



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Ε

Ζ

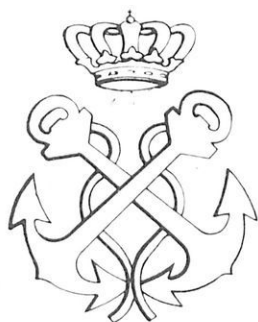
ΔΕΚ

Γουαρντ, Α. Γ.

ΤΙΜΑΤΑΙ ΔΡΧ. 50

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΝ ΚΕΙΜΕΝΟΝ
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΧΟΛΩΝ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
(Διὰ Μηχανικούς)

Μαθηματικά

Πυρηνική Φυσική

Ἀγγλικά

Τεχνική Μηχανική

Θερμοδυναμική

Μεταλλογνωσία

Ἀτμομηχαναὶ (Παλινδρο. - Στροβίλοι)

M.E.K.

Ἡλεκτροτεχνία

Μηχανήματα σκάφους

Ψυκτικαὶ ἐγκαταστάσεις

Ναυπηγική

Κάύσιμα - Λιπαντικά

Τηλεκίνησις - Αὐτοματισμὸς συγχρόνων πλοίων

Ἡλεκτρονικά

Ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης, ἰδρυτὴς καὶ χορηγὸς τοῦ « Ἰδρύματος Εὐγενίδου » προεΐδεν ἐνωρίτατα καὶ ἐσχημάτισε τὴν βαθεῖαν πεποίθησιν ὅτι ἀναγκαῖον παράγοντα διὰ τὴν πρόοδον τοῦ ἔθνους θὰ ἀπετέλει ἡ ἀριτία κατάρτισις τῶν τεχνικῶν μας ἐν συνδυασμῷ πρὸς τὴν ἠθικὴν ἀγωγὴν αὐτῶν.

Τὴν πεποίθησίν του αὐτὴν τὴν μετέτρεψεν εἰς γενναιόφρονα πράξιν εὐεργεσίας, ὅταν ἐκληροδότησε σεβαστὸν ποσὸν διὰ τὴν σύστασιν Ἰδρύματος, ποῦ θὰ εἶχεν σκοπὸν νὰ συμβάλλῃ εἰς τὴν τεχνικὴν ἐκπαίδευσιν τῶν νέων τῆς Ἑλλάδος.

Διὰ τοῦ Β. Διατάγματος τῆς 10ης Φεβρουαρίου 1956, συνεστήθη τὸ Ἰδρυμα Εὐγενίδου καὶ κατὰ τὴν ἐπιθυμίαν τοῦ διαθέτου ἐτέθη ὑπὸ τὴν διοίκησιν τῆς ἀδελφῆς του Κυρίας Μαρ. Σίμων. Ἀπὸ τὴν στιγμὴν ἐκείνην ἤρχισαν πραγματοποιοῦμενοι οἱ σκοποί, ποῦ ὁραματίσθη ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης καὶ συγχρόνως ἡ πλήρωσις μιᾶς ἀπὸ τὰς βασικωτέρας ἀνάγκας τοῦ ἐθνικοῦ μας βίου.

* * *

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

Εἰδικώτερον, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὰ ἐκπαιδευτικὰ βιβλία τῶν μαθητῶν τῶν Δημοσίων Σχολῶν Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ, τὸ Ἰδρυμα ἀνέλαβε τὴν ἔκδοσίν των ἐν πλήρει καὶ στενῇ συνεργασίᾳ μετὰ τῆς Διευθύνσεως Ναυτικῆς Ἐκπαιδεύσεως τοῦ Ὑπουργείου Ἐμπορικῆς Ναυτιλίας, ὑπὸ τὴν ἐποπτείαν τοῦ ὁποίου ὑπάγονται αἱ Σχολαὶ αὗται.

Ἡ ἀνάθεσις εἰς τὸ Ἰδρυμα ἐγένετο δυνάμει τῆς ὑπ' ἀριθ. 61288/5031, 9ης Αὐγούστου 1966, ἀποφάσεως τοῦ Ὑπουργοῦ Ἐμπορικῆς Ναυτιλίας δι' ἧς συνεκροτήθη καὶ ἡ Ἐπιτροπὴ Ἐκδόσεων.

Κύριος σκοπὸς τῶν ἐκδόσεων αὐτῶν εἶναι ἡ παροχὴ πρὸς τοὺς μαθητὰς τῶν ναυτικῶν σχολῶν τῶν ἀναγκαίων ἐκπαιδευτικῶν κειμένων, τὰ ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν πρὸς τὰ ἐν ταῖς Σχολαῖς διδασκόμενα μαθήματα.

Ἐν τούτοις ἐλήφθη πρόνοια, ὥστε τὰ βιβλία νὰ εἶναι γενικώτερον χρήσιμα δι' ὅλους τοὺς ἀξιωματικούς τοῦ Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ, τοὺς ἀσκοῦντας ἤδη τὸ ἐπάγγελμα καὶ ἐξελισσομένους εἰς τὴν ἱεραρχίαν τοῦ κλάδου των.

* * *

Οἱ συγγραφεῖς καὶ ἡ Ἐπιτροπὴ Ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρυμάτος κατέβαλον κάθε προσπάθειαν, ὥστε τὰ βιβλία νὰ εἶναι ἐπιστημονικῶς ἄρτια ἀλλὰ καὶ προσηρμοσμένα εἰς τὰς ἀνάγκας καὶ τὰς δυνατότητας τῶν μαθητῶν. Δι' αὐτὸ καὶ τὰ βιβλία αὐτὰ ἔχουν γραφῇ εἰς ἀπλὴν γλῶσσαν καὶ ἀνάλογον πρὸς τὴν στάθμην τῆς ἐκπαιδεύσεως διὰ τὴν ὁποίαν προορίζεται ἐκάστη σειρὰ τῶν βιβλίων. Ἡ τιμὴ τῶν βιβλίων ὠρίσθη τόσον χαμηλή, ὥστε νὰ εἶναι προσιτὰ καὶ εἰς τοὺς πλέον ἀπόρους μαθητὰς.

Οὕτω προσφέρονται εἰς τὸ εὐρὺ κοινὸν τῶν καθηγητῶν καὶ τῶν μαθητῶν τῆς ναυτικῆς μας ἐκπαιδεύσεως καὶ εἰς ὅλους τοὺς ἀξιωματικούς τοῦ Ε.Ν. αἱ ἐκδόσεις τοῦ Ἰδρυμάτος, τῶν ὁποίων ἡ συμβολὴ εἰς τὴν πραγματοποίησιν τοῦ σκοποῦ τοῦ Εὐγενίου Εὐγενίδου ἐλπίζεται νὰ εἶναι μεγάλη.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

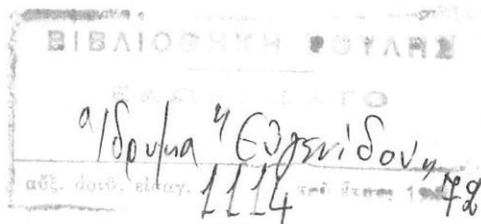
Ἀλέξανδρος Ι. Παππᾶς, Ὁμότ. Καθηγητῆς Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Πρόεδρος.
Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ. Μηχ. Ἡλεκτρ., Ἐφοπλιστής, Ἀντιπρόεδρος.
Μιχαὴλ Γ. Ἀγγελόπουλος, Τακτικὸς Καθηγητῆς Ε. Μ. Πολυτεχνείου.
Ἑλλάδιος Σίδερης, Ὑποναύαρχος Μηχ. (ἐ.ἀ.).
Πασχάλης Ἀντ. Φουστέρης, Πλοίαρχος Α. Σ., Διευθ. Ναυτ. Ἐκπ. Υ. Ε. Ν.
Κωνστ. Α. Μανάφης, Διδ. Φιλ., Σύμβουλος ἐπὶ τῶν ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρυμάτος.
Δημοσθένης Π. Μεγαρίτης, Γραμματεὺς τῆς Ἐπιτροπῆς.

Ε *1* *ΦΔΚ*
Παναγιώτου, Α. Γ.
Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Ευγενίδειον Ίδρυμα

Α. Γ. ΠΑΠΑΠΑΥΛΟΥ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ



ΑΘΗΝΑΙ

1972

009
KηΣ
ΣΤΕΒ
29/11

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ἡ Τεχνικὴ θερμοδυναμικὴ εἶναι ἐκ τῶν σπουδαιότερων μαθημάτων διὰ τοὺς μηχανολόγους μηχανικοὺς καὶ τοὺς μηχανικοὺς ναυτικῶν ἐγκαταστάσεων. Εἰς τὴν θερμοδυναμικὴν ἐξετάζονται οἱ νόμοι, οἱ ὅποιοι διέπουν τὰς ἀλλαγὰς καταστάσεως τῶν ἀερίων καὶ τῶν ἀτμῶν καὶ ἐφαρμόζονται περαιτέρω κατὰ τὴν λειτουργίαν τῶν μηχανῶν ἐσωτερικῆς καύσεως καὶ τῶν ἀτμομηχανῶν. Ἐπίσης μελετῶνται αἱ πραγματικαὶ μεταβολαὶ ἐν συγκρίσει πρὸς τὰς ἰδανικὰς καὶ συνάγονται τὰ ἀπαραίτητα συμπεράσματα διὰ τὴν ἀποδοτικωτέραν λειτουργίαν τῶν θερμικῶν ἐγκαταστάσεων: Τοῦτο, διότι ἡ καλὴ γνώσις ὑπὸ τοῦ ἐπιβλέποντος μηχανικοῦ τοῦ τρόπου λειτουργίας καὶ τῶν ὅρων καλυτέρας ἀποδόσεως τῶν μηχανῶν καὶ μηχανημάτων ἐγγυᾶται τὴν καλὴν συντήρησιν καὶ τὴν οἰκονομικωτέραν ἐκμετάλλευσιν τῶν θερμικῶν ἐγκαταστάσεων.

Ἡ διάρθρωσις τῆς ὕλης καὶ ἡ σειρά τῶν κεφαλαίων τοῦ παρόντος βιβλίου ἔγινε κατὰ τρόπον, ὥστε μὲ τὴν διδασκαλίαν τῶν ἑξῆς πρώτων κεφαλαίων εἰς τὴν Α' τάξιν τῶν Δημοσίων Σχολῶν Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ νὰ προετοιμάζωνται πλήρως οἱ μαθηταί, διὰ νὰ δύνανται νὰ παρακολουθήσουν εἰς τὴν Β' τάξιν τὴν διδασκαλίαν τῶν εἰδικῶν μαθημάτων Ἀτμολεβήτων, Ἀτμομηχανῶν καὶ Μηχανῶν Ἐσωτερικῆς Καύσεως.

Ἀσκήσεις καὶ παραδείγματα ὑπάρχουν εἰς ἕκαστον κεφάλαιον, ὥστε νὰ ὑποβοηθῇται ὁ μαθητὴς εἰς τὴν κατανόησιν τῆς ὕλης καὶ τὴν ἐφαρμογὴν τῶν ὅσων διδάσκεται. Οἱ ἀπαιτούμενοι πίνακες καὶ διαγράμματα διὰ τὴν ἐπίλυσιν ἀσκήσεων ἔχουν περιληφθῇ εἰς ἰδιαιτέρον τεῦχος τῶν ἐκδόσεων τοῦ Εὐγενιδείου Ἰδρύματος μὲ τίτλον ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ. ΠΙΝΑΚΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.

Ὡρισμένα τμήματα τῆς ὕλης ἐγράψαν διὰ μικροτέρων τυπογραφικῶν στοιχείων (ψιλῶν) ταῦτα δύναται ὁ διδάσκων νὰ παραλείψῃ, χωρὶς νὰ διακόπτεται ἡ ἐννοιο-λογικὴ συνέχεια τῆς ὕλης.

Ἀνεξαρτήτως τοῦ σκοποῦ, διὰ τὸν ὅποιον ἐγράφη τὸ βιβλίον αὐτό, πιστεύω ὅτι θὰ ἀποτελέσῃ ἐπίσης σημαντικὸν βοήθημα καὶ διὰ τοὺς τεχνικοὺς ἀξιωματικοὺς τοῦ Πολεμικοῦ Ναυτικοῦ, τοὺς ἀξιωματικοὺς μηχανικοὺς τοῦ Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ, καὶ τοὺς μηχανολόγους μηχανικοὺς ἐν γένει.

Εἰς τὴν ΣΧΟΛΗΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ, εἰς τὴν ὁποίαν ἐφοίτησα ἐπὶ πενταετίαν ὡς μαθητὴς καὶ ἐδίδαξα ἐπὶ 22 ἔτη ὡς καθηγητὴς Θερμοδυναμικῆς, ἀφιερῶν τὸ παρὸν εἰς ἐνδειξιν εὐγνωμοσύνης.

Α.Γ. ΠΑΠΑΠΑΥΛΟΥ

Ὑποναύαρχος Μηχανικὸς ἐ.ἀ.

ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Κ Ε Φ. 1 Είσαγωγή — Τεχνικοί ὅροι

1 - 1	Γενικά	1
1 - 2	Πίεσις	1
1 - 3	Κενόν	3
1 - 4	Μηχανική ἐνέργεια - Θερμική ἐνέργεια	4
1 - 5	Δυναμική ἐνέργεια	5
1 - 6	Κινητική ἐνέργεια	6
1 - 7	Ἐσωτερική ἐνέργεια	7
1 - 8	Μηχανικὸν ἔργον	8
1 - 9	Ἔργον ροῆς	9
1 - 10	Ἴσχυς - Ἴππος	9
1 - 11	Ἀσκήσεις	10
	(Ἰσότητες 1 - 7)	

Κ Ε Φ. 2 Θερμότης — Θερμοκρασία

2 - 1	Θερμική μηχανή	12
2 - 2	Θερμοδυναμικά μέσα	12
2 - 3	Χαρακτηριστικά θερμοδυναμικῶν μέσων	13
2 - 4	Θερμότης - Θερμοκρασία	13
2 - 5	Ἐπίδρασις τῆς θερμότητος ἐπὶ τῆς θερμοκρασίας. Λανθάνουσα καὶ αἰσθητή θερμότης	15
2 - 6	Ἐσωτερική ἐνέργεια ἀερίων	17
2 - 7	Μέτρησις θερμοκρασίας. Σχετική καὶ ἀπόλυτος θερμοκρασία	18
2 - 8	Εἰδικὸς ὄγκος καὶ εἰδικὸν βάρος	19
2 - 9	Εἰδική θερμότης. Μονάδες θερμότητος	20
2 - 10	Εἰδική θερμότης ἀερίων	21
2 - 11	Σχέσις μεταξὺ θερμότητος, εἰδικῆς θερμότητος καὶ θερμοκρασίας	22
2 - 12	Πρῶτος θερμοδυναμικὸς Νόμος. Μηχανικὸν ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος	24
2 - 13	Μετάδοσις θερμότητος	26
2 - 14	Ἀγωγιμότης. Νόμος τοῦ Fourier	27
2 - 15	Μετάδοσις θερμότητος δι' ἀγωγῆς μέσω σειρᾶς τοιχωμάτων	30
2 - 16	Μετάδοσις θερμότητος διὰ μεταφορᾶς	31
2 - 17	Μετάδοσις θερμότητος μέσω τοιχώματος, ποὺ διαχωρίζει δύο ρευστά	33
2 - 18	Μεταφορὰ θερμότητος καὶ ἐπικρατοῦσαι θερμοκρασίαι εἰς κύλινδρον μηχανῆς Ντῆζελ	35
2 - 19	Τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ ρευστοῦ καὶ τοῦ U	36
2 - 20	Μεταφορὰ θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας	38
2 - 21	Ἀσκήσεις	39
	(Ἰσότητες 8 - 24)	

Κ Ε Φ. 3 Ἀέρια — Νόμοι ἀερίων — Μίγματα ἀερίων

3 - 1	Τέλεια ἀέρια. Φυσικὰ ἀέρια	41
3 - 2	Νόμος Boyle καὶ Mariotte	41
3 - 3	Νόμος τοῦ Charles ἢ τοῦ Gay - Lussac	42
3 - 4	Συνδυασμὸς Νόμων Boyle καὶ Lussac	43
3 - 5	Χαρακτηριστικὴ σταθερὰ ἀερίου	44

3 - 6	Χαρακτηριστική Ισότης αερίων	45
3 - 7	Νόμος τοῦ Regnault	46
3 - 8	Νόμος τοῦ Joule	46
3 - 9	Νόμος τοῦ Avogadro	48
3 - 10	Λιβρομόριον καὶ Κιλομόριον (Mol)	49
3 - 11	Διεθνὴς σταθερὰ τῶν αερίων	50
3 - 12	Ὀγκομετρικὴ θερμότης. Σταθερὰ γ αερίων	50
3 - 13	Κινητικὴ θεωρία τῶν αερίων. Βαθμὸς ἐλευθερίας κινήσεως τῶν μορίων τῶν αερίων	51
3 - 14	Καθορισμὸς τῆς τιμῆς τοῦ Κυ τῶν αερίων	53
3 - 15	Ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς μοριακῆς θερμότητος	54
3 - 16	Μίγματα αερίων. Νόμος τοῦ Dalton	56
3 - 17	Εὗρεσις μερικῶν πιέσεων μίγματος αερίων, ὅταν δίδεται ἡ ὅλική ..	57
3 - 18	Ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος. Χαρακτηριστικὴ σταθερά, εἰδικὰ θερμότητες μίγματος αερίων	59
3 - 19	Ἀσκήσεις	61
	(Ἰσότητες 25 - 41)	

