπὸ τὴν μανομετρικήν, διότι προστίθεται καὶ ή ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις. Ή ἀπόλυτος πίεσις εἰς τὸ ἐμβόλον εἶναι  $3 + 1 = 4$  ἀτμόσφαιραι.

Ἐπὶ τῆς ἐλευθέρας ὅμιλως πλευρᾶς τοῦ ἐμβόλου δρᾶ ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις, δηλαδὴ πίεσις 1 ἀτμοσφαίρας.

Συνεπῶς ἡ συνισταμένη πίεσις, ποὺ ἀσκεῖται τελικῶς ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου, εἶναι:

$$\begin{array}{r} 4 \text{ ἀπὸ μέσα πρὸς τὰ ἔξω \\ 1 \text{ ἀπὸ ἔξω πρὸς τὰ μέσα } \\ \hline \end{array}$$

Συνισταμένη: 3 ἀπὸ μέσα πρὸς τὰ ἔξω

Ο ὅγκος τοῦ ἀερίου εἶναι  $1,0 \text{ dm}^3$  καὶ μεταβάλλεται κατὰ 2%.

$$\text{Συνεπῶς ὁ ὅγκος εἰς τὸ τέλος γίνεται } 1,0 \times \frac{102}{100} = 1,02 \text{ dm}^3.$$

Ἡ διαφορὰ τῶν ὅγκων διὰ τὴν μικρὴν αὐτὴν μετατόπισιν εἶναι:

$$1,02 - 1,00 = 0,02 \text{ dm}^3.$$

Τὸ ἔργον συνεπῶς εἶναι:

$$\text{Ἔργον} = \text{πίεσις} \times \text{μικρὴν μεταβολὴν ὅγκου}$$

$$\begin{aligned} \text{ἢ } \text{Ἔργον} &= 3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 0,02 \text{ dm}^3 = \\ &= 30\,000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \cdot 0,000\,02 \text{ m}^3 = \\ &= 0,6 \text{ kp.m.} \end{aligned}$$

Τὸ ἔργον προκύπτει θετικόν, διότι παράγεται ἀπὸ τὸ ἀέριον. Τὸ σύστημα, τὸ ὅποιον ἔχητάσθη, περικλείει μᾶζαν ἀερίου, ἡ δόποια εύρισκεται μονίμως μέσα εἰς τὸν κύλινδρον. Δὲν ὑπάρχει δηλαδὴ συνεχῶς ροή μάζης διὰ τῆς μηχανῆς. "Ἐνα τέτοιο σύστημα χωρὶς ροήν μάζης διὰ μέσου τῶν ὅριών του λέγεται κλειστὸν σύστημα.

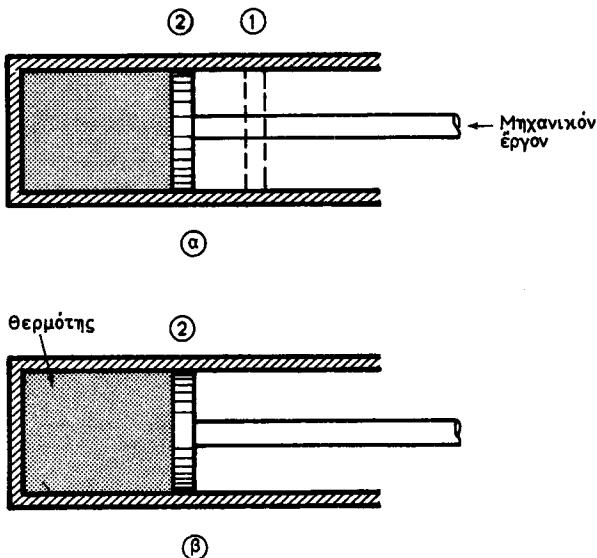
Ἀντιθέτως, ἢν δι' αὐτοῦ ρέῃ μᾶζα, τὸ σύστημα λέγεται ἀνοικτὸν σύστημα. Ἀνοικτὸν σύστημα εἶναι π.χ. μία ἀεραντλία ποδηλάτου, ἡ δόποια ἀναρροφεῖ συνεχῶς ἀέρα ἀπὸ τὸ περιβάλλον καὶ τὸν συμπιέζει μέσα εἰς τὸ ἐλαστικόν. Ἔτσι διὰ μέσου τῆς ἀεραντλίας ὑπάρχει ροή μάζης ἀέρος.

Ἡ σχέσις (3), ἡ ὅποια δίδει τὸ ἔργον διὰ μικρὰς μεταβολάς, ισχύει μόνον διὰ κλειστὰ συστήματα. Δι' ἀνοικτὰ συστήματα ισχύει ἄλλη σχέσις.

Τὸ μηχανικὸν ἔργον, τὸ ὅποιον συνδέεται μὲν μεταβολὰς ὅγκου ἀερίου κλειστῶν συστημάτων, λέγεται ἔργον ὁγκομεταβολῆς.

### 1.8 Έσωτερική ένέργεια.

Κάθε σῶμα περικλείει ώρισμένον ποσὸν ένεργείας. Ἡ ένέργεια αὐτῇ δύναται νὰ είναι διαφορετικῶν μορφῶν. Εἰς τὸ ἀέριον τοῦ σχήματος 1.8 α δίδεται π.χ. κατὰ τὴν συμπίεσίν του μηχανικὴ ένέργεια.



Σχ. 1.8 α.

Ταχεῖα συμπίεσις (α) καὶ ἐν συνεχείᾳ θέρμανσις (β) ἀερίου. Καὶ κατὰ τὰς δύο μεταβολὰς εἰς τὸ ἀέριον προσδίδεται ένέργεια. Ἡ ένέργεια αὐτῇ αὐξάνει τὴν ὑπό τοῦ ἀερίου ἀρχικῶς ἐγκλεισμένην έσωτερικὴν ένέργειαν.

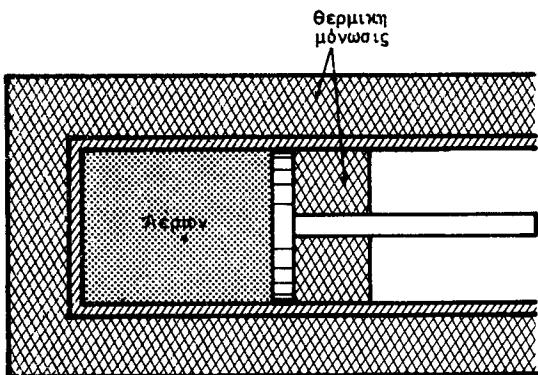
Ἡ ένέργεια αὐτῇ ἀποθηκεύεται μέσα εἰς τὸ ἀέριον. Ἐν συνεχείᾳ τὸ ἀέριον θερμαίνεται ἀπὸ ἔξω. Ἡ θερμότης, ἡ ὅποια προσδίδεται, ἀποθηκεύεται καὶ αὐτῇ ἐντὸς τοῦ ἀερίου. Μετὰ τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως καὶ τῆς προσδόσεως θερμότητος, τὸ ἀέριον ἔχει ἀποθηκευμένον μέσα του μεγαλύτερον ποσὸν ένεργείας, ἀπὸ ἐκεῖνο ποὺ εἶχε ἀρχικῶς. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν λέγομεν ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ένέργεια τοῦ ἀερίου ἔχει αὐξηθῆ.

Ἐὰν ἀντὶ τῆς ταχείας συμπιέσεως καὶ θερμάνσεως τὸ ἀέριον ὑποστῇ ταχεῖαν ἀποτόνωσιν καὶ συγχρόνως τοῦ ἀφαιρεθῆ θερμότης, τότε φυσικὰ ἡ ἐσωτερική του ἐνέργεια θὰ ἐλαττωθῇ. Συνεπῶς εἰναι δυνατόν, κατὰ μίαν μεταβολὴν, νὰ ἐμφανίζεται αὔξησις ἢ ἐλάττωσις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας τοῦ σώματος.

Διὰ νὰ διθῇ ὁ ἀκριβῆς ὄρισμὸς τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας, πρέπει νὰ είναι γνωστὴ προηγουμένως ἡ ἔννοια τοῦ ἀδιαβατικοῦ ὄριου ἢ τοιχώματος.

Ἄδιαβατικὸν εἶναι τὸ τοίχωμα (*ὅριον*), τὸ ὅποιον δὲν ἐπιτρέπει τὴν διέλευσιν θερμότητος μέσω αὐτοῦ.

Ἐπὶ παραδείγματι, ἔνα «θερμός», τὸ ὅποιον περιέχει νερὸν καὶ παγάκια δύναται νὰ τὰ διατηρῇ ἐπὶ ἀρκετὰς ὥρας, χωρὶς νὰ λειώσουν. Αὐτὸν σημαίνει ὅτι ἡ θερμότης δὲν είναι δυνατόν νὰ περάσῃ



Σχ. 1·8 β.

Ἐὰν ἡ μόνωσις τοῦ κυλίνδρου καὶ τοῦ ἐμβόλου είναι τελεία, τότε τὸ ἀέριον είναι ἔνα ἀδιαβατικὸν σύστημα.

εὔκολα ἀπὸ τὸ ἐξωτερικὸν περιβάλλον εἰς τὰ παγάκια καὶ νὰ τὰ λειώσῃ. Ἐὰν ἡ μόνωσις τοῦ θερμὸς ἦτο τελεία, τότε τὰ παγάκια δὲν ἐπρόκειτο νὰ λειώσουν ποτέ. Τὸ θερμός λοιπὸν πλησιάζει ἀρκετὰ εἰς τὸ νὰ ἔχῃ ἀδιαβατικὰ τοιχώματα.

Εἰς τὸ σχῆμα 1·8 β παρίσταται κύλινδρος καὶ τὸ ἐμβολόν του. Καὶ τὰ δύο ἔχουν πολὺ καλήν θερμικὴν μόνωσιν καὶ ἔτσι δὲν ἐπιτρέπουν εἰς τὴν θερμότητα νὰ φθάσῃ μέχρι τοῦ ἀερίου τοῦ κυλίν-

δρου ἡ καὶ νὰ φύγη ἀπὸ αὐτό. Τὸ σύστημα λοιπὸν αὐτὸν εἶναι ἀδιαβατικόν.

"Οταν εἰς τὸ σύστημα αὐτὸν συμπιέζεται τὸ ἀέριον, τότε προσδίδεται ἀπὸ ἔξω μηχανικὸν ἔργον. Τὸ ἔργον αὐτὸν ἀποθηκεύεται μέσα εἰς τὸ ἀέριον καὶ αὐξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀερίου.

'Η αὔξησις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας τοῦ ἀερίου εἶναι ἀκριβῶς ἵση μὲ τὴν μηχανικὴν ἐνέργειαν, ποὺ προσδίδεται ἀπὸ ἔξω. 'Η ἴσοτης αὐτὴ ἰσχύει μόνον δι' ἀδιαβατικὰ συστήματα. Συνεπῶς:

*'Αδιαβατικὸν σύστημα:*

*Ποσὸν Μεταβολῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας = Ποσὸν Μηχανικοῦ ἔργου.*

Εἰς τὸ σχῆμα 1 · 8 α τὸ ἔμβολον καὶ διάφορος δὲν ἔχουν μόνωσιν καὶ συνεπῶς τὸ σύστημα δὲν εἶναι εἰς τὴν πραγματικότητα ἀδιαβατικόν. Ἐάν ὅμως ἡ συμπίεσις γίνεται πολὺ γρήγορα, τότε ἡ θερμότης δὲν προλαμβάνει νὰ μεταδοθῇ ἀπὸ τὸ ἀέριον εἰς τὸ περιβάλλον καὶ ἔτσι τὸ σύστημα δύναται νὰ θεωρηθῇ ὡς κατὰ προσέγγισιν ἀδιαβατικόν.

Ἐάν ὅμως εῖς τὸ ἔμβολον τοῦ σχήματος 1 · 8 α ἡ συμπίεσις γίνη βραδέως, τότε βεβαίως τὸ σύστημα δὲν εἶναι ἀδιαβατικὸν καὶ ὑπάρχει ροὴ θερμότητος ἀπὸ τὸ θερμὸν ἀέριον, ποὺ συμπιέζεται πρὸς τὸ περιβάλλον.

Εἰς τὴν περίπτωσιν λοιπὸν τοῦ μὴ ἀδιαβατικοῦ συστήματος ἰσχύει:

*Mὴ ἀδιαβατικὸν σύστημα:*

*Ποσὸν Μεταβολῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας ≠ Ποσὸν Μηχανικοῦ ἔργου.*

Ἐπομένως εῖς τὸ μὴ διαβατικὸν σύστημα τὸ μηχανικὸν ἔργον τῆς δύκουμεταβολῆς τοῦ ἀερίου δὲν εἶναι ἵσον δὲν μικρότερον ἢ μεγαλύτερον πρὸς τὴν μεταβολὴν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας, διότι ὑπάρχει καὶ ἡ θερμότης, ἡ ὁποία φεύγει (ἢ ἔρχεται) ἀπὸ τὸ σύστημα. Ἐάν ληφθῇ ύπ' ὅψιν καὶ ἡ θερμότης αὐτῆς, τότε εἶναι δυνατὸν νὰ διατυπωθῇ ἡ σχέσις τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος.

Πριν ἀναφερθῇ τὸ ἀξιώματα αὐτὸν θὰ πρέπει νὰ γίνῃ ἡ ὑπενθύμισις τῶν σημείων, μὲ τὰ ὅποια χαρακτηρίζομεν τὸ μηχανικὸν ἔργον καὶ τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν.

"Οταν δίδεται ἔργον εἰς τὸ σύστημα, τότε τὸ ἔργον ἔχει ἀρνη-

τικὸν σημεῖον. "Όταν παράγεται έργον ἀπὸ τὸ σύστημα, τότε τὸ έργον ἔχει θετικὸν σημεῖον.

"Όταν προσδίδεται ἐνέργεια εἰς τὸ σύστημα, τότε αὐξάνει ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ συστήματος. "Όταν ἀντιθέτως ἀφαιρήθει ἐνέργεια ἀπὸ αὐτό, τότε ἡ ἐσωτερική του ἐνέργεια ἐλαττώνεται.

### Παραδείγματα.

1. Εἰς τὸ ἀέριον τοῦ σχήματος  $1 \cdot 8\beta$  δίδεται κατὰ τὴν συμπίεσιν πιοσὸν μηχανικοῦ έργου  $8 \text{ kJ}$ . Πόσον μεταβάλλεται ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου;

*Λύσις:*

Τὸ σύστημα τοῦ σχήματος  $1 \cdot 8\beta$  εἶναι ἀδιαβατικόν, δηλαδὴ οὔτε φεύγει οὔτε ἔρχεται θερμότης πρὸς τὸ ἀέριον. Τὸ μηχανικὸν έργον δίδεται (εἶναι ἀρνητικόν) καὶ αὐξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀερίου. Συνεπῶς:

*Άδιαβατικὸν σύστημα:*

Πιοσὸν μεταβολῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας = Πιοσὸν μηχανικοῦ έργου.

"Αρα ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια μεταβάλλεται κατὰ τὸ ἴδιον πιοσόν, ὅσον καὶ τὸ μηχανικὸν έργον, δηλαδὴ κατὰ  $8 \text{ kJ}$ .

Κατὰ τὴν μεταβολὴν λοιπὸν τοῦ παραδείγματος εἶναι:

- Μηχανικὸν έργον =  $-8 \text{ kJ}$  (πρόσδοσις έργου)
- Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας =  $8 \text{ kJ}$  (αὔξησις ἐσωτερικῆς ἐνέργειας).

2. Εἰς τὸ σχῆμα  $1 \cdot 8\alpha(\alpha)$  προσδίδεται κατὰ τὴν συμπίεσιν τοῦ ἀερίου μηχανικὸν έργον  $25 \text{ kJ}$  καὶ ἀπὸ τὸ ἀέριον ἀποβάλλεται πρὸς τὸ περιβάλλον θερμότης ἵση πρὸς  $7 \text{ kJ}$ , διότι ἡ συμπίεσις δὲν γίνεται ταχέως. Πόσον μεταβάλλεται ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου;

*Λύσις:*

"Η συμπίεσις δὲν γίνεται ταχέως καὶ συνεπῶς ἡ μεταβολὴ δὲν δύναται νὰ θεωρηθῇ ως ἀδιαβατική. 'Ως ἐκ τούτου ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας δὲν εἶναι ἵση πρὸς τὴν μεταβολὴν τοῦ μηχανικοῦ έργου. Δηλαδὴ:

*Μὴ ἀδιαβατικὸν σύστημα:*

Πιοσὸν μεταβολῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας  $\neq$  Πιοσὸν μηχανικοῦ έργου.

Η μεταβολή όμως της έσωτερικής ένέργειας δύναται να θέτεται διότι δίδεται το ποσόν θερμότητος, το διποίον έφυγε από το άεριον. Κατόπιν αύτῶν ίσχύει:

$$\text{Μηχανικὸν ἔργον} = -25 \text{ kJ} \text{ (πρόσδοσις Ἐργου).}$$

Η αὔξησις της έσωτερικής ένέργειας θα ήτο  $25 \text{ kJ}$  αν δὲν έφευγε καθόλου θερμότης από το άεριον.

Τώρα όμως φεύγει θερμότης καὶ εἰναι:

$$\text{Ἀπαγομένη θερμότης} = -7 \text{ kJ} \text{ (ἀρνητική, διότι ἀπάγεται).}$$

Συνεπῶς ἡ τελικὴ αὔξησις της έσωτερικής ένέργειας θὰ εἴναι ἡ διαφορά της θερμότητος, ποὺ φεύγει, καὶ τοῦ μηχανικοῦ ἔργου, ποὺ προσδίδεται.

$$\text{Μεταβολὴ έσωτερικῆς ένέργειας} = \text{Θερμότης} - \text{Μηχανικὸν ἔργον.}$$

$$= -7 - (-25) =$$

$$= -7 + 25 = 18 \text{ kJ} \text{ (αὔξησις).}$$

3. Εἰς τὸ σχῆμα 1·8 α (β) τὸ ἔμβολον παραμένει ἀμετακίνητον καὶ προσδίδεται θερμότης ἵση πρὸς  $32 \text{ kcal}$ . Πόσον μεταβάλλεται ἡ έσωτερική ένέργεια τοῦ ἀερίου;

Λύσις:

Ἐφ' ὅσον τὸ ἔμβολον μένει ἀκίνητον, ὁ δύκος τοῦ ἀερίου δὲν μεταβάλλεται καὶ δὲν παράγεται οὔτε καταναλίσκεται μηχανικὸν ἔργον ὄγκομεταβολῆς. Συνεπῶς ἡ μεταβολὴ της έσωτερικῆς ένέργειας γίνεται μόνον ἀπὸ τὴν προσδιδομένην θερμότητα καὶ εἴναι ἵση μὲ αὐτήν. Θὰ ίσχύῃ λοιπόν:

$$\text{Μηχανικὸν ἔργον} = 0.$$

$$\text{Ἄρα } \text{Μεταβολὴ έσωτερικῆς ένέργειας} = \text{Θερμότης}$$

$$\text{καὶ } \text{Μεταβολὴ έσωτερικῆς ένέργειας} = 32 \text{ kcal} =$$

$$= 32 \times 4,18 \text{ kJ} =$$

$$= 133,76 \text{ kJ.}$$

4. Εἰς τὸ σχῆμα 1·8 α (β) τὸ ἔμβολον μένει ἀμετακίνητον. Τὸ ἀερίον ψύχεται καὶ ἀφαιρεῖται ἀπὸ αὐτὸν θερμότης ἵση πρὸς  $5 \text{ kcal}$ . Πόσον μεταβάλλεται ἡ έσωτερική ένέργεια τοῦ ἀερίου;

Λύσις:

"Οπως καὶ εἰς τὸ παράδειγμα 3, τὸ ἔμβολον μένει ἀκίνητον

καὶ συνεπῶς δὲν ἔμφανίζεται μηχανικὸν ἔργον, διότι ὁ ὅγκος τοῦ ἀερίου δὲν μεταβάλλεται. Ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας γίνεται μόνον διὰ τῆς ἀπαγομένης θερμότητος. Συνεπῶς:

Μηχανικὸν ἔργον = 0

καὶ Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας = Θερμότης

ἢ Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας = - 5 kcal =

= - (5) × 4,18 = - 20,9 kJ.

### 1.9 Πρῶτον Θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα.

Τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα προέρχεται ώς συμπέρασμα ἀπὸ τὴν πρᾶξιν. Δὲν ἀποδεικνύεται μὲν ὑπολογισμοὺς ἢ μὲν ἄλλον τρόπον, ἀλλὰ τὸ παραδεχόμεθα ως ὀρθόν, διότι ἴσχυει πάντοτε μέχρι τώρα εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις καὶ νοιμίζομεν ὅτι δὲν ὑπάρχει περίπτωσις, διὰ τὴν ὅποιαν νὰ μὴ ἔφαρμόζεται.

Τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα συνδέει τὰ τρία μεγέθη:

— Θερμότητα

— Ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν.

— Μηχανικὸν ἔργον.

Τὸ ἀξίωμα αὐτὸ δίδει τὴν σχέσιν, ἢ ὅποια ὑπάρχει μεταξὺ αὐτῶν τῶν μεγεθῶν, ὅταν γίνεται μία ὀλλαγὴ εἰς ἓνα σύστημα. Εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον, καὶ εἰς ὡρισμένα παραδείγματα ἔγινε ἡδη χρῆσις τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος, ὥστε νὰ εἶναι τώρα εὐκολωτέρα ἢ ἔξήγησίς του.

Οπως εἶναι γνωστόν, ἢ θερμότης εἶναι ἐνέργεια ποὺ προστίθεται ἢ ἀφαιρεῖται εἰς τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ συστήματος. Τὸ μηχανικὸν ἔργον καὶ αὐτὸ τελικῶς μεταβάλλει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ συστήματος καὶ τὴν αὐξάνει ἢ τὴν ἐλαττώνει ἀναλόγως τῶν περιπτώσεων.

Διὰ τὰς πρακτικὰς ἔφαρμογάς ἐνδιαφέρον παρουσιάζει συνήθως ἢ μετατροπὴ θερμότητος εἰς μηχανικὸν ἔργον. Εἰς κινητῆρα αὐτοκινήτου π.χ. δίδεται θερμότης ἀπὸ τὴν καῦσιν τοῦ καυσίμου καὶ παράγεται μηχανικὸν ἔργον διὰ τὴν κίνησιν. Ποία ἢ σχέσις μεταξὺ θερμότητος καὶ μηχανικοῦ ἔργου;

Ἡ σχέσις αὐτὴ δίδεται μὲ τὴν βοήθειαν τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος καὶ τῆς ἐννοίας τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας.

Τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα, μεταξὺ τῶν ὄλλων, διατυπώνει καὶ τὴν ἀρχὴν τῆς διατηρήσεως τῆς ἐνέργειας. Ἡ διατύπωσις αὐτοῦ εἶναι ἡ ἀκόλουθος:

$$\text{Θερμότης} = \text{Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας} + \text{Μηχανικὸν ἔργον}$$

Τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα λέγει ὅτι, ἡ θερμότης προκαλεῖ μεταβολὴν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας καὶ παραγωγὴν ἔργου. Ἐξαρτᾶται φυσικὰ ἀπὸ τὸ εἰδος τῆς κάθε μεταβολῆς, ἀν θὰ ἐμφανισθῇ αὐξησις ἢ ἀλάττωσις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας καὶ ἀν θὰ παραχθῇ ἡ καταναλωθῆ μηχανικὸν ἔργον. Ἔπιστης ἀπὸ τὸ εἰδος τῆς μεταβολῆς ἔξαρτᾶται καὶ τὸ ἀν προσδίδεται ἢ ἀποβάλλεται θερμότης.

Ὑπάρχουν διαφορετικοὶ συνδυασμοὶ τῶν περιπτώσεων αὐτῶν καὶ ἀρκετὰ παραδείγματα, ποὺ θὰ ἀναφερθοῦν εἰς τὸ κεφάλαιον τῶν τελείων ἀερίων.

Φυσικὰ ἡ ἔκφρασις τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος δὲν ἀλλάσσει, ἀν γραφῇ καὶ ὡς ἔξῆς:

$\text{Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας} = \text{Θερμότης} - \text{Μηχανικὸν ἔργον}$

$\text{Μηχανικὸν ἔργον} = \text{Θερμότης} - \text{Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας}.$

#### Παραδείγματα.

1. Κατὰ μίαν μεταβολὴν ἀερίου ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια μένει ἀμετάβλητος. Κατὰ τὴν μεταβολὴν αὐτὴν προσδίδεται ποσὸν θερμότητος 50 kJ. Τί μηχανικὸν ἔργον παράγεται;

Λύσις:

'Εφ' ὅσον ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια μένει ἀμετάβλητος, ίσχύει:

$\text{Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας} = 0.$

Συνεπῶς ἀπὸ τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα προκύπτει:

$\text{Θερμότης} = \text{Μηχανικὸν ἔργον}$

καὶ τὸ μηχανικὸν ἔργον εἶναι:

$\text{Μηχανικὸν ἔργον} = 50 \text{ kJ}.$

'Ἐπειδὴ εἶναι θετικόν, σημαίνει ὅτι τὸ ἔργον παράγεται.

2. Κατὰ μίαν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν ἀερίου παράγεται μηχα-

νικὸν ἔργον. Κατὰ τὴν μεταβολὴν αὐτὴν ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου αὔξανεται ἢ ἐλαττώνεται;

Λύσις:

Διὰ τὴν ἀδιαβατικὴν μεταβολὴν δὲν ἔχομεν συναλλαγὴν θερμότητος καὶ συνεπῶς:

Θερμότης = 0.

Ἄπὸ τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα προκύπτει:

$0 = \text{Μεταβολὴ } \dot{\epsilon} \text{σωτερικῆς } \dot{\epsilon}\text{νεργείας} + \text{Μηχανικὸν } \ddot{\epsilon}\text{ργον.}$

Ἐπειδὴ κατὰ τὴν μεταβολὴν παράγεται μηχανικὸν ἔργον, τὸ ἔργον εἶναι θετικόν. Διὰ νὰ δίδῃ ἀθροισμα μηδὲν μὲ τὴν μεταβολὴν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας, θὰ πρέπει ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας νὰ εἶναι ἀρνητικὴ καὶ κατ' ἀπόλυτον τιμὴν ἵση πρὸς τὸ μηχανικὸν ἔργον.

Συμπέρασμα: Ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ἐλαττώνεται.

Τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα ἔχει πολλὰς ἑφαρμογάς. Μὲ τὴν βοήθειάν του θὰ προκύψουν εἰς τὰς ἐπομένας παραγράφους πολλαὶ χρήσιμοι σχέσεις διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῶν μεταβολῶν τῶν ἀερίων καὶ ἀτμῶν.

“Οπως προκύπτει ἀπὸ τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα, κάθε μεταβολὴ συνδέεται μὲ μεταβολὰς θερμότητος καὶ μηχανικοῦ ἔργου. “Ενας ἀπὸ τοὺς σκοποὺς τῆς Θερμοδυναμικῆς εἶναι καὶ δ ὑπολογισμὸς τῶν μεγεθῶν αὐτῶν, δηλαδὴ τῆς θερμότητος καὶ τοῦ μηχανικοῦ ἔργου, τὰ ὅποια συνδέονται μὲ κάθε μεταβολήν.

Τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα, ὅπως ἀναφέρεται ἐδῶ, ἰσχύει διὰ κλειστὰ συστήματα. ‘Η διατύπωσις δι’ ἀνοικτὰ συστήματα εἶναι δλίγον διαφορετική.

### 1 · 10 Ἄνοικτὸν σύστημα.

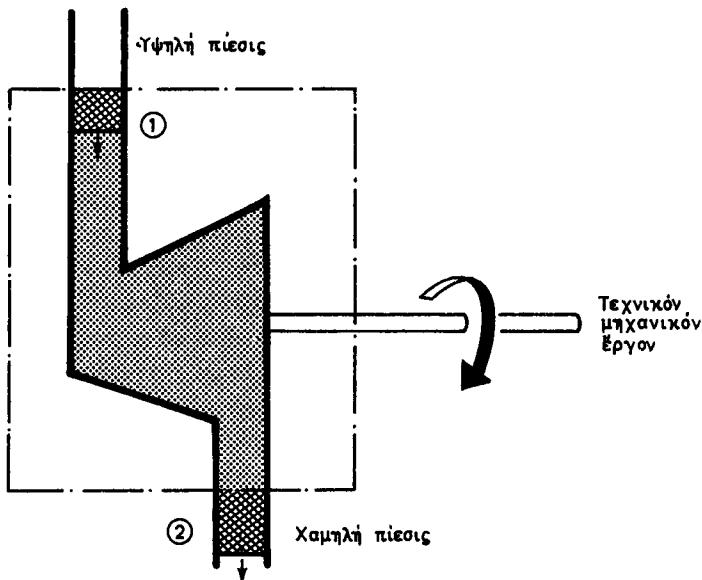
Εἰς τὴν παράγραφον 1 · 7 ἀνεφέρθησαν ἥδη τὰ ἀνοικτὰ συστήματα καὶ, ὅπως ἀνεφέρθη, ἀνοικτὸν σύστημα εἶναι ἑκεῖνο, ποὺ διαρρέεται συνεχῶς ἀπὸ ρεῦμα μάζης.

‘Ο ἀεροσυμπιεστής εἶναι ἀνοικτὸν σύστημα. ‘Αναρροφεῖ συνεχῶς ἀέρα ἀπὸ τὸ περιβάλλον, τὸ ρεῦμα τῆς μάζης τοῦ ἀέρος διέρχεται ἀπὸ τὸν συμπιεστήν, ὅπου αὔξανει ἡ πίεσίς του, καὶ μετὰ

διοχετεύεται είς τὴν κατανάλωσιν. Διὰ τὸν θερμοδυναμικὸν ὑπολογισμὸν τοῦ ἀεροσυμπιεστοῦ, τὸ σύστημα εἶναι ἀνοικτόν.

Μία τοπικὴ κλιματιστικὴ συσκευὴ παραθύρου εἶναι ἀνοικτὸν σύστημα ὡς πρὸς τὸ ρεῦμα ἀέρος. Ἀναρροφεῖ ἀέρα, τὸν ψύχει καὶ ἐν συνεχείᾳ τὸν ἀποστέλλει εἰς τὸν κλιματιζόμενον χῶρον.

Διατί ὅμως γίνεται ἡ διάκρισις εἰς κλειστὰ καὶ ἀνοικτὰ συστήματα; Ὑπάρχει καμμία διαφορὰ εἰς τὸν τρόπον ὑπολογισμοῦ; Ἡ διαφορὰ αὐτὴ ὑπάρχει πράγματι καὶ ὀφείλεται ἀκριβῶς εἰς τὴν ὑπαρξίν τοῦ ρεύματος μάζης. Διὰ τὴν καλυτέραν ἐπεξήγησιν αὐτοῦ, ἃς ἔξετασθῇ τὸ σχῆμα 1 · 10.



Σχ. 1 · 10.

Σχηματικὴ παράστασις ἀτμοστροβίλου. Ἡ μᾶζα ἀτμοῦ καταστάσεως 1, ὅταν φθάνῃ εἰς τὴν εἰσόδον, ἀποκτᾷ κατάστασιν 2 εἰς τὴν ἔξοδον, καὶ ἔχει μεγαλύτερον δύκον, λόγω τῆς χαμηλοτέρας πιέσεως. Άνοικτὸν σύστημα. Παραγωγὴ τεχνικοῦ μηχανικοῦ ἔργου.

Τὸ σχῆμα 1 · 10 παριστᾶ ἀτμοστροβίλον. Ὁ ἀτμὸς μὲ ὑψηλὴν πίεσιν εἰσέρχεται εἰς τὸν ἀτμοστροβίλον εἰς κατάστασιν 1. Μέσα εἰς αὐτὸν ἐκτονώνεται, μέχρις ὅτου φθάσῃ εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν, καὶ

φεύγει εἰς κατάστασιν 2. Μέσα εἰς τὴν ἀξονικὴν γραμμὴν περικλείεται τὸ σύστημα ποὺ μᾶς ἐνδιαφέρει. Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ σχῆμα, τὸ σύστημα εἶναι ἀνοικτόν, διότι διαρρέεται συνεχῶς ὑπὸ τοῦ ρεύματος τῆς μάζης τοῦ ἀτμοῦ.

Εἰς τὸ σημεῖον τῆς εἰσόδου τοῦ ἀτμοῦ (σχ. 1 · 10) τὸ τμῆμα, ποὺ ἔχει διαγράμμισιν, παριστᾶ μίαν ὠρισμένην μᾶζαν ἀτμοῦ. Ὅταν αὐτὴ ἡ μᾶζα περάσῃ ἀπὸ τὸν στρόβιλον καὶ μᾶς δώσῃ ἔργον, θὰ καταλήξῃ τελικά εἰς τὴν ἔξοδον εἰς κατάστασιν 2.

Τί διαφέρουν αἱ δύο καταστάσεις 1 καὶ 2; Διαφέρουν φυσικά ὡς πρὸς τὴν πίεσιν καὶ τὸν εἰδικὸν δγκον, ὅπως φαίνεται κατωτέρω:

Κατάστασις	1	2
Πίεσις	Μεγάλη	Μικρὴ
Εἰδικὸς δγκος	Μικρὸς	Μεγάλος

Ἡ συγκεκριμένη μᾶζα τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὴν εἰσόδον πρέπει νὰ σπρώξῃ τὸν ὑπάρχοντα ἀτμὸν διὰ νὰ προχωρήσῃ καὶ νὰ εἰσέλθῃ εἰς τὸν στρόβιλον. Πρέπει συνεπῶς εἰς τὴν εἰσόδον νὰ καταβληθῇ ἔργον μηχανικὸν διὰ νὰ διατηρηθῇ ἡ ροὴ τῆς μάζης.

Εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ στροβίλου δὲν πρέπει νὰ καταβληθῇ πάλιν ἔργον, διότι, καθὼς ὁ ἀτμὸς φεύγει μόνος του, αὐτομάτως παράγει ἔργον.

Συνεπῶς πρέπει νὰ ληφθοῦν ὑπ’ ὅψιν τὰ δύο αὐτὰ ἔργα, ποὺ ἀπαιτοῦνται διὰ νὰ διατηρηθῇ ἡ ροὴ τῆς μάζης. Τὸ ἕνα εἶναι θετικὸν καὶ τὸ ἄλλο ἀρνητικόν. Τὸ ἀθροισμα τῶν δύο ἐπηρεάζει τὸ ἔργον, τὸ ὅποιον δίδει ὁ στρόβιλος εἰς τὸν ἀξονά του.