Κ Ε Φ. 4 Ἀλλαγὰι καταστάσεως αερίων

4 - 1	Γενικά	62
4 - 2	Ἰσότης διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας εἰς λειτουργίαν ἄνευ ροῆς	63
4 - 3	Ἀλλαγὴ καταστάσεως αερίων ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον	64
4 - 4	Ἀλλαγὴ καταστάσεως αερίων ὑπὸ σταθεράν πίεσιν	69
4 - 5	Γενικὴ ἰσότης ἔργου κατὰ τὴν ἀλλαγὴν καταστάσεων αερίων	69
4 - 6	Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἢ ἰσόθερμος ἀλλαγὴ καταστάσεως αερίων	70
4 - 7	Ὑπερβολικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως αερίου	72
4 - 8	Μαθηματικὴ ἀπόδειξις ἔργου ὑπερβολικῆς ἀλλαγῆς	72
4 - 9	Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως αερίων	73
4 - 10	Πολυτροπικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως αερίων	78
4 - 11	Εὗρεσις ἔργου πολυτροπικῆς καὶ ἰσοεντροπικῆς ἀλλαγῆς	79
4 - 12	Σύγκρισις ἀδιαβατικῆς, ἰσοθερμοκρασιακῆς καὶ πολυτροπικῆς καμπύλης	80
4 - 13	Καθορισμὸς τῆς τιμῆς τοῦ ἐκθέτου Κ	81
4 - 14	Ἐλευθέρᾳ ἄνευ ἀντιστάσεως ἐκτόνωσις αερίου	81
4 - 15	Ἀσκήσεις	84
	(Ἰσότητες 42 - 64)	

Κ Ε Φ. 5 Θερμικοὶ κύκλοι

5 - 1	Γενικά	85
5 - 2	Ἰδανικὴ ἀπόδοσις θερμικοῦ κύκλου	87
5 - 3	Θερμοδυναμικὴ ἀναστρεψιμότης	87
5 - 4	Ἀναστρεψιμότης καὶ θερμοδυναμικαὶ ἀλλαγὰι καταστάσεως	90
5 - 5	Κύκλος τοῦ Carnot	91
5 - 6	Ἰδανικὸς ἢ θεωρητικὸς κύκλος Otto	96
5 - 7	Ἰδανικὸς ἢ θεωρητικὸς κύκλος Diesel	100
5 - 8	Ἰδανικὸς ἢ θεωρητικὸς μικτὸς κύκλος Dual	104
5 - 9	Κύκλος τοῦ Joule	107
5 - 10	Ἀσκήσεις	109
	(Ἰσότητες 65 - 72)	

Κ Ε Φ. 6 Ὑδρατμοὶ

6 - 1	Γενικὰ περὶ ἀτμῶν. Αἱ τέσσαρες καταστάσεις ἐνὸς σώματος	111
6 - 2	Σχηματισμὸς ὑδρατμοῦ. Ὑγρὸς, ξηρὸς, ὑπέρθερμος ὑδρατμὸς	113
6 - 3	Αἰσθητὴ θερμότης ὕδατος. Ὀλικὴ θερμότης ὕδατος	115
6 - 4	Βαθμὸς ξηρότητος ἢ τίτλος ὑγροῦ ὑδρατμοῦ	116

6 - 5	Λανθάνουσα θερμότης ύδρατμοῦ	116
6 - 6	Ὀλική θερμότης ύδρατμοῦ	117
6 - 7	Χρήσις πινάκων ξηροῦ ύδρατμοῦ. Ὑπολογισμὸς θερμότητος ἀτμοποιήσεως τοῦ ὕδατος	118
6 - 8	Ὑπέρθερμος ύδρατμὸς	119
6 - 9	Εἰδικὸς ὄγκος ύδρατμοῦ	120
6 - 10	Ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως	122
6 - 11	Ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ύδρατμοῦ	124
6 - 12	Θερμικὸν περιεχόμενον ἢ ἐνθαλπία	125
6 - 13	Ἀσκήσεις	126
	(Ἰσότητες 73 - 83)	

Κ Ε Φ. 7 Ἐντροπία

7 - 1	Ἐννοια τῆς ἐντροπίας	128
7 - 2	Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως εἰς διάγραμμα T - S	129
7 - 3	Κύκλος Carnot εἰς διάγραμμα T - S	130
7 - 4	Μετατρέψιμος καὶ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια	131
7 - 5	Ἡ ἐντροπία ὡς δείκτης τῆς μὴ μετατρεψίμου ἐνεργείας	133
7 - 6	Μαθηματικὴ ἔκφρασις τῆς ἐντροπίας	136
7 - 7	Ἀλλαγὴ ἀερίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον καὶ σταθερὰν πίεσιν	137
7 - 8	Ἰσοθερμοκρασιακὴ καὶ ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ ἀερίου	137
7 - 9	Πολυτροπικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ἀερίου	137
7 - 10	Μεταβολὴ τῆς ἐντροπίας ἀερίου κατὰ τὰς διαφόρους ἀλλαγὰς καταστάσεως (Ἀνακεφαλαίωσις)	138
7 - 11	Ἐντροπία ὕδατος	138
7 - 12	Ἐντροπία ἀτμοποιήσεως. Ἐντροπία ξηροῦ καὶ ὕγρου ύδρατμοῦ	139
7 - 13	Ἐντροπία ὑπερθέρμου ύδρατμοῦ	139
7 - 14	Γραφικὴ παράστασις τῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως ἀερίων εἰς ἄξονας T - S	141
7 - 15	Κύκλος Otto - Diesel καὶ Μικτὸς εἰς ἄξονας T - S	144
7 - 16	Σύγκρισις κύκλων Carnot καὶ Diesel	144
7 - 17	Σύγκρισις κύκλων Otto καὶ Diesel	146
	(Ἰσότητες 84 - 98)	

Κ Ε Φ. 8 Διαγράμματα ύδρατμοῦ. Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ύδρατμοῦ

8 - 1	Διάγραμμα ύδρατμοῦ - Ἐντροπίας - Θερμοκρασίας (T - S)	148
8 - 2	Διάγραμμα P, υ - Διάγραμμα i - S	151
8 - 3	Ἀλλαγὴ καταστάσεως ύδρατμῶν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον	152
8 - 4	Ἀλλαγὴ καταστάσεως ύδρατμῶν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν	154
8 - 5	Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ύδρατμοῦ	154
8 - 6	Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ύδρατμοῦ	157
8 - 7	Στραγγαλισμὸς ύδρατμοῦ	159
8 - 8	Παράστασις θερμότητος ὕδατος, λανθανούσης θερμότητος, ὀλικῆς θερμότητος καὶ θερμότητος ὑπερθερμάνσεως ύδρατμοῦ εἰς διάγραμμα T - S	161
8 - 9	Γραμμαὶ σταθερᾶς πίεσεως, σταθεροῦ ὄγκου, σταθερᾶς ὀλικῆς θερμότητος εἰς διάγραμμα T - S	162
8 - 10	Διάγραμμα Mollier (i - S) ύδρατμοῦ - Περιγραφή - Χρήσις	163
8 - 11	Μέτρησις βαθμοῦ ξηρότητος ύδρατμοῦ	169
	(Ἰσότητες 99 - 104)	

Κ Ε Φ. 9 Μίγμα ἀέρος καὶ ύδρατμοῦ

9 - 1	Γενικὰ	173
9 - 2	Μερικαὶ πιέσεις ἀέρος - ύδρατμοῦ	174
9 - 3	Ἀπόλυτος ὕγρασις - Σχετικὴ ὕγρασις	174

16 - 3	Ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα. Ψυκτικὸς τόννος. Συντελεστὴς λειτουργίας ψυκτικῆς ἐγκαταστάσεως	316
16 - 4	Μηχανικὴ ψύξις διὰ συμπίεσεως ἀτμῶν - ἀναστρεφόμενος κύκλος Rankine	318
16 - 5	Βασικὰ ἐξαρτήματα διὰ τὴν πραγματοποίησιν ψυκτικοῦ κύκλου διὰ συμπίεσεως	320
16 - 6	Ὑδροποίησης ἀερίων καὶ ἀτμῶν. Ψυκτικοὶ φορεῖς	322
16 - 7	Ἀμμωνία, Freon 12 καὶ Freon 22	323
16 - 8	Λανθάνουσα θερμότης καὶ ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα	325
16 - 9	Διάγραμμα πίεσεως - ὀλικῆς θερμότητος ἢ ἐνθαλπίας (P - i) ψυκτικῶν φορέων. Κύκλος λειτουργίας (Ὑπερθέρμανσις καὶ Ὑπόψυξις)	326
16 - 10	Τυπικὸς κύκλος Freon 12	330
16 - 11	Σύστημα ψύξεως δι' ἀπορροφήσεως ἀτμῶν	334
16 - 12	Ἀσκήσεις (Ἰσότητες 248 - 252)	335

Κ Ε Φ. 17 Κλιματισμὸς ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος

17 - 1	Εἰσαγωγή	337
17 - 2	Θεωρία τοῦ κλιματισμοῦ	337
17 - 3	Θερμότης τοῦ ἀέρος. Ψυχομετρικὸν διάγραμμα	338
17 - 4	Κίνησις τοῦ ἀέρος	341
17 - 5	Ἰσοζύγιον θερμότητος τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος	341
17 - 6	Αἴσθημα ἀνέσεως. Ἐνεργὸς θερμοκρασία. Κλιματισμὸς κατὰ τὸν χειμῶνα. Κλιματισμὸς κατὰ τὸ θέρος	343
17 - 7	Βασικὸς κύκλος κλιματισμοῦ διὰ ψύξιν εἰς διαμέρισμα πλοίου	346
17 - 8	Διάγραμμα ἀνέσεως - Ζώνη ἀνέσεως χειμῶνος - Ζώνη ἀνέσεως θέρους	348
17 - 9	Ἀσκήσεις	351

Κ Ε Φ. 18 Ἐξαρτήματα μεταφορᾶς θερμότητος

18 - 1	Γενικὰ	352
18 - 2	Μέση διαφορὰ θερμοκρασίας	353
18 - 3	Παράλληλος καὶ ἀντίστροφος ροή	354
18 - 4	Μεταφορὰ θερμότητος μετὰ παράλληλον καὶ ἀντίστροφον ροὴν (Ἰσότητες 253 - 254)	355

Κ Ε Φ. 19 Περιγραφή ἐγκαταστάσεως ἀτμοκινήτου πλοίου.

Ροὴ ὕδρατμου καὶ ἰσοζύγιον θερμότητος

19 - 1	Γενικὰ	362
19 - 2	Μηχανήματα τῆς ἐγκαταστάσεως	362
19 - 3	Σωληνώσεις	364
19 - 4	Χαρακτηριστικὰ τοῦ πλοίου, ὅταν τοῦτο πλῆρὴ μετὰ κανονικὴν πλήρη ἰσχύιν	364
19 - 5	Ροὴ ὕδρατμου καὶ ἰσολογισμὸς θερμότητος	365
19 - 6	Ροὴ ὕδρατμου, ὅταν τὸ πλοῖον πλῆρὴ μετὰ μεγίστην ἰσχύιν	370
19 - 7	Ροὴ ὕδρατμου, ὅταν τὸ πλοῖον πλῆρὴ μετὰ μεγίστην ἰσχύιν καὶ γίνεται καθαρισμὸς δεξαμενῶν φορτίου Butterworth	371
19 - 8	Ροὴ ὕδρατμου, ὅταν τὸ πλοῖον πλῆρὴ μετὰ μεγίστην ἰσχύιν καὶ γίνεται θέρμανσις τοῦ ὑγροῦ φορτίου του	371
19 - 9	Ροὴ ὕδρατμου. Πλοῖον εἰς τὸν λιμένα. Ἐκφόρτωσις ὑγροῦ φορτίου	371

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ — ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

1.1 Γενικά.

Θερμοδυναμική γενικῶς εἶναι ὁ κλάδος τῆς Φυσικῆς, ὁ ὁποῖος ἐξετάζει καὶ μελετᾷ διαφόρους μορφὰς ἐνεργείας καὶ ἰδιαιτέρως τοὺς νόμους μετατροπῆς τῆς θερμικῆς εἰς ἄλλας μορφὰς ἐνεργείας καὶ ἀντιστρόφως.

Εἰδικώτερον ἡ Θερμοδυναμικὴ ἐξετάζει τὴν συμπεριφορὰν τῶν ἀερίων καὶ ἀτμῶν ὑπὸ διαφόρους θερμοκρασίας καὶ πιέσεις βάσει τῶν ἀποτελεσμάτων πειραματικῶν νόμων τῆς Φυσικῆς. Ἡ συμπεριφορὰ τῶν ἀερίων καὶ ἀτμῶν εἰς διαφόρους θερμοκρασίας καὶ πιέσεις ἐφαρμόζονται εἰς προβλήματα, τὰ ὅποια ἀνακύπτουν κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν καὶ τὴν λειτουργίαν τῶν Λεβήτων, τῶν Ἀτμομηχανῶν, τῶν Μηχανῶν Ἐσωτερικῆς Καύσεως, τῶν Ψυκτικῶν μηχανῶν καὶ τῶν Ἀεροσυμπιεστῶν.

Ἡ ἐφαρμογὴ τῶν ἀρχῶν τῆς Θερμοδυναμικῆς εἰς μηχανολογικά προβλήματα ὁδηγεῖ τὸν μηχανικὸν εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς του, βοηθεῖ αὐτὸν εἰς τὴν πλήρη κατανόησιν τοῦ λειτουργικοῦ μέρους μιᾶς θερμικῆς μηχανῆς καὶ τὸν καθιστᾷ ἱκανὸν εἰς τὸ νὰ ἐπιτυχάνῃ τὴν μετατροπὴν τῆς θερμικῆς ἐνεργείας (καυσίμου) εἰς μηχανικὴν κατὰ τὸν ἀποδοτικώτερον τρόπον. Ἡ Θερμοδυναμικὴ ἐπομένως εἶναι ἐκ τῶν βασικωτέρων μαθημάτων διὰ τοὺς μηχανικοὺς, ἡ δὲ γνώσις αὐτῆς διαχωρίζει τὸν μηχανικὸν ἀπὸ τὸν τεχνίτην.

Εἰς τὸ παρὸν βιβλίον τονίζονται ἰδιαιτέρως τὰ θέματα, ποὺ ἀφοροῦν εἰς τὰς Θερμικὰς Μηχανάς, ἐξ οὗ καὶ ὁ τίτλος *Τεχνικὴ Θερμοδυναμική*.

1.2 Πίσεις.

Πίσις καλεῖται ἡ δύναμις ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας. Εἰς τὴν περίπτωσιν ἀερίων ἢ ἀτμῶν ἡ πίσις εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς συνεχοῦς προσ-

κρούσεως κινουμένων μορίων ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων τοῦ χώρου, ἐντὸς τοῦ ὁποίου εὐρίσκονται, ἐπομένως εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἢ πίεσις θὰ εἶναι ἀνάλογος μὲ τὸν ἀριθμὸν, τὴν μᾶζαν καὶ τὴν κινητικότητα τῶν μορίων τῶν ἀερίων ἢ τῶν ἀτμῶν.

Ἡ πίεσις παρίσταται μὲ τὸ γράμμα P καὶ συνήθως ἐκφράζεται εἰς kg ἀνὰ cm^2 (kg/cm^2) ἢ εἰς lb ἀνὰ in^2 (lb/in^2). Ἐπειδὴ εἰς τὸ Τεχνικὸν σύστημα μονάδων ὡς μονὰς μήκους λαμβάνεται τὸ μέτρον (m) ἢ ὁ ποὺς (ft), πολλάκις ἡ πίεσις ἀπὸ kg/cm^2 μετατρέπεται εἰς kg/m^2 καὶ ἀπὸ lb/in^2 εἰς lb/ft^2 . Οἱ μηχανικοὶ ἐκφράζουν ἐπίσης τὴν πίεσιν μὲ ὅρους ἰσοδυνάμου στήλης ἐνὸς ὑγροῦ ὡς π.χ. εἰς ἑκατοστὰ ἢ ἴντσας ὑδραργύρου καὶ εἰς ἑκατοστὰ ἢ μέτρα στήλης ὕδατος.

Ἡ τυπικὴ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις εἰς τὴν ἐπιφάνειαν θαλάσσης ἔχει καθορισθῇ εἰς 76 cm ἢ $29,92 \text{ in}$ ὑδραργυρικῆς στήλης, ποὺ ἰσοδυναμεῖ μὲ $1,033 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $14,7 \text{ lb/in}^2$ ἢ $10,33 \text{ m}$ καὶ $33,9 \text{ ft}$ στήλης ὕδατος.

Διὰ προβλήματα, ποὺ ἔχουν σχέσιν μὲ τὰς τεχνικὰς ἐφαρμογὰς γενικῶς, ὡς μονὰς πιέσεως λαμβάνεται ἡ *τεχνικὴ ἀτμόσφαιρα*, ἡ ὁποία ἰσοῦται πρὸς 1 kg/cm^2 . Εἰς τὸ ἀγγλικὸν σύστημα πολλάκις ἀντὶ $14,7$ λαμβάνεται 15 lb/in^2 .

Τὰ πλεῖστα ὄργανα μετρήσεως πιέσεων μετροῦν πίεσεις μὲ ἀφετηρίαν τὴν μίαν τεχνικὴν ἀτμόσφαιραν. Ἡ μετρομένη οὕτω πίεσις λέγεται *μανομετρικὴ πίεσις*.

Ἡ πίεσις, ὅταν μετρῇται μὲ ἀφετηρίαν τὸ τέλειον κενὸν (δηλαδὴ πίεσις μηδέν), ὀνομάζεται *ἀπόλυτος πίεσις*, ἐνῶ, ὅταν μετρῇται μὲ ἀφετηρίαν τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν, ὀνομάζεται *μανομετρικὴ*. "Οἱ αἱ θερμοδυναμικαὶ ἰσότητες καὶ ὑπολογισμοί, εἰς τοὺς ὁποίους ὑπάρχει καὶ τὸ μέγεθος πίεσις, ἀφοροῦν εἰς τὴν ἀπόλυτον πίεσιν.

Τὰς *μανομετρικὰς πιέσεις* τὰ *θλιβόμετρα* τὰς μετροῦν συνήθως εἰς kg/cm^2 ἢ lb/in^2 . Διὰ τὴν εὐρεσιν τῆς ἀπολύτου πιέσεως ὑφίσταται ἡ σχέση :

$$\text{Ἀπόλυτος πίεσις} = \text{Θλιβομετρικὴ πίεσις} + \text{Ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις} \\ \text{ἥτοι :} \quad P_{\text{ἀπολ.}} = P_{\text{θλ.}} + 1 \text{ ata} \quad (1)$$

Παράδειγμα 1ον.

Πίεσις 12 kg/cm^2 ἐξασκεῖται ἐπὶ ἐπιφανείας 2 m^2 . Ποία ἡ ὁλικὴ δύναμις ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας;

Λύσις:

Ἐκφράζομεν τὴν πίεσιν εἰς kg/m^2 ἀντὶ kg/cm^2

$$P = 12 \times 10\,000 = 120\,000 \text{ kg/m}^2.$$

Ἡ ἐπιφάνεια $A = 2 \text{ m}^2$. Ἐπομένως $P \cdot A = 120\,000 \times 2 = 240\,000 \text{ kg}$.

*Ελεγχος διαστάσεων : $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2 = \text{kg}$.

Παράδειγμα 2ον.

Τὸ ἔμβολον ἀτμομηχανῆς ἔχει ἐπιφάνειαν 2 ft^2 . Ἐπ' αὐτοῦ ὁ ἀτμὸς ἐξασκεῖ πίεσιν 120 lb/in^2 . Ποία ἡ ὀλική δύναμις ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου;

Δύσις:

Μετατρέπομεν τὴν πίεσιν εἰς lb/ft^2 ἀντὶ lb/in^2 , οὕτω:

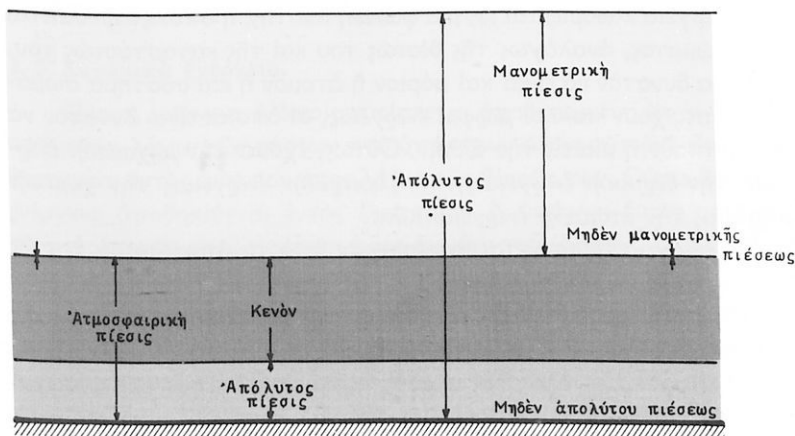
$$P = 120 \times 144 = 17\,280 \text{ lb/ft}^2. \text{ Ἡ ἐπιφάνεια } A = 2 \text{ ft}^2.$$

$$\text{Ἐπομένως } P \cdot A = 17\,280 \times 2 = 34\,560 \text{ lb}.$$

*Ελεγχος διαστάσεων : $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \cdot \text{ft}^2 = \text{lb}$.

1.3 Κενόν.

Πίεσεις κάτω τῆς ἀτμοσφαιρικῆς μετροῦνται μὲ ὄργανα, τὰ ὁποῖα ὀνομάζονται *κενόμετρα* καὶ ἔχουν ἐνδείξεις εἰς cm ἢ in στήλης ὑδραργύρου. Τὸ κενόμετρον, ὅταν εἶναι συνδεδεμένον μὲ δοχεῖον, ἐντὸς τοῦ ὁποίου ὑπάρχει πίεσις ἀτμοσφαιρική, θὰ δεικνύη μηδέν. Ὅταν ὅμως εἶναι συνδεδεμένον μὲ δοχεῖον, ἐντὸς τοῦ ὁποίου ὑπάρχει τέλειον κενόν, θὰ δεικνύη 76 cm ἢ $29,92 \text{ in}$ ὑδραργύρου. Αὐτὰ ὑπὸ τὴν προϋ-



Σχ. 1.3.

πόθεσιν ὅτι ἐξωτερικῶς ἐπικρατοῦν τυπικαὶ συνθῆκαι ἀτμοσφαιρικῆς πίεσεως. Κάθε ἐνδείξις ἐπομένως ἐνὸς κενομέτρου φανερῶνει πτῶσιν πίεσεως κάτω τῆς ἀτμοσφαιρικῆς. Εἰς τὰ πλοῖα ἡ πτῶσις αὕτῃ τῆς πίεσε-

ως ονομάζεται *κενόν*. Διὰ τὴν εὐρεθὴ ἢ ἀπόλυτος πίεσις ἐντὸς τοῦ δοχείου ἰσχύει ἡ ἰσότης :

$$\text{Ἀπόλυτος πίεσις} = \text{Ἀτμοσφαιρική πίεσις} - \text{Κενόν}$$

$$P_{\text{ἀπολ.}} = 1 \text{ ata} - \text{κενόν} \quad (2)$$

Τὸ σχῆμα 1.3 παριστᾷ γραφικῶς τὰς διαφορὰς σχέσεις πιέσεων, ὡς ἀνεπτύχθησαν εἰς τὰς παραγράφους 1.2 καὶ 1.3.

Παράδειγμα.

Θλιβόμετρον συνδεδεμένον μὲ ἀτμοστροβίλον δεικνύει πίεσιν εἰσαγωγῆς ἀτμοῦ 380 lb/in². Κενόμετρον συνδεδεμένον μὲ τὴν ἐξαγωγήν τοῦ ἀτμοστροβίλου δεικνύει κενὸν 28 in Hg. Τὸ βαρόμετρον εἰς τὴν γέφυραν τοῦ πλοίου δεικνύει 30,1 in Hg.

Νὰ εὐρεθῇ: α) Ἡ ἀπόλυτος πίεσις εἰσαγωγῆς τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὸν ἀτμοστρόβilon. β) Ἡ ἀπόλυτος πίεσις ἐξαγωγῆς τοῦ ἀτμοῦ ἀπὸ τὸν ἀτμοστρόβilon.

Λύσις:

$$\alpha) 1 \text{ in Hg} = \frac{14,7}{29,92} = 0,491 \text{ lb/in}^2.$$

$$30,1 \text{ in Hg} = 30,1 \times 0,491 = 14,8 \text{ lb/in}^2.$$

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (1) ἔχομεν:

$$P = 380 + 14,8 = 394,8 \text{ lb/in}^2 \text{ ἀπολ.}$$

$$\beta) \text{ Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (2) ἔχομεν } P = 30,1 - 28 = 2,1 \text{ in Hg ἀπολ.}$$

1.4 Μηχανικὴ ἐνέργεια. Θερμικὴ ἐνέργεια.

Ἐνέργεια καθορίζεται ὡς μία φυσικὴ ιδιότης, ἡ ὁποία περικλείεται ἐντὸς σώματος, ἀναλόγως τῆς θέσεώς του καὶ τῆς καταστάσεώς του. Τὸ σῶμα δυνατὸν νὰ εἶναι καὶ μόριον ἢ ἄτομον ἢ καὶ σύστημα σωμάτων. Ὑπάρχουν πολλὰ *μορφὰ ἐνεργείας*, αἱ ὁποῖαι εἶναι δυνατὸν νὰ μετατραποῦν ἢ μία εἰς τὴν ἄλλην. Οὕτως, ἔχομεν τὴν *μηχανικὴν ἐνέργειαν*, τὴν *θερμικὴν ἐνέργειαν*, τὴν *ἠλεκτρικὴν ἐνέργειαν*, τὴν *χημικὴν ἐνέργειαν*, τὴν *ἀτομικὴν ἐνέργειαν* κ.λπ.

Ἡ ἐνέργεια ἐρμηνεύεται σαφέστερον ἀπὸ τὸ ἀποτέλεσμά της ὡς *ικανότης πρὸς παραγωγὴν ἔργου*.

Εἰς τὴν Θερμοδυναμικὴν ἐξετάζομεν τὴν μετατροπὴν τῆς θερμικῆς ἐνεργείας εἰς μηχανικὴν καὶ ἀντιστρόφως.

Ἡ ἐνέργεια ὑφ' ὅλας τὰς μορφάς της διακρίνεται εἰς δύο κατηγορίας: α) *Ἐνέργεια ἐν ἀποθηκεύσει* καὶ β) *μεταβιβαζομένη ἐνέργεια* (ἐνέργεια ἐν μεταφορᾷ). Μεταβιβαζομένη ἐνέργεια εἶναι μία μεταβατικὴ μορφή ἐνεργείας ἐνδιάμεσος μεταξὺ δύο ἢ περισσοτέρων ἐν ἀποθηκεύσει μορφῶν ἐνεργείας. Ὀλόκληρος ἡ μεταβιβαζομένη ἐνέργεια ξεκινᾷ καὶ προφανῶς καταλήγει εἰς μίαν ἀπὸ τὰς πολλὰς ἐν ἀποθηκεύσει μορφὰς ἐνεργείας.

Π.χ. ἔστω ὅτι ἔχομεν ἐν σῶμα εὐρισκόμενον ἐν ἀκινήσει εἰς ὥρισμένον ὕψος ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας τοῦ ἐδάφους. Τὸ σῶμα αὐτὸ περικλείει ἐνέργειαν δυναμικῆς μορφῆς, ἡ ὁποία ὅμως δὲν ἐκδηλοῦται. Ἄρα ἡ ἐνέργεια αὐτὴ εἶναι τρόπον τινὰ ἀποθηκευμένη ἐντὸς τοῦ σώματος. Ἐὰν ὅμως δι' οἰανδήποτε αἰτίαν τὸ σῶμα κινηθῇ πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ἐδάφους, τότε ἔχομεν μεταβιβαζομένην μορφήν ἐνεργείας, ἡ ὁποία παράγει μηχανικὸν ἔργον, ὁπότε ἡ μεταβιβαζομένη ἐνέργεια καταλήγει εἰς ἐν ἀποθηκεύσει.

Ἐντὸς ἐνὸς συστήματος σωμάτων ἡ ἐν ἀποθηκεύσει ἐνέργεια εὐρίσκεται βασικῶς παροῦσα ὑπὸ κινητικὴν ἢ δυναμικὴν μορφήν ἢ ἀμφοτέρως. Μία ἄλλη μέθοδος ταξινομήσεως τῆς ἐνεργείας βασίζεται ἐπὶ τοῦ μεγέθους τῶν ἀντικειμένων, πού ἀποτελοῦν τὸ ἐξεταζόμενον σύστημα. *Ἐνέργεια, ἡ ὁποία ἔχει σχέσιν μὲ τὴν θέσιν ἢ κίνησιν ὑλικῶν σωμάτων, εἶναι Μηχανικὴ ἐνέργεια.*

Ἐνέργεια, ἡ ὁποία ἔχει σχέσιν μὲ τὴν κίνησιν καὶ τὰς μεταξὺ τῶν θέσεις τῶν μορίων τῶν σωμάτων, ὀνομάζεται Θερμικὴ ἐνέργεια.

Ἡ θερμικὴ ἐνέργεια χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὴν δυνατότητα της νὰ μεταφέρεται ἀπὸ σώματος εἰς σῶμα βασικῶς λόγῳ διαφορᾶς θερμοκρασίας (ὁ ὅρος αὐτὸς θὰ ἀναπτυχθῇ βραδύτερον). Ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν.

1.5 Δυναμικὴ ἐνέργεια.

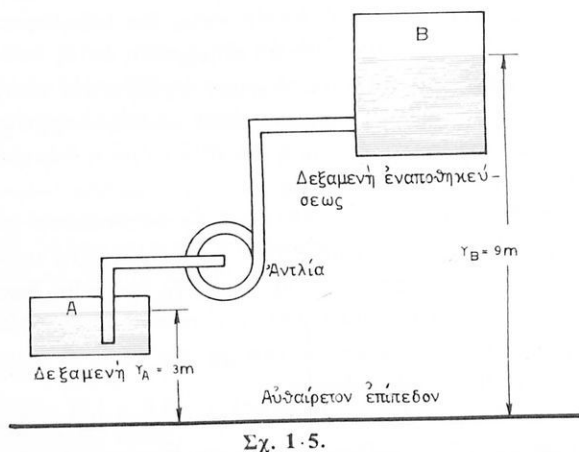
Εἶναι ἡ ἐνέργεια, ἡ ὁποία εὐρίσκεται ἀποθηκευμένη ἐντὸς ἐνὸς συστήματος, λόγῳ τῶν τάσεων πού ὑπάρχουν ἐντὸς αὐτοῦ ἢ εἶναι ἀποθηκευμένη ἐντὸς ἐνὸς σώματος λόγῳ τῆς θέσεώς του. Οὕτω δυναμικὴ ἐνέργεια ἀποθηκεύεται ἐντὸς ἐλατηρίου ἢ ὑπάρχει ἐντὸς σώματος, πού εὐρίσκεται εἰς ὥρισμένον ὕψος ἄνωθεν τοῦ ἐδάφους, ὡς ἐλέχθη εἰς τὸ προηγούμενον παράδειγμα.

Τὸ μηχανικὸν ἔργον W προσδιορίζεται ἀπὸ τὴν δύναμιν ἐπὶ τὴν ἀπόστασιν, εἰς τὴν ὁποίαν αὐτὴ μετακινεῖται. Ἐργον, ἀντιθέτως πρὸς τὴν βαρύτητα, εἶναι ἴσον μὲ τὸ βάρος ἐνὸς σώματος ἐπὶ τὴν κατακόρυφον ἀπόστασιν, εἰς τὴν ὁποίαν τοῦτο μετακινεῖται. Ἐπομένως, ἐὰν B εἶναι τὸ βάρος τοῦ σώματος εἰς kg ἢ lb , Y ἡ κάθετος ἀπόστασις (ἀνύψωσις) τοῦ σώματος ἄνω ἐνὸς αὐθαίρετου ἐπιπέδου εἰς m ἢ ft , τότε:

$$\text{Ἐργον:} \quad W = B \cdot Y \quad (\text{kgm ἢ ftlb}), \quad (3)$$

$$\text{ἢ } W = Y \text{ kgm ἢ ftlb ἀνὰ μονάδα βάρους τοῦ σώματος} \quad (4)$$

Βεβαίως ή επίλογή ένός αὐθαίρετου επίπεδου ἀρχής ὁδηγεῖ εἰς μέτρη-
σιν δυναμικῆς ἐνεργείας, ή ὁποία εἶναι σχετική μᾶλλον παρά ἀπόλυτος.



Παράδειγμα.

Ποία ή διαφορά δυναμικῆς ἐνεργείας ἀνά kg ὕγρου εἰς τὰς δεξαμενάς Α καὶ Β τοῦ σχήματος 1.5;

Λύσις:

Ἀπὸ τὴν ἰσότητά (4) ἔχομεν: $W = Y$.

Ἐπομένως $W_A = 3 \text{ kgm}$ $W_B = 9 \text{ kgm}$

$$W_B - W_A = 9 - 3 = 6 \text{ kgm}.$$

1.6 Κινητική ἐνέργεια.

Εἶναι ή ἐνέργεια, ή ὁποία εἶναι ἀποθηκευμένη ἐντὸς ἐνός συστή-
ματος λόγω τῆς σχετικῆς κινήσεως μεταξύ σωμάτων, ποὺ ἀποτελοῦν
τὸ σύστημα. Εἰς τὸ βιβλίον αὐτὸ μὲ τὸν ὅρον κινητικὴ ἐνέργεια θὰ ἐν-
νοοῦμεν τὴν ἐν ἀποθηκεύσει μηχανικὴν ἐνέργειαν, ή ὁποία εἶναι ἀπο-
τέλεσμα τῆς ταχύτητος ἐνός σώματος σχετικὰ μὲ τὴν γῆν.

Ἀπὸ τὴν Φυσικὴν γνωρίζομεν ὅτι ή κινητικὴ ἐνέργεια ἐνός σώμα-
τος εἶναι :

$$K_E = \frac{MV^2}{2} \quad (5)$$

ὅπου: M ή μᾶζα τοῦ σώματος καὶ V ή ταχύτης του σχετικὰ μὲ
τὴν γῆν εἰς m/sec ή ft/sec . Ἐπίσης ἀπὸ τὴν Φυσικὴν γνωρίζομεν

ὅτι $M = \frac{B}{g}$, ὅπου B εἶναι τὸ βάρος τοῦ σώματος εἰς kg ή lb καὶ g

ή ἐπιτάχυνσις τῆς βαρύτητος εἰς m/sec^2 ή ft/sec^2 .

Επομένως ή ισότης (5) γράφεται :

$$K_E = \frac{BV^2}{2g} \quad (6)$$

Η κινητική ενέργεια, που κατέχει έν σῶμα ανά μονάδα βάρους, είναι :

$$K_E = \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

Η κινητική ενέργεια μετρεῖται εις kgm ή ftlb.

Παράδειγμα 1ον.