Τὸ ἀθροισμα αὐτὸ τῶν δύο ἔργων, ἐπειδὴ χρησιμοποιεῖται διὰ νὰ ὀψῇ τὸν ἀτμὸν καὶ ἔτσι νὰ διατηρῆται ἡ ροή, λέγεται ἔργον ἐξωθήσεως.

“Ωστε ἡ κυρία διαφορὰ εἰς τὸν ὑπολογισμὸν μεταξὺ ἀνοικτοῦ καὶ κλειστοῦ συστήματος είναι ἀκριβῶς αὐτὸ τὸ ἔργον ἐξωθήσεως.

Ο ὑπολογισμός του είναι εὔκολος, ἀν είναι γνωστή ἡ πίεσις καὶ ὁ εἰδικὸς δγκος εἰς τὴν εἰσόδον καὶ εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ συστήματος.

Εἰς τὸ σχῆμα 1 · 10 τὸ ἔργον, τὸ ὅποιον λαμβάνεται ἀπὸ τὸν στρόβιλον, χαρακτηρίζεται ὡς τεχνικὸν μηχανικὸν ἔργον. Τὸ ἔργον

λέγεται τεχνικόν, διότι παράγεται ἀπὸ ἀνοικτὸν σύστημα. Ἐπειδὴ σχεδὸν ὅλα τὰ συστήματα τῆς τεχνικῆς εἰναι ἀνοικτά, διὰ τοῦτο ἐπεκράτησε ἡ ὀνομασία αὐτῆς.

"Οταν λοιπὸν ὑπάρχῃ ἀνοικτὸν σύστημα, τότε τὸ ἔργον, τὸ ὅποιον παράγεται ἢ καταναλίσκεται ἀπὸ αὐτό, εἰναι πάντοτε τεχνικὸν ἔργον.

Εἰς τὸ σχῆμα 1 · 10, εἰς τὴν εἴσοδον 1 ὁ ἀτμὸς ἔχει ὑψηλὴν πίεσιν καὶ μικρὸν εἰδικὸν ὅγκον. Διὰ νὰ εἰσέλθῃ εἰς τὸ σημεῖον αὐτὸ μᾶζα 1 kg πρέπει νὰ κινηθῇ διὰ τοῦ δρίου ὅγκος ἵσος μὲ τὸν ὅγκον τῆς μάζης τοῦ 1 kg, δηλαδὴ πρέπει νὰ κινηθῇ ὅγκος ἵσος μὲ τὸν εἰδικὸν ὅγκον (διότι αὐτὸς εἰναι ὁ ὅγκος τοῦ 1 kg) καὶ νὰ ὑπερινικήσῃ τὴν πίεσιν, ποὺ ἐπικρατεῖ εἰς τὸ σημεῖον 1. Συνεπῶς εἰς τὸ σημεῖον 1 πρέπει, μαζὶ μὲ τὴν εἴσοδον τῆς μάζης τοῦ ἐνὸς χιλιογράμμου, νὰ καταβληθῇ καὶ ἔργον ἵσον μὲ:

"Ἐργον εἰς εἴσοδον 1 = πίεσις εἰς 1 × εἰδικὸν ὅγκον εἰς 1.

**Παραδείγματα.**

1. Εἰς τὸ σημεῖον εἰσόδου 1 τοῦ σχήματος 1 · 10 ὁ ἀτμὸς ἔχει μανομετρικὴν πίεσιν 24 ἀτμοσφαιρῶν καὶ εἰδικὸν ὅγκον  $0,10 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Ποιὸν ἔργον ἀπαιτεῖται διὰ νὰ εἰσέλθῃ 1 kg ἀτμοῦ;

**Λύσις:**

Ἡ μανομετρικὴ πίεσις εἰναι 24 ἀτμόσφαιραι. Ἡ ἀπόλυτος πίεσις εἰναι ἡ μανομετρικὴ σὺν τὴν ἀτμοσφαιρικήν, δηλαδή:

$$24 + 1 = 25 \text{ kp/cm}^2.$$

Τὸ ζητούμενον ἔργον θὰ είναι:

$$\begin{aligned} 25 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 0,10 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} &= \\ = 250\,000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \cdot 0,10 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} &= \\ = 25\,000 \frac{\text{kpm}}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

2. Εἰς τὴν ἔξοδον 2 τοῦ σχήματος 1 · 10 ὁ ἀτμὸς ἔχει ἀπόλυτον πίεσιν χαμηλοτέραν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς καὶ ἡ πίεσις αὐτὴ είναι

$0,8 \text{ kp/cm}^2$  (άπόλυτος πίεσις). Ό οιδικός σγκος του άτμου είναι άντιστοιχως  $2 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Ποιον τό άντιστοιχον έργον κατά τήν έξοδον  $1 \text{ kg}$  άτμου;

Λύσις:

$$\text{Πίεσις άπόλυτος } 0,8 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 8000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2}.$$

$$\text{Έργον} = 8000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \cdot 2 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 16000 \frac{\text{kpm}}{\text{kg}}.$$

3. Ποιον τό έργον έξωθήσεως είς τό σχήμα  $1 \cdot 10$ , μέ τά δεδομένα τῶν παραδειγμάτων 1 καὶ 2;

Λύσις:

Τό έργον έξωθήσεως προκύπτει άπό τήν διαφοράν τῶν δύο έργων, δηλαδή τοῦ έργου, ποὺ λαμβάνομεν κατά τήν έξοδον, καὶ τοῦ έργου, ποὺ δίδομεν κατά τήν είσοδον τοῦ άτμου μέσα είς τό σύστημα. Άπό τά παραδείγματα λοιπὸν 1 καὶ 2 προκύπτει:

$$\text{Έργον έξωθήσεως} = 16000 - 25000 = - 9000 \text{ kpm/kg}.$$

### 1 · 11 Ένθαλπία.

Άπό τήν είσοδον 1 (σχ. 1 · 10), ὅταν είσέρχεται είς τό σύστημα  $1 \text{ kg}$  άτμου, τί ἐνέργεια προσδίδεται είς αὐτό; Προφανῶς ἡ ἐνέργεια αὐτή άποτελεῖται άπό δύο μέρη:

Τό πρῶτον είναι ἡ ἐνέργεια, τήν όποιαν ἔχει τό  $1 \text{ kg}$  τοῦ άτμου, δηλαδή ἡ ἐσωτερική του ἐνέργεια. "Οταν λοιπὸν είσέρχεται είς τό σύστημα ἕνα χιλιόγραμμον άτμοῦ, τό χιλιόγραμμον αὐτὸ οὐξάνει τήν ἐνέργειαν τοῦ συστήματος τόσον, ὅση είναι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ποὺ περιέχει.

Τό δεύτερον μέρος τῆς ἐνέργειας, τό όποιον αὐξάνει τήν ἐνέργειαν τοῦ συστήματος, είναι τό μηχανικὸν έργον, ποὺ άπαιτεῖται διὰ τήν είσοδον τοῦ  $1 \text{ kg}$  άτμου είς τό σύστημα. Τό έργον ὅμως αὐτό, ὅπως εύρεθη είς τήν προηγουμένην παράγραφον, είναι ἵσον μὲ τό γινόμενον:

Πίεσις  $\times$  Ειδικός σγκος.

Συνεπῶς, ὅταν άπό τό δριον τοῦ συστήματος είσέρχεται  $1 \text{ kg}$  ἐκ τοῦ ρεύματος μάζης, τότε προσδίδεται είς τό σύστημα τό άθροισμα τῶν δύο άνωτέρω ἐνέργειῶν δηλαδή:

Ειδικὴ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια + (Πίεσις  $\times$  Ειδικός σγκος).

Εις τὴν ἔξοδον 2 τοῦ συστήματος τοῦ σχήματος  $1 \cdot 10$  ισχύουν ἀντιστοίχως τὰ ᾖδια. "Οταν ἔξερχεται 1 kg μάζης, τότε ἀπὸ τὸ σύστημα ἀφαιρεῖται ἀφ' ἐνὸς μὲν ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ 1 kg, ἀφ' ἑτέρου δὲ τὸ ἔργον, τὸ ὅποιον παράγεται διὰ τὴν ἔξοδον τοῦ χιλιογράμμου αὐτοῦ.

Πάντοτε λοιπὸν εἰς τὰ ἀνοικτὰ συστήματα ἐμφανίζεται τὸ ἀθροισμα τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας καὶ τοῦ γινομένου τῆς πιέσεως ἐπὶ τὸν ὅγκον. Τὸ μέγεθος αὐτὸῦ ἔχει ἴδιαίτερον δνομα καὶ λέγεται ἐνθαλπία.

"Ωστε:

$$\text{Ένθαλπία} = \text{Ἐσωτερικὴ ἐνέργεια} + (\text{Πίεσις} \times \text{"Ογκος")}$$

"Οταν εἰδικὰ ἔξετάζωμεν 1kg, τότε ἀναφερόμεθα εἰς τὰ εἰδικὰ μεγέθη καὶ ισχύει:

$$\text{Εἰδικὴ ἐνθαλπία} = \text{Εἰδικὴ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια} + (\text{Πίεσις} \times \text{Εἰδικὸς ὅγκος}).$$

'Απὸ τοὺς δρισμοὺς αὐτοὺς φαίνεται ὅτι ἡ ἐνθαλπία ἔχει τὰς ἴδιας διαστάσεις ὅπως καὶ ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια.

Παράδειγμα.

'Υδρατμὸς ἔχει μανομετρικὴν πίεσιν  $24 \text{ kp/cm}^2$ , εἰδικὸν ὅγκον  $0,10 \text{ m}^3/kg$  καὶ εἰδικὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν  $660 \text{ kcal/kg}$ .

Πόση είναι ἡ εἰδικὴ ἐνθαλπία;

Λύσις:

$$\text{'Η ἀπόλυτος πίεσις είναι } 24 + 1 = 25 \text{ kp/cm}^2 \text{ ή } 250\,000 \text{ kp/m}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Πίεσις} \times \text{εἰδικὸς ὅγκος} &= 250\,000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \cdot 0,10 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 25\,000 \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} = \\ &= \frac{25\,000}{427} \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 58,5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Εἰδικὴ ἐνθαλπία} &= \text{Εἰδικὴ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια} + (\text{Πίεσις} \times \text{Εἰδικὸς ὅγκος}) \\ &= 660 + 58,5 = 718,5 \text{ kcal/kg}. \end{aligned}$$

Τὸ μέγεθος ἐνθαλπία είναι ἵσως τὸ πλέον σημαντικὸν μέγεθος τῆς Θερμοδυναμικῆς διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τεχνικῶν προβλημάτων. Διὰ τὰ διάφορα σώματα, ὅπως π.χ. τὸν ὄδρατμόν, τὸν ἀέρα, τὰ ψυκτικὰ μέσα κ.λπ., ὑπάρχουν ἔτοιμοι πίνακες καὶ διαγράμματα,

ποὺ δίνουν μεταξὺ τῶν ἄλλων μεγεθῶν καὶ τὴν ἐνθαλπίαν. Μὲ τὴν βοήθειαν αὐτῶν τῶν πινάκων καὶ διαγραμμάτων εἰναι δυνατὸν νὰ γίνεται ὁ ύπολογισμὸς τῶν ἀντιστοίχων ἐγκαταστάσεων.

### 1 · 12 Καταστατικὰ μεγέθη.

Οἱ ἄτμοὶ καὶ γενικῶς τὰ ἀέρια ἐνδιαφέρουν ἀμεσα τὴν τεχνικὴν καὶ τὴν ἐφηρμοσμένην Θερμοδυναμικήν. "Οταν ἔχωμεν καθαρὸν ἄτμον ἑνὸς καὶ μόνον σώματος, χωρὶς δηλαδὴ νὰ περιέχῃ καὶ ἄτμους ἄλλων σωμάτων ἢ ὑγρὸν τοῦ ἴδιου σώματος, τότε, διὰ νὰ ὅρισθῇ ἡ κατάστασίς του, ἀπαιτοῦνται δύο μεγέθη.

Διὰ τὸν σκοπὸν αὐτὸν χρησιμοποιεῖται συνήθως ἡ πίεσις καὶ ἡ θερμοκρασία. "Οταν δοθοῦν τὰ δύο αὐτὰ μεγέθη, τότε ὅλα τὰ ἄλλα προσδιορίζονται εἴτε ἀπὸ ἀπλᾶς σχέσεις εἴτε εύρισκονται ἀπὸ πίνακας.

"Οπως ἀνεφέρθη εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον, ἔνα ἀπὸ τὰ μεγέθη αὐτὰ εἶναι καὶ ἡ ἐνθαλπία. "Ενα ἄλλο μέγεθος εἶναι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια. 'Η τιμὴ λοιπὸν τῶν μεγεθῶν αὐτῶν ἔξαρτᾶται ἀποκλειστικῶς καὶ μόνον ἀπὸ τὴν κατάστασιν, εἰς τὴν ὃποιαν εύρισκεται ὁ ἀτμός, δηλαδὴ ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν καὶ τὴν πίεσιν ποὺ ἔχει. Τέτοια μεγέθη, ποὺ ἔξαρτῶνται μόνον ἀπὸ τὴν κατάστασιν αὐτήν, λέγονται καταστατικὰ μεγέθη.

"Ολα τὰ μεγέθη δὲν εἶναι καταστατικά. "Ετσι τὸ ποσὸν θερμότητος ἡ τὸ μηχανικὸν ἔργον, κατὰ τὴν μεταβολὴν ἑνὸς ἀερίου ἀπὸ τῆς καταστάσεως A εἰς κατάστασιν B, δὲν εἶναι καταστατικὸν μέγεθος. Τὸ ποσὸν θερμότητος ἡ μηχανικοῦ ἔργου, ποὺ ἀπαιτεῖται δι' αὐτὴν τὴν μεταβολήν, ἔξαρτᾶται καὶ ἀπὸ ἄλλους παράγοντας.

"Αν λοιπὸν εἶναι γνωστὴ ἡ τελικὴ κατάστασις μιᾶς μεταβολῆς καὶ ἡ ἀρχικὴ κατάστασις, ἀπὸ ὅπου ἥρχισε ἡ μεταβολή, εἶναι δυνατὸν νὰ προσδιορισθῇ ἡ διαφορὰ τῆς ἐνθαλπίας, τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας ἡ οἰουδήποτε ἄλλου καταστατικοῦ μεγέθους. Δὲν εἶναι ὅμως δυνατὸν νὰ προσδιορισθῇ καὶ ἡ θερμότης ἡ τὸ μηχανικὸν ἔργον, ποὺ εἶναι ἀναγκαῖα διὰ τὴν μεταβολὴν αὐτήν. 'Η τιμὴ τῆς θερμότητος καὶ τοῦ μηχανικοῦ ἔργου ἔξαρτῶνται ὅχι μόνον ἀπὸ τὴν ἀρχὴν καὶ τὸ τέλος τῆς μεταβολῆς, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὸν δρόμον, ποὺ ἀκολούθησε ἡ μεταβολή. Τὸ γεγονός αὐτὸ θὰ γίνη καλύτερον κατανοητὸν εἰς τὸ ἐπόμενον κεφάλαιον, ὅπου περιγράφονται αἱ μεταβολαὶ τοῦ τελείου ὀρείου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 2

### ΤΕΛΕΙΟΝ ΑΕΡΙΟΝ

#### 2 · 1 Ὁρισμὸς τοῦ τελείου ἀερίου.

"Οπως εἶναι γνωστόν, εἰς τὴν φύσιν ὑπάρχουν διάφορα ἀέρια, ὅπως ἐπὶ παραδείγματι τὸ δύσγόνον, τὸ ἄζωτον, τὸ διοξείδιον τοῦ ἀνθρακος κ.λπ. Τὰ ἀέρια αὐτὰ εἰς τὴν Θερμοδυναμικὴν ὀνομάζονται πραγματικὰ ἀέρια.

Τὸ τέλειον ἀέριον ἡ ἴδαικὸν ἀέριον τῆς Θερμοδυναμικῆς εἶναι ἕνα κατασκεύασμα τῆς φαντασίας. Δηλαδὴ δὲν ὑπάρχει εἰς τὸν φυσικὸν κόσμον. Εἶναι ἔνα μαθηματικὸν πρότυπον μὲν τὸ δόποιον, ἡ Θερμοδυναμικὴ προσπαθεῖ νὰ περιγράψῃ τὴν συμπεριφορὰν καὶ τὰς μεταβολὰς τῶν πραγματικῶν ἀερίων.

Ἡ συμπεριφορὰ τῶν πραγματικῶν ἀερίων εἶναι ἀρκετὰ πολύπλοκος καὶ διὰ νὰ παρασταθῇ μὲν ἀκρίβειαν, ἀπαιτεῖ ἀρκετοὺς ὑπολογισμούς. Διὰ συντόμους ἐκτιμήσεις καταστάσεων γίνεται συνήθως χρῆσις τοῦ τελείου ἀερίου. Ὁρισμένα ἀέρια, ὅπως π.χ. τὸ ὑδρογόνον καὶ τὸ ἄζωτον, ὑπὸ συνήθεις θερμοκρασίας καὶ μικρὰς πιέσεις συμπεριφέρονται πολὺ ὅμοια πρὸς τὸ φανταστικὸν τέλειον ἀερίου. "Ἄλλα ὅμως ἀέρια, ὅπως π.χ. ἡ ἀέριος ἀμμωνία καὶ ὁ ὑδρατμός, δὲν περιγράφονται ἀκριβῶς μὲ τὰς σχέσεις τοῦ τελείου ἀερίου.

Ἀνεξάρτητα ὅμως ἀπὸ τὸ γεγονὸς αὐτό, ἡ γνῶσις τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ τελείου ἀερίου εἶναι ἀπαραίτητος διὰ τὴν κατανόησιν καὶ τὸν προσεγγιστικὸν ὑπολογισμὸν τῶν μεταβολῶν τῶν ἀερίων καὶ τῶν ἀτμῶν.

Τί εἶναι ὅμως τὸ τέλειον ἀέριον καὶ πῶς ὁρίζεται;

Τὸ τέλειον ἀέριον ὁρίζεται ως τὸ φανταστικὸν ἀέριον, ποὺ ἀκολουθεῖ τὴν κατωτέρω σχέσιν.

Τέλειον ἀέριον:

$$\text{Πίεσις} \times \text{Εἰδικὸς δύκος} = \text{Σταθερά} \times \text{'Απόλυτος θερμοκρασία}$$

"Οπως ἔχει ἥδη ἀναφερθῆ εἰς προηγουμένην παράγραφον, συνήθως χρησιμοποιοῦνται τὰ ἀκόλουθα σύμβολα:

- Πίεσις p
- Είδικός όγκος v
- Απόλυτος θερμοκρασία T.

Η σταθερά της σχέσεως του τελείου άεριου συμβολίζεται πάντοτε μὲ τὸ γράμμα R. Η σχέσις λοιπὸν του τελείου άεριου δυνατὸν νὰ γραφῇ μὲ τὰ σύμβολα αὐτὰ καὶ ὡς ἔξῆς:

$$\boxed{p \cdot v = R \cdot T} \quad \text{δι' } 1 \text{ kg άεριου} \quad (4)$$

Η σχέσις (4) του τελείου άεριου ισχύει διὰ μᾶζαν 1 kg ἐκ του άεριου, διότι ἔχρησιμοποιήθη δι' εἰδικός όγκος v.

Οπως ἦδη εἴπομεν, μὲ τὴν σχέσιν του τελείου άεριου γίνεται προσπάθεια προσεγγίσεως πραγματικῶν άεριών. Η σταθερά λοιπὸν R της σχέσεως αὐτῆς, ἡ ὅποια ισχύει δι' ἓνα χιλιόγραμμον άεριον, ἔχει ταχτάται ἀπὸ τὸ εἶδος του άεριου. Ο κατωτέρω πίναξ δίδει κατὰ προσέγγισιν τὰς τιμὰς αὐτῆς της σταθερᾶς δι' ὧρισμένα συνήθη ἀέρια. Η σταθερά μετρεῖται εἰς kpm/kg K.

Άεριον	"Αζωτον	"Υδρογόνον	'Αέρας	'Οξυγόνον
R	30	421	29	27

#### Παραδείγματα.

1. Φιάλη συγκολλήσεων περιέχει δέξιγόνον ύπὸ μανομετρικὴν πίεσιν 149 ἀτμοσφαιρῶν καὶ θερμοκρασίαν 27 °C. Αν ἡ φιάλη ἔχῃ όγκον 50 dm<sup>3</sup>, ποία ἡ μᾶζα του δέξιγόνου ποὺ περιέχει;

Λύσις:

$$\begin{aligned} \text{Η ἀπόλυτος πίεσις εἶναι } 149 + 1 &= 150 \text{ kp/cm}^2 \\ \text{ἡ } &1500000 \text{ kp/m}^2. \end{aligned}$$

Μετατρέπομεν τους 27 °C εἰς βαθμοὺς K καὶ ἔχομεν θερμοκρασίαν 27 + 273 = 300 K.

Η σταθερὰ R εἶναι 27 kpm/kg K.

Ο εἰδικός όγκος εύρισκεται ἀπὸ τὴν σχέσιν τῶν τελείων άεριων.

Εἶναι:  $p \cdot v = R \cdot T$

$$\text{καὶ } v = R \cdot \frac{T}{p}$$

$$\text{η} \quad v = 27 \frac{\text{kpm}}{\text{kgK}} \frac{300 \text{ K}}{1500000 \text{ kp/m}^2} = \frac{8100}{1500000} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = \\ = 0,054 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{η} \quad v = 54 \text{ dm}^3/\text{kg}.$$

Συνεπώς ή φιάλη δγκου  $50 \text{ dm}^3$  περιέχει  $50/54 = 0,925 \text{ kg}$  δξυγόνου.

2. Ποσότης άέρος εύρισκεται μέσα εις φιάλην ύπὸ μανομετρικὴν πίεσιν  $28 \text{ kp/cm}^2$ . Ό εἰδικὸς δγκος εἶναι  $0,0320 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Πόσην θερμοκρασίαν ἔχει ὁ άέρας;

Λύσις:

‘Η ἀπόλυτος πίεσις εἶναι  $28 + 1 = 29 \text{ kp/cm}^2$

$$\text{η} \quad 290000 \text{ kp/m}^2.$$

‘Η σταθερὰ R τοῦ άέρος εἶναι  $29 \text{ kpm/kg K}$ .

‘Ο εἰδικὸς δγκος δίδεται  $0,032 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

‘Απὸ τὴν σχέσιν τῶν τελείων άεριών προκύπτει:

$$\text{Θερμοκρασία} = \frac{\text{πίεσις} \times \text{εἰδικὸς δγκος}}{\text{σταθερὰ}} = \\ = \frac{290000 \text{ kp/m}^2 \times 0,032 \text{ m}^3/\text{kg}}{29 \text{ kpm/kg K}} = 320 \text{ K}$$

$$\text{η} \quad 320 - 273 = 47 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Αἱ σταθεραὶ τῶν διαφόρων άεριών, ποὺ ἔχουν δοθῆ ἐις τὸν ἀνωτέρῳ πίνακα, εύρισκονται εὔκολα διὰ κάθε άέριον, ἢν εἶναι γνωστὸν τὸ μοριακὸν του βάρος. Αἱ σταθεραὶ αὗται εύρισκονται ἀπὸ τὴν ἀκόλουθον σχέσιν:

$$R = \frac{848}{\text{Μοριακὸν βάρος}} \frac{\text{kpm}}{\text{kg K}}.$$

‘Η σταθερὰ 848  $\frac{\text{kpm}}{\text{Mol K}}$  λέγεται σταθερὰ άερίων.

τὸ δὲ Mol παριστᾶ τὸ χιλιογραμμομόριον.

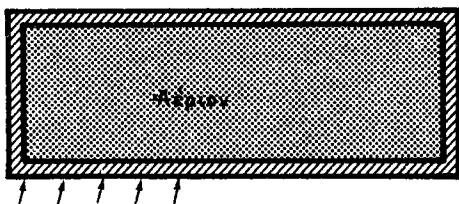
“Οπως ἡδη ἀνεφέρθη καὶ προηγουμένως, ἡ σχέσις τῶν τελείων άεριών εἶναι μία προσέγγισις τῆς πραγματικότητος. “Οταν χρειά-

ζεται ἀκριβής γνῶσις τῶν μεγεθῶν, καὶ χρειάζεται συχνά, τότε δὲν είναι πλέον ἀρκετὴ ἡ προσέγγισις αὐτῆς. Εἰς τὰς περιπτώσεις αὐτὰς πρέπει νὰ γίνεται ἀκριβής ὑπολογισμὸς μὲ δῆλα στοιχεῖα.

Μιὰ ἄλλη παραδοχὴ διὰ τὸ τέλειον ἀέριον είναι καὶ ἡ ἔξῆς: Αἱ εἰδικαὶ θερμοχωρητικότητες τοῦ τελείου ἀέριου ἔχουν σταθερὰς τιμάς, συνεπῶς δὲν ἔχουν διαφορές από τὴν πίεσιν οὔτε ἀπό τὴν θερμοκρασίαν.

## 2 · 2 Ἰσόγυκος μεταβολή.

\*Εστω ἔνα δοχεῖον σταθεροῦ ὅγκου μὲ ἴσχυρὰ τοιχώματα ὡς εἰς τὸ σχῆμα 2 · 2. Εἰς τὸ ἀέριον, ποὺ περιέχει τὸ δοχεῖον, δυνατὸν νὰ προσδοθῇ ἡ νὰ ἀφαιρεθῇ θερμότης. Καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις δὲ ὅγκος θὰ μείνῃ σταθερός, ἢν παραλείψωμεν βεβαίως τὴν πολὺ μικρὰν διαστολὴν τοῦ δοχείου.



Θέρμανσις

Σχ. 2.2.  
'Ισόγυκος θέρμανσις ἀέριου.

"Οταν προσδίδεται θερμότης εἰς τὸ ἀέριον, αὐξάνει ἡ θερμοκρασία καὶ ἡ πίεσις του, ἐνῶ δὲ ὅγκος του μένει σταθερός. Κατὰ τὴν μεταβολὴν λοιπὸν τῆς θερμοκρασίας καὶ τῆς πιέσεως δὲ ὅγκος μένει πάντοτε δὲ ἕδιος καὶ ἡ μεταβολὴ λέγεται *ἰσόγυκος*.

Κατὰ τὴν ἰσόγυκον μεταβολὴν κλειστοῦ συστήματος δὲν παράγεται οὔτε καὶ καταναλίσκεται μηχανικὸν ἔργον. Ὡς γνωστόν, κατὰ τὴν μεταβολὴν αὐτὴν τὸ ἔργον ὁρκομεταβολῆς είναι μηδέν. Συνεπῶς εἰς μίαν ἰσόγυκον μεταβολὴν τὸ μέγεθος, ποὺ ἐνδιαφέρει κυρίως, είναι ἡ συναλλασσομένη θερμότης.

'Η θερμότης ὅμως ὑπολογίζεται εὐχερῶς ἀπὸ τὴν εἰδικὴν θερμοχωρητικότητα ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον (παράγρ. 1 · 6) καὶ ἀπὸ τὴν διαφορὰν θερμοκρασίας.

**Παραδείγματα.**

1. Άεροφυλάκιον περιέχει 1 kg δέρος ύπό μανομετρικήν πίεσιν 4,8 kp/cm<sup>2</sup> καὶ θερμοκρασίαν 77 °C. Έν συνεχεία δέρας ψύχεται μέχρι θερμοκρασίας 27 °C. Πόση είναι ἡ τελική πίεσις;

**Λύσις:**

Άρχική ἀπόλυτος πίεσις  $4,8 + 1 = 5,8 \text{ kp/cm}^2$  ή  $58\,000 \text{ kp/m}^2$ .

Άρχική θερμοκρασία  $273 + 77 = 350 \text{ K}$ .

Από τὴν σχέσιν τῶν τελείων διερίων προκύπτει:

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$$\text{η } 58\,000 \cdot v = R \cdot 350.$$

$$\text{η } v = \frac{350}{58\,000} \quad R = \frac{350}{58\,000} \times 29 = \frac{350}{2000} = 0,175 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Εἰς τὴν τελικήν κατάστασιν δεῖξικός μένει δίοις.

Τελική πίεσις  $p$ . ζητεῖται:

Τελική θερμοκρασία:  $273 + 27 = 300 \text{ K}$ .

Από τὴν σχέσιν τῶν τελείων διερίων:

$$p \cdot v = R \cdot 300$$

$$\text{η } p \cdot 0,175 = 29 \times 300 = 8\,700$$

$$\text{καὶ } p = \frac{8\,700}{0,175} = 49\,600 \text{ kp/m}^2$$

$$\text{η } \text{πίεσις} = 4,96 \text{ kp/cm}^2.$$

Μανομετρική πίεσις  $4,96 - 1 = 3,96 \text{ kp/cm}^2$ .

Ωστε ἡ μανομετρική πίεσις εἰς τὸ τέλος θὰ είναι  $3,96 \text{ kp/cm}^2$ .

Από τὴν σχέσιν τῶν τελείων διερίων προκύπτει εύκολα δύναμος τῆς ισούγκου μεταβολῆς.

**Ισόγκος**



**Η πίεσις μεταβάλλεται  
ἀνάλογα μὲ τὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν.**

2. Δοχείον σταθεροῦ δύκου περιέχει δέριον ἀπολύτου πιέσεως

$6 \text{ kp/cm}^2$ . Η θερμοκρασία είναι  $27^\circ\text{C}$ . Τὸ ἀέριον θερμαίνεται μέχρι  $127^\circ\text{C}$ .

Πόση είναι ἡ τελικὴ πίεσις;

Λύσις:

Η μεταβολὴ είναι ίσογοκος. Άρα ἡ πίεσις μεταβάλλεται ἀνάλογα μὲ τὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν.

Αρχικὴ θερμοκρασία  $27 + 273 = 300 \text{ K}$ .

Τελικὴ θερμοκρασία  $127 + 273 = 400 \text{ K}$ .

$$\text{Λόγος μεταβολῆς θερμοκρασίας } \frac{400}{300} = \frac{4}{3}.$$

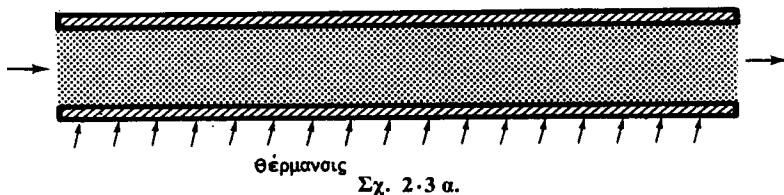
Συνεπῶς ἡ τελικὴ ἀπόλυτος πίεσις θὰ είναι:

$$\text{πίεσις} = 6 \cdot \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{4}{3} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 8 \text{ kp/cm}^2.$$

Ωστε μετὰ τὴν ίσογοκον θέρμανσιν ἡ ἀπόλυτος πίεσις θὰ γίνη  $8 \text{ kp/cm}^2$ , δηπότε ἡ μανομετρικὴ θὰ είναι  $8 - 1 = 7 \text{ kp/cm}^2$ .

### 2.3 Ισόθλιπτος μεταβολή.

Ισόθλιπτος μεταβολὴ είναι ἔκεινη, ἡ δηποία γίνεται ύπο πταθεράν πίεσιν. Η ισόθλιπτος μεταβολὴ δυνατότον νὰ γίνεται εἰς ἀνοικτὸν



Ισόθλιπτος μεταβολὴ (θέρμανσις) ἀνοικτοῦ συστήματος.

σύστημα ἡ εἰς κλειστὸν σύστημα. Εἰς τὸ σχῆμα 2.3 α παρίσταται ἡ ισόθλιπτος θέρμανσις ἀερίου, τὸ δηποῖον ρέει διὰ σωλῆνος.

Τὸ σύστημα είναι ἀνοικτόν.

Εἰς τὸ σχῆμα 2.3 β παρίσταται πάλιν ισόθλιπτος θέρμανσις.

Εἰς τὴν περίπτωσιν ὅμως αὐτὴν τὸ σύστημα είναι κλειστόν, διότι δὲν ἔχομεν ροήν μάζης ἀερίου. Εἰς τὸ κλειστὸν σύστημα ἡ στα-

θερότης τῆς πιέσεως ἔξασφαλίζεται διὰ τοῦ σταθεροῦ βάρους ἀφ' ἐνὸς μὲν τοῦ ίδιου τοῦ ἐμβόλου  $g$ , ἀφ' ἑτέρου δὲ τοῦ προσθέτου βάρους  $G$ . Τὸ βάρος τοῦ ἐμβόλου καὶ τὸ πρόσθετον βάρος ἔξισορροποῦνται ἀπὸ τὴν πίεσιν τοῦ ἀερίου.

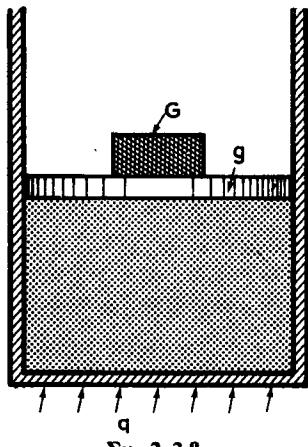
"Οπως είναι γνωστόν, ή πίεσις είναι δύναμις ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας. Ἐπειδὴ ὅμως καὶ ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἐμβόλου καὶ ἡ δύναμις (τὰ δύο βάρη μαζὶ) είναι σταθερά, προκύπτει ὅτι καὶ ἡ πίεσις θὰ είναι σταθερά.

Μὲ τὴν διάταξιν λοιπὸν τοῦ σχήματος  $2 \cdot 3 \beta$  ἔξασφαλίζεται σταθερὰ πίεσις, ἐστω καὶ ἀν μεταβάλλεται ὁ ὅγκος τοῦ ἀερίου μέσα εἰς τὸν κύλινδρον.

"Ετσι, ὅταν τὸ ἀερίον τοῦ σχήματος  $2 \cdot 3 \beta$  θερμαίνεται, τότε αὔξανεὶ ὁχι μόνον ἡ θερμοκρασία του, ἀλλὰ καὶ ὁ ὅγκος του καὶ τὸ ἐμβολον μετακινεῖται πρὸς τὰ ἐπάνω. Ἀντιθέτως, ὅταν τὸ ἀερίον ψύχεται, ἡ θερμοκρασία καὶ ὁ ὅγκος του ἐλαττώνονται καὶ τὸ ἐμβολον κινεῖται πρὸς τὰ κάτω.