Σῶμα βάρους 5 kg έχει ταχύτητα 300 m/sec. Ποία ή κινητική ενέργειά του;

Λύσις:

Από την ισότητα (6) έχομεν:

$$K_E = \frac{B \cdot V^2}{2g} = \frac{5 \times (300)^2}{2 \times 9,81} = 22\,833,8 \text{ kgm.}$$

Έλεγχος διαστάσεων : $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{sec}^2}{\text{m}/\text{sec}^2} = \text{kgm.}$

Παράδειγμα 2ον.

Ατμός ρέει εις σωλήνα με ταχύτητα 100 ft/sec. Ποία ή κινητική ενέργειά του ανά lb βάρους;

Λύσις:

Από την ισότητα (7) έχομεν:

$$K_E = \frac{V^2}{2g} = \frac{(100)^2}{2 \times 32,2} = 155 \text{ ftlb.}$$

Έλεγχος διαστάσεων : $\frac{\text{lbft}^2/\text{sec}^2}{\text{ft}/\text{sec}^2} = \text{ftlb.}$

1.7 Έσωτερική ενέργεια.

Εις τας δύο προηγουμένης παραγράφους ανέφέρθη ή σημασία της κινητικής και δυναμικής ενέργειας έν σχέσει πρὸς την θέσιν και κίνησιν ὕλικῶν σωμάτων.

Η έσωτερική ενέργεια ένὸς σώματος είναι τὸ ἀποτέλεσμα της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας, αἱ ὁποῖαι ἔχουν σχέσιν με τὰ μόρια, πὺ ἀποτελοῦν τὸ σῶμα.

Δεδομένου δὲ ὅτι την μορφήν αὐτήν της ενέργειας την ὀνομάζομεν θερμικήν (παραγρ. 1.4), ἔπεται ὅτι *έσωτερική ενέργεια είναι ή θερμική ενέργεια ή αποθηκευμένη έντὸς ένὸς σώματος.*

Η *έσωτερική δυναμική ενέργεια* είναι ἀποτέλεσμα τῶν δυνάμεων ἑλξεως, πὺ ὑπάρχουν μεταξύ τῶν μορίων. Τὸ μέγεθος τῶν δυνάμεων αὐτῶν ἀποτελεῖ συνάρτησιν τῶν μαζῶν τῶν μορίων και της μεταξύ των ἀποστάσεως. Επομένως, ἐάν εις έν σῶμα μεταβληθῇ τὸ μεταξύ

τῶν μορίων του διάστημα, θὰ προκύψῃ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς δυναμικῆς ἐνεργείας τοῦ σώματος.

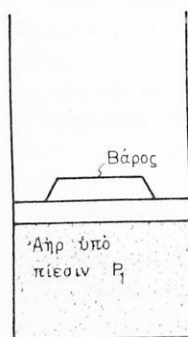
Ἡ μεταβολὴ αὐτὴ εἶναι ἐμφανής, ὅταν τὸ σῶμα ἀλλάσῃ κατάσταση. Οὕτως ἀπαιτεῖται π.χ. σημαντικὸν ποσὸν ἐνεργείας διὰ τὴν ἀτμοποίησην τοῦ ὕδατος. Ἡ ἐνέργεια αὐτὴ δαπανᾶται διὰ τὴν μεταβολὴν τῆς πολὺ μικρᾶς ἀποστάσεως τῶν μορίων τοῦ ὕδατος εἰς τὴν ἀρκετὰ μεγάλην, ἣ ὁποία ὑπάρχει εἰς τὰ μόρια τοῦ ἀτμοῦ καὶ ἀποθηκεύεται ὡς *ἐσωτερικὴ θερμικὴ ἐνέργεια* εἰς τὸν ὑδρατμόν.

Ἡ ἐσωτερικὴ κινητικὴ ἐνέργεια εἶναι συνάρτησις τῆς ταχύτητος τῶν μορίων.

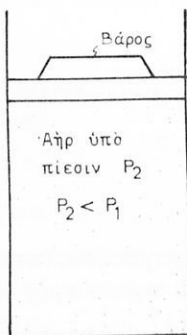
1.8 Μηχανικὸν ἔργον.

Μηχανικὸν ἔργον εἶναι *μεταβιβαζομένη μηχανικὴ ἐνέργεια*. Ἡ μεταβιβαζομένη ἐνέργεια εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς μετακινήσεως μιᾶς δυνάμεως εἰς μίαν ἀπόστασιν, ὡς ἀνεφέρθη καὶ εἰς τὴν παράγραφον 1.5.

Ἐστω ὅτι ἐντὸς καθέτου κυλίνδρου ὑπάρχει ἀήρ ὑπὸ ὑψηλῆν πίεσιν καὶ ἔμβολον μὲ ἐν βάρος ἐπ' αὐτοῦ (σχ. 1.8α). Ἐὰν τὸ ἔμβολον ἀφεθῇ ἐλεύθερον, θὰ ἀνυψωθῇ λόγῳ τῆς πίεσεως, ἕως ὅτου ἀποκτηθῇ ἰσορροπία (σχ. 1.8β). Παρατηροῦμεν ὅτι μίαν δύναμις ἐνήργησεν ἐπὶ μίαν ἀπόστασιν καὶ παρήχθη μηχανικὸν ἔργον καὶ ἐνέργεια, ἣ ὁποία ἐνῶ ἀρχικῶς ὑπῆρχε ὡς ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ἀποθηκευμένη εἰς



Σχ. 1.8 α.



Σχ. 1.8 β.

τὸν ἀέρα εὐρίσκεται τώρα τρόπον τινὰ ἀποθηκευμένη ὡς μηχανικὴ δυναμικὴ ἐνέργεια εἰς τὴν μάζαν τοῦ σώματος, τοῦ εὕρισκομένου ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου.

Ἡ Τεχνικὴ Θερμοδυναμικὴ ἐνδιαφέρεται ἰδιαίτερώς διὰ τὸ μηχανικὸν ἔργον καὶ ὁ κύριος σκοπὸς της εἶναι ἡ βελτίωσις τῶν μεθόδων, ὥστε νὰ ἀποκτᾶται τὸ μέγιστον δυνατὸν ἔργον ἀπὸ μίαν διαθέσιμον ἐνέργειαν ἢ νὰ ἀποκτᾶται τὸ ἐπιθυμητὸν ἀποτέλεσμα μὲ τὴν ἐλαχίστην δυνατὴν δαπάνην ἔργου.

Τὸ μηχανικὸν ἔργον εἰς τὸ τεχνικὸν σύστημα μονάδων μετρεῖται εἰς χιλιογραμμόμετρα (kgm) ἢ ποδόλιβρα (ftlb).

1.9 Ἔργον ροῆς.

Ἡ ἔργον ροῆς καλεῖται ἡ ἀπαιτούμενη ἐνέργεια διὰ τὴν διατήρησιν τῆς συνεχοῦς ροῆς ἐνὸς ρευστοῦ. Εἶναι μηχανικῆς φύσεως καὶ ἀποθηκευμένη εἰς τὸ κινούμενον ρευστόν.

Τὸ ἔργον ροῆς ἀριθμητικῶς ἰσοῦται μὲ τὸ γινόμενον τοῦ ὄγκου τοῦ μετακινουμένου ρευστοῦ ἐπὶ τὴν πίεσιν, ἡ ὁποία ἐφαρμόζεται ἐπ' αὐτοῦ, μὲ ἀποτέλεσμα τὴν ροήν. Ἦτοι :

$$\text{Ἔργον ροῆς} = W = P \cdot U = (\text{kg/m}^2) \cdot \text{m}^3 = \text{kgm}$$

$$\text{ἢ } W = P \cdot U = (\text{lb/ft}^2) \cdot \text{ft}^3 = \text{ftlb.}$$

Τὸ γινόμενον ἐπομένως τῆς πίεσεως ἐπὶ τὸν ὄγκον ἔχει διάστασιν μηχανικοῦ ἔργου, ἀλλὰ εἶναι ἔργον μόνον ἐφ' ὅσον ὑπάρχει ροή.

Παράδειγμα.

Ἐντὸς κυλίνδρου μηχανῆς ὑπάρχει ἀέριον ὑπὸ πίεσιν $P = 12 \text{ kg/cm}^2$. Ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἐμβόλου A εἶναι 30 cm^2 . Τὸ ἐμβολον ὑπὸ τὴν πίεσιν τοῦ ἀερίου μετακινεῖται εἰς ἀπόστασιν $L = 50 \text{ cm}$.

Ζητεῖται: α) Τὸ παραχθὲν μηχανικὸν ἔργον. β) Τὸ ἔργον ροῆς.

Λύσις:

α) Γνωρίζομεν ὅτι τὸ μηχανικὸν ἔργον $W = \text{Δύναμις} \times \text{Ἀπόστασις}$.

$$\text{Μετακινουμένη δύναμις} = P \cdot A = 12 \times 30 = 360 \text{ kg} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm}^2 = \text{kg} \right)$$

$$\text{Διανυθεῖσα ἀπόστασις} = L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{καὶ ἔργον } W = 360 \times 0,5 = 180 \text{ kgm.}$$

β) Γνωρίζομεν ὅτι τὸ ἔργον ροῆς $W = P \cdot U$,

ὅπου: U ὁ ὄγκος μετακινουμένου ἀερίου = ἐπιφάνεια ἐμβόλου $\times$ Διαδρομὴν = $A \cdot L$
καὶ $U = 30 \times 50 = 1500 \text{ cm}^3$. Ἐλεγχος διαστάσεων: $\text{cm}^2 \cdot \text{cm} = \text{cm}^3$.

$$W = P \cdot U = 12 \times 1500 = 18000 \text{ kgcm. Ἐλεγχος διαστάσεων: } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm}^3 = \text{kgcm}$$

$$\text{ἢ } W = \frac{18000}{100} = 180 \text{ kgm. Ἐλεγχος διαστάσεων: } \frac{\text{kgcm}}{\text{cm/m}} = \text{kgm.}$$

1.10 Ἴσχυς. Ἴππος.

Ἡ ἰσχύς εἶναι τὸ παραγόμενον ἔργον εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου.

$$\text{Ἦτοι: } \text{ἰσχύς} = \frac{\text{παραχθὲν ἔργον}}{\text{ἀνὰ δευτερόλεπτον}}.$$

Διὰ νὰ καθορισθῇ ἡ ἰσχύς μιᾶς μηχανῆς πρέπει νὰ προβῶμεν εἰς δύο μετρήσεις: Μίαν τοῦ παραχθέντος ἔργου καὶ μίαν τοῦ ἀπαιτηθέν-

τος χρόνου πρὸς τοῦτο. Μονὰς ἰσχύος εἰς τὸ τεχνικὸν σύστημα εἶναι ὁ ἵππος (HP). Εἰς τὸ διεθνὲς μετρικὸν τεχνικὸν σύστημα ἔχομεν τὸν μετρικὸν ἵππον :

1 HP ἰσοῦται μὲ 75 kgm/sec ἢ 4500 kgm/min ἢ 270 000 kgm/h.

Εἰς τὸ ἀγγλικὸν τεχνικὸν σύστημα ἔχομεν τὸν ἀγγλικὸν ἵππον :
1 HP ἰσοῦται μὲ 550 ftlb/sec ἢ 33 000 ftlb/min ἢ 1 980 000 ftlb/h.

Μία μηχανὴ δηλαδὴ ποὺ παράγει ἔργον 270 000 kgm εἰς μίαν ὥραν ἢ 4500 kgm εἰς ἓνα λεπτὸν ἔχει ἰσχὺν ἑνὸς ἵππου κ.ο.κ.

Ὁ μετρικὸς ἵππος καὶ ὁ ἀγγλικὸς ἵππος δὲν εἶναι ἀκριβῶς ἴσοι.

Οὕτως: 1 μετρικὸς HP = 0,9863 τοῦ ἀγγλικοῦ ἢ

1 ἀγγλικὸς HP = 1,014 μετρικοί.

Εἰς πρακτικὰς ὁμως ἐφαρμογὰς δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν ἡ διαφορὰ αὐτή.

Διὰ τὴν εὐρεσιν τῆς ἀποδόσεως μιᾶς μηχανῆς ἔχει εἰσαχθῇ καὶ ὁ ὅρος *ὠριαῖος ἵππος*. Ὁριαῖος ἵππος καλεῖται τὸ ἔργον, τὸ ὁποῖον παράγει μία μηχανὴ ἰσχύος ἑνὸς ἵππου ἐργαζομένη ἐπὶ μίαν ὥραν, ὅπερ εἶναι 270 000 kgm ἢ 1 980 000 ftlb. Ὅπως θὰ ἐξηγηθῇ βραδύτερον, συγκρίνοντες τὸ ἔργον αὐτὸ μὲ τὴν κατανάλωσιν καυσίμου τῆς μηχανῆς ἀνὰ ὠριαῖον ἵππον εὐρίσκομεν τὴν ἀπόδοσιν.

Παράδειγμα.

Μηχανὴ παράγει ἔργον 90 000 kgm εἰς χρόνον ἑνὸς λεπτοῦ. Πόσων ἵππων εἶναι ;

Λύσις:

$$1 \text{ HP} = 4500 \text{ kgm/min, ἐπομένως ἡ μηχανὴ εἶναι } \frac{90\,000}{4500} = 20 \text{ ἵππων.}$$

$$\text{Ἐλεγχος διαστάσεων: } \frac{\text{kgm/min}}{\text{kgm/min} \cdot \text{HP}} = \text{HP.}$$

Σημείωσις: Παρατηροῦμεν ἀπὸ τὸ παράδειγμα αὐτὸ ὅτι εἰς τὴν ἔννοιαν τοῦ ἵππου δὲν ὑπαισέρχεται ὁ χρόνος. Εἶναι σοβαρώτατον τεχνικὸν λάθος νὰ λέγεται ἵππος ἀνὰ λεπτόν, δευτερόλεπτον ἢ ὥραν.

Ἐπίσης δὲν πρέπει νὰ γίνεται σύγχυσις μὲ τὸν ὠριαῖον ἵππον, ὁ ὁποῖος χρησιμοποιεῖται εἰς μίαν μηχανὴν ὡς μονὰς συγκρίσεως τῆς ἀποδιδομένης πρὸς τὴν καταναλισκομένην ἐνέργειαν. Ὡς ἀναφέρεται καὶ εἰς παράγραφον 1·10, ὁ ὠριαῖος ἵππος ἐκφράζει τὸ ἔργον, ποὺ δίδει μία μηχανὴ ἑνὸς ἵππου ἐπὶ μίαν ὥραν καὶ δὲν ἔχει τὴν ἔννοιαν ἵπποι ἀνὰ ὥραν.

1·11 Ἀσκήσεις.

1) Μία ἀντλία καταθλίβει ἐντὸς ἀτμολέβητος πλοίου ὕδωρ πίεσεως 700 lb/in² ἀπολύτου, θερμοκρασίας 280°F καὶ εἰδικοῦ ὄγκου 0,00174 ft³/lb.

Ἀπὸ τὸν λέβητα ἐξέρχεται ὑδρατμὸς πίεσεως 600 lb/in^2 , θερμοκρασίας 580°F καὶ εἰδικοῦ ὄγκου $0,8753 \text{ ft}^3/\text{lb}$.

Ζητεῖται τὸ ἔργον ροῆς εἰς ftlb : α) Τοῦ εἰσερχομένου ὕδατος. β) Τοῦ ἐξερχομένου ἀπὸ τὸν λέβητα ὑδρατμοῦ.

[Ἀπ.: α) $1753,92 \text{ ftlb}$. β) $77\,525,9 \text{ ftlb}$]

2) Ὑδρατμὸς ὑψηλῆς πίεσεως εἰσέρχεται εἰς ἀγωγὸν μὲ ταχύτητα 125 m/sec καὶ ἐξέρχεται μὲ ταχύτητα 1000 m/sec . Πόσῃν κινητικὴν ἐνέργειαν ἐκέρδισεν ὁ ὑδρατμὸς;

[Ἀπ.: $50\,172 \text{ kgm}$]

3) Ἡ ἰσχύς μιᾶς βενζινομηχανῆς εἶναι $2\,160\,000 \text{ kgm/h}$. Ἡ κατανάλωσις τῆς μηχανῆς εἶναι $1,6 \text{ kg}$ βενζίνης ἀνὰ ὥραν.

Ζητεῖται: α) Ἡ ἵπποδύναμις καὶ β) ἡ κατανάλωσις ἀνὰ ὥριαῖον ἵππων.

[Ἀπ.: α) 8 HP . β) 200 g ἀνὰ ὥριαῖον HP].

4) Ζητεῖται ἡ ἀπόλυτος πίεσις ἀναρροφῆσεως μηχανῆς φορτηγοῦ αὐτοκινήτου εἰς lb/in^2 καὶ in Hg . Τὸ αὐτοκίνητον κινεῖται εἰς ὑψόμετρον (βουνό), εἰς τὸ ὁποῖον ἡ βαρομετρικὴ πίεσις εἶναι $13,5 \text{ lb/in}^2$. Τὸ μανόμετρον ἀναρροφῆσεως δεικνύει κενὸν 20 in Hg .

[Ἀπ.: $3,7 \text{ lb/in}^2$ ἢ $7,5 \text{ in Hg}$]

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 2

ΘΕΡΜΟΤΗΣ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

2.1 Θερμική μηχανή.

Ὡς ἤδη ἀνεφέρθη, ἡ Θερμοδυναμικὴ ἐξετάζει τὴν μετατροπὴν τῆς θερμικῆς ἐνεργείας εἰς μηχανικὴν καὶ ἀντιστρόφως. Ἡ μετατροπὴ αὕτῃ ἐκτελεῖται μέσῳ μιᾶς θερμικῆς μηχανῆς. Ἐπομένως *θερμικὴ μηχανὴ εἶναι ἐκείνη, ἡ ὁποία μετατρέπει τμῆμα τῆς εἰς αὐτὴν χορηγουμένης θερμικῆς ἐνεργείας εἰς μηχανικὴν ἢ ἀντιστρόφως: μετατρέπει τὸ καταβαλλόμενον ἔργον (μηχανικὴ ἐνέργεια) ἢ τμῆμα τούτου εἰς θερμικὴν ἐνέργειαν.*

2.2 Θερμοδυναμικὰ μέσα.

Ἡ μετατροπὴ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας εἰς μηχανικὴν διὰ τῆς θερμικῆς μηχανῆς πραγματοποιοῖται τῇ βοήθειᾳ ἑνὸς θερμοδυναμικοῦ μέσου ἢ φορέως.

Θερμοδυναμικὸν μέσον γενικῶς εἶναι τὸ ρευστὸν ἐκεῖνο, τὸ ὁποῖον λαμβάνει, μεταφέρει καὶ μεταδίδει ἐνέργειαν εἰς θερμοδυναμικὸν σύστημα.

Τὸ χρησιμοποιούμενον ρευστὸν δυνατόν νὰ εἶναι εἰς κατάστασιν ὑγροῦ, ἀτμοῦ ἢ ἀερίου καὶ δυνατόν νὰ λαμβάνῃ διαφόρους μορφὰς ἐντὸς τοῦ συστήματος ποὺ κυκλοφορεῖ. Τὸ ὕδωρ (ὕδρατμος) εἶναι ἐν ἐκ τῶν πλέον χαρακτηριστικῶν θερμοδυναμικῶν μέσων, τὸ ὁποῖον ἐπιβεβαιώνει τοῦτο. Τὸ ὕδωρ ὡς ὑγρὸν π.χ. εἰσέρχεται εἰς τὸν λέβητα. Ἐκεῖ διὰ θερμάνσεως μετατρέπεται εἰς ὕδρατμὸν καὶ ἐν συνεχείᾳ μέσῳ καταλλήλου σωληνώσεως (ἀτμαγωγῶν) ὁδηγεῖται εἰς τὴν ἀτμομηχανήν, ὅπου μέρος τῆς θερμικῆς ἐνεργείας, ποὺ μεταφέρει ὁ ὕδρατμος, μετατρέπεται εἰς μηχανικὴν ἐνέργειαν. Ὁ ὕδρατμος ἐξερχόμενος τῆς ἀτμομηχανῆς φθάνει εἰς συμπυκνωτήν, ὑγροποιεῖται καὶ ὁδηγεῖται ὡς ὕδωρ ἐκ νέου εἰς τὸν ἀτμολέβητα.

Ἐὰν ὁ ὕδρατμος κατὰ τὴν ἔξοδόν του ἀπὸ τὸν ἀτμολέβητα θερμανθῇ ἔτι περαιτέρω (εἰς τὸν ὑπερθερμαντήρα), ὥστε ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν νὰ αὐξηθῇ ἡ θερμοκρασία του, τότε πλησιάζει τὰ χαρακτηριστικὰ ἀερίου.

Διὰ τὸν μηχανικὸν πλοίου, ὁ ἀτμὸς ὀρίζεται ὡς μερική ἐξάτμισις ὑγροῦ, ποῦ ἀποτελεῖται ἀπὸ καθαρὸν τρόπον τινὰ ἀέριον, ποῦ περιέχει ἐν αἰωρήσει σταγονίδια ὑγροῦ, ἀπὸ τὸ ὁποῖον προέρχεται. Ἐὰν τὰ σταγονίδια αὐτὰ ἐξατμισθοῦν πλήρως, τὸ σῶμα ἀπὸ κατάστασιν ἀτμοῦ μεταπίπτει εἰς κατάστασιν ἀερίου.

Γενικῶς, ἀτμὸς ὀνομάζεται τὸ σῶμα, ποῦ δύναται νὰ ὑγροποιηθῇ μὲ μικρὰς μεταβολὰς πιέσεως καὶ θερμοκρασίας, ἐνῶ τὸ ἀέριον ὑγροποιεῖται μὲ μεγάλας μεταβολὰς πιέσεως καὶ θερμοκρασίας.

Ὁ ἀτμὸς δὲν συμπεριφέρεται κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον μὲ τὸ ἀέριον, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὰς θερμοδυναμικὰς ιδιότητάς του. Εἶναι σῶμα, ποῦ δύναται νὰ ὑποστῇ ἔτι περαιτέρω ἐξάτμισιν ἢ συμπύκνωσιν μὲ θέρμανσιν ἢ ψύξιν, ἀκόμη καὶ ἄνευ μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας καὶ τῆς πιέσεως. Οἱ Νόμοι, ποῦ διέπουν τὰ ἀέρια, δὲν ἐφαρμόζονται εἰς τοὺς ἀτμούς.

Εἰς τὰς ἐγκαταστάσεις πλοίων ὡς ἀτμὸς νοεῖται ὁ ὑδρατμὸς, ὁ ὁποῖος χρησιμοποιεῖται εἰς τὰς ἀτμομηχανάς, καὶ τὸ Freon, ἡ ἀμμωνία, τὸ διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος κ.λπ., τὰ ὁποῖα χρησιμοποιοῦνται εἰς τὰς ψυκτικὰς μηχανάς. Ὁ ἀήρ ὡς κοινὸν θερμοδυναμικὸν μέσον νοεῖται ὡς ἀέριον καὶ χρησιμοποιεῖται εἰς μηχανὰς ἐσωτερικῆς καύσεως καὶ τοὺς ἀεροσυμπιεστάς.

2.3 Χαρακτηριστικὰ θερμοδυναμικῶν μέσων.

Ἡ κατάσταση ἐνὸς θερμοδυναμικοῦ μέσου εἰς οἷονδήποτε σημεῖον μιᾶς θερμικῆς ἐγκαταστάσεως δύναται νὰ καθορισθῇ, ἐὰν εἶναι γνωστὰ τὰ χαρακτηριστικά του εἰς τὸ σημεῖον αὐτό. Τὰ χαρακτηριστικά του αὐτὰ ὀνομάζονται *θερμοδυναμικαὶ ιδιότητες*.

Εἰς τὸν ὅρον θερμοδυναμικαὶ ιδιότητες περιέχονται: ἡ θερμοκρασία, ἡ πίεσις, ὁ εἰδικὸς ὄγκος, ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια, τὸ θερμικὸν περιεχόμενον ἢ ἐνθαλπία καὶ ἡ ἐντροπία. Ἐκ τούτων ἔχομεν ἤδη ἐξετάσει τὴν πίεσιν (παράγρ. 1.2) καὶ τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν (παράγρ. 1.7). Ἀμέσως κατωτέρω θὰ ἐξετάσωμεν τὸν εἰδικὸν ὄγκον καὶ τὴν θερμοκρασίαν, ἐνῶ τὸ θερμικὸν περιεχόμενον (ἐνθαλπία) καὶ ἡ ἐντροπία θὰ ἐξετασθοῦν βραδύτερον.

2.4 Θερμότης. Θερμοκρασία.

Ἐξετάσαμεν ἤδη τοὺς ὅρους *μηχανικὴ ἐνέργεια* καὶ *θερμικὴ ἐνέργεια* καὶ ἐξηγήσαμεν ὅτι μηχανικὸν ἔργον εἶναι *μεταβιβαζομένη μηχαν-*

νική ἐνέργεια. Κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον ὁ ὅρος *θερμότης*, ὑπὸ τὴν ἔννοιαν ποὺ χρησιμοποιεῖται εἰς τὴν θερμοδυναμικὴν, εἶναι μεταβιβαζομένη θερμικὴ ἐνέργεια μεταξὺ δύο ἐν ἀποθηκεύσει θερμικῶν μορφῶν ἐνεργείας. Τὸ ἀντίστοιχον λοιπὸν τοῦ ἔργου εἰς τὴν μηχανικὴν ἐνέργειαν εἶναι ἡ θερμότης εἰς τὴν θερμικὴν ἐνέργειαν. Διὰ νὰ λάβωμεν ἐπομένως μηχανικὸν ἔργον ἀπὸ τὴν θερμικὴν ἐνέργειαν πρέπει νὰ ὑπάρχη ροὴ θερμικῆς ἐνεργείας (θερμότης). *Θερμοκρασία* εἶναι τὸ μέτρον, τὸ ὁποῖον καθορίζει τὴν στάθμην ἢ τρόπον τινὰ τὴν ποιότητα τῆς διαθεσίμου θερμικῆς ἐνεργείας.

Ἡ ροὴ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν *θερμοκρασίαν*. Θερμικὴ ἐνέργεια ρεεῖ πάντοτε ἀπὸ περιοχὴν ὑψηλῆς στάθμης (ὑψηλῆς θερμοκρασίας) πρὸς περιοχὴν χαμηλῆς στάθμης (χαμηλῆς θερμοκρασίας). Τότε μόνον ἔχομεν μεταβιβαζομένην θερμικὴν ἐνέργειαν, δηλαδὴ θερμότητα, ἡ ὁποία ἰσοδυναμεῖ μὲ μηχανικὸν ἔργον.

Βραδύτερον θὰ ἐξηγηθῇ ὅτι δὲν μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον ὁλόκληρον τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ἀλλὰ μέρος μόνον αὐτοῦ. Ὅσον ὅμως περισσοτέραν ροὴν θερμικῆς ἐνεργείας, δηλαδὴ θερμότητος, ἔχομεν, τόσον περισσότερον μηχανικὸν ἔργον λαμβάνομεν. Ἀφοῦ ὅμως ἡ ροὴ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν διαφορὰν στάθμης, δηλαδὴ τὴν διαφορὰν θερμοκρασίας μεταξὺ τῶν δύο περιοχῶν, καὶ ἡ τιμὴ τῆς χαμηλῆς στάθμης ἢ χαμηλῆς θερμοκρασίας δὲν δύναται νὰ κατέλθῃ ἐνὸς ὠρισμένου ὁρίου (θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος), ἔπεται ὅτι ἡ ποσότης τῆς θερμικῆς ἐνεργείας, ἡ ὁποία δύναται νὰ μεταβληθῇ εἰς ἔργον, θὰ ἐξαρτᾶται βασικῶς ἀπὸ τὴν ὑψηλὴν στάθμην τῆς θερμοκρασίας. Ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία τῆς πηγῆς, ἀπὸ τὴν ὁποίαν ἡ θερμικὴ ἐνέργεια ρεεῖ εἰς ἄλλην ψυχροτέραν περιοχὴν, τόσον περισσοτέραν θερμότητα ἢ μηχανικὸν ἔργον λαμβάνομεν. Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγεται, ὡς ἤδη ἀνεφέρθη, ὅτι ὁ ὅρος θερμοκρασία καθορίζει τὴν ποιότητα τῆς διαθεσίμου θερμικῆς ἐνεργείας, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὴν δυνατότητα μετατροπῆς τῆς εἰς μηχανικὴν ἐνέργειαν.

Εἶναι βασικὸν νὰ γίνῃ ἀντιληπτὴ ἡ διαφορὰ μεταξὺ θερμότητος (μεταβιβαζομένης θερμικῆς ἐνεργείας) καὶ ἐσωτερικῆς ἐνεργείας (θερμικὴ ἐνέργεια ἐν ἀποθηκεύσει).

Ἔστω ὅτι ἔχομεν σιδηρᾶν ράβδον, ἡ ὁποία ἐθερμάνθη εἰς ὑψηλὴν θερμοκρασίαν καὶ μικρὰν δεξαμενὴν μὲ ὕδωρ θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Ἐὰν βυθίσωμεν τὴν θερμὴν ράβδον ἐντὸς τοῦ ὕδατος, παρατηρεῖται ἐλάττωσις τῆς θερμοκρασίας τῆς ράβδου καὶ αὕξησις τῆς θερμοκρα-

σίας τοῦ ὕδατος. Μετὰ πάροδον χρόνου ἡ ράβδος καὶ τὸ ὕδωρ θὰ ἀποκτήσουν τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν καὶ ἡ ροὴ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας σταματᾷ. Ἐν ποσὸν θερμικῆς ἐνεργείας, ποῦ ἦτο ἀποθηκευμένον εἰς τὴν σιδηρᾶν ράβδον εἶναι τῶρα ἀποθηκευμένον εἰς τὸ ὕδωρ. Μόλις ἐξιωθοῦν αἱ θερμοκρασίαι ἀμφοτέρων τῶν σωμάτων, σταματᾷ καὶ ἡ μεταφορὰ θερμότητος καὶ ὁλόκληρος ἡ θερμικὴ ἐνέργεια εὑρίσκεται ἐν ἀποθηκεύσει. Εἰς τὸ ἀνωτέρω παράδειγμα ἡ αὐξησης τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας (ἢ θερμικῆς ἐνεργείας) τοῦ ὕδατος ἰσοῦται μὲ τὴν ἐλάττωσιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τῆς ράβδου.

Ἐὰν μεταξὺ ἐνὸς θερμοῦ καὶ ἐνὸς ψυχροῦ σώματος τοποθετηθῇ καταλλήλως θερμικὴ μηχανή, ἐν μέρος τῆς ἐν ροῇ θερμικῆς ἐνεργείας μετατρέπεται εἰς μηχανικὴν ἐνέργειαν (μηχανικὸν ἔργον).

2.5 Ἐπίδρασις τῆς θερμότητος ἐπὶ τῆς θερμοκρασίας. Λανθάνουσα καὶ αἰσθητὴ θερμότης.

Εἶναι φανερόν ὅτι ἐφ' ὅσον ἐν σῶμα δέχεται θερμότητα, ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργειά του (ἢ θερμικὴ) αὐξάνει· τοῦτο ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν αὐξησης τῆς θερμοκρασίας τοῦ σώματος, πλὴν ὅμως δὲν συμβαίνει τοῦτο εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις. Ἐσωτερικὴ ἢ θερμικὴ ἐνέργεια ἐνὸς σώματος εἶναι, ὡς γνωρίζομεν, ἀποτέλεσμα τῆς δυναμικῆς καὶ κινητικῆς ἐνεργείας τῶν μορίων. Τὰ μόρια ἐνὸς σώματος κινοῦνται ἐλευθέρως πρὸς ὅλας τὰς κατευθύνσεις ἀνεξαρτήτως ἐὰν τὸ σῶμα εἶναι στερεόν, ὑγρὸν



Πάχος
(α)



ὑδωρ
(β)



Ἀτμός
(γ)

Σχ. 2.5.

ἢ ἀέριον. Ἡ δραστηριότης ὅμως αὐτῇ τῶν μορίων, ἡ ὁποία προέρχεται ἐκ τῆς ἐλευθέρως κινήσεώς των, εἶναι ἐντελῶς διαφορετικὴ εἰς τὰς τρεῖς καταστάσεις.

Οὕτως εἰς τὸ σχῆμα 2·5 (α) βλέπομεν ὅτι τὰ μόρια τοῦ στερεοῦ πάγου εἶναι πολὺ πλησίον τὸ ἐν πρὸς τὸ ἄλλο καὶ ἡ κίνησις των εἶναι σχετικῶς βραδεία. Ἐὰν ὁ πάγος θερμανθῇ, μετατρέπεται εἰς ὕδωρ, ὁπότε τὰ μόρια ἀπομακρύνονται μεταξύ των καὶ καταλαμβάνουν μεγαλύτερον χώρον [σχ. 2·5 (β)], ὅπου βλέπομεν ὅτι τὸν αὐτὸν χώρον καταλαμβάνουν ὀλιγώτερα μόρια ἀπὸ προηγουμένων.

Διὰ τὴν διάσπασιν αὐτὴν τῶν δυνάμεων ἔλξεως τῶν μορίων ἀπαιτεῖται βεβαίως ποσὸν ἐνεργείας, τὸ ὁποῖον, κατὰ τὰ γνωστά, παραμένει ἐν ἀποθηκεύσει ὡς θερμικὴ ἐνέργεια εἰς τὸ ὕδωρ καὶ εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς δυναμικῆς ἐνεργείας τῶν μορίων. Κατὰ τὴν φάσιν αὐτὴν ὁ πάγος μετατρέπεται εἰς ὕδωρ ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν 0° βαθμῶν Κελσίου ἢ 32° Φαρενάιτ.

Ἐὰν τώρα θερμανθῇ τὸ ὕδωρ ἀκόμη περισσότερον, κατ' ἀρχὰς ἡ ταχύτης τῶν μορίων ὡς καὶ ἡ θερμοκρασία αὐξάνει. Ἐν συνεχείᾳ, τόσον ἡ ταχύτης τῶν μορίων ὅσον καὶ ἡ θερμοκρασία παραμένουν σταθερά, μολονότι συνεχίζεται ἡ θέρμανσις, ὁπότε αἱ δυνάμεις ἔλξεως τῶν μορίων διασπῶνται ἔτι περαιτέρω καὶ τὰ μόρια ἀπομακρύνονται περισσότερον τὸ ἐν ἀπὸ τὸ ἄλλο καὶ ἀποτελοῦν τὴν ἀερίαν κατάστασιν τοῦ ὕδατος (ὕδρατμος) [σχ. 2·5 (γ)].

Διὰ τὴν διάσπασιν τῶν δυνάμεων ἔλξεως τῶν μορίων τοῦ ὕδατος ἀπαιτεῖται ἐπίσης σημαντικὸν ποσὸν ἐνεργείας, τὸ ὁποῖον παραμένει ἐν ἀποθηκεύσει ἐντὸς τοῦ ὕδρατμοῦ ὑπὸ μορφὴν θερμικῆς ἐνεργείας, ἡ ὁποία εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς δυναμικῆς ἐνεργείας τῶν μορίων.