'Ἐπομένως μὲ τὴν διάταξιν τοῦ σχήματος  $2 \cdot 3 \beta$  είναι δυνατὸν νὰ ἔχωμεν παραγωγὴν ἡ κατανάλωσιν μηχανικοῦ ἔργου, διότι ἐμφανίζεται μεταπότισις τοῦ ἐμβόλου.

"Η σχέσις, ἡ ὅποια συνδέει τὰ μεγέθη εἰς μίαν ισόθλιπτον μεταβολὴν κλειστοῦ συστήματος, εύρισκεται πάλιν ἀπὸ τὴν γενικήν σχέσιν τοῦ τελείου ἀερίου.



Σχ.  $2 \cdot 3 \beta$ .

Ισόθλιπτος μεταβολὴ (θέρμανσις) κλειστοῦ συστήματος.

Ισόθλιπτος

|| 'Ο ὅγκος μεταβάλλεται ἀνάλογα μὲ τὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν.

Παράδειγμα.

Τὸ ἀερίον τοῦ σχήματος  $2 \cdot 3 \beta$  ἔχει ὅγκον  $1 \text{ m}^3$  καὶ θερμοκρασίαν  $27^\circ\text{C}$ . Τὸ ἀερίον θερμαίνεται ισοθλίπτως μέχρι  $327^\circ\text{C}$ . Πόσον αὔξανεὶ ὁ ὅγκος του;

Αύσις:

Η μεταβολή είναι ίσοθλιπτος μεταβολή κλειστοῦ συστήματος.  
Άρα ίσχύει ότι ο δύγκος μεταβάλλεται άναλογα με τὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν.

Αρχική θερμοκρασία:  $27 + 273 = 300 \text{ K}$ .

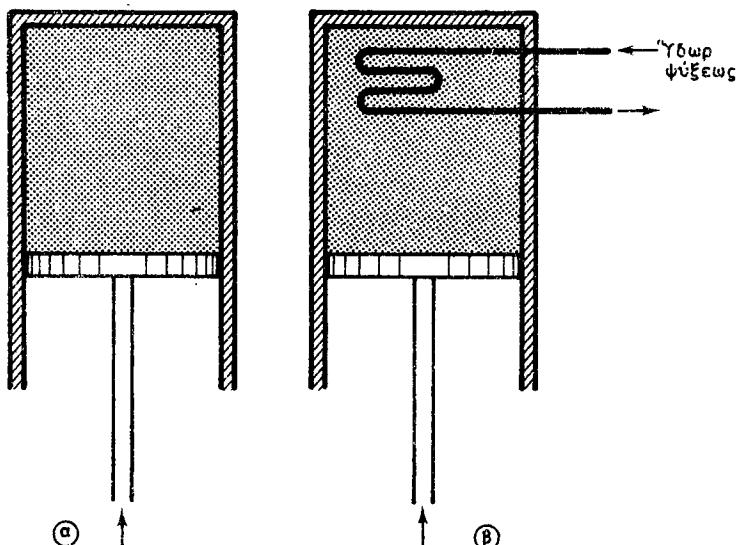
Τελική θερμοκρασία:  $327 + 273 = 600 \text{ K}$ .

Λόγος θερμοκρασιῶν:  $600/300 = 2$ .

Συνεπῶς ο τελικός δύγκος θὰ είναι ο διπλάσιος τοῦ ἀρχικοῦ. Τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὅποιον δίδεται ἢ ἀφαιρεῖται, ὑπολογίζεται εὔκολα ἀπὸ τὴν διαφορὰν θερμοκρασίας καὶ τὴν εἰδικὴν θερμοχωρητικότητα ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ὅπως ἡδη ἀνεφέρθη εἰς τὴν παράγραφον 1 · 6.

#### 2 · 4 Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή.

Η ισοθερμοκρασιακή μεταβολή ἀερίου μέσα εἰς κλειστὸν σύστημα είναι δύσκολον νὰ ἐπιτευχθῇ εἰς τὴν πρᾶξιν. Εἰς τὸ σχῆμα 2 · 4



Σχ. 2 · 4.

α) Μὴ ισοθερμοκρασιακή συμπίεσις ἀερίου. β) Ισοθερμοκρασιακή συμπίεσις ἀερίου μέσα εἰς ψυχόμενον κύλινδρον.

παρίσταται σχηματικά μία διάταξις, μὲ τὴν ὅποιαν εἶναι δυνατὸν νὰ ἐπιτευχθῇ Ισοθερμοκρασιακή συμπίεσις.

Εἰς τὸ σχῆμα 2·4 (α) τὸ ἀέριον τοῦ κυλίνδρου συμπιέζεται ἀπὸ τὸ ἔμβολον. Λόγω τῆς συμπιέσεως, ἡ θερμοκρασία αὔξανει καὶ ἡ μεταβολὴ δὲν δύναται νὰ εἶναι Ισοθερμοκρασιακή. Διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ Ισοθερμοκρασιακή συμπίεσις πρέπει νὰ ἀφαιρῆται συνεχῶς θερμότης. Ἡ διφαίρεσις αὐτὴ δυνατὸν νὰ γίνη μὲ μίαν διάταξιν, ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 2·4 (α). Τὸ ἀέριον τοῦ κυλίνδρου ψύχεται ἀπὸ νερό, τὸ δόποιον διέρχεται ἀπὸ τὸν κύλινδρον μὲ κατάλληλον σύστημα σωλήνος. Ἔτσι τὸ νερὸ διπορροφεῖ θερμότητα. Ἐὰν ἔχουν ύπολογισθῇ καταλλήλως οἱ σωλήνες τοῦ ὑδατος ψύξεως, τότε ἡ μεταβολὴ αὐτὴ εἶναι δυνατὸν νὰ πλησιάσῃ εἰς μίαν θεωρητικὴν Ισοθερμοκρασιακὴν μεταβολήν.

Ἡ σχέσις, ποὺ συνδέει τὰ μεγέθη κατὰ μίαν Ισοθερμοκρασιακὴν μεταβολήν, προκύπτει πάλιν ἀπὸ τὴν γενικὴν σχέσιν τῶν τελείων διερίων. Κατὰ τὴν Ισοθερμοκρασιακὴν μεταβολὴν ἡ θερμοκρασία μένει βεβαίως σταθερά. Μεταβάλλονται μόνον ἡ πίεσις καὶ ὁ ὅγκος τοῦ ἀερίου. Ἰσχύει λοιπόν:

||| 'Ο ὅγκος μεταβάλλεται  
Ισοθερμοκρασιακή ||| ἀντιστρόφως ἀνάλογα  
πρὸς τὴν ἀπόλυτον πίεσιν.

### Παράδειγμα.

Μέσα εἰς κλειστὸν κύλινδρον ύπάρχει τέλειον ἀέριον μανομετρικῆς πιέσεως  $0 \text{ kp/cm}^2$ . Τὸ ἀέριον συμπιέζεται, μέχρις ὅτου ὁ ὅγκος του γίνη 5 φορᾶς μικρότερος. Ἡ συμπίεσις εἶναι Ισοθερμοκρασιακή. Πόση εἶναι ἡ τελικὴ πίεσις;

Λύσις:

Ἡ ὀρχικὴ ἀπόλυτος πίεσις εἶναι  $0 + 1 = 1 \text{ kp/cm}^2$ .

Ο ὅγκος γίνεται 5 φορᾶς μικρότερος. Ἡ πίεσις μεταβάλλεται ἀντιστρόφως ἀνάλογα πρὸς τὴν μεταβολὴν τοῦ ὅγκου καὶ ἔτσι θὰ γίνη 5 φορᾶς μεγαλυτέρα. Ἀρα ἡ τελικὴ πίεσις θὰ εἶναι:

$$5 \times 1 = 5 \text{ kp/cm}^2 \text{ (ἀπόλυτος πίεσις).}$$

Τὸ μανόμετρον θὰ δεικνύῃ τὴν μανομετρικὴν πίεσιν, δηλαδὴ  $5 - 1 = 4 \text{ kp/cm}^2$ .

"Ωστε εἰς τὴν ἀρχὴν τὸ μανόμετρον δεικνύει 0 καὶ τελικὰ 4 kp/cm<sup>2</sup>.

Εἰς τὸ σχῆμα 2 · 4 β εἴδομεν σχηματικά τὸν τρόπον ἐπιτεύξεως ἰσοθερμοκρασιακῆς συμπιέσεως. Διὰ τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν ἀποτόνωσιν πρέπει βεβαίως τὸ ἀέριον νὰ μὴ ψύχεται, ἀλλὰ νὰ θερμαίνεται.

Πράγματι, ἔὰν εἰς τὸ σχῆμα 2 · 4 (α) τὸ ἔμβολον κινηθῇ πρὸς τὰ κάτω, τότε τὸ ἀέριον τοῦ κυλίνδρου θὰ ἀποκτήσῃ χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν λόγω τῆς ἀποτονώσεως. Διὰ νὰ διατηρηθῇ ἡ θερμοκρασία σταθερά, θὰ πρέπει νὰ προσδοθῇ θερμότης ἀπὸ ἔξω.

'Αφοῦ εἰς τὸν δρισμὸν τοῦ τελείου ἀερίου ἔγινε παραδεκτὸν ὅτι αἱ εἰδικαὶ θερμοχωρητικότητες εἶναι σταθεραί, ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ τελείου ἀερίου θὰ ἔξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν καὶ ὅχι ἀπὸ τὴν πίεσιν ἢ τὸν ὅγκον. 'Εὰν δηλαδὴ τὸ ἀέριον διατηρῇ σταθερὰν θερμοκρασίαν, ἐνῶ ἀλλάσσει ὁ ὅγκος καὶ ἡ πίεσις αὐτοῦ, ὅπως ἀκριβῶς γίνεται εἰς τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν μεταβολήν, τότε ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου μένει σταθερά.

Κατὰ τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν λοιπὸν μεταβολὴν ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ τελείου ἀερίου μένει σταθερά. Λόγω ὅμως αὐτοῦ, ἀπὸ τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα προκύπτει τὸ ἀκόλουθον συμπέρασμα:

*Κατὰ τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν ἀποτόνωσιν ὥση θερμότης δίδεται εἰς τὸ ἀέριον, μετατρέπεται ὄλοκληρη εἰς μηχανικὸν ἔργον.*

Τὸ ἀντίστροφον ἰσχύει βεβαίως διὰ τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν συμπιέσιν. "Οσον ἔργον προσδίδεται διὰ τὴν συμπιέσιν, τόση θερμότης ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὸ συμπιεζόμενον ἀέριον.

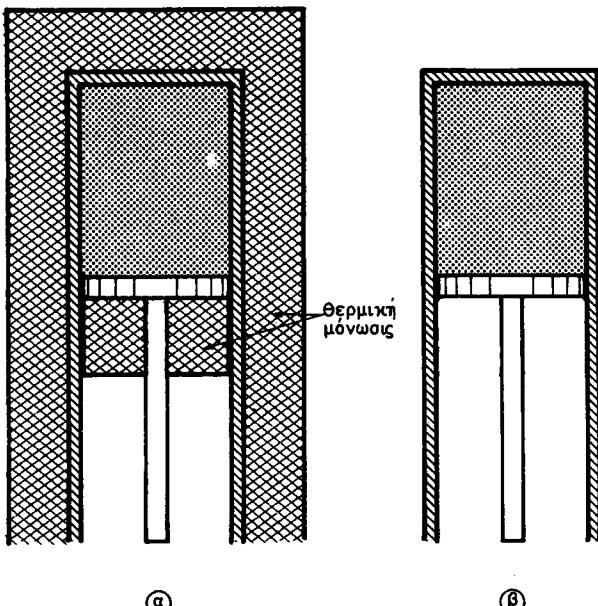
Λόγω τῆς ἀνωτέρω ἴδιότητος, ἡ ἰσοθερμοκρασιακὴ μεταβολὴ εἶναι πολὺ ἐπιθυμητή εἰς τὴν πρᾶξιν. Δυστυχῶς ὅμως δὲν πραγματοποιεῖται, διότι εἶναι πολὺ δύσκολος ἡ κατάλληλος ψύξης ἢ θέρμανσις τοῦ ἀερίου.

## 2 · 5 Ἀδιαβατικὴ μεταβολή.

'Η μεταβολὴ αὐτὴ χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὸ ὅτι τὸ ἀέριον δὲν συναλλάσσει θερμότητα μὲ τὸ περιβάλλον. Καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς ἀδιαβατικῆς μεταβολῆς οὔτε προσδίδεται θερμότης εἰς τὸ ἀέριον, ἀλλὰ οὔτε καὶ ἀφαιρεῖται θερμότης ἀπὸ αὐτό. 'Η πραγματοποίησις

τῆς μεταβολῆς αὐτῆς εἰς τὴν πρᾶξιν είναι πολὺ εύκολωτέρα, ἀπὸ δόσον είναι ἡ Ισοθερμοκρασιακή.

Εἰς τὸ σχῆμα 2 · 5 παρουσιάζονται δύο δυνατότητες πραγματοποιήσεως ἀδιαβατικῆς μεταβολῆς. Ἡ μεταβολὴ αὐτὴ ἐπιτυγχάνεται εἴτε μὲ καλήν θερμικήν μόνωσιν τοῦ ἐμβόλου [σχ. 2 · 5 (α)] εἴτε μὲ ταχεῖαν κίνησιν αὐτοῦ.



Σχ. 2.5.

Αδιαβατική μεταβολή: α) Θερμικῶς μονωμένον σύστημα. β) Ταχεῖα μεταβολή.

Ἡ μεταβολὴ μὲ θερμικήν μόνωσιν τπλησιάζει πολὺ εἰς τὴν ίδιαν ικανήν ἀδιαβατικήν. Κατὰ τὴν κίνησιν τοῦ ἐμβόλου ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου ἀλλάσσει καὶ ἀνὴρ κίνησις γίνεται πάρα πολὺ ὀργάνη, τότε γίνεται ροή θερμότητος ἀπὸ τὸ ἀέριον εἰς τὴν μᾶζαν τοῦ μονωτικοῦ ύλικοῦ. "Οσον λοιπὸν καλὴ καὶ ἀνὴρ είναι ἡ μόνωσις, δὲν είναι δυνατὸν νὰ ἐπιτύχωμεν ἀδιαβατικήν μεταβολὴν μὲ πολὺ ὀργάνη μετακινήσεις τοῦ ἐμβόλου. Αὐτὸν ὅμως εἰς τὴν πρᾶξιν δὲν ἔχει σημασίαν, διότι ὅλαις αἱ μεταβολαὶ είναι ὀρκετά ταχεῖαι.

Εἰς αὐτὸν ἀκριβῶς τὸ γεγονός βασίζεται καὶ ἡ μέθοδος τοῦ σχή-

ματος  $2 \cdot 5$  (β). Ή κίνησις τοῦ ἐμβόλου είναι ταχυτάτη καὶ τὸ ἀέριον δὲν προλαμβάνει νὰ ζεσταθῇ ἢ νὰ κρυώσῃ ἀπὸ τὰ τοιχώματα τοῦ κυλίνδρου καὶ τοῦ ἐμβόλου, μὲ τὰ ὅποια ἔρχεται εἰς ἑπαφήν.

"Οπως ἡδη ἀνεφέρθη, κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν μεταβολὴν κανένα πισὸν θερμότητος δὲν συναλλάσσεται μὲ τὸ ἀέριον. Ἐτσι ἀπό τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα προκύπτει τὸ ἀκόλουθον συμπέρασμα:

$\text{Θερμότης} = 0 = \text{Μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας} + \text{Μηχανικὸν ἔργον.}$

"Ωστε εἰς τὴν ἀδιαβατικὴν μεταβολὴν τὸ μηχανικὸν ἔργον, ποὺ παράγεται, παράγεται εἰς βάρος τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας. Καὶ ἀντιθέτως, τὸ μηχανικὸν ἔργον, ποὺ προσδίδεται κατὰ μίαν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν, συντελεῖ καθ' δλοκληρίαν εἰς τὴν αὔξησιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας τοῦ ἀερίου.

#### Παράδειγμα.

Κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν τελείου ἀερίου προσδίδεται μηχανικὸν ἔργον ἵσον μὲ 150 kJ. Πόσον μεταβάλλεται ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου;

#### Λύσις:

"Η μεταβολὴ είναι ἀδιαβατική. Κανένα πισὸν θερμότητος δὲν δίδεται οὕτε ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὸ ἀέριον. Τὸ μηχανικὸν ἔργον προσδίδεται εἰς τὸ ἀέριον καὶ αὐξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειάν του. Ή αὔξησις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας είναι ἵση μὲ τὸ μηχανικὸν ἔργον, δηλαδὴ 150 kJ. Ή σχέσις, ἡ ὅποια συνδέει τὴν πίεσιν, τὸν εἰδικὸν ὅγκον καὶ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀερίου κατὰ τὴν διάρκειαν μιᾶς ἀδιαβατικῆς μεταβολῆς είναι δύσχρηστος καὶ δι' αὐτὸ δὲν δίδεται.

"Η ἀδιαβατικὴ μεταβολὴ είναι ἑκείνη, ἡ ὅποια χρησιμοποιεῖται διὰ νὰ προσεγγίσῃ τὴν περιγραφήν τῶν πραγματικῶν μεταβολῶν συμπίεσεως ἡ ἀποτονώσεως τῶν συνήθων μηχανῶν.

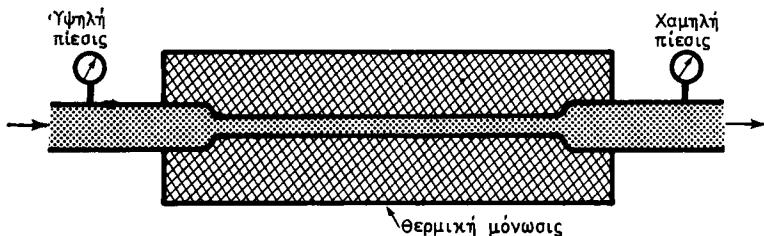
"Οταν ἔνας συμπιεστής ψυκτικοῦ μέσου ἀναρροφῇ τὸν ἀτμὸν ἀπὸ τὴν χαμηλὴν πίεσιν καὶ τὸν συμπιέζῃ εἰς τὴν ύψηλὴν πίεσιν, παραδεχόμεθα ὅτι ἡ συμπίεσις είναι εἰς πρώτην προσέγγισιν ἀδιαβατική. Τὸ αὐτὸ ἰσχύει καὶ διὰ τοὺς ἀεροσυμπιεστὰς ἡ τοὺς κινητῆρας ἐσωτερικῆς καύσεως κ.λπ.

## 2·6 Στραγγαλισμός άερίου.

‘Υπάρχει άκομη ένα είδος μεταβολής, πού πρέπει νὰ έξετασθῇ.

‘Η μεταβολὴ αὐτὴ εἶναι ὁ στραγγαλισμός.

Τὸ σχῆμα 2·6 παριστᾶ τὴν σχηματικὴν διάταξιν στραγγαλισμοῦ ρεύματος ἀερίου. Εἰς τὸ ἀριστερὸν μέρος τοῦ σχήματος τὸ ἀερίον ἔχει ύψηλὴν πίεσιν. Ἐν συνεχείᾳ εἰσέρχεται μέσα εἰς τὸ πολὺ λεπτὸν σωληνάκι (μέσον τοῦ σχήματος) καὶ ἔξερχεται ἀπὸ τὸ δεξιὸν μέρος μὲ πολὺ μικροτέραν πίεσιν. Ἡ πίεσις, τὴν διποίαν εἶχε ἀρχικῶς τὸ ἀερίον, «στραγγαλίζεται», χωρὶς νὰ παραχθῇ καθόλου μηχανικὸν ἔργον. Προφανῶς ἡ μεταβολὴ αὐτὴ εἶναι συνδεδεμένη μὲ ἀπωλείας μηχανικοῦ ἔργου.



Σχ. 2·6.

Στραγγαλισμός ἀερίου, ἀδιαβατικός. Ἀνοικτὸν σύστημα.

Κατὰ τὴν διάρκειαν τοῦ στραγγαλισμοῦ δὲν συναλλάσσεται θερμότης μὲ τὸ ἀερίον, διότι ἡ θέσις τοῦ στραγγαλισμοῦ εἶναι θερμικῶς μονωμένη. Ἐμφανίζεται λοιπὸν τὸ φαινόμενον τοῦ ἀδιαβατικοῦ στραγγαλισμοῦ.

Τὸ σύστημα τοῦ σχήματος 2·6 εἶναι ἀνοικτὸν σύστημα. Διὰ τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ ἐφαρμογὴ τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος δὲν ἔχει δοθῆ ἐις τὰς προπογυμένας παραγράφους. Ἀποδεικνύεται ὅμως ὅτι ἡ μεταβολὴ τοῦ σχήματος 2·6 δι’ ἀνοικτὸν σύστημα, δηλαδὴ ὁ ἀδιαβατικὸς στραγγαλισμός, εἶναι μεταβολὴ ἴσεν θαλπικὴ. Ἡ ἐνθαλπία δηλαδὴ τοῦ ἀερίου εἰς τὴν εἰσοδον καὶ τὴν ἔξοδον τῆς θέσεως στραγγαλισμοῦ παραμένει ἀμετάβλητος. Τὸ συμπέρασμα αὐτὸς εἶναι ὀρθὸν διὰ ταχύτητας ἀερίου, πού δὲν πλησιάζουν πολὺ τὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ἥχου μέσα εἰς τὸ ἀερίον.

‘Η ἐνθαλπία τοῦ τελείου ἀερίου δὲν ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν καὶ τὸν εἰδικὸν ὅγκον τοῦ ἀερίου. Ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὴν θερμο-

κρασίαν τοῦ ἀερίου. Τὸ γεγονός αὐτὸς εἶναι προφανὲς ἀπὸ τὸν δρισμὸν τῆς ἐνθαλπίας (παράγρ. 1 · 11) καὶ ἀπὸ τὸ ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ τελείου ἀερίου ἔξαρτᾶται ἐπίσης μόνον ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν.

Ἐὰν λοιπὸν διὰ τῆς διατάξεως τοῦ σχήματος 2 · 6 ρέη τέλειον ἀέριον, τότε ὁ ἴσενθαλπικὸς στραγγαλισμὸς εἶναι ταυτοχρόνως καὶ ἴσο-θερμοκρασιακός. Δηλαδὴ πρὸ καὶ μετὰ τὸν ἀδιαβατικὸν στραγγαλισμὸν ἡ θερμοκρασία τοῦ τελείου ἀερίου δὲν μεταβάλλεται.

Μὲν τὰ πραγματικὰ ἀέρια ὅμως τὰ πράγματα εἶναι διαφορετικά. Ἐκεῖ ἡ ἐνθαλπία ἔξαρτᾶται ὅχι μόνον ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὴν πίεσιν. "Οταν λοιπὸν κατὰ τὸν ἀδιαβατικὸν στραγγαλισμὸν μεταβάλλεται ἡ πίεσις, τότε μεταβάλλεται καὶ ἡ θερμοκρασία, παρ' ὅλον ὅτι ἡ ἐνθαλπία μένει σταθερά. Εἰς τὰ πραγματικὰ ἀέρια, εἰς τὴν ἔξοδον τῆς θέσεως στραγγαλισμοῦ, δυνατὸν νὰ ὑπάρχῃ θερμοκρασία μικροτέρα ἢ μεγαλυτέρα ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν. Τὸ μέγεθος τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας κατὰ τὸν στραγγαλισμὸν ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὸ ἀέριον, ποὺ ρέει, καὶ ἀπὸ τὰς ἀρχικὰς συνθήκας πιέσεως καὶ θερμοκρασίας, ὑπὸ τὰς ὅποιας τὸ ἀέριον εἰσέρχεται εἰς τὴν θέσιν στραγγαλισμοῦ. "Οταν αἱ συνθῆκαι εἶναι κατάλληλοι, τότε προκαλεῖται σημαντικὴ ψυχῆς τοῦ ἀερίου, καὶ διὰ τὸν λόγον αὐτὸν ὁ στραγγαλισμὸς ἀερίου χρησιμοποιεῖται εἰς διατάξεις παραγωγῆς ψυκτικῆς ἰσχύος κυρίως δὲ εἰς ἐγκαταστάσεις ὑγροποιήσεως ἀέρος.

Συχνὰ ἡ διάταξις στραγγαλισμοῦ τοῦ σχήματος 2 · 6 χρησιμοποιεῖται καὶ διὰ τὴν ροήν ὑγρῶν. Ἐπὶ παραδείγματι εἰς τὰς ψυκτικὰς διατάξεις μικρῆς ἰσχύος (οἰκιακὰ ψυγεῖα), τὸ ὑγρὸν ψυκτικὸν μέσον, ἀφοῦ φύγη ἀπὸ τὸ τέλος τοῦ συμπυκνωτοῦ, στραγγαλίζεται εἰς μίαν τέτοιαν διάταξιν, προτοῦ εἰσέλθῃ δι' ἀτμοποίησιν καὶ παραγωγὴν ψυκτικῆς ἰσχύος. Ἡ λειτουργία αὐτὴ καθὼς καὶ ὁ ψυκτικὸς κύκλος θὰ ἀναφερθοῦν εἰς ἄλλην παράγραφον.

## 2 · 7 Κυκλικαὶ μεταβολαί.

Εἰς τὰς προηγουμένας παραγράφους ἔξητάσθησαν διάφοροι μεταβολαὶ μεμονωμένα. "Ενα ἀέριον ὅμως, τὸ ὅποιον εύρισκεται εἰς ἓνα κλειστὸν σύστημα, π.χ. μέσα εἰς ἓνα κύλινδρον μὲν ἔμβολον, δυνατὸν νὰ ὑφίσταται διαδοχικὰς μεταβολάς.

Αἱ μεταβολαὶ αὐταὶ δυνατὸν νὰ εἶναι διάφοροι συνδυασμοί, ἀπὸ τὰς μεταβολὰς ποὺ ἥδη ἀνεφέρθησαν. Εἰς τὴν πρᾶξιν ὑπάρχουν

πολλοὶ διαφορετικοὶ συνδυασμοὶ τῶν μεταβολῶν αὐτῶν. Συνήθως αἱ διαδοχικαὶ αὐταὶ μεταβολαὶ καταλήγουν τελικῶς εἰς τὴν ίδιαν κατάστασιν ἀερίου μὲν ἐκείνην τῆς ἐκκινήσεως.

*'Εὰν μᾶζα ἀερίου (ἢν σύστημα πλέον γενικὰ) ὑφίσταται διαδοχικῶς διαφόρους μεταβολὰς καὶ τελικὰ καταλήγη εἰς τὴν ίδιαν ἀρχικὴν κατάστασιν ἐκκινήσεως, τότε τὸ ἀέριον (ἢ τὸ σύστημα) διαγράφει ἔνα θερμοδυναμικὸν κύκλον.*

*'Εὰν χρησιμοποιηθῇ τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα διὰ κάθε μεταβολὴν τοῦ κύκλου χωριστά, καὶ τελικῶς προστεθοῦν ὅλα τὰ μεγέθη, τότε φυσικὰ τὸ ἀθροισμα τῶν μεταβολῶν τῶν ἐσωτερικῶν ἐνεργειῶν θὰ ἴσοῦται μὲν τὸ μηδέν. Αὐτὸ βεβαίως εἶναι προφανές, ἀφοῦ τὸ ἀέριον (ἢ τὸ σύστημα) ἐπανέρχεται εἰς τὴν ίδιαν ἀρχικὴν κατάστασιν. "Οπως ἦδη ἔχει ἀναφερθῆ, ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια εἶναι καταστατικὸν μέγεθος καὶ ἔξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὴν κατάστασιν τοῦ ἀερίου (συστήματος). Μετὰ τὸ πέρας λοιπὸν τῶν διαδοχικῶν μεταβολῶν ἡ κατάστασις εἶναι ἡ αὐτὴ καὶ συνεπῶς ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ἡ ίδια ὅπως καὶ εἰς τὴν ἀρχὴν τοῦ κύκλου.*

Κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς κυκλικῆς μεταβολῆς ὑπάρχουν διαφόρων εἰδῶν μεταβολαὶ τοῦ ἀερίου. Εἰς ἄλλας μὲν ἀπὸ αὐτὰς προσδίδεται ἔργον εἰς τὸ ἀέριον (σύστημα), εἰς ἄλλας δὲ παράγεται ἔργον. Τὸ ιδιον συμβαίνει καὶ μὲ τὴν θερμότητα. *"Ἐτοι εἰς ἄλλας μεταβολὰς δίδεται θερμότης εἰς τὸ ἀέριον καὶ εἰς ἄλλας ἀφαιρεῖται θερμότης ἀπὸ αὐτό.*

*'Επειδὴ ὅμως τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα ἰσχύει ὅχι μόνον διὰ τὰς ἐπὶ μέρους μεταβολάς, ἀλλὰ καὶ δι' διόκλητρον τὸν κύκλον, προκύπτει τὸ ἀκόλουθον συμπέρασμα:*

*Τὸ ἔργον, ποὺ παράγεται (ἢ καταναλίσκεται) εἰς ἔνα θερμοδυναμικὸν κύκλον ἴσοῦται μὲ τὴν διαφορὰν τῶν προσδιδομένων καὶ ἀπορριπτομένων ποσῶν θερμότητος.*

Κατὰ συνέπειαν, ἐὰν εἶναι γνωστὰ αὐτὰ τὰ ποσὰ θερμότητος, τότε εἶναι δυνατὸν νὰ ὑπολογισθῇ τὸ ἔργον εὔκολα. Εἰς τὴν ἐπομένην παράγραφον ἀναφέρεται ἕνας ὑπολογισμὸς τοῦ εἴδους αὐτοῦ διὰ τὸν θερμοδυναμικὸν κύκλον τοῦ Καρνό.

## 2 · 8 Κύκλος Καρνό.

‘Ο Καρνὸς ἦτο Γάλλος καὶ ἔζησε τὸν περασμένον αἰῶνα. Ὅππερξε δὲ πρῶτος ἄνθρωπος, ποὺ ἐσκέφθη καὶ διετύπωσε τὰς σχέσεις, αἱ ὅποιαι συνδέουν μεταξύ των τὰ ποσὰ Θερμότητος καὶ Ἔργου εἰς μίαν ὠρισμένην μηχανήν. Ἡ μηχανὴ αὐτὴ ὁνομάζεται σήμερον μηχανὴ Καρνό.

‘Ἡ μηχανὴ Καρνὸς εἶναι φανταστική. Δὲν ἔχει δηλαδὴ κατασκευασθῆ τέτοια μηχανή, διότι πρέπει νὰ λειτουργῇ ὑπὸ ἐντελῶν θεωρητικὰς συνθήκας, ποὺ δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ πραγματοποιηθοῦν εἰς τὴν πρᾶξιν.

Παρ’ ὅλον ὅτι ἡ μηχανὴ Καρνὸς εἶναι φανταστική, ἐν τούτοις ἔχει πολὺ μεγάλην σημασίαν, διότι βοηθεῖ ἔξαιρετικὰ εἰς τὸν ὑπολογισμὸν καὶ τὴν ἀπλοποίησιν τῶν προβλημάτων.

‘Ἡ μηχανὴ Καρνὸς χρησιμοποιεῖ οἰδοήποτε σῶμα διὰ τὴν λειτουργίαν της. Συνήθως τὸ σῶμα αὐτὸν λαμβάνεται ὡς ἀέριον, χωρὶς αὐτὸν νὰ εἶναι καὶ περιορισμός.

Διὰ τὴν περιγραφὴν τῆς λειτουργίας τῆς ὑποτίθεται ὅτι ἡ μηχανὴ εἶναι ἐμβολοφόρος. Εἰς τὸ σχῆμα 2 · 8 δίδονται σχηματικὰ αἱ 4 φάσεις λειτουργίας τῆς μηχανῆς Καρνό. ‘Υπάρχουν δύο εἰδῶν φάσεις:

- ‘Αδιαβατικὴ
- ‘Ισοθερμοκρασιακὴ.

‘Ἡ μηχανὴ χρησιμοποιεῖ καὶ τὰς δύο διαδοχικά, τὴν μίαν κατόπιν τῆς ἄλλης.

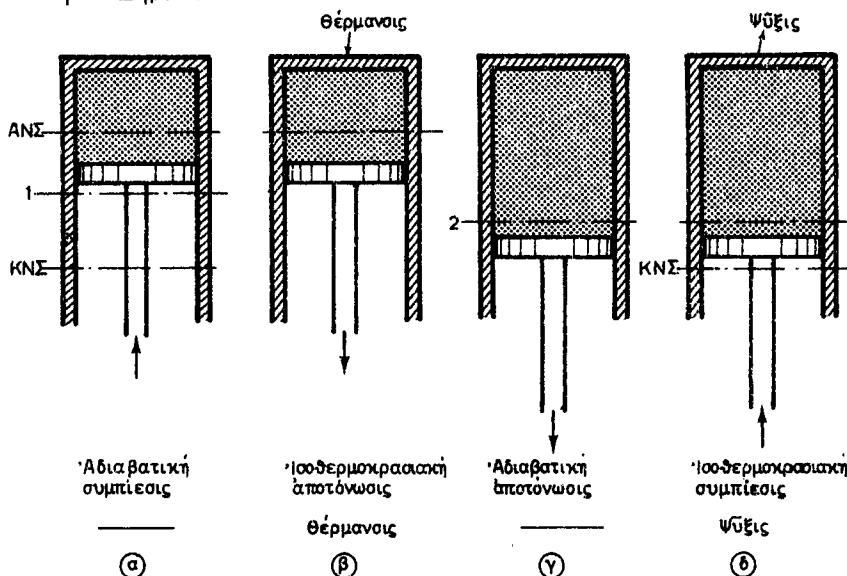
‘Ἡ πρώτη φάσις τῆς μηχανῆς εἶναι μία ἀδιαβατικὴ συμπίεσις, ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 2 · 8 (α). Κατὰ τὴν φάσιν αὐτὴν προσφέρεται εἰς τὴν μηχανὴν μηχανικὸν ἔργον ἀπὸ ἔξω διὰ νὰ γίνη ἡ συμπίεσις. Τὸ ἀέριον συμπιέζεται ἀδιαβατικῶς καὶ αὔξανει ἡ πίεσις καὶ ἡ θερμοκρασία του. Ἡ ἀδιαβατικὴ συμπίεσις ἀρχίζει εἰς τὴν θέσιν ! τοῦ ἐμβόλου καὶ συνεχίζεται μέχρι καὶ τοῦ Ἀνω Νεκροῦ Σημείου (ΑΝΣ) τοῦ ἐμβόλου.