Ὅταν τὸ ὕδωρ ἀποκτήσῃ τὴν ἀερίαν κατάστασιν (πλήρης ἀτμοποίησης) καὶ τὰ μόριά του εὐρεθοῦν εἰς μεγάλην ἀπόστασιν τὸ ἐν ἀπὸ τὸ ἄλλο, ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια αὐτῶν δὲν ὑφίσταται καὶ κάθε περαιτέρω θέρμανσις ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν αὐξησιν τῆς ταχύτητος τῶν μορίων.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ αὐξησις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας (ἡ θερμικῆς) τοῦ ὕδρατμοῦ εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς κινητικῆς ἐνεργείας τῶν μορίων του. Βάσει τῶν ἀνωτέρω δυνάμεθα πλέον νὰ ἐξηγήσωμεν καλύπτοντες τὸν ὅρον *θερμοκρασία*.

Ἀπὸ τὴν στιγμήν, ποὺ ὁ πάγος ἀρχίζει νὰ τήκεται καὶ τὰ μόριά του ἀπομακρύνονται τὸ ἐν ἀπὸ τὸ ἄλλο, ἕως ὅτου λάβῃ πλήρως τὴν μορφὴν ὑγροῦ, οὐδεμία αὐξησις τῆς θερμοκρασίας παρατηρεῖται.

Τὸ ἴδιον συμβαίνει καὶ ἀπὸ τὴν στιγμήν, ποὺ ἀρχίζει ἡ ἀτμοποίηση τοῦ ὕδατος καὶ τὰ μόριά του ἀπομακρύνονται τὸ ἐν ἀπὸ τὸ ἄλλο, ἕως ὅτου τὸ ὕδωρ ἀτμοποιηθῇ πλήρως. Ἐκ τούτου συμπεραίνεται ὅτι,

ἐφ' ὅσον ἡ αὐξησις τῆς θερμικῆς ἐνεργείας ἐνὸς σώματος εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς διασπάσεως τῶν δυνάμεων ἔλξεως τῶν μορίων του, ἡ θερμοκρασία τοῦ σώματος δὲν αὐξάνει. Ἡ κατὰ τὴν φάσιν αὐτὴν ἀπορροφούμενη θερμότης λέγεται *λανθάνουσα θερμότης* καὶ τὸ φαινόμενον αὐτὸ παρατηρεῖται μόνον, ὅταν ἐν σῶμα ἀλλάσση κατάστασιν.

Ἡ λανθάνουσα θερμότης, ἡ ὁποία ἀπορροφεῖται ἀπὸ ἐν σῶμα διὰ νὰ μεταβληθῇ ἀπὸ στερεὸν εἰς ὑγρὸν, ὀνομάζεται *λανθάνουσα θερμότης τήξεως*, ἐνῶ ἐκείνη, ποὺ ἀπαιτεῖται διὰ νὰ μεταβληθῇ ἀπὸ ὑγρὸν εἰς ἀτμὸν (ἀέριον), ὀνομάζεται *λανθάνουσα θερμότης ἀτμοποιήσεως*.

Κατὰ τὴν θέρμανσιν τοῦ ὕδατος καὶ μέχρι τῆς ἐνάρξεως τῆς ἀτμοποιήσεως του παρατηρεῖται αὐξησις τῆς ταχύτητος τῶν μορίων τοῦ ὕδατος. Ἐπίσης θέρμανσις τοῦ ὕδρατμοῦ (ὡς ἀερίου) ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν αὐξησιν τῆς ταχύτητος τῶν μορίων του. Καὶ εἰς τὰς δύο αὐτὰς περιπτώσεις ἡ αὐξησις τῆς θερμικῆς ἐνεργείας εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς κινητικῆς ἐνεργείας τῶν μορίων.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ θερμοκρασία καὶ τοῦ ὕδατος καὶ τοῦ ὕδρατμοῦ αὐξάνει καὶ ἡ ἀπορροφηθεῖσα θερμότης ὀνομάζεται *αἰσθητή*.

Αὐξησις ἐπομένως τῆς ταχύτητος τῶν μορίων ἐνὸς σώματος σημαίνει καὶ αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας του.

Κατόπιν τῶν ἀνωτέρω δυνάμεθα πλέον σαφῶς νὰ διαχωρίσωμεν τὰς ἐννοίας θερμικὴ ἐνέργεια, θερμότης καὶ θερμοκρασία.

α) *Θερμικὴ ἐνέργεια* εἶναι ἡ στατικὴ καὶ ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων ἐνὸς σώματος καὶ εὐρίσκεται ἐν ἀποθηκεύσει ἐντὸς αὐτοῦ.

β) *Θερμότης* εἶναι μεταβιβαζομένη θερμικὴ ἐνέργεια.

γ) *Θερμοκρασία* εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς δραστηριότητος (ταχύτητος) τῶν μορίων ἐνὸς σώματος.

2.6 Ἑσωτερικὴ ἐνέργεια ἀερίων.

Τὰ μόρια τῶν ἀερίων γενικῶς εὐρίσκονται εἰς μεγάλην ἀπόστασιν μεταξύ των. Ἡ δυναμικὴ ἐνέργειά των εἶναι ἐλαχίστη καὶ δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν, ὅποτε ὡς ἑσωτερικὴ ἐνέργεια ἐνὸς ἀερίου νοεῖται μόνον ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων του. Οὕτω λέγομεν: *θερμικὴ ἢ ἑσωτερικὴ ἐνέργεια ἀερίου εἶναι ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων του*. Ἐπομένως, ἐὰν M ἡ μᾶζα τῶν μορίων ἀερίου καὶ V ἡ ταχύτης αὐτῶν τότε :

Κινητικὴ ἐνέργεια μορίων = ἑσωτερικὴ ἢ θερμικὴ ἐνέργεια ἀερίου =

$$= \frac{MV^2}{2}.$$

Ἐκ τῆς ἰσότητος αὐτῆς ἐμφαίνεται ὅτι ἡ θερμικὴ ἐνέργεια

Θερμοδυναμικὴ

ένος αερίου εξαρτάται ἐκ τῆς ταχύτητος τῶν μορίων του, δηλαδή ἐκ τῆς θερμοκρασίας του.

2.7 Μέτρησις θερμοκρασίας. Σχετικὴ καὶ ἀπόλυτος θερμοκρασία.

Ἡ θερμοκρασία μετρεῖται συμβατικῶς μὲ θερμομέτρα βαθμολογημένα εἰς βαθμοὺς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) ἢ βαθμοὺς Φαρενάιτ ($^{\circ}\text{F}$). Ἀμφότερα βαθμολογοῦνται μὲ βάσιν τὰ σημεῖα πήξεως καὶ βρασμοῦ τοῦ ὕδατος εἰς κανονικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν. Καὶ τὸ μὲν Κελσίου ἔχει βαθμολογίαν ἀπὸ μηδὲν (σημεῖον πήξεως) ἕως 100 (σημεῖον βρασμοῦ), ἐνῶ τὸ Φαρενάιτ ἔχει ἀντιστοίχως 32 καὶ 212. Ἐπομένως 100 βαθμοὶ Κελσίου ἰσοδυναμοῦν μὲ 180 βαθμοὺς Φαρενάιτ, ἥτοι: $1^{\circ}\text{C} \rightarrow 1,8^{\circ}\text{F}$. Διὰ τὴν μετατροπὴν βαθμῶν Κελσίου εἰς Φαρενάιτ καὶ ἀντιστρόφως ἔχομεν τὰς σχέσεις :

$$^{\circ}\text{C} = (\text{F} - 32) \cdot \frac{5}{9} \quad \text{καὶ} \quad ^{\circ}\text{F} = \text{C} \cdot \frac{9}{5} + 32 \quad (8)$$

(Πίναξ 11 Παραρτήματος)

Ἀμφότεραι αἱ θερμομετρικαὶ αὐταὶ κλίμακες ἔχουν ἐντελῶς συμβατικὸν χαρακτῆρα. Αἱ οὕτω λαμβανόμεναι θερμοκρασίαι ὀνομάζονται *σχετικαὶ* καὶ ἔχουν σύμβολον τὸ t .

Ἡ θερμοκρασία ὅμως συνδέεται μὲ τὴν περιεχομένην ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν, δεδομένου ὅτι ἡ πρόσδοσις ἐνεργείας εἰς ἓν σῶμα ὑπὸ μορφὴν θερμότητος ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα ἐν γένει τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας του. Ἐὰν λοιπὸν ἡ θερμοκρασία χρησιμοποιηθῇ ὡς παράγων μετρήσεως τῆς θερμικῆς ἐνεργείας, εἶναι βασικὸν νὰ καθορισθῇ ὡς ἀφετηρία μετρήσεως τῆς θερμοκρασίας τὸ σημεῖον ἐκεῖνο, εἰς τὸ ὁποῖον ἡ περιεχομένη εἰς τὸ σῶμα ἐνέργεια εἶναι μηδέν. Ἐὰν λάβωμεν ἐν αέριον, τοῦ ὁποίου ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια εἶναι ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων του, αὕτη θὰ μηδενισθῇ, ὅταν ἡ ταχύτης τῶν μορίων μηδενισθῇ. Ὡς ἐκ τούτου ὡς ἀπόλυτον μηδὲν θερμοκρασίας γενικῶς λαμβάνεται ἡ θερμοκρασία, κατὰ τὴν ὁποίαν ἡ ταχύτης τῶν μορίων ἐνὸς αερίου μηδενίζεται. Ἡ θερμοκρασία αὕτη εἶναι περίπου -273°C ἢ -460°F .

Θερμοκρασία μετρομένη μὲ βάσιν τὸ ἀπόλυτον μηδέν, ὀνομάζεται *ἀπόλυτος θερμοκρασία*. Ἡ σχέσις μεταξὺ ἀπολύτου καὶ σχετικῆς θερμοκρασίας θὰ εἶναι :

$$\text{T} = t + 273 \quad \text{ἢ} \quad \text{T} = \text{F} + 460 \quad (9)$$

ἐὰν t εἶναι βαθμοὶ Κελσίου καὶ Φαρενάιτ ἀντιστοίχως. Ἡ ἀπόλυτος θερ-

μοκρασία Κελσίου ονομάζεται και θερμοκρασία Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) και ή απόλυτος θερμοκρασία Φαρενάιτ ονομάζεται και θερμοκρασία Rankine ($^{\circ}\text{R}$).

2.8 Ειδικός όγκος και ειδικόν βάρος.

Ειδικόν βάρος σώματος είναι τὸ βάρος τοῦ σώματος ἀνὰ μονάδα ὄγκου αὐτοῦ καὶ συνήθως ἐκφράζεται εἰς kg/m^3 ἢ lb/ft^3 .

Ὁ ἀριθμός, ὁ ὁποῖος ἐκφράζει τὸ ειδικόν βάρος ἑνὸς σώματος, σημαίνει ἐπίσης καὶ πόσας φορές εἶναι βαρύτερον τὸ σῶμα ἀπὸ ἴσον ὄγκον ὕδατος.

Ειδικὸς ὄγκος σώματος εἶναι ὁ ὄγκος, ποὺ καταλαμβάνει ἡ μονὰς βάρους τοῦ σώματος, δηλαδή εἶναι τὸ ἀντίστροφον τοῦ ειδικοῦ βάρους. Διὰ σώματα δὲ ἐκφράζεται εἰς m^3/kg ἢ ft^3/lb .

Ὁ ειδικὸς ὄγκος καὶ τὸ ειδικόν βάρος καθορίζουν τὴν αὐτὴν ιδιότητα ἑνὸς σώματος. Καὶ τὰ δύο εἶναι συνάρτησις τῆς μοριακῆς συγκέντρωσεως καὶ τοῦ μοριακοῦ βάρους τοῦ σώματος.

Μὲ σταθερὸν μοριακὸν βάρος, ὑψηλὴ τιμὴ τοῦ ειδικοῦ βάρους σημαίνει μόρια πολὺ πλησίον (συμπαγῇ) τὸ ἐν πρὸς τὸ ἄλλο, ὅπως συμβαίνει μὲ τὰ στερεὰ ἢ ὑγρὰ σώματα. Ἀφ' ἐτέρου ὑψηλὴ τιμὴ ειδικοῦ ὄγκου σημαίνει μόρια πολὺ ἀπομεμακρυσμένα μεταξύ των, πρᾶγμα, τὸ ὁποῖον χαρακτηρίζει τοὺς ἀτμούς καὶ τὰ ἀέρια.

$$\text{ὄγκος} \times \text{ειδ. βάρος} = \text{βάρος} \quad \text{ἢ} \quad \frac{\text{ὄγκος}}{\text{ειδ. ὄγκος}} = \text{Βάρος}.$$

Συνήθως διὰ τὰ στερεὰ καὶ τὰ ὑγρὰ χρησιμοποιεῖται περισσότερο τὸ ειδικόν βάρος, ἐνῶ διὰ τὰ ἀέρια καὶ τοὺς ἀτμούς ὁ ειδικὸς ὄγκος.

Τὸ ειδικόν βάρος τῶν ὑγρῶν λόγω διαστολῆς ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν· διὰ τοῦτο πάντοτε δίδεται εἰς ἀντίστοιχον θερμοκρασίαν. Π.χ. ἡ χορήγησις πετρελαίου εἰς τὰ πλοῖα γίνεται μὲ ειδικόν βάρος πετρελαίου θερμοκρασίας 15°C ἢ 60°F . Ἐὰν τὸ παραλαμβανόμενον πετρέλαιον ἔχη ἄλλην θερμοκρασίαν, πρέπει νὰ γίνῃ ἀναγωγή τοῦ ειδικοῦ βάρους τοῦ πετρελαίου εἰς τὴν θερμοκρασίαν, μὲ τὴν ὁποίαν τοῦτο παραλαμβάνεται.

Προκειμένου περὶ ἀερίων ὁ ειδικὸς ὄγκος ἐπηρεάζεται καὶ ἀπὸ τὴν πίεσιν καὶ ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν. Ὁρθότερος ἐπομένως εἶναι ὁ ὁρισμός: *Εἰδικὸς ὄγκος αερίου εἶναι ὁ ὄγκος ἀνὰ μονάδα βάρους αὐτοῦ ὑπὸ ὠρισμένην πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν.*

Παράδειγμα.

Να εύρεθῇ τὸ βάρος 5840 ft^3 πετρελαίου εἰς ἀγγλικούς τόννους. Τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ πετρελαίου εἰς τὴν ἀντίστοιχον θερμοκρασίαν εἶναι 0,86.

Λύσις:

Τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ὕδατος εἶναι $62,4 \text{ lb/ft}^3$, ἐπομένως τοῦ πετρελαίου θὰ εἶναι $62,4 \times 0,86 \text{ lb/ft}^3$.

1 ἀγγλικὸς τόννος* = 2240 lb, ἐπομένως τὸ ζητούμενον βάρος:

$$B = \frac{5840 \times 62,4 \times 0,86}{2240} = 139,9 \text{ τόννοι ἀγγλικοί.}$$

$$\text{(διαστάσεις)} \quad \frac{\frac{\text{ft}^3 \text{ lb}}{\text{ft}^3}}{\frac{\text{lb}}{\text{ton}}} = \text{ἀγγλικοὶ τόννοι).}$$

2.9 Εἰδικὴ θερμότης. Μονάδες θερμότητος.

Εἰδικὴ θερμότης ἐνὸς σώματος εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀπαιτεῖ ἡ μονὰς τοῦ βάρους τοῦ σώματος διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του κατὰ ἓνα βαθμὸν.

Εἰς τὴν τεχνικὴν θερμοδυναμικὴν γίνεται δεκτὸν γενικῶς ὅτι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος ἰσοῦται μὲ τὴν μονάδα καὶ οὕτως ἔχομεν τὰς κάτωθι μονάδας θερμότητος:

α) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται 1 kg ὕδατος διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του κατὰ 1°C , ὀνομάζεται kcal (κιλοκαλορί ἢ θερμὸν).

β) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται 1 lb ὕδατος διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του κατὰ 1°F ὀνομάζεται BTU (British Thermal Unit).

γ) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται 1 lb ὕδατος διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του 1°C , ὀνομάζεται *λιβροκαλορί* lcal ἢ CHU (Centigrade Heat Unit).

Ἡ διάστασις τῆς εἰδικῆς θερμότητος εἶναι kcal/kg $^\circ \text{C}$ ἢ BTU/lb $^\circ \text{F}$ ἢ lcal/lb $^\circ \text{C}$.

Σημείωσις: Πραγματικῶς ἡ ἀπαιτούμενη θερμότης διὰ τὴν ἀνύψωσιν τῆς θερμοκρασίας τῆς μονάδος βάρους τοῦ ὕδατος κατὰ ἓνα βαθμὸν μεταβάλλεται ἐλαφρῶς μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ὕδατος.

Ἡ φυσικὴ τιμὴ τῆς kcal εἶναι: Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ

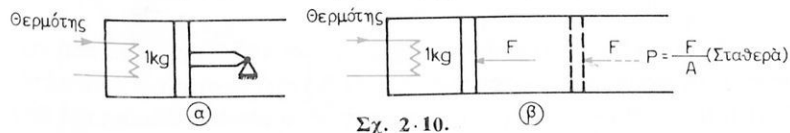
* Ἰδε πίνακα 17 Παραρτήματος.

χρειαζεται 1 kg ὕδατος διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του ἀπὸ 14,5° C εἰς 15,5° C ὑπὸ τυπικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν. Οὕτως ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος, ἐνῶ εἰς τοὺς μηδέν βαθμοὺς Κελσίου εἶναι 1,00786, εἰς τοὺς 15° C ἰσοῦται μὲ τὴν μονάδα, εἰς τοὺς 50° C εἶναι 0,99887, εἰς τοὺς 100° C εἶναι 1,00728 κ.ο.κ.