Τώρα τὸ ἐμβόλον ἔχει φθάσει εἰς τὸ ΑΝΣ [σχ. 2 · 8 (α), (β)] καὶ τὸ ἀέριον ἔχει ύψηλὴν θερμοκρασίαν. Τὴν στιγμὴν ἀκριβῶς αὐτὴν ἀρχίζει νὰ δίδεται θερμότης ἀπὸ ἔξω πρὸς τὸ ἀέριον. Ἐάν τὸ ἐμβόλον ἔμενε ἀκίνητον εἰς τὴν θέσιν ΑΝΣ, ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου θὰ ἀνέβαινε ἀκόμη περισσότερον. Τὸ ἐμβόλον ὅμως ἀρχίζει νὰ κινήται καὶ πόλιν, ἀλλὰ πρὸς τὸ Κάτω Νεκρὸν Σημεῖον (ΚΝΣ). ‘Ετσι, παρ’

δλον ὅτι τὸ ἀέριον λαμβάνει θερμότητα ἀπὸ ἔξω, δὲν αὐξάνει τὴν θερμοκρασία του. Κατ’ αὐτὸν τὸν τρόπον ἡ μεταβολὴ αὐτῇ εἶναι ἴσοθερμοκρασιακή.

Μέχρι στιγμῆς ἀνεφέρθη ἡ λειτουργία τῶν φάσεων (α) καὶ (β) τοῦ σχήματος 2.8. Καὶ εἰς τὰς δύο αὐτὰς φάσεις δίδομεν κάτι εἰς τὴν μηχανήν. Εἰς μὲν τὴν πρώτην φάσιν μηχανικὸν ἔργον, εἰς δὲ τὴν δευτέραν θερμότητα. Κατὰ τὴν φάσιν (β), δπως καὶ κατὰ τὴν ἐπομένην φάσιν (γ), λαμβάνομεν ἔργον.

Ἡ φάσις (γ) εἶναι ἀδιαβατικὴ ἀποτόνωσις. Τὸ ἀέριον ἀποτονώνεται, ὥθετο τὸ ἔμβολον καὶ παράγει μηχανικὸν ἔργον. Ἡ κίνησις αὐτῇ τοῦ ἐμβόλου ἀρχίζει ἀπὸ τὸ σημεῖον 2 καὶ σταματᾷ εἰς τὸ Κάτω Νεκρὸν Σημεῖον.



Σχ. 2.8.

Αἱ 4 φάσεις λειτουργίας τῆς μηχανῆς Καρνό.

Ἡ φάσις (γ) τῆς ἀποτονώσεως ἐνδιαφέρει, διότι παράγεται ἔργον.

“Ολον τὸ ἔργον, ποὺ παράγεται κατὰ τὰς φάσεις (β) καὶ (γ), δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ χρησιμοποιηθῇ. Ἔνα μέρος ἀπὸ αὐτὸν χρειάζεται διὰ νὰ γίνουν αἱ συμπιέσεις εἰς τὴν φάσιν (α) καὶ (δ). Τὸ ὠφέ-

λιμονί ἔργον τῆς μηχανῆς εἶναι ἡ διαφορὰ τοῦ παραγομένου ἔργου [τῶν φάσεων (β) καὶ (γ)] καὶ τοῦ ἔργου, ποὺ καταναλίσκεται ἀπὸ τὴν ίδιαν τὴν μηχανὴν διὰ τὰς συμπιέσεις [φάσεις (α) καὶ (δ)].

Ἡ τελευταία φάσις (δ) τῆς μηχανῆς (σχ. 2·8) εἶναι καὶ αὐτὴ βιοθητική. Τὸ ἐμβολὸν ἐκκινεῖ ἀπὸ τὸ Κάτω Νεκρὸν Σημεῖον καὶ ἀρχίζει νὰ ἀνεβαίνῃ διὰ νὰ φθάσῃ πάλιν εἰς τὸ σημεῖον 1 τῆς ἀρχῆς τῆς ἀδιαβατικῆς συμπιέσεως τῆς φάσεως (α). Κατὰ τὴν κίνησιν ὅμως αὐτὴν τὸ ἀέριον συνεχῶς ψύχεται καὶ ἔτσι ἀποβάλλει θερμότητα. Ἡ συμπιέσις εἶναι *ἰσοθερμοκρασιακή*. Ἔτσι καταλήγει πάλιν ἡ μηχανὴ καὶ φυσικά καὶ τὸ ἀέριον εἰς τὴν κατάστασιν 1, ἀπὸ τὴν ὅποιαν ἔξεκίνησε, διότε κλείει πλέον ὁ θερμοδυναμικὸς κύκλος. Κατὰ τὴν φάσιν (δ) δίδεται μηχανικὸν ἔργον.

Τελικὰ εἰς τὴν μηχανὴν δίδεται θερμότης κατὰ τὴν φάσιν (β) καὶ ἀποβάλλεται θερμότης κατὰ τὴν φάσιν (δ). Ἡ θερμότης, ποὺ δίδεται, εἶναι περισσοτέρα ἀπὸ αὐτὴν ποὺ ἀφαιρεῖται. Ἡ διαφορὰ μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον.

“Ωστε μὲ τὴν μηχανὴν αὐτὴν εἶναι δυνατὸν νὰ παραχθῇ μηχανικὸν ἔργον ἀπὸ θερμότητα. Ὁπως ὅμως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 2·8, δὲν μετατρέπεται ὄλόκληρον τὸ ποσὸν θερμότητος εἰς ἔργον. Ἐνα μέρος τῆς θερμότητος πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ καὶ πάλιν ἀπὸ τὴν μηχανήν.

Εἰς τὴν μηχανὴν δίδεται ἔνα ποσὸν θερμότητος [φάσις (β)] καὶ ἀφαιρεῖται ἔνα ἄλλο [φάσις (δ)]. Αὐτὰ τὰ δύο ὅμως ποσὰ θερμότητος ἔχουν μεταξύ των τὰς ἔξης διαφοράς:

	Ποσὸν θερμότητος	Θερμοκρασία
Φάσις (β)	Μεγάλο	Μεγαλυτέρα
Φάσις (δ)	Μικρὸν	Μικροτέρα

Ἡ θερμότης, ποὺ ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὴν μηχανὴν κατὰ τὴν φάσιν (δ), δὲν δύναται νὰ χρησιμοποιηθῇ πάλιν ἀπὸ τὴν μηχανήν, εἶναι δηλαδὴ ἀχρηστός διὰ τὴν μηχανήν, διότι ἡ θερμοκρασία εἶναι χαμηλή.

Αναφέρεται ως παράδειγμα ἡ μηχανὴ τοῦ αὐτοκινήτου. Παρ’ ὅλον ποὺ δὲν λειτουργεῖ ὅπως ἡ μηχανὴ Καρνό, ἐν τούτοις δύναται νὰ δώσῃ μίαν εἰκόνα ως παράδειγμα. Εἰς τὴν μηχανὴν τοῦ

αύτοκινήτου, ώς γνωστόν, δίδεται βενζίνη. Η βενζίνη καίεται και έλευθερώνεται θερμότης, ή δύοις δίδεται εἰς τὴν μηχανήν. Η θερμότης αύτή δημιουργεῖ ύψηλήν θερμοκρασίαν (μεγαλυτέραν τῶν 1000 °C). Τελικά εἰς τὴν μηχανήν παράγεται ἔργον, ἐνῷ ἀπορρίπτεται καὶ ἕνα πισόδιο θερμότητος. Τὸ πισόδιον αύτὸν φεύγει μὲ τὰ καυσαέρια (θερμοκρασία 400 ἔως 500 °C) δὲλλὰ καὶ ἀπὸ τὸ ψυγεῖον τοῦ κινητῆρος (95 °C).

Τὸ πισόδιον ὅμως αύτὸν δὲν δύναται νὰ χρησιμοποιηθῇ πάλιν ἀπὸ τὴν μηχανήν, διότι ἔχει πολὺ χαμηλήν θερμοκρασίαν.

Εἰς τὴν μηχανήν τοῦ αύτοκινήτου τὸ πισόδιον θερμότητος, ποὺ χάνεται μὲ τὰ καυσαέρια, εἶναι ἵσον περίπου μὲ τὸ μηχανικὸν ἔργον ποὺ παράγεται. Τὸ ἴδιον καὶ εἰς τὸ ψυγεῖον. "Αν δλη ἡ θερμότης τοῦ καυσίμου ήτο δυνατὸν νὰ μετατραπῇ εἰς μηχανικὸν ἔργον, ή μηχανὴ θὰ εἶχε βαθμὸν ἀποδόσεως 100 %. "Επειδὴ ὅμως αύτὸν είναι ἀδύνατον, δι' αὐτὸν δὲ βαθμὸς ἀποδόσεως αύτῆς είναι πολὺ μικρότερος.

"Η μηχανὴ Καρνό ἔχει τὸν καλύτερον δυνατὸν βαθμὸν ἀποδόσεως ἀπὸ ὅλας τὰς μηχανάς. Δὲν ὑπάρχει μηχανή, ποὺ νὰ ἔχῃ ἀνώτερον. Διὰ τὸν λόγον αὐτὸν χρησιμοποιεῖται συχνὰ ὡς μέτρον συγκρίσεως τῶν πραγματικῶν μηχανῶν.

"Εὰν ἡ ύψηλὴ θερμοκρασία είναι  $T_1$  καὶ ἡ χαμηλὴ θερμοκρασία  $T_2$ , τότε δὲ βαθμὸς ἀποδόσεως η τῆς μηχανῆς Καρνό είναι:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

**Παράδειγμα.**

Δίδονται  $T_1 = 927$  °C,  $T_2 = 127$  °C. Ποῖος δὲ βαθμὸς ἀποδόσεως μηχανῆς Καρνό;

**Λύσις :**

$$\begin{array}{rcl} T_1 & = & 927 + 273 = 1\,200 \text{ K} \\ T_2 & = & 27 + 273 = 300 \text{ K} \\ \hline T_1 - T_2 & = & 900 \text{ K} \end{array}$$

καὶ       $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{900}{1\,200} = 0,75 \quad \text{ἢ} \quad 75\%.$

## Κ Ε Φ Α Λ Α I O N 3

### A T M O I

#### 3 · 1 Ἀτμοποίησις.

“Οταν τοποθετηθῇ ἔνα δοχεῖον μὲν νερὸ διπάνω εἰς τὴν φωτιάν, μετὰ διπὸ λίγο τὸ νερὸ ἀρχίζει νὰ βράζῃ. Ὁσην ὥραν διαρκεῖ δι βρασμός, παράγεται ἀτμός. Ὁ ἀτμός αὐτός, ποὺ συχνὰ ὄνομάζεται καὶ ἀχνός, φαίνεται ἐπάνω διπὸ τὸ δοχεῖον, καθὼς ἀνεβαίνει. Μετὰ ἀρκετὴν ὥραν τὸ νερὸ εἰς τὸ δοχεῖον εἶναι δλιγάτερον καὶ ἀν συνεχίστη δι βρασμός, εἰς τὸ τέλος δλον τὸ νερὸ τελειώνει. Τί συμβαίνει ὅμως λεπτομερέστερα εἰς τὸ φαινόμενον αὐτό;

Είναι φαινερόν, δτι τὸ νερὸ δλλάσσει κατάστασιν. Ἐτσι, ἐνῶ εἰς τὴν ἀρχὴν εἶναι ύγρόν, μὲ τὴν φωτιάν, τὴν θερμότητα δηλαδὴ ποὺ λαμβάνει, γίνεται ἀτμός. Ὁ ἀτμός εἶναι κατάστασις, ποὺ ὅμοιάζει πάρα πολὺ μὲ ἀέριον, ώστε συχνὰ δὲν γίνεται διάκρισις μεταξύ ἀτμοῦ καὶ ἀερίου.

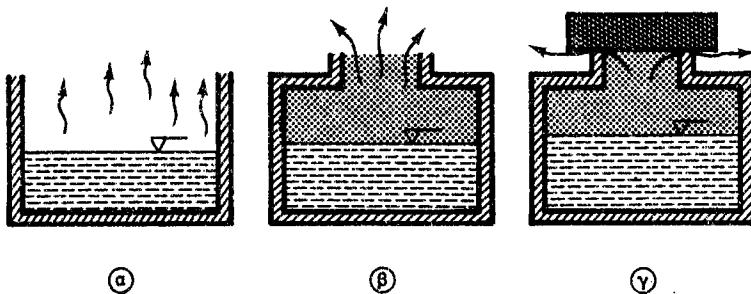
Ἐπειδὴ δ ἀτμὸς τοῦ νεροῦ παράγεται διπὸ νερὸ (ύδωρ) λέγεται ὑδρατμός. Ἀτμοὺς παράγουν ὅλα τὰ ύγρά, ἀρκεῖ νὰ ἀποκτήσουν κατάλληλον θερμοκρασίαν διὰ νὰ τοὺς ἀντιληφθοῦμεν. Ἐπὶ παραδείγματι ἡ βενζίνη εἶναι ύγρόν, πάντοτε ὅμως ύπαρχουν καὶ ἀτμοὶ ἐπάνω διπὸ αὐτήν. Συχνὰ ἔχουν γίνει ἐκρήξεις ἐξ αἰτίας τῶν ἀτμῶν αὐτῶν. Ἐξ ἄλλου εἰς τὴν μηχανήν τοῦ αὐτοκινήτου ἡ ύγρὴ βενζίνη γίνεται (εἰς τὸν ἔξαερωτῆρα) ἀτμὸς διὰ νὰ διευκολυνθῇ ἡ καυσις καὶ ἔτσι νὰ παραχθῇ ἔργον.

Εἰς τὸ σχῆμα 3 · 1 α ὑπάρχουν τρεῖς τρόποι παραγωγῆς ἀτμοῦ ἀπὸ ύγρόν. Εἰς τὸ πρῶτον σχῆμα, δηλαδὴ τὸ σχῆμα 3 · 1 α (α), ὑπάρχει ἀνοικτὴ ἐπιφάνεια ύγροῦ. Ἐπάνω ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ύγροῦ εὑρίσκεται καὶ ἀτμοσφαιρικὸς ἀέρας. Ἀν διθῇ θερμότης εἰς τὸ νερό, τότε παράγεται ὑδρατμός. Ὁ ὑδρατμὸς ὅμως ἀναμιγνύεται μὲ τὸν ἀέρα τῆς ἀτμοσφαίρας καὶ ἔτσι ἐπάνω ἀπὸ τὴν στάθμην τοῦ ύγροῦ ύπαρχουν ταυτόχρονα δύο εἰδῶν σώματα, δηλαδὴ ὑδρατμὸς καὶ ἀέρας.

Τὸ φαινόμενον αὐτὸ λέγεται ἔξατμισις. Διὰ νὰ ἔχωμεν ἔξατμισιν

πρέπει νὰ ὑπάρχῃ πάντοτε καὶ ἔνα ξένον ἀέριον ἐπάνω ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕγρου, ποὺ παράγει τοὺς ἀτμούς.

Εἰς τὸ σχῆμα 3·1 α (β) ἐμφανίζεται ἔνα ἄλλο φαινόμενον, τὸ δόποιον λέγεται ἀτμοποίησις. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἐπάνω ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕγρου, ποὺ παράγει τοὺς ἀτμούς, εὑρίσκονται μόνον οἱ ἀτμοὶ τοῦ ίδιου τοῦ σώματος καὶ κανένα ξένον σῶμα.



Σχ. 3·1 α.

Παραγωγὴ ἀτμοῦ μὲν διαφορετικούς τρόπους: α) Ἐξάτμισις. β) Ἀτμοποίησις ὑπὸ ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν. γ) Ἀτμοποίησις ὑπὸ μεγάλην πίεσιν.

Καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις (α) καὶ (β) τοῦ σχήματος 3·1 α, ἡ πίεσις ἐπάνω ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕγρου εἶναι ἡ ίδια, δηλαδὴ ἡ ἀτμοσφαιρικὴ. Εἰς τὸ σχῆμα ὅμως (γ) ἡ πίεσις εἶναι μεγαλύτερα, διότι ὑπάρχει καὶ ἔνα βάρος, τὸ δόποιον κλείει τὴν ἔξοδον τοῦ ἀτμοῦ. Οἱ ἀτμὸι πρέπει νὰ ἔχῃ τόσην πίεσιν, ὅση χρειάζεται διὰ νὰ ὑπερνικηθῇ τὸ βάρος καὶ ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις, ἡ δόποια δρᾶ ἐπὶ τοῦ βάρους. Εἰς τὸ σχῆμα (γ) τὸ φαινόμενον εἶναι πάλιν ἀτμοποίησις. Εἰς τὴν περίπτωσιν ὅμως αὐτὴν εἶναι ἀτμοποίησις ὑπὸ πίεσιν μεγαλυτέραν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς.

Ἐὰν εἰς τὸ ἀνοιγμα τοῦ δοχείου τοῦ σχήματος (β) τοποθετηθῇ μία μηχανή, ἡ δόποια νὰ ἀναρροφῇ τοὺς ἀτμοὺς ταχέως, τότε ἡ πίεσις εἰς τὸ δοχεῖον θὰ γίνη μικροτέρα τῆς ἀτμοσφαιρικῆς καὶ φυσικὰ τὸ φαινόμενον θὰ εἶναι πάλιν ἀτμοποίησις, ἀλλὰ μὲ πίεσιν μικροτέρον τῆς ἀτμοσφαιρικῆς.

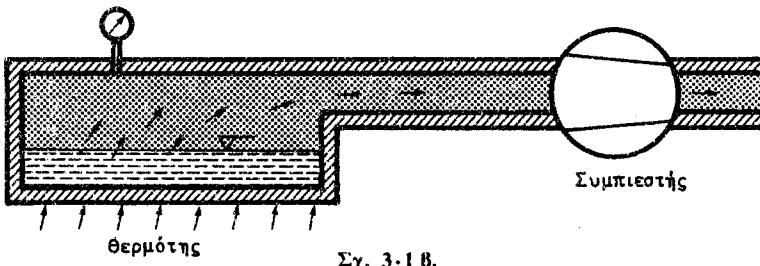
Πάντοτε λοιπὸν ἡ ἀτμοποίησις εἶναι συνδυασμένη μὲ μίαν πίεσιν καὶ ὅπως θὰ ἀναφερθῇ ἐν συνεχείᾳ, καὶ μὲ μίαν ἀντίστοιχον θερμοκρασίαν.

Τὸ σχῆμα 3·1 β παριστᾶ δοχεῖον, ποὺ περιέχει ὕγρόν. Εἰς

τὸ δοχεῖον δίδεται ἀπὸ ἔξω θερμότης καὶ παράγεται ἀτμός. Τὸ φαινόμενον εἶναι ἀτμοποίησις. Τοὺς ἀτμούς τοῦ ὑγροῦ ὀνταρροφεῖ συνεχῶς μία κατάληλος μηχανὴ (ένας συμπιεστής) καὶ ἔτοι διατηρεῖται ἡ πίεσις εἰς τὸ δοχεῖον σταθερά, παρ' ὅλον ὅτι παράγεται συνεχῶς νέα ποσότης ἀτμοῦ. Ἡ πίεσις, ποὺ τελικῶς ἐπικρατεῖ εἰς τὸ δοχεῖον, ἔξαρταται ἀπὸ δύο παράγοντας, τοὺς ἔξης:

- Ποσὸν θερμότητος ἀνὰ μονάδα χρόνου καὶ
- ποσότης ἀτμοῦ, ποὺ ἀναρροφεῖται ἀνὰ μονάδα χρόνου.

Εἶναι φανερὸν ὅτι μεγάλα ποσά θερμότητος προκαλοῦν ταχεῖαν ἀτμοποίησιν καὶ τότε ὁ συμπιεστής δὲν εἶναι εἰς θέσιν νὰ διατηρῇ τὴν πίεσιν χαμηλήν. Ἐὰν ἀντιθέτως τὸ ποσὸν θερμότητος ἀνὰ μονάδα χρόνου — ἡ θερμικὴ ίσχυς — εἶναι μικρή, τότε ὁ συμπιεστής εἶναι δυνατὸν νὰ διατηρῇ χαμηλήν πίεσιν εἰς τὸ δοχεῖον τῆς ἀτμοποιήσεως.



Διάταξις στοιχείου ἀτμοποιήσεως-συμπιεστοῦ.

Εἰδικώτερα εἰς ψυκτικάς διατάξεις συμπιεστοῦ ἐμφανίζεται πάντοτε ἡ διάταξις τοῦ σχήματος 3·1 β. Τὸ δοχεῖον, ὃπου παράγεται ὁ ἀτμός, ὀνομάζεται εἰς τὰς διατάξεις αὐτὰς στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως (ψύκτης). Ὁ συνδυασμὸς τῆς θερμικῆς ίσχύος καὶ τῆς ἱκανότητος τοῦ συμπιεστοῦ καθορίζουν τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως καὶ συνεπῶς — ὅπως θὰ ἀναφερθῇ ἐν συνεχείᾳ — καὶ τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως.

Ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως εἶναι βασικῆς σημασίας εἰς τὰς ψυκτικάς διατάξεις.

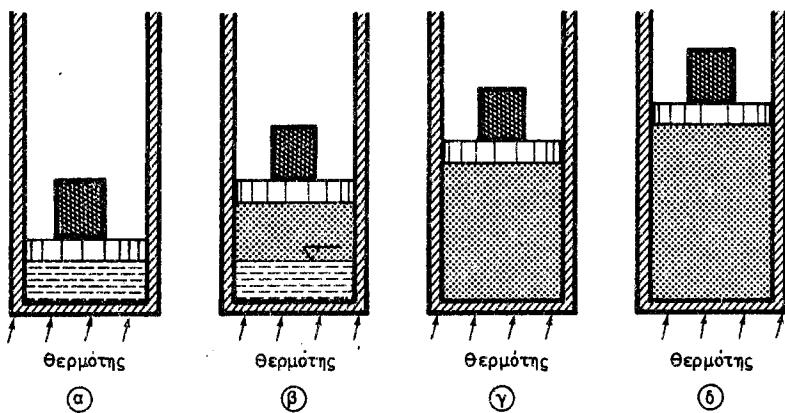
### 3·2 Πίεσις καὶ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως.

Εἰς τὸ σχῆμα 3·2 παρίστανται διαδοχικαὶ φάσεις ἀτμοποιήσεως ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Ἡ σταθερὰ πίεσις ἔξασφαλίζεται διὰ τοῦ σταθεροῦ βάρους, τὸ ὅποιον ἔχει τοποθετηθῆ ἐπάνω εἰς τὸ ἐμβολον.

Εις τὸ σχῆμα (α) ὑπάρχει μόνον ὑγρὸν εἰς τὸν κύλινδρον. Ἀρχίζει νὰ προσδίδεται θερμότης καὶ ἡ θερμοκρασία ἀνέρχεται. Αἱφνης ἐμφανίζεται ἡ πρώτη φυσαλλὶς ἀτμοῦ καὶ ἀρχίζει ἡ ἀτμοποίησις.

Τὴν στιγμὴν αὐτὴν τὸ θερμόμετρον δεικνύει μίαν ώρισμένην θερμοκρασίαν, ἡ ὥποια λέγεται *θερμοκρασία ἀτμοποίησεως*.

Ἡ πρόσδοσις τῆς θερμότητος συνεχίζεται καὶ ἐμφανίζεται ἡ κατάστασις τοῦ σχήματος (β), ὅπου ἔνα μέρος τοῦ ὑγροῦ ἔχει ἤδη μετατραπῆ εἰς ἀτμόν. Καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς ἀτμοποίησεως ἡ θερμοκρασία μένει σταθερά.



Σχ. 3·2.

Άτμοποίησις ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Ἡ θερμότης, ἡ ὥποια δίδεται, μετατρέπει τὸ ὑγρὸν εἰς ἀτμόν, ἀλλὰ δὲν αὔξάνει τὴν θερμοκρασίαν οὔτε τοῦ ὑγροῦ οὔτε τοῦ ἀτμοῦ. Φυσικὰ κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς ἀτμοποίησεως τὸ ἔμβολον μετακινεῖται, ὥστε νὰ μεγαλώνῃ ὁ ὅγκος μέσα εἰς τὸν κύλινδρον. Αὐτὸς εἶναι ἀναγκαῖον, διότι ὁ ἀτμὸς χρειάζεται πολὺ μεγαλύτερον ὅγκον ἀπὸ τὸν ὅγκον τῆς αὐτῆς μάζης εἰς ὑγρὰν κατάστασιν.

Εις τὸ σχῆμα (γ) ἀτμοποιεῖται καὶ ἡ τελευταία σταγῶν ὑγροῦ καὶ τελειώνει ἡ ἀτμοποίησις, ἡ πρόσδοσις ὅμως τῆς θερμότητος συνεχίζεται.

Εις τὸ σχῆμα (δ) ἡ θερμότης δίδεται μόνον εἰς τὸν ἀτμόν, διότι δὲν ὑπάρχει πλέον ὑγρόν. Ἐειδὴ ἀκριβῶς δὲν ὑπάρχει ὑγρόν, τὸ ὅποιον νὰ δεσμεύῃ τὴν θερμότητα διὰ νὰ μετατρέπεται εἰς ἀτμόν,

δί' αὐτὸν ἡ θερμοκρασία δὲν μένει πλέον σταθερά, ἀλλὰ ἡ θερμότης, ἡ δόποια προσδίδεται εἰς τὸν ἀτμόν, αὐξάνει τὴν θερμοκρασίαν του. Ὁ ἀτμός, ποὺ ἔχει θερμοκρασίαν μεγαλυτέραν ἀπό ἑκείνην, ἡ δόποια ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν σταθεράν θερμοκρασίαν τῆς καταστάσεως ἀτμοποιήσεως, λέγεται ὑπέρθερμος ἀτμός.

Ο ἀτμὸς τοῦ σχήματος (γ), δόποιος ἀντιστοιχεῖ ἀκριβῶς εἰς τὸ τέλος τῆς ἀτμοποιήσεως, λέγεται κεκορεσμένος ἀτμός.

Ἐάν ἐπαναληφθῇ τὸ πείραμα τοῦ σχήματος 3 · 2 μὲ διαφορετικὰ βάρη ἐπάνω εἰς κάθε ἔμβολον, δηλαδὴ διαφορετικάς πιέσεις, θὰ παρατηρηθοῦν παρόμοια ἀποτελέσματα. "Οσον δηλαδὴ ὑπάρχει εἰς τὸν κύλινδρον ὑγρὸν καὶ ἀτμὸς μαζί, ἡ θερμοκρασία παραμένει σταθερά. Μόνον μετὰ τὸ τέλος τῆς ἀτμοποιήσεως αὐξάνει ἡ θερμοκρασία. Ἐπίστης παρατηρεῖται τὸ ἔξης: 'Η θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν.' Οσον μεγαλυτέρα είναι ἡ πίεσις, τόσον μεγαλυτέρα είναι ἡ θερμοκρασία. Αἱ τιμαὶ τῶν θερμοκρασιῶν καὶ πιέσεων δίδονται εἰς πίνακας, ὅπως ὁ Πίναξ 3 · 2 · 1.

#### Πιράδειγμα.

"Αν ἔχωμεν ἀτμοποίησιν ὕδατος ὑπὸ ἀπόλυτον πίεσιν 8,07 kp/cm<sup>2</sup>, πόση είναι ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως;

#### Λύσις:

'Απὸ τὸν Πίνακα 3 · 2 · 1 εύρισκεται ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως ἵση μὲ 170 °C.

'Η θερμότης, ἡ δόποια δίδεται ἀνὰ 1 kg ὑγροῦ ἀπὸ τὴν ἀρχὴν μέχρι καὶ τὸ τέλος τῆς ἀτμοποιήσεως, λέγεται θερμότης ἀτμοποιήσεως. ἔξαρτᾶται καὶ αὐτὴ ἀπὸ τὴν πίεσιν, ὑπὸ τὴν δόποιαν γίνεται ἡ ἀτμοποίησις. "Οσον μεγαλώνει ἡ πίεσις ἀτμοποιήσεως, τόσον μικραίνει ἡ θερμότης ἀτμοποιήσεως. Αἱ ἀντίστοιχοι τιμαὶ δίδονται εἰς τὸν Πίνακα 3 · 2 · 1.

'Η ἀντιστοιχία θερμοκρασίας ἀτμοποιήσεως καὶ πιέσεως καθὼς καὶ αἱ τιμαὶ τῆς θερμότητος ἀτμοποιήσεως είναι ἐντελῶς διαφορετικαὶ διὰ κάθε σῶμα. 'Ο Πίναξ 3 · 2 · 2 δίδει τὰς τιμὰς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου 12. 'Η σύγκρισις τῶν τιμῶν τῶν Πινάκων 3 · 2 · 1 (ύδωρ) καὶ 3 · 2 · 2 (ψυκτικὸν μέσον 12) δεικνύει ἐμφανῶς τὰς διαφοράς.

Εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως μιᾶς ψυκτικῆς διατάξεως, ὅπως

## Π Ι Ν Α Ε 3.2.1

Θερμοκρασία, πίεσις άτμοποιήσεως και θερμότης άτμοποιήσεως υδατος

Θερμοκρασία °C	Πίεσις kp/cm <sup>2</sup>	Θερμότης άτμοποιήσεως	
		t	r
t	p		
0	0,006228		597,2
5	0,008890		594,4
10	0,012513		591,6
15	0,017376		588,8
20	0,02383		586,0
25	0,03229		583,2
30	0,04325		580,4
35	0,05733		577,5
40	0,07520		574,7
45	0,09771		571,8
50	0,12578		569,0
55	0,16051		566,1
60	0,2031		563,3
65	0,2550		560,3
70	0,3177		557,4
75	0,3931		554,4
80	0,4829		551,3
85	0,5894		548,2
90	0,7149		545,1
95	0,8619		542,0
100	1,03323		538,9
105	1,2318		535,6
110	1,4609		532,4
115	1,7239		529,1
120	2,0245		525,7
125	2,3666		522,4
130	2,7544		518,9
135	3,192		515,3
140	3,685		511,9
145	4,237		508,2
150	4,854		504,6
155	5,540		500,8
160	6,302		497,0
165	7,146		493,1
170	8,076		489,2
175	9,101		485,2
180	10,225		481,0

## Π Ι Ν Α Ξ 3 · 2 · 2

**Θερμοκρασία, πίεσις, άτμοποιήσεως και θερμότης άτμοποιήσεως ψυκτικού μέσου 12**

Θερμοκρασία °C	Πίεσις kp/cm <sup>2</sup>	Θερμότης άτμοποιήσεως	
		t	kcal/kg
p	r		
- 40	0,655		40,8
- 35	0,824		40,4
- 30	1,025		40,0
- 25	1,262		39,5
- 20	1,540		39,1
- 15	1,862		38,6
- 10	2,236		38,1
-- 5	2,660		37,5
0	3,147		37,0
5	3,696		36,4
10	4,314		35,8
15	5,008		35,2
20	5,779		34,5
25	6,636		33,8
30	7,581		33,1
35	8,626		32,3
40	9,777		31,6
45	11,02		30,7
50	12,39		29,8

τοῦ σχήματος 3 · 1 β, ή άτμοποιήσις γίνεται διὰ τὴν παραγωγήν τῆς ψυκτικῆς ίσχύος. Ή πίεσις, ύποτε τὴν διποίαν γίνεται ή άτμοποιήσις, ἔχαρτάται ἀφ' ἐνδός μὲν ἀπὸ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος ποὺ δίδεται, ἀφ' ἑτέρου δὲ ἀπὸ τὴν ἱκανότητα ἀναρροφήσεως τοῦ συμπιεστοῦ. Διὰ μεγάλα ποσὰ θερμότητος παράγεται περισσότερος άτμος καὶ ή πίεσις άτμοποιήσεως γίνεται μεγαλυτέρα. Ταυτοχρόνως ὅμως αὔξανει καὶ η θερμοκρασία άτμοποιήσεως καὶ συνεπῶς δὲν ἐπιτυγχάνονται χαμηλαὶ θερμοκρασίαι. Εἶναι λοιπὸν φανερὸν ὅτι, τὸ ποσὸν θερμότητος ἀνὰ μονάδα χρόνου (ψυκτική ίσχύς) ἐπιδρᾶ εἰς τὴν θερμοκρασίαν παραγωγῆς ψυκτικῆς ίσχύος.

### 3.3 Στερεοποίησις.

Είναι γνωστὸν ὅτι, τὸ νερό, ποὺ τοποθετεῖται εἰς τὰ εἰδικὰ δοχεῖα τῶν οἰκιακῶν ψυγείων, γίνεται πάγος. "Οπως τὸ νερό, ἔστι καὶ ὅλα σχεδόν τὰ ύγρα, ὅταν φθάσουν εἰς μίαν κατάλληλον χαμηλὴν θερμοκρασίαν, ἀλλάσσουν κατάστασιν καὶ γίνονται στερεά.

Τὸ φαινόμενον αὐτὸ λέγεται στερεοποίησις. "Οταν ψύχεται ἐνα ύγρον, ἀφαιρεῖται ἀπὸ αὐτὸ συνεχῶς θερμότης. Τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὅποιον ἀφαιρεῖται, ὑπολογίζεται εὐκολα, ἂν εἴναι γνωστὴ ἡ εἰδικὴ θερμοχωρητικότης. Μὲ τὴν ἀφαίρεσιν τῆς θερμότητος ἐλασττώνεται συνεχῶς ἡ θερμοκρασία τοῦ ύγρου μέχρις ἐνὸς ὅρίου, ὅπότε ἀρχίζει ἡ στερεοποίησις. Τὸ σημεῖον αὐτὸ λέγεται σημεῖον στερεοποίησεως ἢ σημεῖον πήξεως.