Ἡ μικρὰ αὐτὴ διαφορὰ δὲν λαμβάνεται συνήθως ὑπ' ὄψιν εἰς τὰ προβλήματα τῶν μηχανικῶν ναυτικῶν μηχανῶν.

2.10 Εἰδικὴ θερμότης ἀερίων.

Ἐνῶ τὰ στερεὰ καὶ ὑγρὰ ἔχουν μίαν τιμὴν εἰδικῆς θερμότητος, τὰ ἀέρια ἔχουν δύο τιμὰς ἀναλόγως μὲ τὸν τρόπον, μὲ τὸν ὁποῖον θερμαίνονται. Ἐν ἀέριον δύναται νὰ θερμανθῇ ἄνευ μεταβολῆς τοῦ ὅγκου (ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον) ἢ νὰ θερμανθῇ μὲ αὐξησιν τοῦ ὅγκου του (ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν). Οἱ δύο αὐτοὶ τρόποι θερμάνσεως δύνανται νὰ παρασταθοῦν ὡς πραγματοποιούμενοι εἰς ἕνα κύλινδρον, ἐντὸς τοῦ ὁποίου παλινδρομεῖ ἔμβολον ἄνευ τριβῶν (σχ. 2.10).



Εἰς τὸ σχῆμα ἐμφαίνεται ἡ μηχανικὴ διάταξις τῶν τρόπων θερμάνσεως αὐτοῦ τοῦ ἀερίου. Διὰ τὴν θέρμανσιν ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον τὸ ἔμβολον πρέπει νὰ κρατῆται ἀκίνητον (θέσις α). Διὰ τὴν θέρμανσιν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν τὸ ἔμβολον ἐπιφανείας A πρέπει νὰ εἶναι ἐλεύθερον νὰ κινηθῇ ἐναντίον μιᾶς σταθερᾶς δυνάμεως F (θέσις β).

Ἐστω ὅτι ἕκαστος κύλινδρος περιέχει 1 kg ἀερίου ὑπὸ τὴν αὐτὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν T_1 . Ἐὰν χορηγηθῇ θερμότης, ἕως ὅτου ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου καὶ εἰς τοὺς δύο κυλίνδρους ἀνέλθῃ εἰς T_2 , θὰ εὐρεθῇ ὅτι ἡ ἀπαιτούμενη θερμότης διὰ τὴν αὐτὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας θὰ εἶναι ἀρκετὰ μεγαλυτέρα εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς θερμάνσεως ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ἀπὸ ὅ,τι θὰ ἦτο εἰς τὴν θέρμανσιν τοῦ ἀερίου ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον.

Ὅλη ἡ θερμότης, ἡ ὁποία προστετέθη εἰς τὸ ἀέριον κατὰ τὴν θέρμανσιν του ὑπὸ σταθερὸν ὅγκον, καταλήγει ὡς ἐσωτερικὴ ἐνέργεια καὶ ἐν τῷ συνόλῳ τῆς ἐπιδρᾶ εἰς τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀερίου. Ἡ θερμότης ἡ χορηγούμενη ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν διαιρεῖται εἰς

δύο: Εἰς ἐκείνην, πού αὐξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ αἰρίου, ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῆς αὐξήσεως τῆς θερμοκρασίας, καὶ εἰς ἐκείνην, πού μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον, ὅπως δεικνύει ἡ μετακίνησις τοῦ ἐμβόλου ἐναντίον τῆς σταθερᾶς δυνάμεως F (σχ. 2·10).

Ἐπομένως διὰ τὴν αὐτὴν αὐξήσιν τῆς θερμοκρασίας χρειάζεται νὰ χορηγηθῇ περισσοτέρα θερμότης εἰς τὸ αἶριον, ὅταν θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ἀπὸ ἐκείνην, ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται διὰ τὴν θέρμανσιν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω αὐτονόητον εἶναι ὅτι :

α) Ἡ *εἰδικὴ θερμότης* αἰρίου ἔχει δύο τιμὰς: μίαν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον, πού θὰ παρίσταται διὰ τοῦ C_v , καὶ μίαν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, πού θὰ παρίσταται διὰ τοῦ C_p .

β) Ἡ διαφορά:

$$C_p - C_v \text{ εἰς } \text{keal/kg}^\circ\text{C} \quad \eta \quad \text{BTU/lb}^\circ\text{F} \quad \eta \quad \text{lcal/lb}^\circ\text{C}$$

παριστᾷ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, πού μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον ἀνὰ μονάδα βάρους καὶ ἀνὰ βαθμὸν θερμοκρασίας, ὅταν ἔν αἶριον θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

γ) Ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ αἰρίου, δηλαδὴ τοῦ ποσοῦ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας, πού προστίθεται ἢ ἀφαιρεῖται ἀπὸ αὐτό, εἶναι ἡ ἰδίᾳ καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις. Ἀνὰ μονάδα βάρους καὶ ἀνὰ βαθμὸν θερμοκρασίας ἰσοῦται πάντοτε μὲ C_v , ἀνεξαρτήτως τοῦ τρόπου θερμάνσεως τοῦ αἰρίου.

2·11 Σχέσις μεταξὺ θερμότητος, εἰδικῆς θερμότητος καὶ θερμοκρασίας.

Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος H , πού χορηγεῖται εἰς σῶμα βάρους B , ὅταν ἡ θερμοκρασία του ἀπὸ t_1 ἀνέρχεται εἰς t_2 καὶ ἔχη εἰδικὴν θερμότητα C , δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως :

$$H = C \cdot B(t_2 - t_1) \quad (10)$$

Ἐὰν τὸ θερμαινόμενον σῶμα εἶναι αἶριον, τότε ἡ ἰσότης (10) λαμβάνει τὴν μορφήν:

$$H = C_v B(t_2 - t_1) \quad (11)$$

$$\eta \quad H = C_p B(t_2 - t_1) \quad (12)$$

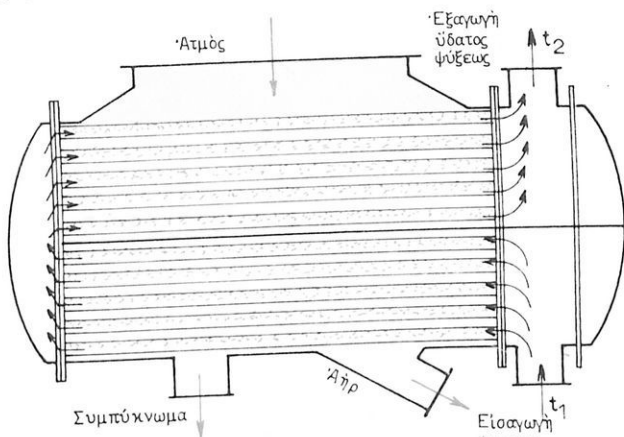
ἐφ' ὅσον τὸ αἶριον θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἢ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀντιστοιχῶς.

Εἰς τὴν περίπτωσιν ὅμως τῆς θερμάνσεως τοῦ αἰρίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἢ χορηγηθεῖσα εἰς αὐτὸ θερμότης καταλήγει ἐν τῷ συνόλῳ τῆς

εις έσωτερικὴν ἐνέργειαν ἐν ἀποθηκεύσει, ἐπομένως θὰ ἰσοῦται μὲ τὴν αὐξήσιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου E :

$$E = C_v B (t_2 - t_1) \quad (13)$$

Ἡ ἰσότης (13) εἶναι γενικὴ, παριστᾷ δηλαδὴ τὴν αὐξήσιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας ἑνὸς ἀερίου βάρους B , τοῦ ὁποίου ἡ θερμοκρασία ἀπὸ t_1 ἀνῆλθεν εἰς t_2 ἀνεξαρτήτως τρόπου θερμάνσεως. Ἐὰν εἰς τὸ ἀέριον χορηγῇται ποσὸν θερμότητος H κατὰ τιμὴν μεγαλυτέραν τῆς



Σχ. 2·11.

τοῦ E (ὅπως π.χ. εἰς τὴν θέρμανσιν ἀερίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν), τότε ἡ διαφορὰ $H - E$ θὰ παριστᾷ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον κατὰ τὸν τρόπον αὐτὸν τῆς θερμάνσεως.

Παράδειγμα 1ον.

15 λίβραι ἑνὸς σώματος θερμαίνονται ἀπὸ θερμοκρασίας 65°F εἰς θερμοκρασίαν 360°Kelvin . Ἐὰν ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ σώματος εἶναι 0,3, ποῖον τὸ χορηγηθὲν εἰς τὸ σῶμα ποσὸν θερμότητος;

Λύσις:

Δεδομένα

$$B = 15 \text{ lb}, \quad t_1 = 65^\circ \text{F}, \quad T_2 = 360^\circ \text{K}, \quad C = 0,3$$

$$t_2 = T_2 - 273 = 360 - 273 = 87^\circ \text{C} \quad \text{καὶ}$$

$$^\circ \text{F} = ^\circ \text{C} \cdot \frac{9}{5} + 32 = 87 \cdot \frac{9}{5} + 32 = 188,6^\circ \text{F}.$$

Ἐφαρμόζοντες τὴν ἰσότητα (10) ἔχομεν $H = C \cdot B (t_2 - t_1)$

$$\eta \quad H = 0,3 \times 15 (188,6 - 65) = 556,2 \text{ BTU} \quad \eta \quad \left(\frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^\circ \text{F}} \cdot \text{lb } ^\circ \text{F} = \text{BTU} \right)$$

Παράδειγμα 2ον.

Άτμος από την εξαγωγή μιᾶς μηχανῆς εισέρχεται ἐντὸς συμπυκνωτοῦ. Τὸ θαλάσσιον ὕδωρ, ποὺ χρησιμοποιεῖται διὰ τὴν συμπύκνωση τοῦ ὕδρατμου, εισέρχεται εἰς τὸν συμπυκνωτὴν με θερμοκρασίαν 60° F καὶ ἐξέρχεται με θερμοκρασίαν 80° F. Ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ θαλασσίου ὕδατος εἶναι 0,96 BTU/lb° F.

Ἐὰν εἰς τὸν συμπυκνωτὴν κυκλοφοροῦν 40 000 lb θαλασσίου ὕδατος ἀνὰ λεπτόν, ζητεῖται ἡ ἀπορροφουμένη θερμότης ἀπὸ τὸ ὕδωρ ψύξεως εἰς BTU/min.

Λύσις:

Ἡ διάταξις ἐνὸς παρομοίου εξαρτήματος (συμπυκνωτοῦ ἀτμοῦ), ἡ ὁποία εἶναι βασικὴ εἰς ἐγκατάστασιν ἀτμοκινήτου πλοίου, ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 2·11.

Ἡ ἀπορροφηθεῖσα θερμότης ἀπὸ τὸ ὕδωρ κυκλοφορίας θὰ εἶναι:

$$H = C \cdot B (t_2 - t_1) = 0,96 \times 40\,000 (80 - 60) = 768\,000 \text{ BTU/min.}$$

$$\text{Διαστάσεις} = \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \cdot \frac{\text{lb}}{\text{min}} \cdot ^\circ\text{F} = \text{BTU/min.}$$

Παράδειγμα 3ον.

4 kg ἐνὸς ἀερίου θερμαίνονται ἀπὸ θερμοκρασίαν 17° C εἰς θερμοκρασίαν 89° C, ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ἀερίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον εἶναι 0,17 καὶ ἡ εἰδικὴ θερμότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν εἶναι 0,24.

Ζητεῖται: α) Τὸ χορηγούμενον εἰς τὸ ἀέριον ποσὸν θερμότητος, ὅταν τοῦτο θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον. β) Πόση θερμότης μετατρέπεται εἰς ἔργον, ὅταν τὸ ἀέριον θερμανθῇ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν;

Λύσις:

$$\text{Δεδομένα } B = 4 \text{ kg, } t_1 = 17^\circ\text{C, } t_2 = 89^\circ\text{C, } C_p = 0,24, C_v = 0,17.$$

$$\alpha) \text{ Ἐκ τῆς ἰσότητος (12) ἔχομεν } H_1 = C_p \cdot B (t_2 - t_1),$$

$$H_1 = 0,24 \times 4 (89 - 17) = 69,12 \text{ kcal. } \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} = \text{kcal} \right).$$

$$\beta) \text{ Ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἔχομεν:}$$

$$H_2 = C_v \cdot B (t_2 - t_1), \quad H_2 = 0,17 \times 4 (89 - 17) = 48,96 \text{ kcal.}$$

$$\gamma) \text{ Ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου } E, \text{ ὅταν τοῦτο ἐθερμάνη ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, εἶναι } E = C_v \cdot B (t_2 - t_1), \text{ ἥτοι } 48,96 \text{ kcal. Ἐπομένως:}$$

$$W = H - E = 69,12 - 48,96 = 20,16 \text{ kcal.}$$

2·12 Πρῶτος θερμοδυναμικὸς Νόμος. Μηχανικὸν ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος.

Ἐκ τῆς Φυσικῆς γνωρίζομεν ὅτι :

Ἡ ἐνέργεια οὔτε γεννᾶται, οὔτε καταστρέφεται, ἀλλὰ μόνον ἀλλάσσει μορφήν.

Μετατροπὴ τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας εἰς θερμικὴν διὰ τοῦ φαινομένου τῆς τριβῆς ἐμφανίζεται συχνὰ εἰς τὴν πρᾶξιν. Ἀπλοῦν παράδειγμα εἶναι ἡ βαθμιαία αὐξησης τῆς θερμοκρασίας τριβέως, ὅταν ὁ ἐπ' αὐ-

του ὄξωσιν ἀρχίζη νὰ περιστρέφεται. Ἡ μεταβολή τῆς ἐνεργείας εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν εἶναι ἀνεπιθύμητος ἀλλὰ καὶ ἀναπόφευκτος.

Τὴν Θερμοδυναμικὴν ἐνδιαφέρει ἰδιαιτέρως ἡ μετατροπὴ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας εἰς μηχανικὴν καὶ ἀντιστρόφως. Ἀλλὰ τὸ ἐνδιαφέρον τῆς ἔγκειται κυρίως εἰς τὴν ἐπίτευξιν χρησίμων καὶ ἐπιθυμητῶν ἀποτελεσμάτων.

Τὸ ἔτος 1845 ὁ Joule διὰ πειραμάτων ἠρεύνησε τὴν σχέσιν μεταξὺ μηχανικῆς ἐνεργείας (kgm ἢ ftlb) καὶ θερμικῆς ἐνεργείας (kcal, BTU, lbeal) καὶ εὗρεν ὅτι :

$$1 \text{ kcal} \text{ ἰσοδυναμεῖ μὲ } 427 \text{ kgm}$$

$$1 \text{ BTU} \quad \gg \quad \mu\epsilon \quad 778 \text{ ftlb}$$

$$1 \text{ lbeal} \quad \gg \quad \mu\epsilon \quad 1400 \text{ ftlb}.$$

Οἱ ἀριθμοὶ 427, 778 καὶ 1400 καλοῦνται *μηχανικὸν ἰσοδύναμον* τῆς θερμότητος, τὸ ὁποῖον παρίσταται μὲ τὸ γράμμα J. Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει τὸ πρῶτον θερμοδυναμικὸν ἄξιωμα: *θερμικὴ καὶ μηχανικὴ ἐνέργεια μετατρέπονται ἀμοιβαίως ἢ μία πρὸς τὴν ἄλλην καὶ ἐὰν H ποσὸν θερμικῆς ἐνεργείας μετατραπῇ εἰς μηχανικὴν, τότε θὰ λάβωμεν μηχανικὴν ἐνέργειαν $W = H \cdot J$.*

Παράδειγμα 1ον.

Νὰ εὕρεθῇ τὸ ἰσοδύναμον τοῦ ὠριαίου ἵππου: α) Εἰς kcal β) Εἰς BTU καὶ γ) εἰς lbeal.

Λύσις:

α) Γνωρίζομεν ὅτι $1 \text{ ὠριαῖος HP} = 270\,000 \text{ kgm}.$

Ἐπομένως $1 \text{ ὠριαῖος HP} = \frac{270\,000}{427} = 632 \text{ kcal}.$

β) Γνωρίζομεν ὅτι $1 \text{ ὠριαῖος HP} = 1\,980\,000 \text{ ftlb}.$

$1 \text{ ὠριαῖος HP} = \frac{1\,980\,000}{778} = 2545 \text{ BTU}.$

γ) $1 \text{ ὠριαῖος HP} = \frac{1\,980\,000}{1400} = 1414 \text{ lbeal}.$

Σημείωσις: Ἡ ἔκφρασις τοῦ ὠριαίου ἵππου μὲ ὅρους θερμότητος σημαίνει ὅτι ἡ μηχανὴ ἑνὸς ἵππου εἰς μίαν ὥραν μεταβάλλει εἰς ἔργον 632 kcal ἢ 2545 BTU ἢ 1414 lbeal.

Παράδειγμα 2ον.

Ἐν κιλοβαττῶριον (kWh) μὲ πόσας: α) kcal καὶ β) BTU ἀντιστοιχεῖ;

α) $1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 632 \text{ kcal/h}$

καὶ $1 \text{ W} = \frac{632}{746} = \text{kcal/h}.$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = \frac{632 \times 1000}{746} = 847 \text{ kcal/h}$$

ή 1 κιλοβαττώριον (kWh) = 847 kcal.

$$\beta) 1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 2545 \text{ BTU/h}$$

$$1 \text{ W} = \frac{2545}{746} \text{ BTU/h.}$$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = \frac{2545 \times 1000}{746} = 3412 \text{ BTU/h} \quad \eta \quad 1 \text{ kWh} = 3412 \text{ BTU}$$

Παράδειγμα 3ον.