Εἰς τὸ σημεῖον στερεοποίησεως πραγματοποιεῖται ἡ ἀλλαγὴ καταστάσεως. Κατ' ἀρχὰς ἐμφανίζονται τὰ πρῶτα ἵχνη τοῦ στερεοποιημένου σώματος. "Οσον ἔξακολουθεῖ ἡ ἀφαίρεσις τῆς θερμότητος, τόσον αὔξανε τὸ ποσὸν τοῦ στερεοποιηθέντος ύγρου μέχρις ὀλικῆς στερεοποίησεως. Καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς ισοθλίπτου στερεοποίησεως, ὅσον συνυπάρχουν ύγρὸν καὶ στερεόν, ἡ θερμοκρασία μένει ἀμετάβλητος καὶ ἵση μὲ τὴν θερμοκρασίαν στερεοποίησεως. 'Η θερμότης, ἡ ὅποια ἀφαιρεῖται, μεταβάλλει τὸ ύγρὸν εἰς στερεόν, ὀλλὰ δὲν ἐλασττώνει τὴν θερμοκρασίαν τοῦ μίγματος.

Μόνον μετὰ τὴν στερεοποίησιν ὀλοκλήρου τῆς μάζης ἐμφανίζεται καὶ πάλιν ἐλαττωσις τῆς θερμοκρασίας.

Τὸ φαινόμενον λαμβάνει χώραν καὶ κατ' ἀντίθετον φοράν. "Οταν δηλαδὴ θερμαίνεται ἐνα κομμάτι πάγου, γίνεται νερό. Καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς μεταβολῆς τῆς καταστάσεως τοῦ στερεοῦ εἰς ύγρον, τῆς τήξεως ὅπως λέγεται, ἡ θερμοκρασία είναι πάλιν ἀμετάβλητος. 'Η θερμότης, ἡ ὅποια δίδεται, χρησιμοποιεῖται ἀποκλειστικὰ διὰ τὴν μεταβολὴν τῆς καταστάσεως καὶ δὲν παρατηρεῖται ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας. Μόνον μετὰ τὴν μετατροπὴν ὀλοκλήρου τῆς μάζης τοῦ πάγου εἰς ύγρὸν ἐμφανίζεται καὶ πάλιν αὐξησις τῆς θερμοκρασίας.

Τὰ φαινόμενα τῆς στερεοποίησεως τῶν ύγρῶν καὶ τῆς συμπυκνώσεως τῶν ἀτμῶν ἔχουν μεγάλας δύοισι τοις. Καὶ εἰς τὰς δύο μεταβολὰς ἐμφανίζεται ἀλλαγὴ καταστάσεως τοῦ σώματος. Τὸ σώμα μεταβαίνει ἀπὸ κατάστασιν μικροτέρας πυκνότητος πρὸς κατάστασιν

μεγαλυτέρας πυκνότητος ἐν γένει. Ἐξαίρεσιν ἀποτελεῖ π.χ. ἡ στερεοποιήσις τοῦ νεροῦ. Ὅπως εἰναι γνωστόν, διάπομπος, δηλαδὴ ἡ στερεὰ κατάστασις, ἔχει πυκνότητα μικροτέραν ἀπὸ τὴν ὑγρὰν κατάστασιν καὶ ἔτσι ἐπιπλέει.

Διὰ τὴν στερεοποιήσιν μάζης 1 kg ἐνδεικτικού σώματος πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ ἀπὸ τὸ σῶμα ποσὸν θερμότητος ἵσον μὲ τὴν θερμότητα στερεοποιήσεως. Διὰ νὰ γίνῃ ἐκ νέου ὑγρὸν τὸ στερεόν πρέπει νὰ δοθῇ εἰς αὐτὸν ἀκριβῶς τὸ αὐτὸν ποσὸν θερμότητος, τὸ διποίον λέγεται καὶ θερμότης τήξεως.

Ἡ σύγκρισις τῆς στερεοποιήσεως μὲ τὸ φαινόμενον τῆς συμπυκνώσεως τοῦ ἀτμοῦ δίδει τὴν ἔξτης δύντιστοιχίαν:

Θερμότης ἀτμοποιήσεως  $\longleftrightarrow$  Θερμότης τήξεως.

Θερμότης συμπυκνώσεως  $\longleftrightarrow$  Θερμότης στερεοποιήσεως.

Τόσον ἡ θερμότης στερεοποιήσεως ὅσον καὶ ἡ θερμοκρασία στερεοποιήσεως, ἔξαρτωνται ἀπὸ τὴν πίεσιν, ὑπὸ τὴν διποίαν γίνεται ἡ διλλαγὴ τῆς καταστάσεως, ἀκριβῶς ὅπως καὶ εἰς τὸ φαινόμενον τῆς ἀτμοποιήσεως.

### 3 · 4 Υπόψυκτον ὑγρόν.

Εἰς τὸ σχῆμα 3 · 4 α διακρίνονται δύο περιπτώσεις ὑγροῦ σώματος. Ἀριστερὰ εἰς τὸ σχῆμα 3 · 4 α (α) τὸ ὑγρόν, τὸ διποίον εἰναι εἰς τὸ δοχεῖον, εύρισκεται πάντοτε εἰς ἐπαφὴν μὲ τὸν ἀτμὸν τοῦ ίδιου σώματος, διόποιος γεμίζει τὸ ἄνω μέρος τοῦ δοχείου. Τὸ δοχεῖον δυνατὸν νὸν ἔχη μεγαλυτέραν ἢ μικροτέραν θερμοκρασίαν, πάντοτε δύμως θὰ ὑπάρχῃ ἀτμὸς ἐπάνω ἀπὸ τὸ ὑγρόν. Ὁ ἀτμὸς αὐτός, ἔὰν δὲν περιέχῃ σταγονίδια ὑγροῦ, ἐπειδὴ εύρισκεται εἰς ισορροπίαν μὲ τὸ ὑγρόν, λέγεται κεκορεσμένος ἀτμός. Ἀντιστοίχως τὸ ὑγρόν, τὸ διποίον εύρισκεται εἰς ισορροπίαν μὲ τὸν ἀτμόν, λέγεται κεκορεσμένον ὑγρόν.

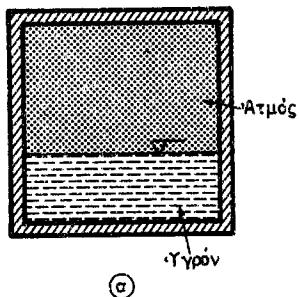
Εἰς τὸ σχῆμα 3 · 4 α (β) ἡ κατάστασις εἰναι διαφορετική. Ἐχομεν ἔνα δοχεῖον, μέσα εἰς τὸ διποίον εύρισκονται καὶ ισορροποῦν τὸ ὑγρόν καὶ διάπομπος. Εἰς τὸ δοχεῖον ἐπικρατεῖ μία σταθερὰ πίεσις καὶ προσδίδεται θερμότης, ἡ διποία προκαλεῖ ἀτμοποιήσιν τοῦ ὑγροῦ. Ἡ πίεσις ἀτμοποιήσεως τοῦ δοχείου καθορίζει τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως. Μέσα λοιπὸν εἰς τὸ δοχεῖον τὸ ὑγρόν καὶ

δ' ἀτμὸς ἔχουν τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως καὶ φυσικὰ τὸ ύγρὸν εἶναι κεκορεσμένον ύγρόν.

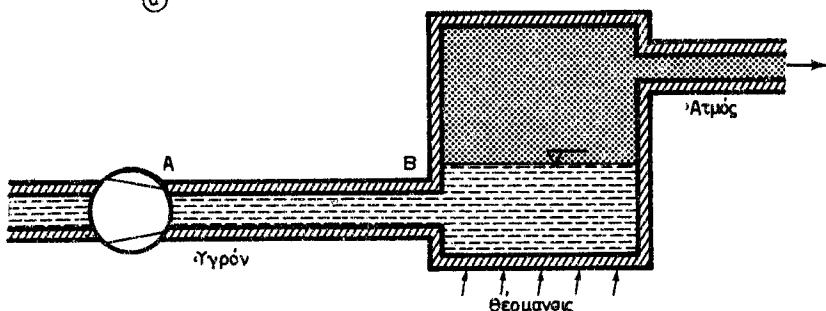
Τὸ δοχεῖον ἀτμοποιήσεως τροφοδοτεῖται συνεχῶς μὲν νέον ύγρὸν ἀπὸ τὸν σωλῆνα AB. Μέσα εἰς τὸν σωλῆνα AB, τὸ ύγρὸν ἔχει

μὲν τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως, ἀλλὰ θερμοκρασίαν μικροτέραν ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως. Ἐπὶ πλέον δέ, δὲν εύρισκεται καὶ εἰς ἐπαφὴν μὲν τὸν ἀτμόν.

Ύγρὸν ὡρισμένης πιέσεως, τὸ δοχεῖον ἔχει θερμοκρασίαν μικροτέραν τῆς θερμοκρασίας ἀτμοποιήσεως (ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν πιέσιν του), λέγεται ὑπόψυκτον ύγρόν.



(a)



(b)

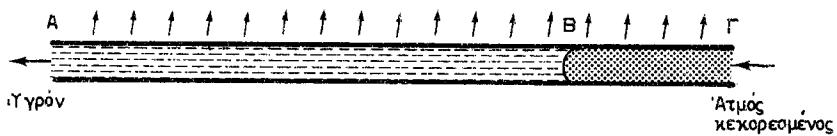
Σχ. 3.4 α.

- α) Τὸ ύγρὸν εύρισκεται πάντοτε εἰς ἐπαφὴν μὲν τὸν ἀτμὸν καὶ ἔχει τὴν ίδιαν θερμοκρασίαν. β) Τὸ ύγρὸν εἰς τὸν σωλῆνα AB ἔχει θερμοκρασίαν μικροτέραν ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως καὶ λέγεται ὑπόψυκτον ύγρόν.

Τὸ ύποψυκτον ύγρὸν δὲν εἶναι δυνατὸν ἐν γένει νὰ εύρισκεται εἰς ἐπαφὴν μὲν ἀτμὸν τοῦ ίδιου σώματος, διότι τότε θὰ ἥγτο κεκορεσμένον ύγρόν, θὰ εἴχε δηλαδὴ ὑψηλοτέραν θερμοκρασίαν διὰ τὴν αὐτὴν πίεσιν.

Εἰς τὸ σχῆμα 3.4β παρίσταται περίπτωσις ύποψυκτον ύγροῦ, ὅπως ἐμφανίζεται κατὰ τὴν συμπύκνωσιν ἀτμοῦ. Εἰς τὸ σημεῖον Γ εἰσέρχεται κεκορεσμένος ἀτμὸς καὶ ἀρχίζει ἡ συμπύκνωσις, διότι εἰς τὸ τμῆμα BG τοῦ σωλῆνος ἀφαιρεῖται θερμότης.

‘Ο ἀτμὸς συμπυκνώνεται καὶ τὸ συμπύκνωμα τρέχει εἰς τὸ κάτω μέρος τοῦ σωλήνος. Εἰς τὸ τμῆμα  $B\Gamma$  ἀτμὸς καὶ ύγρὸν εἶναι εἰς ἐπαφήν καὶ ύπαρχει ἴσορροπία. Τὸ ύγρὸν εἶναι κεκορεσμένον. ‘Η συμπύκνωσις τελείωνει εἰς τὸ σημεῖον  $B$ . Τὸ τμῆμα  $BA$  τοῦ σωλήνος περιέχει μόνον ύγρόν. Ἐπειδὴ ὅμως τὸ τμῆμα αὐτὸν ψύχεται, ἡ θερμοκρασία τοῦ ύγρου συνεχῶς κατέρχεται. ‘Η πίεσις ὅμως εἶναι ἡ ἴδια ὅπως καὶ εἰς τὸ τμῆμα  $B\Gamma$ , ὅπου γίνεται ἡ συμπύκνωσις.



Σχ. 3·4 β.

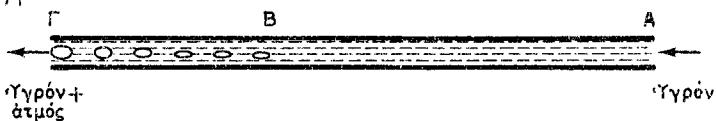
Συμπύκνωσις ἀτμοῦ εἰς τὸ τμῆμα  $B\Gamma$  καὶ υπόψυξις ύγρου εἰς τὸ τμῆμα  $BA$ .

Ἐτσι τὸ τμῆμα  $AB$  περιέχει ύγρὸν μὲν θερμοκρασίαν μικροτέραν τῆς θερμοκρασίας ἀτμοποιήσεως. Κατὰ συνέπειαν εἶναι υπόψυκτον ύγρόν.

Ἡ διάταξις τοῦ σχήματος 3·4 β ἐμφανίζεται σχεδὸν πάντοτε, ὅταν πραγματοποιῆται συμπύκνωσις ἀτμοῦ.

### 3·5 Στραγγαλισμὸς ύγροῦ.

Εἰς τὴν παράγραφον 2·6 ἀνεπτύχθη τὸ φαινόμενον τοῦ στραγγαλισμοῦ τῶν ἀερίων. Ἀνάλογον φαινόμενον παρατηρεῖται καὶ εἰς τὰ ύγρά.



Σχ. 3·5.

Στραγγαλισμὸς ύγροῦ εἰς τριχοειδὲς σωληνάκι. Εἰς τὸ σημεῖον  $B$  ἀρχίζει ἀτμοποιήσις τοῦ ύγρου.

Εἰς τὸ σχῆμα 3·5 παρίσταται ἔνας πολὺ λεπτὸς σωλήν (τριχοειδής), διὰ τοῦ ὃποίου ρέει ύγρόν. Ἡ ροή τοῦ ύγρου προκαλεῖ πτῶσιν τῆς πιέσεως του λόγω τῶν τριβῶν τῆς κινήσεως. Εἰς τὸ σημεῖον  $A$ , εἰς τὴν είσοδον, τὸ ύγρὸν ἔχει μεγάλην πίεσιν. Κατὰ τὴν κίνησίν του ὅμως πρὸς τὴν ἔξοδον  $\Gamma$  ἡ πίεσις γίνεται συνεχῶς μικροτέρα. Εἰς τὴν είσοδον  $A$  τὸ ύγρὸν εἶναι υπόψυκτον, ἔχει δηλαδὴ θερμοκρα-

σίαν μικροτέραν ἀπὸ αὐτήν, ἡ ὅποια ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως. Τὸ ἴδιον γεγονὸς δύναται νὰ διατυπωθῇ καὶ κατ' ἄλλον τρόπον, δηλαδὴ ἡ πίεσις εἰς τὴν εἴσοδον A εἶναι μεγαλύτερα ἀπὸ τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως, ἡ ὅποια ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν θερμοκρασίαν εἰσόδου.

Καθὼς κινεῖται τὸ ύγρὸν ἀπὸ τὸ A εἰς τὸ B καὶ ἡ πίεσις του συνεχῶς μειώνεται, ἐνῷ ἡ θερμοκρασία του μένει σταθερά, φθάνει εἰς ἔνα σημεῖον B, ὅπου ἡ πίεσις εἶναι τόση, ὥστε νὰ εἶναι ἵση μὲ τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως. Εἰς τὸ σημεῖον αὐτὸν B ἀρχίζει ἡ ἀτμοποίησις. Ἀπὸ τὸ σημεῖον B μέχρι τὴν ἔξοδον Γ ἡ ἀτμοποίησις προχωρεῖ συνεχῶς καὶ ἐμφανίζεται ὅλον καὶ μεγαλυτέρα ποσότης ἀτμοῦ. Ἐτοι εἰς τὸ τμῆμα BG τοῦ σωλῆνος ρέει μῆγμα ύγρου καὶ ἀτμοῦ.

Ἡ ὅλη ροή εἶναι ἀδιαβατική, δηλαδὴ οὔτε δίδεται οὔτε ἀποβάλλεται θερμότης. Ἐπειδὴ ὅμως εἰς τὸ B ἀρχίζει ἀτμοποίησις καὶ ἡ ἀτμοποίησις διὰ νὰ γίνῃ ἀπαιτεῖ τὴν πρόσδοσιν τῆς θερμότητος ἀτμοποιήσεως, πρέπει ἡ θερμότης αὐτὴ νὰ ἀφαιρεθῇ ἀπὸ κάπου.

Ἡ θερμότης αὐτὴ ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὸ ἴδιον τὸ σῶμα, τὸ ὅποιον ρέει καὶ διὰ τὸν λόγον αὐτὸν ἡ θερμοκρασία ἀπὸ τὸ B πρὸς τὸ Γ συνεχῶς κατέρχεται.

Εἰς τὴν διάταξιν λοιπὸν τοῦ σχήματος 3·5 ἐμφανίζεται ἡ ἔξῆς κατάστασις: Εἰς τὴν εἴσοδον τοῦ σωλῆνος A εἰσέρχεται ύγρὸν ὑψηλῆς πιεσεως καὶ ἡ θερμοκρασία μένει σταθερά μέχρι τοῦ σημείου B, ὅπου ἀρχίζει ἡ ἀτμοποίησις. Εἰς τὸ τμῆμα AB μειώνεται μόνον ἡ πίεσις. Ἀπὸ τὸ σημεῖον B ἀρχίζει ἡ ἀτμοποίησις καὶ κατέρχεται συνεχῶς ἡ θερμοκρασία μέχρι τῆς ἔξοδου Γ, ἀλλὰ βεβαίως μειώνεται καὶ ἡ πίεσις.

Εἰς τὸ τμῆμα BG ἐμφανίζεται ἀτμοποίησις καὶ παρ' ὅλα αὐτὰ ἡ θερμοκρασία δὲν μένει σταθερά. Τὸ γεγονὸς διφέλεται εἰς τὴν μεταβολήμενην πίεσιν. Μόνον εἰς ἀτμοποίησιν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἡ θερμοκρασία μένει σταθερὰ καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς ἀτμοποιήσεως.

### Παράδειγμα.

Ψυκτικὸν μέσον 12 εἰσέρχεται εἰς τὴν εἴσοδον A τοῦ σωλῆνος τοῦ σχήματος 3·5 μὲ θερμοκρασίαν  $30^{\circ}\text{C}$  καὶ πίεσιν μανομετρικήν  $15 \text{ kp/cm}^2$ , ἐξέρχεται δὲ ἀπὸ τὴν ἔξοδον Γ μὲ θερμοκρασίαν  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Ποία ή πίεσις είς τὴν ἔξοδον καὶ εἰς ποίαν πίεσιν ἀρχίζει η ἀτμοποίησις;

Λύσις:

Άπό τὸν Πίνακα 3·2·2 εἰς θερμοκρασίαν  $-30^{\circ}\text{C}$  ἀντιστοιχεῖ ἀπόλυτος πίεσις  $1,025 \text{ kp/cm}^2$ . Συνεπῶς η μανομετρική πίεσις εἰς τὴν ἔξοδον θὰ είναι περίπου  $1,025 - 1,0 = 0,025 \text{ kp/cm}^2$ . Η ἀτμοποίησις ἀρχίζει εἰς τὴν θέσιν, ὅπου η πίεσις είναι ἵση μὲ τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως τῶν  $30^{\circ}\text{C}$ . Άπό τὸν Πίνακα 3·2·2 η πίεσις αὐτῇ είναι  $7,58 \text{ kp/cm}^2$  (ἀπόλυτος πίεσις) ή  $7,58 - 1 = 6,58 \text{ kp/cm}^2$  (μανομετρική πίεσις).

### 3·6 Συμπύκνωσις.

Εἰς τὴν παράγραφον 3·1 ἔξητάσθη η ἀτμοποίησις. Η συμπύκνωσις είναι τὸ ἀντίστροφον φαινόμενον. Κατ' αὐτήν, δικορεσμένος ἀτμὸς ἐνὸς σώματος ἀποβάλλει θερμότητα (ψύχεται) καὶ ὡς ἐκ τούτου ἀλλάσσει κατάστασιν καὶ γίνεται ύγρον. Συνήθως η συμπύκνωσις γίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ συνεπῶς ταυτοχρόνως καὶ ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν.

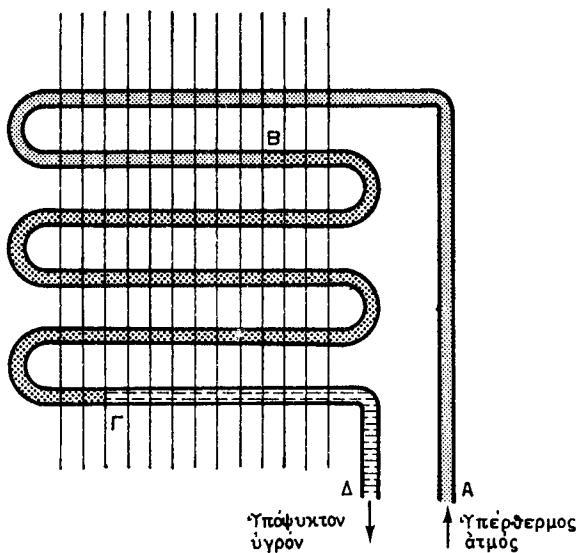
Δυνατὸν νὰ ἐμφανίζεται εἰς κλειστὸν η εἰς ἀνοικτὸν σύστημα. Εἰς τὰς τεχνικὰς ἐφαρμογὰς ἐνδιαφέρον παρουσιάζει σχεδὸν ἀποκλειστικῶς η συμπύκνωσις εἰς ἀνοικτὸν σύστημα.

Η συμπύκνωσις γίνεται μέσα εἰς μίαν διάταξιν, ποὺ ὁνομάζεται συμπυκνωτής. Συνήθως δι συμπυκνωτής είναι ἕνας η περισσότεροι παράλληλοι σωλῆνες, οἱ διποῖοι ψύχονται μὲ ἀέρα, νερὸ η ἄλλο ύγρον, ἀναλόγως τοῦ εἰδους τῆς ἐγκαταστάσεως.

Εἰς τὴν εἰσόδον τοῦ συμπυκνωτοῦ δι ἀτμὸς σπανίως είναι κεκορεσμένος. Εἴτε είναι ύπερθερμος εἴτε ύγρος. Ἐπὶ παραδείγματι, εἰς ψυκτικὰς ἐγκαταστάσεις μὲ συμπιεστήν δι ἀτμὸς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου εἰς τὴν εἰσόδον τοῦ συμπυκνωτοῦ είναι ύπερθερμος. Ἀντιθέτως, εἰς τὴν εἰσόδον τοῦ συμπυκνωτοῦ ἐνὸς ἀτμοτλεκτρικοῦ σταθμοῦ, δι ἀτμὸς είναι συνήθως ύγρος.

Εἰς τὸ σχῆμα 3·6 παρίσταται ἀπλοῦς μικρὸς συμπυκνωτής ψυκτικῆς ἐγκαταστάσεως οἰκιακοῦ ψυγείου. Ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓνα σωλῆνα καὶ ἔχει ἔξωτερικῶς πτερύγια η σύρματα διὰ νὰ αὐξηθῇ η ἐπιφάνειά του καὶ νὰ γίνεται καλύτερα η ἀποβολὴ τῆς θερμότητος.

Ο άτμος, δ ὅποιος εἰσέρχεται εἰς τὴν θέσιν Α, εἶναι ὑπέρθερμος. Ἀποβάλλει συνεχῶς θερμότητα καὶ ψύχεται συνεχῶς μέχρι τοῦ σημείου Β, δῆποι ἀρχίζει ἡ συμπύκνωσις. Ἡ συμπύκνωσις διαρκεῖ μέχρι τοῦ σημείου Γ. Ἀπὸ τὸ σημεῖον Γ μέχρι καὶ τὴν ἔξοδον Δ τὸ ὑγρὸν ψύχεται καὶ τελικῶς ἐξέρχεται εἰς ὑπόψυκτον κατάστασιν.



Σχ. 3·6.

Συμπυκνωτής οἰκιακοῦ ψυγείου:  $AB = \text{Ψύξις ύπερθέρμου άτμοῦ}$ ,  $BΓ = \text{συμπύκνωσις}$  καὶ  $ΓΔ = \text{ὑπόψυξις ύγρου}$ .

Ἡ πίεσις εἰς ὅλον τὸν συμπυκνωτὴν εἶναι περίπου σταθερά, διότι δ σωλήνη εἶναι ἀρκετά μεγάλος, ὥστε ἡ ἀντίστασις κινήσεως, καὶ συνεπῶς ἡ πτῶσις πιέσεως, νὰ μένῃ μικρή. Συνεπῶς τὸ φαινόμενον εἶναι συμπύκνωσις ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Εἰς τὸ τμῆμα  $BΓ$  λαμβάνει χώραν ἡ συμπύκνωσις ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ συνεπῶς ἡ θερμοκρασία μένει σταθερά. Τὸ ἄνω ὅμως μέρος τοῦ συμπυκνωτοῦ  $BA$  ἔχει ὑπέρθερμον άτμὸν καὶ συνεπῶς ἡ θερμοκρασία του εἶναι μεγαλυτέρα ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν συμπυκνώσεως(ἀτμοποιήσεως). Ἀντιθέτως, τὸ κάτω μέρος  $ΓΔ$  ἔχει τὸ ὑπόψυκτον ύγρον. Ἡ θερμοκρασία τοῦ τμήματος αὐτοῦ εἶναι μικροτέρα τῆς θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.

Ἄπο τὸν συμπυκνωτὴν τοῦ σχήματος 3·6 ἀποβάλλονται τελικῶς τρία ποσά θερμότητος, τὰ ἔξης:

- α) θερμότης ὑπερθερμάνσεως (Τμῆμα ΑΒ),
- β) θερμότης συμπυκνώσεως (Τμῆμα ΒΓ) καὶ
- γ) θερμότης ὑποψύξεως (Τμῆμα ΓΔ).

Τὸ μεγαλύτερον μέρος ἔξ ὅλων εἶναι τὸ β), συνεπῶς τὸ τμῆμα ΒΓ ἔχει καὶ τὴν μεγαλυτέραν ἐπιφάνειαν (μῆκος).

Μεγάλαι ἔγκαταστάσεις ἔχουν συμπυκνωτάς διαφορετικῆς κατασκευῆς. Ἡ θερμοδυναμική των ὅμως λειτουργία εἶναι ἡ ίδια, σκοπός των δηλαδὴ εἶναι ἡ ἀποβολὴ τῶν τριῶν ποσῶν θερμότητος, τὰ ὄποια ἀνεφέρθησαν.

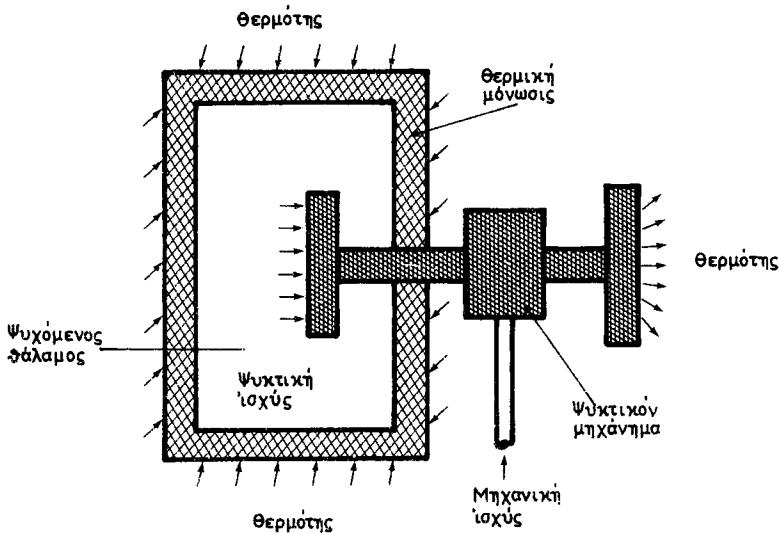
## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ν 4

### ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

#### 4.1 Ψυκτική Ισχύς.

Συνήθης έφαρμογή των ψυκτικών διαστάξεων είναι ή δημιουργία χαμηλῶν θερμοκρασιῶν μέσα εἰς ψυχομένους θαλάμους.

Εις τὸ σχῆμα 4.1 δίδεται ή διάταξις μιᾶς παρομοίας έφαρμογῆς. ‘Υπάρχει ἔνας ψυχόμενος θάλαμος, εἰς τὸν δόποῖον ή θερμοκρασία πρέπει νὰ διατηρῆται χαμηλή. Ο θάλαμος ἔχει εἰς τὰ τοιχώματά του



Σχ. 4.1.

Σχηματική παράστασις ψυκτικῆς ἐγκαταστάσεως.

θερμικὴν μόνωσιν καὶ ὡς ἐκ τούτου εἰσέρχεται σχετικῶς μικρὸν ποσὸν θερμότητος ἀπὸ τὸ περιβάλλον. Ἐπειδὴ ὅμως ή μόνωσις δὲν είναι τελεία, ὅσον καλὴ καὶ ἄν είναι, ὑπάρχει πάντοτε ἔνα ρεῦμα θερμότητος ἀπὸ τὸ περιβάλλον πρὸς τὸ ἐσωτερικὸν τοῦ θαλάμου. Τὸ ρεῦμα αὐτὸς είναι ἀναπόφευκτον, διότι ὑπάρχει διαφορὰ θερμοκρασίας λόγω τῆς χαμηλῆς θερμοκρασίας τοῦ θαλάμου.

Διὰ νὰ διατηρηθῇ ἡ χαμηλή θερμοκρασία εἰς τὸν θάλαμον πρέπει νὰ ἀπομακρύνεται συνεχῶς ἡ θερμότης, ποὺ εἰσέρχεται. Ἐπὶ πλέον πρέπει νὰ ἀπομακρύνωνται καὶ ἄλλα ποσὰ θερμότητος, τὰ δόποια τυχὸν δημιουργοῦνται μέσα εἰς τὸν θάλαμον. Ἐπὶ παραδείγματι, λυχνίαι φωτισμοῦ, ἀνεμιστῆρες, ἡλεκτρικαὶ ἀντιστάσεις ἀποψύξεως, κ.λπ. δημιουργοῦν πρόσθετα ποσὰ θερμότητος μέσα εἰς τὸν ἕδιον τὸν θάλαμον, ποὺ πρέπει νὰ ἀπάγωνται.

Ἡ ἀπομάκρυνσις δλων αὐτῶν τῶν ποσῶν θερμότητος ἀπὸ τὸν ψυχόμενον θάλαμον εἶναι ἔργον τῆς ψυκτικῆς διατάξεως.

Ἡ ψυκτικὴ διάταξις «ἀντλεῖ» τὴν θερμότητα ἀπὸ τὸν χῶρον χαμηλῆς θερμοκρασίας τοῦ θαλάμου καὶ τὴν ἀπορρίπτει εἰς τὸν χῶρον ὑψηλῆς θερμοκρασίας, συνήθως εἰς τὸ περιβάλλον.

Οταν ἡ ψυκτικὴ διάταξις λειτουργῇ, τότε ἔνα ώρισμένον ποσὸν θερμότητος ἀνὰ μονάδα χρόνου «ἀντλεῖται» ἀπὸ τὴν χαμηλήν θερμοκρασίαν. Αὐτὸ ἀκριβῶς τὸ ἀνὰ μονάδα χρόνου ἀντλούμενον ποσὸν θερμότητος λέγεται ψυκτικὴ ἰσχύς.

Ἡ ψυκτικὴ ἰσχύς μετρεῖται προφανῶς μὲ:

	<u>μονάδας θερμότητος</u>
	ἀνὰ μονάδα χρόνου
δηλαδὴ εἰς	kcal/h    ή    W    ή    kW    ή    BTU/h
ἰσχύουν	1 kcal/h = 3,97 BTU/h
	1 kcal/h = 1,16 W
ή	1000 kcal/h = 1,16 kW.

Συνήθως χρησιμοποιεῖται καὶ μία ἄλλη μονάς μετρήσεως τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος, ὁ ψυκτικὸς τόννος.

Ἡ μονὰς αὐτὴ ἔχει τὴν ἔξτη ἀντιστοιχίαν πρὸς τὰς γνωστὰς μονάδας:

1 ψυκτικὸς τόννος = 12 000 BTU/h = 200 BTU/min    ή

1 ψυκτικὸς τόννος = 3,52 kW.

Οπως ἥδη ἀνεφέρθη, ἡ ψυκτικὴ ἰσχύς προσδίδεται εἰς τὴν ψυκτικὴν διάταξιν, ἡ ὅποια τὴν ἀπορρίπτει τελικῶς εἰς τὸ περιβάλλον. Σημαντικὸν χαρακτηριστικὸν στοιχεῖον τῆς ψυκτικῆς διατάξεως εἶναι ἡ θερμοκρασία, εἰς τὴν δποίαν «παράγεται» ἡ ψυκτικὴ ἰσχύς.

Έπι παραδείγματι, ένα κοινὸν οίκιακὸν ψυγεῖον χωρὶς ίσχυρὸν κατάψυξιν ἔχει ψυκτικὴν ίσχὺν 100 έως 150 W. Η ίσχὺς αὐτὴν παράγεται εἰς θερμοκρασίαν – 10 °C. Εάν δημως ἡ ίδια διάταξις λειτουργῇ ὑπὸ χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν, π.χ. διὰ θάλασμον κατεψυγμένων, τότε ἡ ψυκτικὴ ίσχὺς θὰ εἶναι πολὺ μικρότερα καὶ ίσως νὰ μὴ εἶναι οὔτε 50 W. Ο λόγος τῆς μειώσεως θὰ ἔξηγηθῇ εἰς ἐπομένας παραγράφους.

Τονίζεται λοιπὸν ὅτι, πρέπει νὰ ἀναφέρεται πάντοτε ἡ θερμοκρασία, εἰς τὴν ὅποιαν ὑπολογίζεται ἡ ψυκτικὴ ίσχὺς μιᾶς διατάξεως. Όσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία, τόσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ ψυκτικὴ ίσχὺς καὶ ἀντιθέτως.

#### 4.2 Απορριπτομένη θερμότης.

Εἰς τὸ σχῆμα 4.1 ἐδόθη σχηματικῶς μία συνήθης ψυκτικὴ διάταξις. "Οπως ἡδη ἀνεφέρθη, ἡ ψυκτικὴ ίσχὺς προσδίδεται εἰς τὴν ψυκτικὴν διάτοξιν εἰς τὸ τμῆμα χαμηλῆς θερμοκρασίας αὐτῆς. Η θερμότης δημως αὐτὴ «ἀντλεῖται» ἀπὸ τὸν ψυχόμενον χῶρον καὶ ἀπορρίπτεται εἰς τὸ περιβάλλον, ὅπου ἐπικρατεῖ ὑψηλοτέρα θερμοκρασία. Γεννᾶται δημως τὸ ἔρωτημα: Τί ποσὸν θερμότητος ἀποβάλλεται εἰς τὸν χῶρον ὑψηλῆς θερμοκρασίας; Εἶναι ίσον μὲ τὴν ψυκτικὴν ίσχὺν ἢ ὅχι;

Η ἀπάντησις δύναται νὰ δοθῇ μὲ τὴν βοήθειαν τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος. Εἰς τὸ σχῆμα 4.1 ἡ ψυκτικὴ διάταξις παραλαμβάνει ἀφ' ἐνδὸς μὲν τὴν ψυκτικὴν ίσχύν, ἀφ' ἐτέρου δὲ τὴν μηχανικὴν ίσχύν, ἡ δποία κινεῖ τὸν συμπιεστήν.

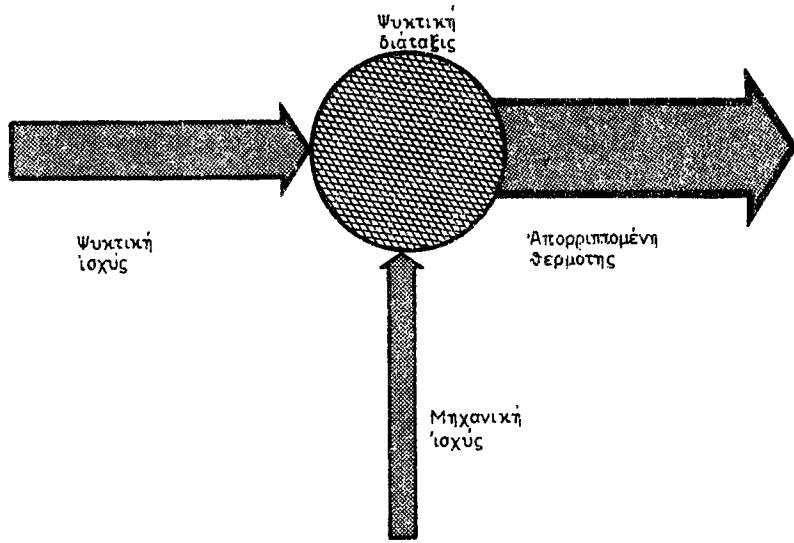
Αὐτό, τὸ δποίον ἀποβάλλει εἰς τὸ περιβάλλον, εἶναι τελικῶς τὸ διθροισμα τῶν δύο αὐτῶν ποσοτήτων, διότι μέσα εἰς τὴν ψυκτικὴν διάταξιν οὔτε δημιουργεῖται οὔτε χάνεται ἐνέργεια.

Τὸ σχῆμα 4.2 εἶναι μία γραφικὴ παράστασις τοῦ γεγονότος αὐτοῦ.

Η μηχανικὴ ἐνέργεια, ἡ δποία κινεῖ τὸν συμπιεστήν, μετατρέπεται καὶ αὐτὴ εἰς θερμότητα, προστίθεται εἰς τὴν ψυκτικὴν ίσχύν καὶ τελικῶς ἀπορρίπτονται μαζὶ εἰς τὸν χῶρον τῆς ὑψηλῆς θερμοκρασίας.

Η μηχανικὴ ἐνέργεια εἶναι ἀπαραίτητος διὰ τὴν λειτουργίαν τῆς ἐγκαταστάσεως. Χωρὶς αὐτὴν εἶναι ἀδύνατον νὰ μεταφερθῇ

ποσὸν θερμότητος ἀπὸ χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν εἰς ὑψηλοτέραν.



Σχ. 4.2.

Η ἀπορριπτομένη θερμότης ισοῦται μὲ τὸ ἀθροισμα τῆς ψυκτικῆς καὶ τῆς μηχανικῆς ίσχύος.

#### Παραδείγματα.

1. Οἰκιακὸν ψυγεῖον ἡλεκτρικῆς ίσχύος 200 W παράγει ψυκτικὴν ίσχὺν 100 W. Τί ποσὸν θερμότητος ἀπορρίπτει;

Λύσις:

Η ἀπορριπτομένη θερμότης εἶναι τὸ ἀθροισμα τῆς ψυκτικῆς ίσχύος καὶ τῆς ἡλεκτρικῆς ίσχύος. Άρα ἀπορρίπτεται θερμότης:

$$200 + 100 = 300 \text{ W}.$$

2. Ψύκτης ὕδατος κλιμαστιστικῆς συσκευῆς ἔχει ψυκτικὴν ίσχὺν 10 ψυκτικῶν τόνων καὶ κινητῆρα 12 ἵππων. Ποιὸν τὸ ποσὸν θερμότητος πού ἀπορρίπτεται;

Λύσις:

Η ἀπορριπτομένη θερμότης εἶναι τὸ ἀθροισμα τῆς ψυκτικῆς ίσχύος καὶ τῆς μηχανικῆς ίσχύος, δηλαδή:

$$10 \text{ ψυκτ. τόν.} = 35,20 \text{ kW}$$

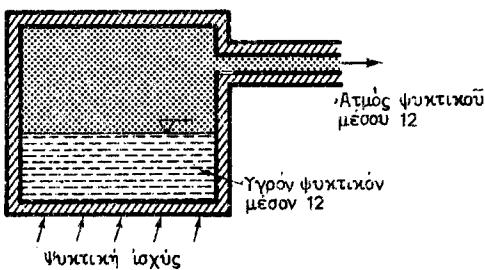
$$12 \text{ ἵπποι: } 12 \times 0,736 = 8,86 \text{ kW}$$

$$\text{Άπορριπτομένη θερμότης} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 44,06 \text{ kW.}$$

‘Η άπορριπτομένη θερμότης όποδιδεται είς τὸν ἀέρα τοῦ περιβάλλοντος ἢ εἰς τὸ ὄνδωρ ψύξεως τῆς συσκευῆς (ἐὰν εἴναι ὄνδρόψυκτος) ἢ καὶ εἰς τὰ δύο.

#### 4.3 Ψυκτικός κύκλος.

‘Απλουστάτη μέθοδος παραγωγῆς ψυκτικῆς ίσχύος είναι ἡ τοῦ σχήματος 4·3 α. Κλειστὸν δοχεῖον περιέχει ἔνα ὑγρὸν ψυκτικὸν μέσον, ἐπὶ παραδείγματι ψυκτικὸν μέσον 12, ποὺ συγκοινωνεῖ ὅμως μὲ τὴν ἀτμόσφαιραν μὲ λεπτὸν σωλῆνα. ‘Η πίεσις τοῦ ἀτμοῦ μέσα εἰς τὸ δοχεῖον είναι ἵση μὲ τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν. Εἰς τὸ



Σχ. 4.3 α.

Στοιχειώδης διάταξις ψύξεως, δι' ἀτμοποιήσεως ψυκτικοῦ μέσου 12.

Ὕγρὸν προσδίδεται θερμότης ἀπὸ τὸ περιβάλλον καὶ οὕτως ἀτμοποιεῖται. ‘Η ἀνὰ μονάδα χρόνου προσδιδομένη θερμότης είναι βεβαίως ἡ ψυκτικὴ ίσχύς τῆς ἐγκαταστάσεως. ‘Η θερμοκρασία τῆς ἀτμοποιήσεως ρυθμίζεται ὀπὸ τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως. ‘Ως ἡδη ἀνεφέρθη, ἡ πίεσις αὐτὴ είναι ἵση μὲ τὴν ἀτμοσφαιρικήν. Ἐὰν χρησιμοποιῆται ψυκτικὸν μέσον 12, τότε ἀπὸ τὸν Πίνακα 3·2·2 προκύπτει θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως ἵση περίπου μὲ –30 °C.

‘Η διάταξις αὐτὴ είναι ἀπλουστάτη καὶ θεωρητικῶς δύναται νὰ χρησιμοποιηθῇ. ‘Εχει ὅμως ἔνα οἰκονομικὸν μειονέκτημα: ‘Η λειτουργία της διαρκεῖ τόσον μόνον, ὃσον ὑπάρχει ἀκόμη ὑγρὸν ψυκτικὸν μέσον. Μόλις ἀτμοποιηθῇ ὅλον τὸ ὑγρόν, ἡ διάταξις παύει νὰ λειτουργῇ. Φυσικὰ είναι δυνατόν νὰ τοποθετηθῇ νέα ποσότης ψυκτικοῦ μέσου. Τὸ μέσον ὅμως στοιχίζει χρήματα καὶ δι' αὐτὸν ἡ λειτουργία αὐτῆς τῆς διατάξεως είναι ἀσύμφορος.

‘Επομένως πρέπει νὰ ἔξευρεθῇ ἔνας τρόπος, ὁ δόποιος νὰ ἐπιτρέπῃ τὴν ἐκ νέου χρησιμοποίησιν τοῦ ἡδη ἀτμοποιηθέντος ψυκτικοῦ

μέσου. Αἱ διάφοροι ψυκτικαὶ διατάξεις καὶ οἱ θερμοδυναμικοὶ κύκλοι λειτουργίας αὐτῶν, εἰς αὐτὸν ἀκριβῶς τὸν σκοπὸν ἀποβλέπουν, δηλαδὴ εἰς τὴν ἐπαναχρησιμοποίησιν τοῦ ἀτμοποιηθέντος ψυκτικοῦ μέσου.

Διὰ νὰ χρησιμοποιηθῇ καὶ πάλιν ὁ ἀτμὸς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, θὰ πρέπει πρῶτα νὰ γίνῃ ἐκ νέου ὑγρόν, δηλαδὴ θὰ πρέπει νὰ λάβῃ χώραν συμπτύκνωσις τοῦ ἀτμοῦ. Διὰ νὰ γίνῃ ὅμως συμπτύκνωσις ἀτμοῦ, χρειάζεται νὰ ἀπορριφθῇ ἡ θερμότης συμπτυκνώσεως πρὸς τὸ περιβάλλον. Ἡ ἀπόρριψις αὐτὴ θὰ γίνη θεωρητικῶς εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ περιβάλλοντος.

Ὥστε:

Θεωρητικῶς:      || 'Ἡ θερμοκρασία περιβάλλοντος καθορίζει τὴν πίεσιν συμπυκνώσεως.

Ἡ θερμοκρασία ὅμως τοῦ περιβάλλοντος εἶναι βεβαίως μεγαλύτερα τῆς θερμοκρασίας παραγωγῆς τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος. Συνεπῶς καὶ ἡ πίεσις συμπυκνώσεως, ἡ ὅποια καθορίζεται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν συμπυκνώσεως (συνάρτησις θερμοκρασίας περιβάλλοντος), εἶναι μεγαλυτέρα τῆς πιέσεως ἀτμοποιήσεως.

Εἰς τὴν ψυκτικὴν διάταξιν, λοιπόν, ὑπάρχουν δύο περιοχαὶ μὲν διαφορετικὰς πιέσεις, τὴν ὑψηλὴν καὶ τὴν χαμηλὴν πίεσιν.

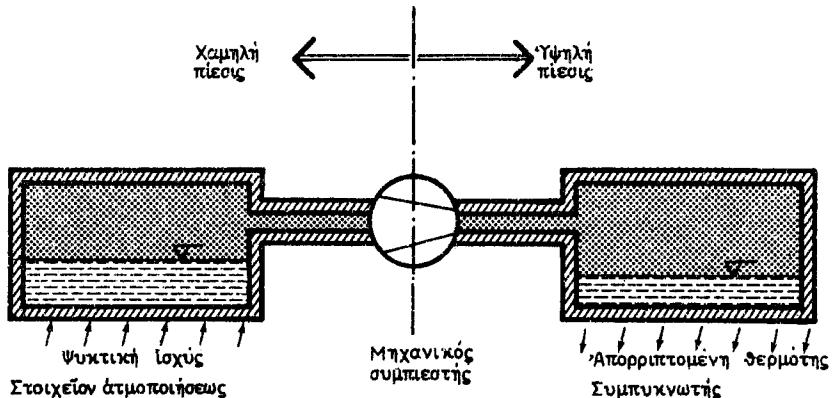
'Ἡ ὑψηλὴ πίεσις καθορίζεται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν συμπυκνώσεως.  
'Ἡ χαμηλὴ πίεσις καθορίζεται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως.

Διὰ νὰ κινηθῇ ὁ ἀτμὸς ἀπὸ τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως, ὅπου ἐπικρατεῖ χαμηλὴ πίεσις, πρὸς τὸν συμπυκνωτήν, ὃπου ἐπικρατεῖ ὑψηλὴ πίεσις, χρειάζεται νὰ ὑπάρξῃ κάποια κατάλληλος διάταξις κινήσεως. Ἡ διάταξις αὐτὴ εἶναι συνήθως ἕνας μηχανικὸς συμπιεστής.

Εἰς τὸ σχῆμα 4. 3 β δίδεται μία παράστασις τῆς ἀνωτέρω διατάξεως. Ὁ ἀτμός, ὁ ὅποιος παράγεται εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως, ὀναρροφεῖται ἀπὸ τὸν συμπιεστήν καὶ καταθλίβεται εἰς τὸν συμπυκνωτήν. Ἡ διάταξις ὅμως τοῦ σχήματος 4. 3 β δὲν εἶναι ἀκόμη πλήρης. "Οταν ἀτμοποιηθῇ ὅλον τὸ ὑγρὸν εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως, παύει νὰ ὑπάρχῃ ψυκτικὴ ἰσχύς.

'Ο ἀτμὸς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου ἔχει μὲν ὑγροποιηθῇ καὶ πάλιν

είς τὸν συμπυκνωτήν, ἀλλὰ δὲν ἔχει ἐπιστρέψει εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως. Πρέπει συνεπῶς ἢ διάταξις τοῦ σχήματος 4.3β νὰ συμπληρωθῇ καὶ ἄλλο, ώστε νὰ ἐπιτυγχάνεται ἡ ἐπιστροφὴ αὐτῆς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου.



Σχ. 4.3 β.

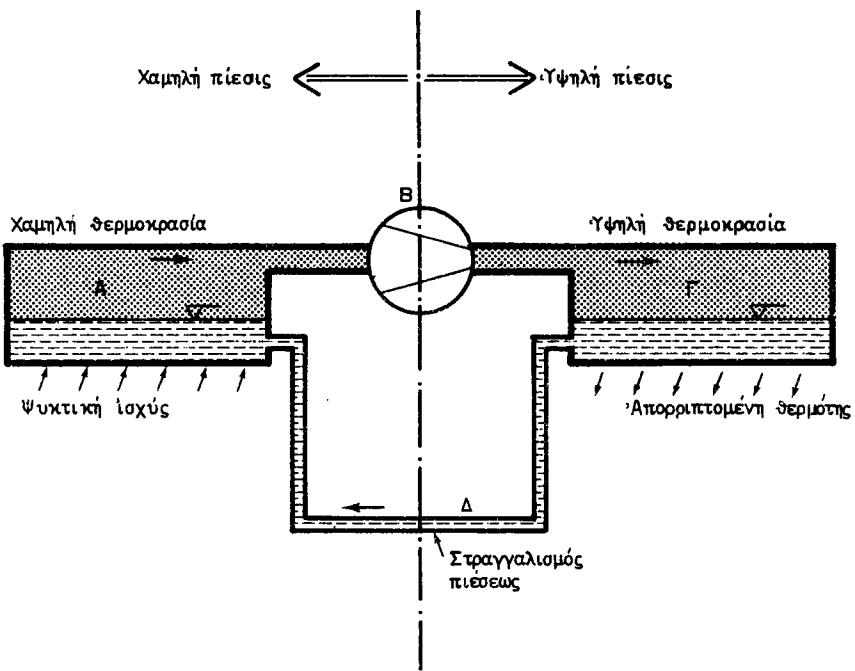
Τμῆμα ψυκτικῆς διατάξεως μηχανικῆς συμπιέσεως ἀτμοῦ.

Ἡ ροή τοῦ ὑγροῦ ψυκτικοῦ μέσου ἀπὸ τὸν συμπυκνωτήν πρὸς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως δὲν παρουσιάζει οὐδεμίαν δυσκολίαν, διότι ὑπάρχει ἡ διαφορὰ πιέσεως, τὴν ὅποιαν δημιουργεῖ ὁ συμπιεστής. Εἰς τὸν συμπυκνωτήν ἐπικρατεῖ ἡ ύψηλὴ πίεσις συμπυκνώσεως καὶ εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως ἡ χαμηλὴ πίεσις ἀτμοποιήσεως. Συνεπῶς, ἀν τοποθετηθῇ ἔνας σωλὴν μεταξὺ τῶν δύο τμημάτων, τότε τὸ ὑγρὸν θὰ ρέῃ ἀπὸ μόνον του.

Ἡ διατομὴ καὶ τὸ μῆκος ὅμως τοῦ σωλῆνος αὐτοῦ πρέπει νὰ είναι κατάλληλα διὰ τὸ μέγεθος τῆς ἐγκαταστάσεως. Ἐὰν δὲ σωλὴν είναι μεγάλης διαμέτρου, τότε τὸ ὑγρὸν θὰ φεύγῃ εὔκολα ἀπὸ τὸν συμπυκνωτήν πρὸς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως καὶ ἐν συνεχείᾳ θὰ περνᾶ καὶ ἀτμὸς πρὸς αὐτό. Τοῦτο φυσικὰ είναι ἀπαράδεκτον, διότι δὲ ἀτμὸς θὰ συμπυκνώνεται εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως καὶ ὅχι εἰς τὸν συμπυκνωτήν καὶ ἔτσι καταστρέφεται ἡ ψυκτικὴ ἴσχυς.

Ἄν ἀπεναντίας δὲ σωλὴν είναι πολὺ μικρῆς διατομῆς, τότε θὰ περνᾶ πολὺ λίγο ὑγρὸν πρὸς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως καὶ θὰ παρατηρῆται σύσσωρευσις τοῦ ὑγροῦ ψυκτικοῦ μέσου μόνον εἰς τὸν

συμπυκνωτήν, μὲν άποτέλεσμα νὰ μένη κενὸν ύγροῦ τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτῆν φυσικά δὲν θὰ παράγεται ψυκτική ίσχύς, διότι δὲν θὰ γίνεται ἀτμοποίησις.



Σχ. 4·3 γ.

Ψυκτική διάταξις μηχανικῆς συμπιέσεως ἀτμοῦ:  $\Lambda$  = Στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως.  $B$  = Μηχανικὸς συμπιεστής.  $\Gamma$  = Συμπυκνωτής.  $\Delta$  = Διάταξις στραγγαλισμοῦ πιέσεως.

Εἰς τὸ σχῆμα 4·3 γ παρίσταται μία πλήρης ψυκτικὴ διάταξις μηχανικῆς συμπιέσεως ἀτμοῦ. Περιλαμβάνει τέσσαρα κύρια μέρη, τὰ κάτωθι:

- Στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως.
- Μηχανικὸν συμπιεστήν.
- Συμπυκνωτήν καὶ
- διάταξιν στραγγαλισμοῦ πιέσεως.

Ἡ λειτουργία της εἶναι προφανής, διότι ἔχουν ἡδη ἀναφερθῆ

δλα τὰ σχετικά μὲ τὰ ἐπὶ μέρους στοιχεῖα. Κατωτέρω δίδεται μία σύντομος ἀνακεφαλαίωσις.

α) *Στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως*: Παράγει τὴν ψυκτικὴν ἰσχὺν δι’ ἀτμοποιήσεως τοῦ ὑγροῦ ψυκτικοῦ μέσου.

β) *Μηχανικός συμπιεστής*: Ἀναρροφεῖ τὸν ἀτμὸν ἀπὸ τὴν χαμηλὴν πίεσιν τοῦ στοιχείου ἀτμοποιήσεως καὶ τὸν συμπιέζει εἰς τὴν ὑψηλὴν πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ.

γ) *Συμπυκνωτής*: Ὑγροποιεῖ πάλιν τὸν ἀτμὸν τοῦ ψυκτικοῦ μέσου.

δ) *Διάταξις στραγγαλισμοῦ πιέσεως*: Ὁδηγεῖ τὸ ὑγρὸν ψυκτικὸν μέσον ἀπὸ τὴν ὑψηλὴν πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν τοῦ στοιχείου ἀτμοποιήσεως.

Ἡ λειτουργία τῆς διατάξεως στραγγαλισμοῦ πιέσεως ἔχει ἥδη περιγραφῇ εἰς τὴν παράγραφον 3 · 5. Εἰς μεγαλύτερας ἐγκαταστάσεις ἢ διάταξις στραγγαλισμοῦ πιέσεως δὲν είναι τριχοειδῆς σωλήνας ἀλλὰ βαλβίς καταλήλου διαμορφώσεως.

Τὸ ψυκτικὸν μέσον, ὅταν διατρέχῃ τὰ διάφορα μέρη τῆς ἐγκαταστάσεως, ὑφίσταται διαδοχικάς μεταβολὰς καὶ τελικῶς καταλήγει καὶ πάλιν εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν. Ἐτσι διαγράφει ἔνα κύκλου μεταβολῶν καὶ φυσικὰ καὶ ἔνα θερμοδυναμικὸν κύκλον. Αἱ ἐπὶ μέρους μεταβολαὶ είναι αἱ κάτωθι:

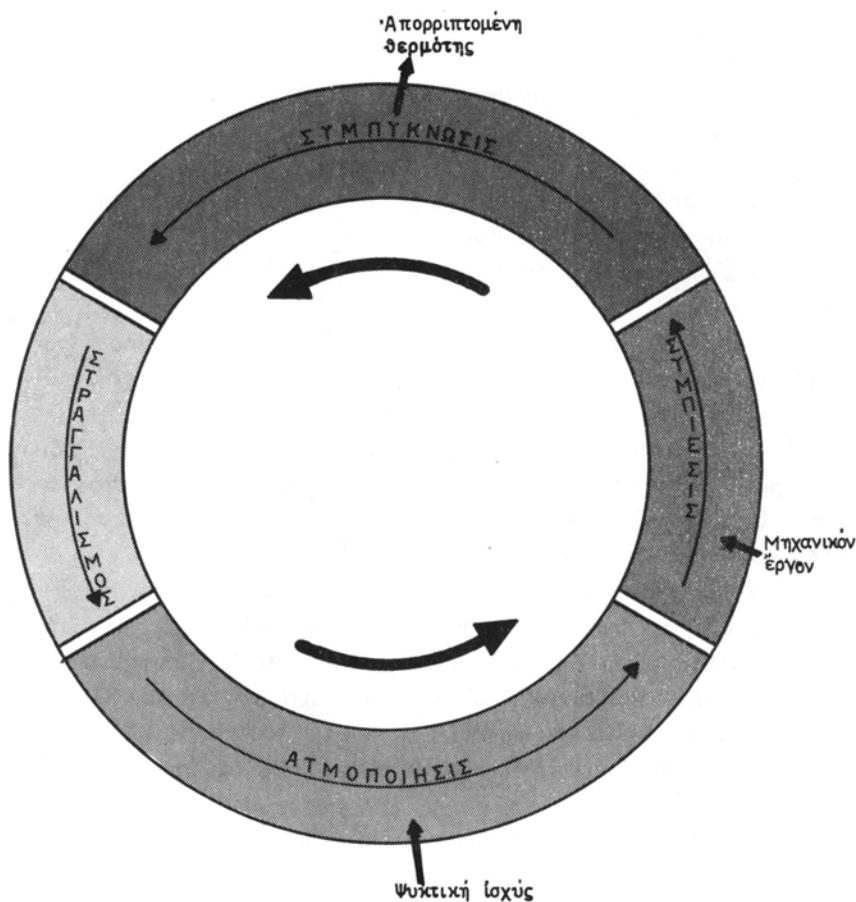
α) *Ἀτμοποιήσις* ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν (ἄρα καὶ ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν).

β) *Συμπίεσις ἀδιαβατικὴ ἀτμοῦ*, διότι δὲν γίνεται συναλλαγὴ θερμότητος μετὰ τοῦ περιβάλλοντος.

γ) *Συμπύκνωσις τοῦ ἀτμοῦ* ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ἐπομένως καὶ ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν καὶ

δ) *ἀδιαβατικὸς στραγγαλισμὸς ὑγροῦ*. Δὲν γίνεται συναλλαγὴ θερμότητος πρὸς τὸ περιβάλλον.

‘Ο ὀντωτέρω κύκλος περιγράφει τὰς βασικὰς θεωρητικὰς μεταβολὰς (σχ. 4 · 3 δ). (‘Υπάρχουν ὅμως εἰς τὴν πρᾶξιν καὶ διάφοροι ἀποκλίσεις). Εἰς ἄλλην παράγραφον θὰ ἔξετασθοῦν ὡρισμέναι συμπληρωματικαὶ μεταβολαί, ὅπως είναι ἡ ὑπόψυχις τοῦ συμπυκνώματος καὶ ἡ ὑπερθέρμανσις τοῦ ἀτμοῦ μετὰ τὴν ἔξοδον αὐτοῦ ἀπὸ τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως.



Σχ. 4.3 δ.

Παράστασις κυκλικῶν μεταβολῶν ψυκτικοῦ μέσου.

#### 4.4 Θερμοκρασίαι ψυκτικοῦ κύκλου.

Γενικά κάθε ψυκτική διάταξις χρησιμοποιεῖ ἕνα θερμοδυναμικὸν κύκλον διὰ τὴν παραγωγὴν τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος. Ο πλέον συνήθης κύκλος χρησιμοποιεῖ ἕνα μηχανικὸν συμπιεστήν, δ ὅποιος ἀναρροφεῖ ἀτμὸν ἀπὸ τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως καὶ τὸν συμπιέζει πρὸς τὸν συμπυκνωτήν.

Εις τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως, εἰς τὸ ὄποιον παράγεται ἡ ψυκτικὴ Ἰσχύς, ἐπικρατεῖ ἡ χαμηλὴ θερμοκρασία τῆς διατάξεως. Ἀντιθέτως, εἰς τὸν συμπυκνωτὴν ὁ ἀτμὸς ἔχει ὑψηλὴν θερμοκρασίαν.

Αἱ δύο αὐταὶ θερμοκρασίαι τῆς ἐγκαταστάσεως εἰναι βασικὰ δεδομένα τῆς λειτουργίας. Αἱ τιμαὶ αὐτῶν ἐπιδροῦν σημαντικῶς εἰς τὰ δύο χαρακτηριστικὰ μεγέθη τῆς διατάξεως, δηλαδὴ εἰς:

- τὴν ψυκτικὴν Ἰσχύν καὶ εἰς
- τὴν μηχανικὴν Ἰσχύν.

Οσον ἐλαττώνεται ἡ θερμοκρασία παραγωγῆς ψυκτικῆς Ἰσχύος (διὰ σταθερὰν θερμοκρασίαν συμπυκνώσεως), τόσον ἐλαττώνεται καὶ ἡ ψυκτικὴ Ἰσχύς.

Ἡ θερμοκρασία συμπυκνώσεως ἐπιδρᾶ ἀντιστρόφως. Οσον ἐλαττώνεται ἡ θερμοκρασία τῆς συμπυκνώσεως (διὰ σταθερὰν θερμοκρασίαν παραγωγῆς ψυκτικῆς Ἰσχύος), τόσον αὔξανει ἡ ψυκτικὴ Ἰσχύς.

Διὰ τὴν περιγραφὴν τῆς λειτουργίας μιᾶς ψυκτικῆς διατάξεως πρέπει νὰ δοθοῦν ἀπαραίτητως τέσσαρα τουλάχιστον μεγέθη, ἐκ τῶν δύοιων δύο θερμοκρασίαι καὶ δύο Ἰσχύς, δηλαδὴ:

- α) Θερμοκρασία παραγωγῆς ψυκτικῆς Ἰσχύος.
- β) Θερμοκρασία ἀπορρίψεως θερμότητος.
- γ) Ψυκτικὴ Ἰσχύς καὶ
- δ) μηχανικὴ (ήλεκτρική) Ἰσχύς.

Ἡ θερμοκρασία ἀπορρίψεως θερμότητος ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ περιβάλλοντος εἰς συνήθους χρήσεως ψυκτικὰς διατάξεις. Αἱ διατάξεις αὐταὶ ἀντλοῦν θερμότητα ἀπὸ κάποιον χῶρον χαμηλοτέρας θερμοκρασίας καὶ ἀπορρίπτουν θερμότητα εἰς τὸ περιβάλλον. Διὰ νὰ ἀπορριφθῇ ὅμως ἡ θερμότης θὰ πρέπει ἡ θερμοκρασία τοῦ στοιχείου συμπυκνώσεως νὰ είναι μεγαλυτέρα τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος. Συμπέρασμα:

— Εἰς συνήθεις ἐγκαταστάσεις ἡ θερμοκρασία, ὑπὸ τὴν ὄποιαν ἀπορρίπτεται θερμότης πρέπει νὰ είναι μεγαλυτέρα τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος.

Ο ὄρος «θερμοκρασία περιβάλλοντος» δυνατὸν νὰ ἔχῃ ἄλλην τιμὴν δι' ἀεροψύκτους καὶ ὅλλην δι' ὑδροψύκτους ἐγκαταστάσεις.

**Παράδειγμα.**

Κατά τὴν διάρκειαν τοῦ θέρους ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος φθάνει τοὺς  $35^{\circ}\text{C}$  καὶ τοῦ ύδατος τοὺς  $25^{\circ}\text{C}$ . Τί θερμοκρασία συμπυκνώσεως δύναται νὰ ἀναμένεται εἰς τὴν καλυτέραν περίπτωσιν;

**Αὕσις:**

Κατὰ τὴν συμπύκνωσιν ἀπορρίπτεται θερμότης. Εἰς τὴν ίδαικήν περίπτωσιν, ἡ θερμοκρασία τοῦ συμπυκνουμένου ἀτμοῦ δύναται νὰ εἴναι κατ' ἔλαχιστον ἵστη μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ περιβάλλοντος. Συνεπῶς δι' ἀερόψυκτον ἐγκατάστασιν ἡ θερμοκρασία συμπυκνώσεως δυνατὸν νὰ εἴναι θεωρητικῶς  $35^{\circ}\text{C}$  καὶ δι' ὑδρόψυκτον ἐγκατάστασιν ἀντιστοίχως  $25^{\circ}\text{C}$ . "Ωστε ἡ θερμοκρασία περιβάλλοντος δυνατὸν νὰ εἴναι  $35$  ή  $25^{\circ}\text{C}$  ἀναλόγως τοῦ εῖδους ψύξεως τῆς ἐγκαταστάσεως.

Ἡ ἐπίδρασις τῶν θερμοκρασιῶν ἐπὶ τῆς λειτουργίας τῆς ψυκτικῆς διατάξεως θὰ γίνη περισσότερον σαφής εἰς τὴν παράγραφον 4·5, ὅπου ἀναπτύσσονται τὰ περὶ μεταβολῆς τοῦ συντελεστοῦ συμπεριφορᾶς μετὰ τῶν θερμοκρασιῶν.

#### 4·5 Συντελεστὴς συμπεριφορᾶς.

Κάθε ψυκτικὴ ἐγκατάστασις ἀντλεῖ, ὡς γνωστόν, θερμότητα ἀπὸ χαμηλοτέρων θερμοκρασιῶν εἰς ὑψηλοτέρων θερμοκρασιῶν. Διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ ὅμως ἡ «ἄντλησις» αὐτὴ ἀπαιτεῖται μηχανικὸν ἔργον.

Ἡ ποιότης λειτουργίας τῆς ἐγκαταστάσεως ὑπολογίζεται ἀπὸ τὰ δύο αὐτὰ μεγέθη.

Οσον δλιγώτερον μηχανικὸν ἔργον ἀπαιτεῖται διὰ τὴν «ἄντλησιν» τοῦ αὐτοῦ ποσοῦ θερμότητος, τόσον καλυτέρα είναι ἡ ἐγκατάστασις.

Τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὁποῖον «άντλεῖται» εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου, δύνομάζεται, ὡς γνωστόν, ψυκτικὴ ἴσχυς. Αἱ διαστάσεις τοῦ μεγέθους αὐτοῦ είναι:

$$\frac{\text{ἐνέργεια}}{\text{μονάδα χρόνου}} = \text{ἰσχύς}.$$

Ἡ μηχανικὴ ἴσχυς, ἡ ὁποία προσδίδεται εἰς τὴν ψυκτικὴν διάταξιν, ἔχει βεβαίως καὶ αὐτὴ διαστάσεις ἴσχυος. "Αρα διὰ νὰ χαρα-

κτηρίζεται ή λειτουργία κάθε ψυκτικῆς διατάξεως, είναι λογικὸν νὰ χρησιμοποιήται δὲ λόγος:

$$\frac{\text{Ψυκτικὴ ἰσχὺς}}{\text{Μηχανικὴ ἰσχὺς}}.$$

"Οσον μεγαλύτερος είναι δὲ λόγος αὐτός, τόσον μικροτέρα μηχανικὴ ἰσχὺς ἀπαιτεῖται διὰ τὴν λειτουργίαν. Ο λόγος αὐτὸς ἔχει ἴδιαίτερον ὄνομα καὶ ὄνομάζεται συντελεστὴς συμπεριφορᾶς.

"Ωστε Ἰσχύει:

$$\text{Συντελεστὴς συμπεριφορᾶς} = \frac{\text{Ψυκτικὴ ἰσχὺς}}{\text{Μηχανικὴ ἰσχὺς}}.$$

**Παραδείγματα.**

1. Ψύκτης ὕδατος ἐγκαταστάσεως κλιματισμοῦ ἔχει ψυκτικὴν ἰσχὺν 25 ψυκτικῶν τόννων καὶ κινητῆρα 30 ἵππων.

Ποῖος δὲ συντελεστὴς συμπεριφορᾶς;

Λύσις:

Πρέπει κατ' ἀρχὰς νὰ μετατραποῦν αἱ δύο ἰσχύες εἰς τὰς αὐτὰς μονάδας μετρήσεως.

"Εχομεν λοιπόν:

$$25 \text{ ψυκτικοὶ τόννοι} = 25 \times 3,52 \text{ kW} = 88,0 \text{ kW}.$$

$$30 \text{ ἵπποι} = 30 \times 0,736 \text{ kW} = 22,1 \text{ kW}.$$

$$\text{Συντελεστὴς συμπεριφορᾶς} = \frac{88,0}{22,1} = 3,98.$$

2. Οἰκιακὸν ψυγεῖον μὲθάλαμον καταψύξεως, ψυκτικῆς ἰσχύος 100 W, χρησιμοποιεῖ διὰ τὴν λειτουργίαν του κινητῆρα ἰσχύος 200 W. Τί συντελεστὴν συμπεριφορᾶς παρουσιάζει;

Λύσις:

$$\text{Συντελεστὴς συμπεριφορᾶς} = \frac{100}{200} = 0,5.$$

"Η σύγκρισις τῶν παραδειγμάτων 1 καὶ 2 δεικνύει μεγάλην διαφορὰν εἰς τὰς τιμὰς τοῦ συντελεστοῦ συμπεριφορᾶς. Πράγματι εἰς μὲν τὸ παράδειγμα 1 δὲ συντελεστὴς ἔχει τιμὴν 3,98 εἰς δὲ τὸ παρά-

δειγμα 2 μόνον 0,5. Ἡ διαφορὰ αὐτὴ δέφειλεται κυρίως εἰς τὰς διαφορετικὰς θερμοκρασίας λειτουργίας τοῦ ψυχομένου χώρου.

Οψύκτης ὑδατος τοῦ παραδείγματος 1 παρέχει νερὸ διὰ κλιματιστικὴν ἐγκατάστασιν, παράγει λοιπὸν τὴν ψυκτικὴν ἰσχὺν εἰς θερμοκρασίαν περὶ τοὺς  $+ 5^{\circ}\text{C}$ . Τὸ οἰκιακὸν ψυγεῖον, τὸ διποῖον ἔχει θάλαμον καταψύξεως, ὃπου ἡ θερμοκρασία πρέπει νὰ διατηρῆται εἰς τοὺς  $- 20^{\circ}\text{C}$  περίου, πρέπει νὰ παράγῃ τὴν ψυκτικὴν ἰσχὺν εἰς τὴν θερμοκρασίαν αὐτήν. Καὶ αἱ δύο ὅμως διατάξεις ἀπορρίπτουν εἰς τὸ περιβάλλον τὴν θερμότητα, τὴν διποίαν «ἀντλοῦν». Ἐὰν ὑποτεθῇ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος  $+ 35^{\circ}\text{C}$  (θέρος), τότε ὁ μὲν ψύκτης ὑδατος ἐργάζεται εἰς τὰς θερμοκρασίας  $+ 5$  ἕως  $+ 35^{\circ}\text{C}$ , δηλαδὴ μὲ διαφορὰν θερμοκρασίας  $35 - 5 = 30^{\circ}\text{C}$ , τὸ δὲ οἰκιακὸν ψυγεῖον εἰς τὰς θερμοκρασίας  $- 20^{\circ}\text{C}$  ἕως  $+ 35^{\circ}\text{C}$ , δηλαδὴ μὲ διαφορὰν θερμοκρασίας  $35 - (- 20) = 55^{\circ}\text{C}$ .

Ἡ θερμότης, ἡ διποία «ἀντλεῖται» ὑπὸ τῆς διατάξεως τοῦ οἰκιακοῦ ψυγείου, πρέπει νὰ ὑπερνικήσῃ πολὺ μεγαλυτέραν διαφορὰν θερμοκρασίας. Φυσικὰ αὐτὸν εἶναι δυσκολώτερον καὶ ἀπαιτεῖται μεγαλυτέρα μηχανικὴ ἰσχὺς ἀνὰ μονάδα ψυκτικῆς ἰσχύος ἡ ἀντιστρόφωση, ἡ αὐτὴ μηχανικὴ ἰσχὺς «ἀντλεῖ» μικρότερον ποσὸν θερμότητος.

Ἡ αὐτὴ ἐγκατάστασις ἀναλόγως τῶν συνθηκῶν λειτουργίας παρουσιάζει διαφορετικοὺς συντελεστὰς συμπεριφορᾶς. Ὁταν αὖξάντη ἡ θερμοκρασία παραγωγῆς ψυκτικῆς ἰσχύος ἡ ἐλαττώνεται ἡ θερμοκρασία τῆς ἀπορριπτομένης θερμότητος, τότε ὁ συντελεστής συμπεριφορᾶς μεγαλώνει.

Ἐκτὸς ἀπὸ τὰς θερμοκρασίας λειτουργίας τῆς διατάξεως ὑπάρχουν καὶ ἄλλοι παράγοντες, οἱ διποῖοι ἐπιδροῦν ἐπὶ τοῦ συντελεστοῦ συμπεριφορᾶς. Οἱ παράγοντες αὐτοὶ εἶναι τὸ εἶδος τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, ἡ ὑπερθέρμανσις τοῦ ἀτμοῦ μετὰ τὴν ἔξοδον ἀπὸ τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως, ἡ ὑπόψυξις τοῦ συμπυκνώματος κ.λπ.

Γενικὰ ὁ συντελεστής συμπεριφορᾶς ἔξαρτᾶται πάρα πολὺ ἀπὸ τὰς συνθήκας, ὑπὸ τὰς διποίας ἐργάζεται ἡ ψυκτικὴ διάταξις.

Ὑπάρχει ὁ θεωρητικὸς συντελεστής συμπεριφορᾶς, ὁ διποῖος προκύπτει ἀπὸ τὸν θερμοδυναμικὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἐγκαταστάσεως, καὶ ὁ πραγματικὸς συντελεστής συμπεριφορᾶς, ὁ διποῖος εὑρίσκεται ἀπὸ μέτρησιν τῶν ἀναγκαίων μεγεθῶν.

#### 4·6 Ύπόψυχις συμπυκνώματος.

Εις τὴν παράγραφον 3·4 ἔξετέθη ἡδη ἡ ἔννοια τοῦ ὑποψύκτου ὑγροῦ καὶ ἀνεφέρθη ὁ τρόπος, κατὰ τὸν ὄποιον ἐμφανίζεται εἰς τὸ πέρας τῆς συμπυκνώσεως. Ἐπειδὴ αἱ ψυκτικαὶ διατάξεις ἀπαιτοῦν ὄπωσδήποτε συμπύκνωσιν τοῦ ἀτμοῦ τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, ἐμφανίζεται σχεδόν πάντοτε εἰς αὐτὰς μικρὰ ἢ μεγάλη ὑπόψυχις τοῦ συμπυκνώματος. Κατωτέρω θὰ ἔξετασθῇ ἢ ἐπιδρασις τῆς ὑποψύχεως αὐτῆς ἐπὶ τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος τῆς διατάξεως.

Οπως είναι γνωστὸν ἀπὸ τὰ περὶ ψυκτικοῦ κύκλου τῆς παραγράφου 4·3, τὸ ὑγρὸν ψυκτικὸν μέσον μετὰ τὸ τέλος τῆς συμπυκνώσεως, εἰσέρχεται εἰς τὴν διάταξιν στραγγαλισμοῦ πιέσεως καὶ ἐν συνεχείᾳ εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως.

Ἡ κατάστασις τοῦ ψυκτικοῦ μέσου κατὰ τὴν εἰσόδον εἰς τὸ στοιχεῖον ἀτμοποιήσεως ἐπιδρᾶ προφανῶς ἐπὶ τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος τῆς ἐγκαταστάσεως. Οπως είναι γνωστόν, ἔνα μέρος τοῦ ὑγροῦ ψυκτικοῦ μέσου, τὸ ὄποιον εἰσέρχεται εἰς τὴν διάταξιν στραγγαλισμοῦ πιέσεως ἀτμοποιεῖται μέσα εἰς τὴν διάταξιν αὐτήν (παράγρ. 3·5, περὶ στραγγαλισμοῦ ὑγροῦ). Εἰς τὴν εἰσόδον λοιπὸν τοῦ στοιχείου ἀτμοποιήσεως ἐμφανίζεται μήγαντα ὑγροῦ καὶ ἀτμοῦ. Οσον μεγαλύτερον τὸ ποσοστὸν τοῦ ὑγροῦ, τόσον μεγαλυτέρα ψυκτικὴ ἰσχὺς δύναται νὰ παραχθῇ, διότι θὰ ἀτμοποιηθῇ μεγαλυτέρα ποσότης ὑγροῦ.

Είναι συνεπῶς ἐπιθυμητὸν νὰ ὑπάρχῃ εἰς τὴν εἰσόδον τοῦ στοιχείου ἀτμοποιήσεως κατὰ τὸ δυνατὸν ἐλάχιστον ποσοστὸν ἀτμοῦ.

Τὸ ποσοστὸν αὐτὸν ἔξαρτᾶται ἀπὸ δύο παράγοντας, δηλαδὴ ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ὑγροῦ κατὰ τὴν εἰσόδον εἰς τὴν διάταξιν στραγγαλισμοῦ καὶ ἀπὸ τὴν πίεσιν ἀτμοποιήσεως.

Ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ εἰς τὴν εἰσόδον τῆς διατάξεως στραγγαλισμοῦ πρέπει νὰ τηρηθῇ κατὰ τὸ δυνατὸν χαμηλή. Οσον χαμηλοτέρα είναι, τόσον ἐπιβραδύνεται ἡ ἀτμοποιήσις εἰς τὴν διάταξιν στραγγαλισμοῦ. Ἡ ἐπιβράδυνσις αὐτὴ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα μικρότερον ποσοστὸν ἀτμοποιήσεως μέσα εἰς τὴν ἴδιαν διάταξιν στραγγαλισμοῦ καὶ συνεπῶς αὔξησιν τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος. Ἡ αὔξησις αὐτὴ παρέχεται δωρεάν, διότι δὲν πρέπει νὰ δοθῇ μεγαλυτέρα μηχανικὴ ἰσχὺς εἰς τὸν συμπιεστήν. Τὸ μόνον, τὸ ὄποιον ἀπαιτεῖται, είναι χαμηλοτέρα θερμοκρασία ὑγροῦ εἰς τὴν εἰσόδον τῆς διατάξεως στραγγαλισμοῦ, δηλαδὴ ἀπαιτεῖται ὑπόψυχις τοῦ συμπυκνώματος.

‘Η ύπόψυξις γίνεται συνήθως μόνον δι’ ἀποβολῆς θερμότητος πρὸς τὸ περιβάλλον. Εἶναι συνεπῶς ἀδύνατον εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν νὰ ἐπιτευχθῇ θερμοκρασία ύποψύξεως μικροτέρα τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος. Ἐκ τοῦ γεγονότος αὐτοῦ τίθεται ἔνα ὄριον εἰς τὴν ἐλαχίστην θερμοκρασίαν ύποψύξεως.

Τὸ ὄριον αὐτὸν εἶναι δυνατὸν νὰ καταργηθῇ, ἐάν τὸ περασιτέρω ύπόψυξις τοῦ συμπυκνώματος γίνη διὰ τοῦ «κρύου» ἀτμοῦ, δὲ διότιος ἔξερχεται ἐκ τοῦ στοιχείου ἀτμοποιήσεως καὶ ἀναρροφεῖται ύπὸ τοῦ συμπιεστοῦ.

Διὰ τὴν ἐπίτευξιν τοῦ σκοποῦ αὐτοῦ τὰ δύο ρεύματα, τοῦ ὑγροῦ καὶ τοῦ ἀτμοῦ, τίθενται εἰς θερμικὴν ἐπαφὴν κατὰ διάταξιν ἀντιρροῦς.

Μετὰ τὴν ἔξοδον ἐκ τοῦ στοιχείου ἀτμοποιήσεως δὲ ἀτμὸς γίνεται ύπερθερμος. ‘Η θερμοκρασία του αὔξανει συνεχῶς, λόγω τῆς προσδόσεως θερμότητος ύπὸ τοῦ ὑγροῦ, τὸ δποῖον ύποψύχεται.

Εἰς ώρισμένας διατάξεις ἡ ύπόψυξις τοῦ συμπυκνώματος διὰ τοῦ ἀτμοῦ δὲν ἐφαρμόζεται καὶ γίνεται ύπόψυξις μόνον μέχρι θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Όπως ἀνεφέρθη καὶ εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον, ἡ ύπόψυξις καὶ ἡ ύπερθερμανσις ἐπιδροῦν σημαντικῶς ἐπὶ τῆς ψυκτικῆς ἴσχύος καὶ πρέπει νὰ γίνεται σαφῆς καθορισμὸς τῶν συνθηκῶν λειτουργίας, ὅταν καθορίζεται τὸ μέγεθος αὐτῆς.

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ν 5

### Μ Ε Τ Α Δ Ο Σ Ι Σ Θ Ε Ρ Μ Ο Τ Η Τ Ο Σ

#### 5 · 1 Τρόποι μεταδόσεως θερμότητος.

‘Υπάρχουν τρεῖς διαφορετικοί τρόποι, διὰ τῶν ὅποιων μεταδίδεται ἡ θερμότης. Οἱ τρόποι αὐτοὶ ἐμφανίζονται ἀνεξάρτητα ὁ ἔνας ἀπὸ τὸν ἄλλον, ἀλλὰ συχνὰ ἐμφανίζονται καὶ περισσότεροι ἀπὸ αὐτοὺς ταυτοχρόνως. Ἡ θερμότης μεταδίδεται διὰ τῶν κάτωθι τριῶν τρόπων:

- α) Δι’ ἀγωγιμότητος,
- β) διὰ συναγωγῆς καὶ
- γ) δι’ ἀκτινοβολίας.

Εύθυν ἀμέσως δίδεται ἐν συντομίᾳ ἐπεξήγησις τῶν τριῶν αὐτῶν τρόπων.

α) Ἀγωγιμότης. ‘Οταν πλησιάζωμεν τὸ ἄκρον μιᾶς βέργας σιδήρου εἰς τὴν φωτιάν, μετὰ ἀπὸ λίγο θερμαίνεται καὶ τὸ ἄλλο τῆς ἄκρον. Ἡ θερμότης μεταφέρεται κατ’ ἀρχὰς ἀπὸ τὴν φωτιάν πρὸς τὸ ἄκρον τοῦ σιδήρου, ποὺ εὐρίσκεται πλησίον αὐτῆς καὶ ἐν συνεχείᾳ μεταδίδεται διὰ τῆς μάζης τοῦ σιδήρου ἀπὸ τὸ θερμότερον πρὸς τὸ ψυχρότερον ἄκρον της. Ὁ τρόπος αὐτὸς μεταδόσεως τῆς θερμότητος διὰ μέσου τοῦ σιδήρου ἀπαιτεῖ τὴν ὑπαρξίν ἐνὸς ὑλικοῦ φορέως. Ὁ φορεὺς αὐτὸς εἰς τὸ παράδειγμά μας εἶναι ὁ σιδήρος, ποὺ εἶναι σῶμα στερεᾶς καταστάσεως (στερεόν). Δυνατὸν ὅμως ἡ μετάδοσις δι’ ἀγωγιμότητος νὰ ἐμφανίζεται καὶ εἰς ὑγρά ἡ ἀέρια. Εἰς τὰ σώματα ὅμως αὐτὰ ἐμφανίζεται, σχεδὸν πάντοτε, καὶ ὁ ἄλλος τρόπος μεταδόσεως θερμότητος, ἡ συναγωγή.

β) Συναγωγή. Μετάδοσις θερμότητος διὰ τοῦ τρόπου αὐτοῦ ἐμφανίζεται ἐπὶ παραδείγματι εἰς τὸ σῶμα τῆς κεντρικῆς θερμάνσεως ἡ εἰς τὴν θερμάστραν. Ὁ ἀέρας τοῦ χώρου ἐφάπτεται μὲ τὴν θερμὴν ἐπιφάνειαν καὶ ἡ θερμότης μεταβαίνει ἀπὸ τὸ στερεόν θερμαντικὸν σῶμα πρὸς αὐτόν. Διὰ τῆς προσδιδούμενης θερμότητος ὅμως ὁ ἀέρας γίνεται ἐλαφρότερος καὶ κινεῖται πρὸς τὰ ἄνω. Ἔτσι ὅμως ἔρχεται νέα μᾶζα ἀέρος, ποὺ ἔρχεται καὶ αὐτὴ εἰς ἐπαφὴν μὲ τὴν θερμὴν

έπιφανειαν καὶ κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον δημιουργεῖται μία κίνησις τοῦ ἀέρος ἀκριβῶς λόγω τῆς θερμάνσεως.

Ἡ θερμότης μεταβαίνει ἀπὸ τὸ στερεὸν σῶμα πρὸς τὸ ρευστόν, ποὺ τὴν μεταφέρει μὲ τὴν κίνησίν του. Ἐτοι τὸ ρευστόν μεταφέρει τὴν θερμότητα καὶ τὴν ὀδηγεῖ μακρὰν τοῦ ἀρχικοῦ σημείου, ἀπὸ τὸ ὅποιον προῆλθε. Ἡ ὄνομασία συναγωγὴ προέρχεται ἀπὸ τὰς λέξεις σὸν καὶ ἄγω καὶ στημαίνει ὅτι ἡ θερμότης ἀγετᾷ (μεταφέρεται) μαζὶ μὲ τὸ ρευστόν.

Διὰ τὴν μετάδοσιν θερμότητος διὰ συναγωγῆς ἀπαιτεῖται ἡ ὑπαρξία ἐνὸς ρευστοῦ (ὑγροῦ ἢ ἀερίου) ὡς φορέως.

γ) Ἀκτινοβολία. Ἡ μετάδοσις θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας, ἀντίθετα ἀπὸ τοὺς δύο ἄλλους τρόπους, δὲν ἀπαιτεῖ τὴν ὑπαρξίαν ὑλικοῦ φορέως. Ἐπὶ παραδείγματι δὲ ἥλιος ἐκπέμπει συνεχῶς θερμότητα πρὸς τὴν γῆν δι' ἀκτινοβολίας. Ἡ θερμότης αὕτη φθάνει εἰς τὴν γῆν, ἀφοῦ διέλθῃ διὰ μέσου τοῦ κενοῦ ἀπὸ ἀστρικοῦ διαστήματος, ἀκριβῶς ὅτεως καὶ τὰ ἡλεκτρομαγνητικὰ κύματα.

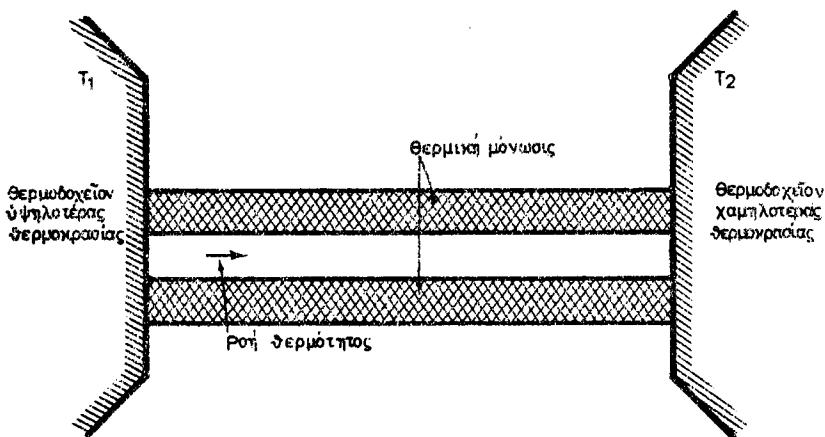
Διὰ νὰ ὑπάρξῃ μετάδοσις θερμότητος ἀπὸ ἔνα σῶμα εἰς ἄλλο, καθ' οίονδή ποτε τρόπον, πρέπει ἀπαραιτήτως νὰ ὑπάρχῃ μία βασικὴ προϋπόθεσις, δηλαδὴ διαφορὰ θερμοκρασίας.

Πρέπει τὸ σῶμα, τὸ ὅποιον ἀποδίδει τὴν θερμότητα, νὰ ἔχῃ θερμοκρασίαν μεγαλυτέραν, ἐκείνης ποὺ ἔχει τὸ ἄλλο σῶμα, τὸ ὅποιον δέχεται τὴν θερμότητα. Εἰς θεωρητικὸς ὑπολογισμοὺς συχνὰ γίνεται ἡ παραδοχὴ τῆς μεταδόσεως θερμότητος ἀνευ διαφορᾶς θερμοκρασίας. Εἰς τὴν πραγματικότητα ὅμως αὐτὸς εἶναι ἀδύνατον. "Οσον μεγαλυτέρα είναι ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας, τόσον ταχύτερα μεταδίδεται ἡ θερμότης.

## 5 · 2 Ἀγωγιμότης.

"Εστω μία στερεὰ ράβδος περιβεβλημένη ἀπὸ θερμικὴν μόνωσιν (σχ. 5 · 2) καὶ τοποθετημένη μεταξὺ δύο θερμοδοχείων θερμοκρασιῶν  $T_1$  καὶ  $T_2$ . Ἡ πείρα διδάσκει ὅτι, εἰς τὴν διάτοξιν αὐτὴν ρέει θερμότης διὰ τῆς ράβδου ἀπὸ τὸ θερμοδοχεῖον ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας  $T_1$  πρὸς τὸ θερμοδοχεῖον χαμηλοτέρας θερμοκρασίας  $T_2$ . Τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὅποιον ρέει ἀνὰ μονάδα χρόνου, ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὰ ἔξης μεγέθη:

- Διαφορά θερμοκρασίας ( $T_1 - T_2$ ).
- 'Υλικόν άγωγού (ράβδου)  $\lambda$ .
- Διατομή ύλικοῦ Α καὶ
- μήκος άγωγοῦ  $L$ .



Σχ. 5.2.  
Ροή θερμοτητος διά τερεξι ράβδου.

Η εξάρτησις τοῦ ἀνά μονάδα χρόνου το ποσοῦ θερμότητος  $Q$  ἀπὸ τὰ ὅνωτέρω μεγέθη, είναι ἡ ἀκόλουθος:

$$\frac{Q}{t} = \lambda \cdot \frac{A}{L} \cdot (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Εἰς τὴν σχέσιν αὐτῆν,  $Q$  είναι τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὅποιον μεταφέρεται εἰς χρόνον  $t$ . Ο συντελεστής  $\lambda$  ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὸ εἶδος τοῦ ύλικοῦ καὶ δυνομάζεται εἰδικὴ θερμικὴ ἀγωγμάτης. Ο συντελεστής  $\lambda$  διὰ τὰ διάφορα ύλικά ἔχει προσδιορισθῆ διὰ πειραμάτων καὶ δίδεται εἰς πίνακας ὡς ὁ Πίναξ 5.2.

#### Παραδείγματα.

1. Αγωγὸς ἐκ χαλκοῦ ἐμπορίου διαστομῆς  $1 \text{ cm}^2$  καὶ μήκους  $1 \text{ m}$  ἔχει μεταξὺ τῶν δύο ἄκρων του διαφορὰν θερμοκρασίας  $150^\circ\text{C}$ . Τί ποσὸν θερμότητος διαρρέει τὸν ἄγωγὸν ἀνά ὥραν;

Λύσις:

Έκ του Πίνακος 5·2 δίδεται ή ειδική θερμική άγωγιμότης τοῦ χαλκοῦ έμπορίου, ποὺ είναι ἵση μὲ 300 kcal/mh °C. Διὰ τὴν ἐφαρμογὴν τῆς σχέσεως (5) δίδονται:

- Διαφορὰ θερμοκρασίας ( $T_1 - T_2$ ) = 150 °C
- Διατομὴ ύλικοῦ  $A = 1 \text{ cm}^2$
- Μῆκος άγωγοῦ  $L = 1 \text{ m}$ .

Καὶ συνεπῶς ἐκ τῆς σχέσεως (5):

$$\frac{Q}{t} = \lambda \cdot \frac{A}{L} \cdot (T_1 - T_2) = 300 \frac{\text{kcal}}{\text{mh} \text{ °C}} \cdot \frac{1 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}} \cdot 150 \text{ °C} = \\ = 300 \frac{\text{kcal}}{\text{mh} \text{ °C}} \cdot \frac{0,0001 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} \cdot 150 \text{ °C} = 4,5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}.$$

### Π Ι Ν Α Ζ 5 · 2

#### Ειδικὴ θερμικὴ άγωγιμότης λ

Έγχικὸν	Ειδικὴ θερμικὴ άγωγιμότης λ
—	kcal/mh °C
<i>Μέταλλα</i>	
1. Ἀργυρός	360
2. Χαλκὸς 99,9%	330
3. Χαλκὸς έμπορίου	300
4. Χρυσὸς καθαρὸς	267
5. Άλουμίνιον 99,75 %	197
6. Σίδηρος καθαρὸς	63
7. Χάλυψ μὲ 20% Νικέλιον	16
8. Ὁρείχαλκος	70-100
<i>Δομικὰ όλικά</i>	
1. Μάρμαρον	2,5
2. Πλινθοδομὴ συμπαγῶν διπτοπλίνθων	0,65
3. Γύψος	0,44
4. Υαλοπίνακες	1,0
<i>Διάφορα</i>	
1. Πολυουραιθάνιον	~ 0,025
2. Πολυστερίνη	0,032

2. Ό χαλκός τοῦ παραδείγματος 1 ἀντικαθίσταται ύπὸ χάλυβος τῶν αὐτῶν διαστάσεων περιέχοντος 20% νικέλιον.

Τί ποσὸν θερμότητος διαφέρει τὸν ἀγωγὸν ἀνὰ ὥραν;

Λύσις:

Ἐκ τοῦ Πίνακος 5 · 2 δίδεται εἰδικὴ θερμικὴ ἀγωγιμότης:

$$\lambda = 16 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}.$$

Ομοίως ὡς εἰς τὸ παράδειγμα 1 είναι:

- Διαφορὰ θερμοκρασίας ( $T_1 - T_2$ ) =  $150 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Διατομὴ ύλικοῦ                               $A = 1 \text{ cm}^2$
- Μῆκος ἀγωγοῦ                               $L = 1 \text{ m.}$

Ἐκ τῆς σχέσεως (5) προκύπτει:

$$\frac{Q}{t} = \lambda \cdot \frac{A}{L} \cdot (T_1 - T_2) = 16 \frac{\text{kcal}}{\text{mh } ^\circ\text{C}} \cdot \frac{0,0001 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} \cdot 150 \text{ } ^\circ\text{C} = \\ = 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}.$$

Ωστε, ἡ ἀντικατάστασις τοῦ χαλκοῦ διὰ τοῦ νικελιούχου χάλυβος ἔπιφέρει σημαντικὴν ἐλάττωσιν τοῦ ποσοῦ θερμότητος.

3. Υαλοπίναξ παραθύρου ἔχει πάχος 5 mm καὶ ἔπιφάνειαν  $1 \text{ m}^2$ . Κατὰ τὴν χειμερινὴν περίοδον ἡ θερμοκρασία τῆς ἐσωτερικῆς ἔπιφανείας τοῦ ύαλοπίνακος είναι  $15 \text{ } ^\circ\text{C}$  καὶ ἡ θερμοκρασία ἐξωτερικῆς ἔπιφανείας  $+ 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Τί ποσὸν θερμότητος ρέει διὰ τοῦ ύαλοπίνακος ἀνὰ ὥραν;

Λύσις:

Ἐκ τοῦ Πίνακος 5 · 2 καὶ ἐκ τῶν ἀνωτέρω ἔχομεν τὰ κάτωθι δεδομένα:

- Διαφορὰ θερμοκρασίας                       $T_1 - T_2 = 15 - 5 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Εἰδικὴ θερμικὴ ἀγωγιμότης                       $\lambda = 1 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$
- Ἐπιφάνεια (διατομὴ) ύλικοῦ                       $A = 1 \text{ m}^2$
- Πάχος (μῆκος) ἀγωγοῦ                               $L = 5 \text{ mm.}$

Έκ της σχέσεως (5) προκύπτει:

$$\begin{aligned}\frac{Q}{t} &= \lambda \cdot \frac{A}{L} \cdot (T_1 - T_2) = \\ &= 1 \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{5 \text{ mm}} \cdot 10^{\circ}\text{C} = \\ &= 1 \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{0,005 \text{ m}} \cdot 10^{\circ}\text{C} = 2000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}.\end{aligned}$$

Εις τὸ σχῆμα 5 · 2 ἡ ράβδος, ἡ δόποια ἄγει τὴν θερμότητα, ὑποτίθεται, ὡς ἀνεφέρθη, μονωμένη θερμικῶς ἀπὸ τὸ περιβάλλον. Τὸ γεγονὸς αὐτὸν εἶναι ἀπαραίτητον διὰ νὰ ἐπιτρέπεται ἡ ἔφαρμογή τῆς σχέσεως (5). Ἐὰν κατὰ μῆκος τοῦ ἀγωγοῦ ὑπάρχῃ ἀπώλεια ἡ πρόσδοσις θερμότητος, τότε ἡ σχέσις (5) δὲν ἰσχύει.

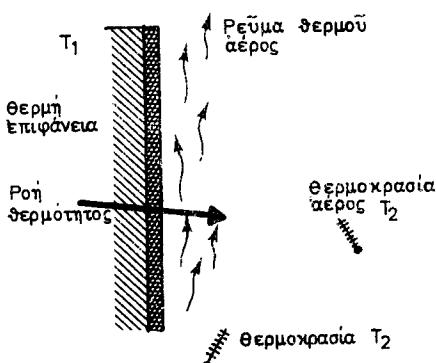
Ἡ εἰδικὴ θερμικὴ ἀγωγιμότης, ἡ δόποια δίδεται εἰς τὸν Πίνακα 5 · 2, ἔξαρτᾶται συνήθως καὶ ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν. Αἱ τιμαὶ τοῦ Πίνακος 5 · 2 ἀναφέρονται εἰς συνήθεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Ἡ σχέσις (5) περιγράφει μόνιμον κατάστασιν ροῆς θερμότητος.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ ἐνὸς ἢ καὶ τῶν δύο ἀκρων τοῦ ἀγωγοῦ μεταβάλλεται μετὰ τοῦ χρόνου, τότε ἡ σχέσις (5) δὲν ἰσχύει.

### 5 · 3 Συναγωγὴ.

Ἡ μετάδοσις θερμότητος διὰ συναγωγῆς εἶναι πολυσύνθετον



Σχ. 5 · 3 a.

Μετάδοσις θερμότητος ἐκ τῆς θερμῆς ἐπιφάνειας πρὸς τὸν ἀέρα διὰ συναγωγῆς.

φαινόμενον. Ἡ ἀκριβής περιγραφὴ τοῦ φαινομένου δίπταιτε ἔξαιρετικὰ δυσχερεῖς ὑπολογισμοὺς καὶ ὡς ἔκ τούτου γίνεται μία εύκολωτέρα προσέγγισις κατὰ τρόπον ἀνάλογον κάπως πρὸς τὸν τρόπον τῆς σχέσεως (5).

Εἰς τὸ σχῆμα 5 · 3 α παρίσταται μία συνήθης περίπτωσις μεταδόσεως θερμότητος διὰ συναγωγῆς. Ἡ θερμὴ ἐπιφάνεια ἔχει σταθερὰν θερμοκρασίαν  $T_1$ , καὶ δ

άέρας, άρκετά μακριά άπό τήν θερμήν έπιφανείαν, θερμοκρασίαν  $T_2$ .

Έαν Α είναι τὸ ἐμβαδὸν τῆς ἐπιφανείας, ή ὅποια ἀποδίδει θερμότητα, τότε δὲ υπολογισμὸς τῆς ἀνὰ μονάδα χρόνου τὸ ἀποδιδούμενης θερμότητος Q γίνεται διὰ τῆς κατωτέρω σχέσεως (6):

$$\frac{Q}{t} = \alpha A (T_1 - T_2) \quad (6)$$

Ο συντελεστὴς α ἔξαρτᾶται: ἀπὸ τὰ ἔξης:

- Εἶδος ρευστοῦ (τί ἀέριον ή τί ὑγρὸν ἔχομεν).
- Θερμοκρασίαν ποὺ ἔχομεν.
- "Υψος πλακός.

Ἐπίσης ἔξαρτᾶται πάρα πολὺ ἀπὸ τήν κίνησιν τοῦ ρευστοῦ. "Οσον ταχύτερα κινεῖται τὸ ρευστόν, τόσον εὐκολώτερα μεταδίδεται ή θερμότης καὶ τόσον μεγαλύτερος είναι δὲ συντελεστὴς συναγωγῆς α.

"Οταν ἡ κίνησις τοῦ ρευστοῦ προκαλεῖται ἀποκλειστικῶς καὶ μόνον ἀπὸ τήν διαφορὰν θερμοκρασίας λόγω τῆς μεταδιδούμενης θερμότητος, τότε ἡ ροὴ λέγεται φυσικὴ κυκλοφορία. Έαν ὅμως ὑπάρχῃ ἐπιπροσθέτως καὶ κίνησις τοῦ ρευστοῦ λόγω ἀνεμιστῆρος, ἀντλίας κ.λπ., τότε ἡ κίνησις λέγεται ἐξηναγκασμόη κυκλοφορία.

Ο συντελεστὴς συναγωγῆς α δίδεται εἴτε ἀπὸ διαφόρους σχέσεις, καταλλήλους διὰ τὸν ἀκριβῆ υπολογισμὸν τῆς τιμῆς του, εἴτε, διὰ μικροτέραν ἀκριβειαν, ἀπὸ πίνακας ὡς οἱ Πίνακες 5 · 3 · 1, 5 · 3 · 2 κ.λπ.

Αἱ τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ συναγωγῆς α προκειμένου περὶ ὑγροῦ είναι πολὺ μεγαλύτεραι. "Επὶ παραδείγματι διὰ ροήν ὄδστος μέσω σωλῆνος διαμέτρου R 1" ισχύουν αἱ τιμαὶ τοῦ Πίνακος 5 · 3 · 3.

"Οταν τὸ ὑγρὸν ἀτμοποιηθεῖται ἡ δταν δὲ ἀτμὸς συμπτυκνώνεται, τότε δὲ συντελεστὴς συναγωγῆς α ἀποκτᾶ πολὺ μεγάλας τιμὰς καὶ φθάνει μέχρι καὶ 10 000 kcal/m<sup>2</sup>h °C.

Παραδείγματα.

1. Σῶμα κεντρικῆς θερμάνσεως ἔχει μέσην θερμοκρασίαν ἐπιφανείας 75 °C καὶ εύρισκεται εἰς χῶρον, ὃπου δὲ ἀέρας ἔχει θερμοκρασίαν 25 °C. Τί ποσὸν θερμότητος ἀποδίδει ἀνὰ 1 m<sup>2</sup> ἐπιφανείας;

Λύσις:

Η διαφορὰ θερμοκρασίας είναι 75 – 25 = 50 °C. Απὸ τὸν

**Π Ι Ν Α Ζ 5.3.1**

**Συντελεστής συναγωγής α κατακορύφου έπιπέδου  
διά φυσικήν κυκλοφορίαν άέρος**

Διαφορά θερμοκρασίας πλακός - άέρος	Συντελεστής συναγωγής
$T_1 - T_2$	$\alpha$
° C	kcal/m <sup>2</sup> h °C
1	3,1
2	3,2
4	3,3
6	3,5
8	3,64
10	3,80
15	4,30
20	4,65
50	5,83
100	6,95

**Π Ι Ν Α Ζ 5.3.2**

**Συντελεστής συναγωγής α κατακορύφου έπιπέδου διά έξηναγκασμένην κυκλοφορίαν άέρος**

Ταχύτης άέρος	Συντελεστής συναγωγής
W	$\alpha$
m/s	kcal/m <sup>2</sup> h °C
0	5,3
0,5	7,1
1	8,9
2	12,5
3	16,1
4	19,7

**Π Ι Ν Α Ζ 5.3.3**

**Συντελεστής συναγωγής α διά έξηναγκασμένην ροήν ίδιας μεσα σωλήνος 1"**

Ταχύτης ίδιας μεσα σωλήνος 1"	Συντελεστής συναγωγής
W	$\alpha$
m/s	kcal/m <sup>2</sup> h °C
0,1	500
0,5	1800
1,0	3000

πίνακα βλέπομεν τὸν συντελεστὴν συναγωγῆς φυσικῆς κυκλοφορίας  $\alpha = 5,83$ . Ἀπὸ τὴν σχέσιν (6) εύρισκομεν τελικῶς:

$$\begin{aligned}\frac{Q}{t} &= \alpha A (T_1 - T_2) = \\ &= 5,83 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 50^\circ\text{C} = \\ &= 291,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}.\end{aligned}$$

2. Τὸ σῶμα τοῦ παραδείγματος 1 ἔχει μέσην θερμοκρασίαν  $85^\circ\text{C}$  εἰς χῶρον θερμοκρασίας  $15^\circ\text{C}$ . Πόσον αὐξάνει τὸ ποσὸν θερμότητος;

*Λύσις:*

Νέα διαφορὰ θερμοκρασίας  $85 - 15 = 70^\circ\text{C}$ . Συντελεστὴς συναγωγῆς  $\alpha$  ἐκ τοῦ Πίνακος  $5 \cdot 3 \cdot 3$ ,  $\alpha = 6,5 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$  καὶ ἐκ τῆς σχέσεως (6) προκύπτει:

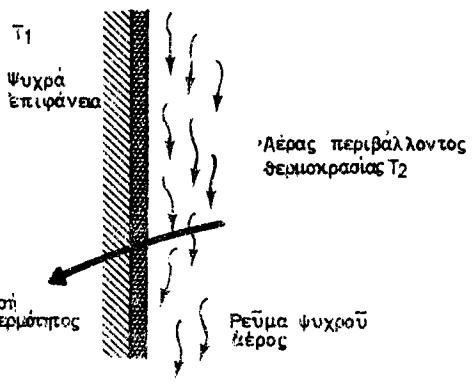
$$\begin{aligned}\frac{Q}{t} &= \alpha A (T_1 - T_2) = \\ &= 6,5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 70^\circ\text{C} = \\ &= 455 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}.\end{aligned}$$

“Οπως ἡδη ἀνεφέρθη, αἱ τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ συναγωγῆς αἱ τῶν πινάκων εἰναι προσεγγιστικαί. Ὁ ἀκριβῆς ὑπολογισμὸς εἰναι δυσχερέστερος. Ἐπίσης αἱ τιμαὶ τοῦ  $\alpha$  διαφέρουν, ἐὰν πρόκειται περὶ θερμάνσεως ἢ ψύξεως τοῦ ρευστοῦ.

‘Αντίθετα ἀπὸ τὸ σχῆμα  $5 \cdot 3 \alpha$ , δταν ἡ στερεὰ ἐπιφάνεια ἔχῃ θερμοκρασίαν μικροτέραν τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀέρος τοῦ περιβάλλοντος, τότε δ ἀέρας ψύχεται, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα  $5 \cdot 3 \beta$ . Ὁ ἀέρας δηλαδὴ ἔρχεται εἰς ἐπαφήν μὲ τὴν ψυχρὰν πλάκα καὶ ἀποβάλλει θερμότητα. Ἐτσι ἀποκτᾶ μικροτέραν θερμοκρασίαν, γίνεται βαρύτερος καὶ κινεῖται πρὸς τὰ κάτω.

3. Κατὰ τὴν χειμερινὴν περίοδον ὑαλοπίναξ παραθύρου ἔχει θερμοκρασίαν ἐσωτερικῆς ἐπιφανείας  $20^\circ\text{C}$  εἰς χῶρον θερμοκρασίας ἀέρος  $25^\circ\text{C}$ . Ἡ ἐξωτερικὴ ἐπιφάνεια τοῦ ὑαλοπίνακος εἰναι ἐκτεθει-

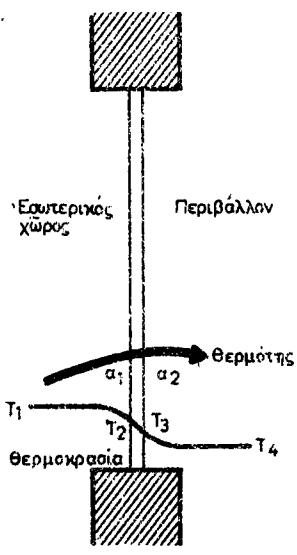
μένη είς ρεύμα άνεμου ταχύτητος  $3 \text{ m/s}$ . Ποιος δ συντελεστής συνα-



Σχ. 5.3 β.

Ψυξις άέρος περιβάλλοντος μέσω ψυχρᾶς πλακός.

γωγῆς διὰ τὴν ἐσωτερικήν καὶ τὴν ἔξωτερικήν ἐπιφάνειαν τοῦ θαλοπίνακος;



Σχ. 5.4.

Μετάδοσης θερμότητος διὰ μέσου θαλοπίνακος μὲν συνδυασμὸν συναγωγῆς - ἀγωγιμότητος.

Λύσις:

Ἐξωτερική ἐπιφάνεια: Ἐκ τοῦ Πίνακος  $5 \cdot 3 \cdot 2$  καὶ διὰ ταχύτητα  $3 \text{ m/s}$  προκύπτει ὅτι  $\alpha = 16,1 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$ .

Ἐσωτερική ἐπιφάνεια: Διαφορὰ θερμοκρασίας  $25 - 20 = 5^\circ\text{C}$ . Ἐκ τοῦ Πίνακος  $5 \cdot 3 \cdot 1$  προκύπτει ὅτι  $\alpha = 3,4 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$ .

Ωστε ἡ ἔξωτερική ἐπιφάνεια λόγῳ τοῦ άνεμου παρουσιάζει συντελεστὴν συναγωγῆς πολὺ μεγαλύτερον.

#### 5.4 Συνδυασμὸς Συναγωγῆς - Αγωγιμότητος.

Εἰς τὴν πρᾶξιν ἐμφανίζεται πολὺ συχνὰ συνδυασμὸς τῆς δι᾽ ἀγωγιμότητος καὶ τῆς διὰ συναγωγῆς μεταδόσεως θερμότητος.

Μιὰ κοινὴ περίπτωσις τοῦ συνδυα-

σμοῦ αύτοῦ είναι έπει παραδείγματι ἡ μετάδοσις θερμότητος μέσω ύαλοπίνακος. Εις τὸ σχῆμα 5·4 ὁ χῶρος ἀριστερά τοῦ ύαλοπίνακος ὑποτίθεται ὅτι ἔχει μεγαλυτέρους θερμοκρασίαν ἀπὸ δοσην τὸ περιβάλλον καὶ δι' αὐτὸ δημιουργεῖται ροή θερμότητος.

Τὸ ποσὸν τῆς ἀνὰ μονάδα χρόνου καὶ μονάδα ἐπιφανείας ρεούσης θερμότητος, ἔξαρτάται ἀπὸ τοὺς κατωτέρω παράγοντας:

- Διαφορὰν θερμοκρασίας.
- Συντελεστὴν συναγωγῆς θερμότητος πρὸς τὸν χῶρον.
- Συντελεστὴν συναγωγῆς θερμότητος πρὸς τὸ περιβάλλον.
- Ειδικὴν θερμικὴν διγωγιμότητα τοῦ στερεοῦ (ύάλου).
- Πάχος στερεοῦ (ύάλου).

Τὸ ποσὸν θερμότητος, τὸ ὄπιον μεταφέρεται ἀπὸ τὸν ἐσωτερικὸν χῶρον τοῦ σχήματος 5·4 πρὸς τὸ περιβάλλον παραμένει προφανῶς τὸ αὐτό, καὶ κατὰ τὴν διὰ συναγωγῆς μετάδοσιν, ὀλλὰ καὶ κατὰ τὴν δι' ἀγωγιμότητος: 'Ἐὰν ἀνὰ μονάδα χρόνου τ καὶ μονάδα ἐπιφανείας A διέρχεται ποσὸν θερμότητος Q, τότε ισχύουν προφανῶς αἱ ἔξι σχέσεις:

Ἐσωτερικὴ ἐπιφάνεια:

$$\text{Q} = \alpha_1 A (T_1 - T_2) \quad (7)$$

$$\text{ἢ} \quad \frac{Q}{\alpha_1 A} = T_1 - T_2$$

Αγωγιμότης διὰ τοῦ ύαλοπίνακος:

$$Q = \lambda \frac{A}{L} (T_2 - T_3) \quad (8)$$

$$\text{ἢ} \quad \frac{Q}{\lambda} \cdot \frac{L}{A} = T_2 - T_3$$

Ἐξωτερικὴ ἐπιφάνεια ύάλου:

$$Q = \alpha_2 A (T_3 - T_4) \quad (9)$$

$$\text{ἢ} \quad \frac{Q}{\alpha_2 A} = T_3 - T_4$$

Έάν προστεθοῦν αἱ σχέσεις (7), (8) καὶ (9), τότε προκύπτει ὅτι:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{\alpha_1 A} + \frac{Q}{\lambda} \cdot \frac{L}{A} + \frac{Q}{\alpha_2 A} &= T_1 - T_4 \\ \text{ή} \quad \frac{Q}{A} \left[ \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right] &= T_1 - T_4 \end{aligned} \quad (10)$$

Ο συνδυασμὸς τῶν δύο τρόπων μεταδόσεων θερμότητος, διὰ συναγωγῆς καὶ δὶ' ἀγωγιμότητος, εἶναι δυνατὸν νὰ παρασταθῇ μὲ μίαν διπλῆν σχέσιν παρομοίας μορφῆς μὲ ἑκείνην τῆς μεταφορᾶς διὰ συναγωγῆς. Ἀντὶ λοιπὸν τῆς σχέσεως (10), δυνατὸν νὰ γραφῇ:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{k} &= T_1 - T_4 \\ \text{ή} \quad Q &= kA(T_1 - T_4) \end{aligned} \quad (11)$$

Ο συντελεστὴς  $k$  δύναται νὰ εύρεθῇ ἀπὸ τὴν σύγκρισιν τῶν σχέσεων (10) καὶ (11). Εξ αὐτῆς προκύπτει:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (12)$$

Η σχέσις αὐτὴ χρησιμοποιεῖται πάρα πολὺ εἰς τὸν ὑπολογι- σμὸν διπλωμάτων θερμότητος χώρων ἡ γενικὰ εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις, κατὰ τὰς δόποις ἡ θερμότης μεταφέρεται ἀπὸ ἓνα ρευστὸν εἰς ἄλλο καὶ διέρχεται ἀπὸ δισχωριστικὸν τοίχωμα. Φυσικὰ ἡ ἴδια σχέσις χρησιμοποιεῖται καὶ διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ πάχους μονώσεων.

### 5.5 Ἀκτινοβολία.

Ο τρίτος τρόπος μεταδόσεως εἶναι ὁ δι' ἀκτινοβολίας.

Οπως ἡδη ἀνεφέρθη, διὰ τοῦ τρόπου αὐτοῦ ἡ θερμότης δύναται νὰ μεταδίδεται καὶ χωρὶς ὑλικὸν φορέα. "Ολα τὰ σώματα ἀκτινοβολοῦν θερμότητα. "Οσον ὅμως ὑψηλοτέραν θερμοκρασίαν ἔχουν, τόσον πιὸ αἰσθητὸν γίνεται τὸ φαινόμενον, διότι αὔξανει τὸ ποσόν τῆς θερμότητος, τὸ δόποιον ἀκτινοβολεῖται.

Ταυτοχρόνως ὅμως μὲ τὴν ἀκτινοβολίαν, ἡ δόποια ἐκπέμπεται, κάθε σῶμα ἀπορροφεῖ ἀκτινοβολίαν, ποὺ ἐκπέμπουν ἄλλα σώματα,

τὰ δόποια τὸ περιβάλλουν. 'Υπάρχει συνεπῶς ταυτοχρόνως ἐκπομπή καὶ ἀπορρόφησις θερμικῆς ἀκτινοβολίας. 'Εὰν τὸ ἔνα προσὸν ὑπερτερῆ τοῦ ἄλλου, τότε ἐμφανίζεται ἀντιστοίχως ἀπόδοσις ἢ πρόσδοσις θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας.

"Οταν ἡλεκτρικὴ θερμάστρα συνδεθῇ μὲ τὸ ἡλεκτρικὸν δίκτυον, τότε ἡ ἀντίστασίς της ἀρχίζει νὰ θερμαίνεται. 'Αν ἡ ἀντίστασις εἶναι δραστή, αἰσθάνεται κανεὶς διμέσως τὴν ἀπόδοσιν θερμότητος, ἐὰν σταθῇ εἰς κατάλληλον θέσιν, παρ' ὅλον ποὺ ἡ ἀντίστασις δὲν ἔχει ἀκόμη ἐρυθροπυρωθῆ.

"Οταν τελικῶς ἐρυθροπυρωθῇ, τότε, ἕκτὸς τῆς θερμικῆς ἀκτινοβολίας, ἐμφανίζεται καὶ δρατὴ ἀκτινοβολία ἐρυθροῦ χρώματος. 'Η φύσις τῆς θερμικῆς ἀκτινοβολίας εἶναι ἡ ἴδια ὅπως καὶ τῆς δρατῆς ἀκτινοβολίας, δηλαδὴ εἶναι ἡλεκτρομαγνητικὴ κύμανσις.

'Η αὔξησις τοῦ μεταδιδομένου προσὸν θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας, συναρτήσει τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἔκπεμποντος σώματος, εἶναι σημαντική, διότι γίνεται ἀναλόγως πρὸς τὴν τετάρτην δύναμιν τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας.

Τὸ εἶδος τῆς ἐπιφανείας τοῦ σώματος ἔχει ἐπίσης σημαντικὴν σημασίαν διὰ τὸ προσὸν τῆς μεταδιδομένης θερμότητος. 'Εὰν ἡ ἐπιφάνεια ἀντανακλᾶ μεγάλο μέρος τῆς ἀκτινοβολίας, ἡ δόποια προσπίπτει, τότε ἡ ἀκτινοβολία δὲν ἀπορροφεῖται καὶ ἔτσι δὲν προσδίδεται μεγάλο προσὸν θερμότητος εἰς τὸ σῶμα. 'Εὰν ἀντιθέτως ἡ ἐπιφανεία δὲν ἀντανακλᾶ, τότε ἀπορροφεῖται σχεδόν δλόκληρος ἡ ἀκτινοβολία, ἡ δόποια προσπίπτει ἐπὶ τοῦ σώματος.

"Ἐνα ἄλλο στοιχεῖον, τὸ δόποιον ἐπιδρᾶ εἰς τὸ προσὸν θερμότητος, τὸ δόποιον μεταδίδεται δι' ἀκτινοβολίας, εἶναι καὶ ἡ γεωμετρικὴ διάταξις τῶν σωμάτων. "Οταν τὰ σώματα στρέφουν τὸ ἔνα πρὸς τὸ ἄλλο μεγάλα μέρη τῆς ἐπιφανείας των, τότε αὐξάνει καὶ τὸ προσὸν θερμότητος, τὸ δόποιον μεταδίδεται. Δυνατὸν λοιπὸν νὰ συνοψισθοῦν τὰ ἀκόλουθα: Κατὰ τὴν μετάδοσιν θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας ἐμφανίζονται οἱ ἔξης παράγοντες, οἱ δόποιοι ἐπιδροῦν ἐπὶ τοῦ φαινομένου:

-- Θερμοκρασία.

-- Εἶδος ἐπιφανείας.

-- Γεωμετρικὴ διάταξις τῶν σωμάτων μεταξύ των.

-- Μέγεθος ἐπιφανείας.

"Οπως ήδη έτονίσθη, κάθε σῶμα ἐκπέμπει καὶ ταυτοχρόνως ἀπορροφεῖ ἀκτινοβολίαν. Κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον ἀκριβῶς συμπεριφέρεται καὶ τὸ ἀνθρώπινον σῶμα. Διὰ τῆς ἀκτινοβολίας λοιπὸν εἰναι δυνατὸν τὸ ἀνθρώπινον σῶμα νὰ αἰσθάνεται ἀλλα σώματα ὡς θερμότερα ἢ ψυχρότερα. "Οταν ἐπὶ παραδείγματι πλησιάσῃ κανεὶς τὸ χέρι του εἰς ἓνα κομμάτι κολώνας πάγου, αἰσθάνεται τὸ ψῦχος χωρὶς νὰ τὸ ἔγγισῃ, λόγω τῆς ἀκτινοβολίας.

---

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ν 6

### ΔΕΥΤΕΡΟΝ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΝ ΑΞΙΩΜΑ

#### 6 · 1 Ἀναστρέψιμα καὶ μὴ ἀναστρέψιμα φαινόμενα.

Ἐὰν κανεὶς ρίψῃ ἀλάτι εἰς ἓνα ποτήρι μὲν νερό, τὸ ἀλάτι, ὡς γνωστόν, διαλύεται. Εἶναι ἀδύνατον πλέον νὰ ληφθῇ καὶ πάλιν τὸ ἀλάτι ἀπὸ τὸ νερό, χωρὶς νὰ καταβληθῇ κάποιο ὡρισμένον ποσόν ἐνεργείας. Τὸ φαινόμενον λοιπὸν αὐτὸν ἔχει μίαν φοράν, κατὰ τὴν διποίαν ἔξελίσσεται μόνον του, ἃνευ προσθέτου βοηθείας.

Ἡ ἀντίστροφος ὅμως φορὰ παρουσιάζει δυσχερείας. Φυσικά, ἐὰν βράστη ὅλο τὸ νερό καὶ ἀτμοποιηθῇ, τότε τὸ ἀλάτι θὰ ἐμφανισθῇ καὶ πάλιν ὡς ξεχωριστὸν σῶμα. Διὰ νὰ γίνη ὅμως αὐτό, πρέπει νὰ «ἔξιδευθῃ» ἐνέργεια.

Τὸ φαινόμενον τῆς διαλύσεως λέγεται μὴ ἀναστρέψιμον, διότι δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ ἀντιστραφῇ μόνον του.

Ἄλλο παραδείγμα, μὴ ἀναστρεψίμου φαινομένου εἶναι ἡ μετάδοσις θερμότητος. Ὄταν ρέη θερμότης ἀφ' ἔαυτῆς ἀπὸ μίαν θέσιν μεγαλυτέρας θερμοκρασίας πρὸς ὅλην θέσιν μικροτέρας θερμοκρασίας, τὸ φαινόμενον δὲν ἀναστρέφεται. Ποτὲ δὲν μεταφέρεται ἡ θερμότης «ἀφ' ἔαυτῆς» ἀπὸ θέσιν ἡ σῶμα χαμηλοτέρας θερμοκρασίας, πρὸς θέσιν ἡ σῶμα ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας. Τὸ συμπέρασμα αὐτὸν εἶναι προϊὸν τῆς μακροχρονίου πείρας τῶν ἀνθρώπων.

Φυσικά, ὅταν ὑπάρχῃ ψυκτικὴ διάταξις, ἡ θερμότης μεταφέρεται ἀπὸ σῶμα χαμηλοτέρας πρὸς σῶμα ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας, ἀλλὰ τότε καταβάλλεται μηχανικὸν ἔργον καὶ ἡ μετάβασις δὲν γίνεται «ἀφ' ἔαυτῆς».

Ὑπάρχουν πάρα πολλὰ παραδείγματα μὴ ἀναστρεψίμων φαινομένων, διότι ὅλα τὰ φαινόμενα τῆς φύσεως εἶναι εἰς τὴν πραγματικότητα μὴ ἀναστρέψιμα. Πολλὰ βεβαίως ἔξι αὐτῶν πλησιάζουν πρὸς ἀναστρέψιμα, ἀλλὰ δὲν εἶναι ποτὲ ἐντελῶς ἀναστρέψιμα.

#### 6 · 2 Δεύτερον Θερμοδυναμικὸν Ἀξίωμα.

Τὸ δεύτερον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα εἶναι ἓνα συμπέρασμα τῆς

ξεις. Διατυπώνει τὴν ἐμπειρίαν τῶν ἀνθρώπων σχετικὰ μὲ τὴν φορὰν ἔξελίξεως τῶν φαινομένων.

Ὑπάρχουν πολλοὶ τρόποι διατυπώσεως τοῦ δευτέρου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος, ἀπὸ τοὺς διποίους ὅπλούστερος εἶναι ὁ ἀκόλουθος:

*B' Θερμοδυναμικὸν Ἀξίωμα*

Οὐδέποτε μεταβαίνει θερμότης «ἄφ» ἑαυτῆς» ἀπὸ σῶμα χαμηλοτέρας θερμοκρασίας πρὸς σῶμα ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας.

Μὲ τὴν βοήθειαν τοῦ δευτέρου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος εἶναι δυνατὸν νὰ ἀποδειχθοῦν πολλαὶ σχέσεις. Βάσει αὐτοῦ ἀποδεικνύεται ἐπὶ παραδείγματι τὸ γεγονὸς ὅτι, ὁ κύκλος Καρνὸς ἔχει τὸν μεγαλύτερον δυνατὸν βαθμὸν ἀποδόσεως ἀπὸ ὅλους τοὺς δυνατοὺς κύκλους.

‘Η ἀνωτέρῳ δοθεῖσα διατύπωσις τοῦ B' θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος, ἐκφράζει σαφῶς τὴν φορὰν ροῆς τῆς θερμότητος. Δυνατὴ εἶναι μόνον ἡ ἀπὸ ὑψηλοτέραν πρὸς χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν φορὰ καὶ ὅχι ἀντιστρόφως.

### 6 . 3 Ἐντροπία.

‘Ισως τὸ πλέον σημαντικὸν θερμοδυναμικὸν μέγεθος εἶναι ἡ Ἐντροπία. Τὸ μέγεθος αὐτὸ δρίζεται ὡς ἔξῆς: ‘Εὰν Q εἶναι τὸ ποσὸν θερμότητος καὶ T ἡ ἀντίστοιχος θερμοκρασία, ὑπὸ τὴν διποίαν ἐμφανίζεται τὸ ποσὸν αὐτό, τότε:

$$\text{Ἐντροπία} = \frac{\text{Θερμότης}}{\text{Ἀπόλυτος θερμοκρασία}}$$

‘Η ἐντροπία συμβολίζεται μὲ τὸ σύμβολον S καὶ ισχύει, βάσει τοῦ δρισμοῦ, ἡ σχέσις:

$$S = \frac{Q}{T} \quad (13)$$

‘Ο δρισμὸς αὐτὸς ισχύει διπολύτως μόνον δι' ἀναστρέψιμα φαινόμενα. Διὰ μὴ ἀναστρέψιμα φαινόμενα ἡ ἐντροπία εἶναι ἐν γένει μεγαλυτέρα τῆς ἀνωτέρω τιμῆς.

"Όταν έξελίσσεται ένα μή άναστρέψιμο φαινόμενο, τότε έμφανίζεται αύξησις της έντροπίας. Κλασσικὸν μὴ άναστρέψιμον παράδειγμα ἀποτελεῖ ἡ μετάδοσις θερμότητος ἀπὸ ένα σῶμα A ύψηλοτέρας θερμοκρασίας  $T_1$  πρὸς ἄλλο σῶμα B χαμηλοτέρας θερμοκρασίας  $T_2$ , ώς εἰς τὸ σχῆμα 6.3.

"Όταν τὸ ποσὸν θερμότητος  $Q$  προσδίδεται εἰς τὸ σῶμα B θερμοκρασίας  $T_2$ , τότε αὔξανει ἡ έντροπία αὐτοῦ κατὰ ποσόν:

$$S_2 = \frac{Q}{T_2}.$$

Τὸ ποσὸν θερμότητος ὀφαίρεται ὅμως ἀπὸ τὸ σῶμα A θερμοκρασίας  $T_1$  καὶ συνεπῶς ἡ έντροπία τοῦ σώματος A ἐλαττώνεται καὶ εἶναι:

$$-S_1 = -\frac{Q}{T_1}.$$

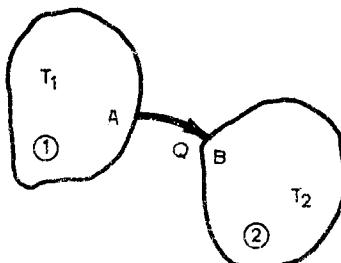
'Εὰν έξετασθοῦν καὶ τὰ δύο σώματα A καὶ B μαζί, τότε ἡ μεταβολὴ τῆς έντροπίας εἶναι:

$$-S_1 + S_2 = -\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2}$$

ἢ

$$-S_1 + S_2 = Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = Q \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right).$$

Συνεπῶς, ἐπειδὴ  $T_1 > T_2$ , ἡ έντροπία τοῦ συστήματος τῶν δύο σωμάτων αὔξανει κατὰ τὴν μὴ άναστρέψιμον μετάδοσιν τῆς θερμότητος.



Σχ. 6.3.

Μετάδοσις θερμότητος  $Q$  ἀπὸ σῶμα ύψηλοτέρας θερμοκρασίας  $T_1$  πρὸς σῶμα χαμηλοτέρας θερμοκρασίας  $T_2$ . Κατ' αὐτὴν έμφανίζεται αύξησις τῆς έντροπίας.

## Ε Y P E T H P I O N

(Οι άριθμοι άναφέρονται είς σελίδας τοῦ βιβλίου)

- Αγωγιμότης 87, 88
- άδιαβατική ἀποτύπωσις 53
  - ἐκτόνωσις 29
  - μεταβολή 46
  - συμπίεσις 52
  - — ἀτμοῦ 79
- άδιαβατικὸν δριον ἢ τοίχωμα 24
  - σύστημα 25, 26
- άδιαβατικὸς στραγγαλισμός 49, 50
  - — ἀτμοῦ 79
- ἀέριον ίδανικὸν ἢ τέλειον 37, 50
  - πραγματικὸν 37
- ἀκτινοβολία 88, 98
- ἀναστρέψιμα φαινόμενα 101, 102
- ἀνοικτὸν σύστημα 22, 30
- ἀπόλυτον μηδὲν 4
- ἀπορριπτομένη θερμότης 73
- ἀποτύπωσις ἀδιαβατικὴ 52
- ἀτμοποιήσεως θερμοκρασία 58, 60
  - θερμότης 60, 64
  - πίεσις 58, 76
  - στοιχείον 58, 78, 79
- ἀτμοποιήσις 56, 59
  - ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 79
- ἀτμός 56
  - κεκορεσμένος 60
  - ὑπέρθερμος 60
- ἀτμοῦ συμπύκνωσις 79
- B.T.U. (μπί-τί-γιού) 15
- Δεύτερον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα 101
- διάταξις στραγγαλισμοῦ 78, 79
  - ψυκτική 71
- Εἰδικὴ ἔνθαλπία 35
  - ἔσωτερικὴ ἐνέργεια 35
  - θερμότης 64
  - θερμοχωρητικότης 15
  - — ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 16, 18
  - — — σταθερὸν ὅγκον 16, 18
- εἰδικὸς ὅγκος 35
- ἐκτόνωσις ἀδιαβατικὴ 29
- ἔνθαλπία 34-36
- ἔντροπία 102
- ἔξατμιστις 56
- ἔργον ἔξωθήσεως 32
  - μηχανικὸν 10, 32
  - δύκομεταβολῆς 20
  - ώφελιμον 52, 53
- ἔσωτερικὴ ἐνέργεια 23, 25, 36
- Ηλεκτρικαὶ ἀντιστάσεις 4
- Θέρμανσις ισόθλιππος 42
- Θερμικὴ ίσχὺς 58
- Θερμὶς 15
- Θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα δεύτερον 101
  - — πρῶτον 25, 28, 29
- Θερμοδυναμικὸς κύκλος 51
- Θερμοηλεκτρικά στοιχεῖα 4
- Θερμοκρασία 1
  - περιβάλλοντος 81
  - ψυκτικοῦ κύκλου 80
- «θερμὸς» 24
- Θερμότης 13
  - ἀπορριπτομένη 73
  - ἀτμοποιήσεως 60, 64
  - εἰδικὴ 64
  - στερεοποιήσεως 64
  - συμπυκνώσεως 64
  - τήξεως 64
- Θερμοχωρητικότης εἰδικὴ 15
  - — ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 16, 18
  - — — σταθερὸν ὅγκον 16, 18
- θεωρητικὸς συντελεστής συμπεριφορᾶς 84
- Ιδανικὸν ἢ τέλειον ἀέριον 37
- Ισενθάλπικὴ μεταβολὴ 49
- Ισενθάλπικὸς στραγγαλισμός 50
- Ισοθερμοκρασιακὴ μεταβολὴ 44, 53
  - συμπίεσις 44, 45, 54
- Ισοθερμοκρασιακὸς στραγγαλισμός 50
- Ισόθλιππος θέρμανσις 42
  - μεταβολὴ 42
- Ισόγογος μεταβολὴ 40, 41

- Ισχύς** 10, 12  
 — θερμική 58  
 — ψυκτική 62, 71, 72
- Καρνός** κύκλος 52  
 — μηχανή 52
- καταστατικά μεγέθη** 36
- κεκορεσμένον ύγρον** 64
- κεκορεσμένος** άτμος 60
- Κέλβιν** κλίμαξ 4
- Κελσίου** κλίμαξ 4
- κλειστόν** σύστημα 22
- κλίμαξ** άπολύτου θερμοκρασίας 4  
 — έκαπονταβάθμιος 4  
 — Κέλβιν 4  
 — Κελσίου 4  
 — Φάρενάϊτ 4
- κυκλική** μεταβολή 50
- κύκλος** θερμοδυναμικός 51  
 — Καρνός 52  
 — ψυκτικός 75
- Μεγέθη** καταστατικά 36
- μεταβολή** άδιαβατική 46  
 — ίσευθαλπική 49  
 — ίσοθερμοκρασιακή 44, 53  
 — ίσόδιλπτος 42  
 — ίσόγογκος 40, 41  
 — κυκλική 50
- μετάδοσης** θερμότητος δι' άγωγιμότητος 87, 88  
 — — — άκτινοβολίας 87, 88, 98  
 — — — συναγωγής 87, 92
- μέτρησης** θερμοκρασίας 1
- μή διαβατικόν** σύστημα 25, 26  
 — άναστρέψιμα φαινόμενα 101, 103  
 — ίσοθερμοκρασιακή συμπίεσης 44  
 μηδὲν 3  
 — άπόλυτον 4
- μηχανή** Καρνός 52
- μηχανικόν** έργον 10, 32
- μηχανικός** συμπιεστής 78, 79
- Μοί** 39
- μπί - τί - γιού** (BTU) 15
- Όγκομεταβολής** έργον 20
- δριον** άδιαβατικόν 24
- Περιβάλλοντος** θερμοκρασία 81
- πήξεως** σημείον 63
- πίεσης άτμοποιήσεως 58, 76  
 — συμπυκνώσεως 76
- πραγματικόν** άεριον 37
- πραγματικός** συντελεστής συμπεριφορᾶς 84
- πρώτον θερμοδυναμικόν άξιωμα 25, 28, 29
- Σημείον** στερεοποιήσεως ή πήξεως 63
- σταθερά** άεριών 39
- στερεοποιήσεως** θερμότης 64
- στερεοποίησης** 63
- στοιχείου** άτμοποιήσεως 58, 78, 79  
 — θερμοηλεκτρικὸν 4
- στραγγαλισμός** 49  
 — άδιαβατικός 49, 50  
 — άτμοῦ 79  
 — ίσευθαλπικός 50  
 — ίσοθερμοκρασιακός 50  
 — ύγρου 66
- στραγγαλισμοῦ** διάταξις 78, 79
- συμπίεσης** άδιαβατική 52  
 — — άτμοῦ 79  
 — ίσοθερμοκρασιακή 44, 45, 54  
 — μὴ ίσοθερμοκρασιακή 44
- συμπυκνώματος** άποψυξις 84
- συμπυκνώσεως** θερμότης 64  
 — πίεσης 76
- συμπύκνωσης** 68  
 — άτμοῦ 79
- συμπυκνωτής** 68, 78, 79
- συναγωγή** 87, 92
- συνδυασμός** συναγωγῆς-άγωγιμότητος 96
- συντελεστής** συμπεριφορᾶς 81  
 — — θεωρητικός 84  
 — — πραγματικός 84
- σύστημα** άδιαβατικόν 25, 26  
 — άνοικτόν 22, 30  
 — κλειστόν 22  
 — μὴ άδιαβατικόν 25, 26
- Τέλειον** άεριον ή ιδιανικόν 37, 50
- τεχνικόν** μηχανικόν έργον 32
- τήξεως** θερμότης 64
- τοίχωμα** άδιαβατικόν 24
- τρόπος** μεταδόσεως θερμότητος 32, 87
- Τύρδων** κεκορεσμένον 64  
 — ύπόψυκτον 65
- ύδρατμός** 56
- ύπέρθερμος** άτμος 60
- ύπόψυκτον** ύγρον 65
- ύποψυξις** συμπυκνώματος 84

**Φαινόμενα** άναστρέψιμα 101, 102  
   — μή άναστρέψιμα 101, 103  
**Φάρενάϊτ κλίμαξ** 4

**Χιλιογραμμορότιον** 39  
**χιλιοθερμίς** 15

**Ψύκτης** 58  
**ψυκτική διάταξις** 71  
   — ισχὺς 62, 71, 72  
**ψυκτικὸν μέσον** 79  
**ψυκτικός κύκλος** 75

**Ωφέλιμον ἔργον** 52, 53

---

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

---

ΕΚΤΥΠΩΣΙΣ - ΒΙΒΛΙΟΔΕΣΙΑ: ΓΡΑΦΙΚΑΙ ΤΕΧΝΑΙ "ΑΣΠΙΩΤΗ - ΕΛΑΚΑ" Α. Ε.



\* 1954 \*