Εἰς ἀτμοστρόβιλον χορηγοῦνται 20 000 lb ἀτμοῦ ἀνὰ ὥραν. Ὁ ἀτμοστρόβιλος μετατρέπει εἰς ἔργον 400 BTU ἀνὰ lb χορηγουμένου ἀτμοῦ.

Ζητεῖται : α) Τὸ παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον ἀνὰ lb ἀτμοῦ εἰς ftlb. β) Ἡ ἰσχύς τοῦ στροβίλου εἰς HP. γ) Ἡ ἰσχύς τοῦ στροβίλου εἰς kW.

Λύσις:

$$\alpha) \frac{W}{J} = 400 \text{ BTU ἀνὰ lb καὶ } W = 400 \times 778 = 311\,200 \text{ ftlb ἀνὰ lb ἀτμοῦ.}$$

$$\beta) 1 \text{ HP} = 2545 \text{ BTU/h ἑπομένως ἡ ζητουμένη ἰσχύς:}$$

$$\text{HP} = \frac{20\,000 \times 400}{2545} = 3140. \left(\text{Διαστάσεις} = \frac{\frac{\text{lb}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}}{\frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{HP}}} = \text{HP} \right)$$

$$\gamma) 1 \text{ kW} = 1,341 \text{ HP καὶ}$$

$$\text{kW} = \frac{3140}{1,341} = 2345. \left(\text{Διαστάσεις} = \frac{\text{HP}}{\frac{\text{HP}}{\text{kW}}} = \text{kW} \right).$$

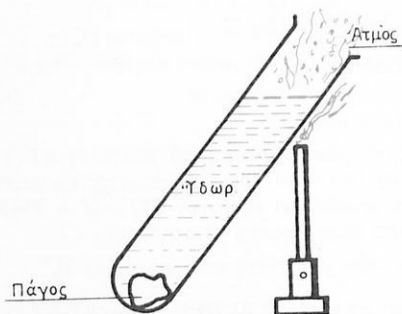
2.13 Μετάδοσις θερμότητος.

Ἡ θερμότης γενικῶς μεταδίδεται ἀπὸ σώματος εἰς σῶμα ἢ καὶ μεταξὺ τῶν μορίων τοῦ αὐτοῦ σώματος, ἐφ' ὅσον ὑπάρχει διαφορὰ θερμοκρασίας.

Ὑπάρχουν τρεῖς μέθοδοι μεταδόσεως θερμότητος: Δι' ἀγωγῆς, δι' ἀκτινοβολίας καὶ διὰ μεταφορᾶς.

Εἰς τὴν μετάδοσιν δι' ἀγωγῆς ἡ θερμότης ρέει μεταξὺ τῶν μορίων ἑνὸς σώματος καὶ ἀπὸ σώματος εἰς σῶμα, ὅταν αὐτὰ εὕρισκωνται ἐν ἐπαφῇ. Δι' ἀγωγῆς ἡ θερμότης μεταδίδεται κυρίως εἰς τὰ στερεὰ σώματα,

ὀλιγώτερον εἰς τὰ ὑγρά καὶ ἐλάχιστα εἰς τὰ ἀέρια.



Σχ. 2.13.

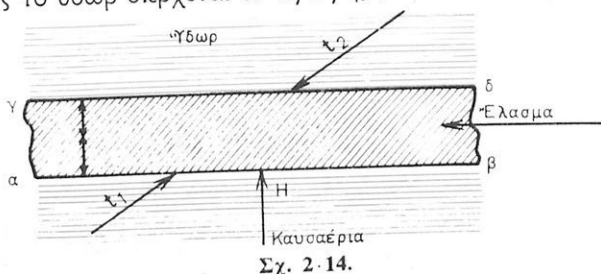
Εἰς τὴν μετάδοσιν δι' ἀκτινοβολίας ἡ θερμότης μεταδίδεται μεταξὺ σωμάτων εὐρισκομένων εἰς ἀπόστασιν τὸ ἐν ἀπὸ τὸ ἄλλο.

Εἰς τὴν διὰ μεταφορᾶς μεταδίδεται δι' ἑνὸς ρευστοῦ, τὸ ὁποῖον ρεεῖ καὶ συνοδεύεται πάντοτε ἀπὸ ἐσωτερικὴν ἀνάμιξιν τοῦ ρευστοῦ. Ἡ μετάδοσις θερμότητος δι' ἀγωγῆς ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὸ σῶμα, μέσω τοῦ ὁποίου μεταδίδεται. Ὑπάρχουν καλοὶ ἀγωγοὶ τῆς θερμότητος, ὅπως π.χ. τὰ μέταλλα καὶ κακοὶ ἀγωγοί, ὅπως π.χ. τὰ ὑγρά καὶ ἀκόμη περισσότερον τὰ ἀέρια. Τὸ ὕδωρ εἶναι κακὸς ἀγωγὸς τῆς θερμότητος. Τοῦτο ἀποδεικνύεται ὡς ἐξῆς (σχ. 2·13) :

Ἐντὸς δοκιμαστικοῦ σωλῆνος πλήρους ὕδατος ὑπάρχει τεμάχιον πάγου, στερεωμένον εἰς τὸν πυθμένα. Τὸ ὕδωρ θερμαίνόμενον εἰς τὸ ἄνω μέρος τοῦ σωλῆνος ἀρχίζει νὰ ἐξατμίζεται, ὅταν ἡ θερμοκρασία του ἀνέλθῃ εἰς 100°C , ἐνῶ ὁ πάγος εἰς τὸν πυθμένα καὶ τὸ περίξ ὕδωρ παραμένει εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ 0°C .

2·14 Ἀγωγιμότης. Νόμος τοῦ Fourier.

Ἐστω ἐπίπεδον ἔλασμα (σχ. 2·14) λέβητος, τὸ ὁποῖον λαμβάνει θερμότητα ἀπὸ τὴν ἐστίαν (πλευρὰ α , β) καὶ τὴν μεταδίδει εἰς τὸ ὕδωρ (πλευρὰ γ , δ). Ἡ θερμότης διὰ νὰ μεταφερθῇ ἀπὸ τὴν ἐστίαν εἰς τὸ ὕδωρ διέρχεται δι' ἀγωγῆς μέσω τοῦ ἐλάσματος.



Σχ. 2·14.

Ἐὰν αἱ θερμοκρασίαι εἰς τὰς δύο ἐπιφανείας τοῦ ἐλάσματος t_1 καὶ t_2 (καὶ ἐπομένως καὶ αἱ ἐνδιάμεσοι ἐντὸς τοῦ ἐλάσματος) δὲν μεταβάλλωνται μὲ τὸν χρόνον, τότε ἡ ἐντὸς τοῦ ἐλάσματος θερμικὴ ἐνέργεια θὰ παραμένῃ σταθερά. Τὸ ἔλασμα τότε εὐρίσκεται εἰς *θερμικὴν ἰσορροπία* καὶ ἡ δίοδος θερμότητος μέσω αὐτοῦ ἔχει τιμὴν σταθεράν. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ εἰσέρχεται εἰς ὠρισμένον χρόνον ἀπὸ τὴν πλευρὰν α , β , ἐξέρχεται ἀπὸ τὴν γ , δ εἰς τὸν αὐτὸν χρόνον.

Όταν εκπληρούνται αἱ ἀνωτέρω προϋποθέσεις, οἱ νόμοι μεταδόσεως τῆς θερμότητος ἀπλοποιοῦνται.

Βασικῶς, ἐὰν τὸ τμήμα τοῦ ἐλάσματος τοῦ λέβητος ἔχη ἐπιφανείας ἐπιπέδους καὶ παραλλήλους καὶ εἶναι ἀπὸ ὁμοιογενὲς ὑλικόν, ἡ μεταδιδόμενη δι' ἀγωγῆς μέσω αὐτοῦ θερμότης θὰ εἶναι :

α) Ἀνάλογος τῆς διαφορᾶς θερμοκρασίας τῶν δύο πλευρῶν τοῦ ἐλάσματος ($t_1 - t_2$).

β) Ἀνάλογος τοῦ χρόνου θ , ποὺ διαρκεῖ ἡ θέρμανσις.

γ) Ἀνάλογος τῆς θερμαινόμενης ἐπιφανείας A τοῦ ἐλάσματος.

δ) Ἀντιστρόφως ἀνάλογος τοῦ πάχους X .

ε) Ἀνάλογος πρὸς τὸν συντελεστὴν θερμικῆς ἀγωγιμότητος K , ὁ ὁποῖος ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν φύσιν τοῦ ὑλικοῦ.

Τὰ ἀνωτέρω διεπίστωσε καὶ διετύπωσεν εἰς νόμον ὁ Fourier.

Βάσει τῶν ἀνωτέρω, ἐὰν H εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ διέρχεται ἀπὸ τοίχωμα ἐπιφανείας A , πάχους X καὶ συντελεστοῦ θερμικῆς ἀγωγιμότητος K , θὰ ἰσχύῃ ἡ σχέσις :

$$H = \frac{K \cdot A \cdot \theta (t_1 - t_2)}{X} \quad (14)$$

Ὁ συντελεστὴς θερμικῆς ἀγωγιμότητος K ἐκφράζει τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ διέρχεται ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας τοῦ ὑλικοῦ, ἀνὰ μονάδα χρόνου, ἀνὰ μονάδα πάχους καὶ διὰ διαφορὰν θερμοκρασίας ἑνὸς βαθμοῦ. Ὡς εἶναι φανερόν, ὁ συντελεστὴς αὐτὸς (μέ βάσιν τὸν ὀρισμὸν του) δύναται νὰ ἐκφράζεται εἰς διαφόρους καταλλήλους μονάδας π.χ. εἰς kcal ἀνὰ m^2 ἐπιφανείας, ἀνὰ m πάχους, ἀνὰ ὥραν καὶ ἀνὰ βαθμὸν $^{\circ}C$ διαφορᾶς θερμοκρασίας ἢ εἰς BTU ἀνὰ ft^2 ἐπιφανείας, ἀνὰ ft πάχους, ἀνὰ ὥραν καὶ ἀνὰ βαθμὸν $^{\circ}F$ διαφορᾶς θερμοκρασίας κ.ο.κ. Ἐπομένως αἱ διαστάσεις τοῦ K θὰ εἶναι kcal/m, h, $^{\circ}C$ ἢ BTU/ft, h, $^{\circ}F$.

Μεγάλῃ προσοχῇ πρέπει νὰ δίδεται εἰς τὴν ἰσότητα (14), ὥστε αἱ διαστάσεις τῶν λοιπῶν στοιχείων τῆς ἰσότητος νὰ λαμβάνωνται ἀναλόγως πρὸς τὴν διάστασιν τοῦ K , π.χ. ἐὰν $K = \text{kcal/m, h, } ^{\circ}C$, τότε εἰς τὴν ἰσότητα (14) τὸ A θὰ ληφθῇ εἰς m^2 , τὸ θ εἰς ὥρας, τὸ $t_1 - t_2$ εἰς βαθμοὺς Κελσίου καὶ τὸ X εἰς m .

Τὸ ἀντίστροφον τῆς θερμικῆς ἀγωγιμότητος ὀνομάζεται *θερμικὴ ἀντίστασις* :

$$\frac{1}{K} = R_K.$$

Ἡ ἰσότης (14) διὰ $A = 1$ καὶ $\theta = 1$ θὰ γραφῇ :

$$H = \frac{K (t_1 - t_2)}{X} \quad (15)$$

$$\eta \quad H \cdot \frac{1}{K} = \frac{t_1 - t_2}{X} \quad \text{καὶ} \quad H = \frac{t_1 - t_2}{X \cdot R_K} \quad (16)$$

Αἱ ἰσότητες (14) (15) καὶ (16) δύναται νὰ χρησιμοποιηθοῦν εἰς τὴν πρᾶξιν μὲ ἀρκετὴν προσέγγισιν καὶ εἰς τοιχώματα μὴ ἐπίπεδα, ὅταν τὸ πάχος των εἶναι μικρὸν ἐν σχέσει πρὸς τὴν ἀκτῖνα καμπυλότητος (π.χ. εἰς τοὺς κυλινδρικοὺς θαλάμους καὶ τὰ ἡμισφαιρικά πώματα τῶν λεβήτων κ.λπ.).

Προκειμένου περὶ σωλῆνων ἢ κατωτέρω ἰσότης δίδει ὀρθότερα ἀποτελέσματα :

$$H = K \cdot 2\pi L \cdot \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{r_1}{r_2}} \quad (17)$$

ὅπου : r_1 εἶναι ἡ ἐξωτερικὴ διάμετρος σωλῆνος, r_2 ἡ ἐσωτερικὴ διάμετρος σωλῆνος, $\ln$ ὁ νεπέρειος λογάριθμος, t_2 ἡ ἐσωτερικὴ θερμοκρασία σωλῆνος, t_1 ἡ ἐξωτερικὴ θερμοκρασία σωλῆνος, L τὸ μῆκος σωλῆνος, $\pi = 3,14$ καὶ K ὁ συντελεστὴς θερμικῆς ἀγωγιμότητος.

Ἡ ἰσότης (17) εἶναι ἰδιαίτερος χρήσιμος κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῶν ἀπωλειῶν εἰς σωλῆνας μὲ θερμικὰς μονώσεις.

Τιμαὶ τῶν συντελεστῶν K θερμικῆς ἀγωγιμότητος διὰ διάφορα σώματα δίδονται εἰς τὸν Πίνακα 9 τοῦ Παραρτήματος.

Παράδειγμα 1ον.

Αἱ θερμοκρασίαι εἰς τὰς δύο πλευρὰς τοιχώματος ἐκ χυτοσιδήρου εἶναι 60°C καὶ 62°C ἀντιστοίχως. Ἡ ἐπιφάνεια τοῦ τοιχώματος εἶναι 2 m^2 καὶ τὸ πάχος του 20 mm . Ζητεῖται τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, τὸ ὁποῖον θὰ διέλθῃ ἀπὸ τὸ τοίχωμα εἰς μίαν ὥραν.

Λύσις:

Ἀπὸ τὸν Πίνακα 9 τοῦ Παραρτήματος λαμβάνομεν $K = 50 \text{ kcal/m, h, } ^\circ\text{C}$. Χρησιμοποιοῦντες τὴν ἰσότητα (14) διὰ $\theta = 1$ ἔχομεν:

$$H = \frac{50 \times 2 (62 - 60)}{0,020} = 10\,000 \text{ kcal/h} \quad \left(\frac{\text{kcal}}{\text{mh } ^\circ\text{C}} \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{m}} = \text{kcal/h} \right)$$

Παράδειγμα 2ον.

Μέσω τῶν χαλκίνων τοιχωμάτων ἐνὸς λέβητος σιδηροδρόμου πάχους $0,5 \text{ in}$ μεταδίδονται ἀνὰ ὥραν καὶ ἀνὰ ft^2 ἐπιφανείας $100\,000 \text{ BTU}$. Ποία ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ τῆς πλευρᾶς τοῦ λέβητος πρὸς τὴν ἐστίαν ἀπὸ ἐκείνης, πού κυκλοφορεῖ τὸ ὕδωρ;

Λύσις:

Διὰ τὸν χαλκὸν $K = 200 \text{ BTU/ft, h, } ^\circ\text{F}$ (Πίναξ 9 Παραρτήματος).

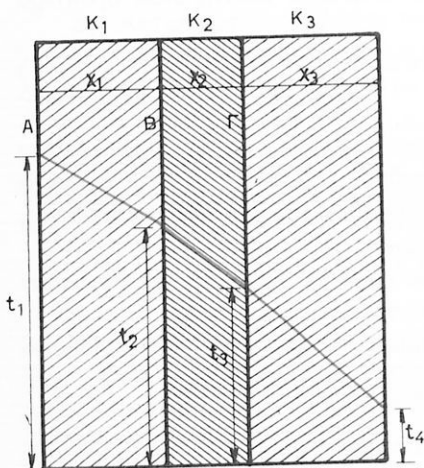
Ἐκ τῆς ἰσότητος (15) λαμβάνομεν:

$$100\,000 = 200 \times \frac{t_1 - t_2}{\frac{0,5}{12}} \quad \eta \quad t_1 - t_2 = \frac{100\,000}{200} \times \frac{0,5}{12} = 21^\circ\text{F}$$

$$\left(\text{Διαστάσεις: } \frac{(\text{BTU}/\text{ft}^2, \text{h}) \cdot \text{ft}}{\text{BTU}/(\text{ft}, \text{h}, ^\circ\text{F})} = ^\circ\text{F} \right).$$

2.15 Μετάδοση θερμότητας δι' αγωγής μέσω σειράς τοιχωμάτων.

Ἐστω ὅτι ἐν σῶμα (σχ. 2.15) ἔχει τοίχωμα ἀποτελούμενον ἀπὸ τρεῖς σειρὰς πλακῶν Α, Β καὶ Γ διαφορετικοῦ ὕλικου, πάχους X_1 , X_2 , X_3 καὶ συντελεστοῦ θερμικῆς ἀγωγιμότητος K_1 , K_2 , K_3 .



Σχ. 2.15.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν εἶναι προσφορώτερον ὁ ὑπολογισμὸς μεταδόσεως θερμότητος νὰ γίνεται ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν.

Εἰς τὸ σχῆμα, t_1 εἶναι ἡ ὑψηλὴ θερμοκρασία εἰς τὴν μίαν πλευρὰν πλακὸς Α, t_2 ἡ θερμοκρασία μεταξύ πλακὸς Α καὶ Β, t_3 ἡ θερμοκρασία μεταξύ πλακὸς Β καὶ Γ καὶ t_4 εἶναι ἡ θερμοκρασία τῆς ἐξωτερικῆς πλευρᾶς τῆς πλακὸς Γ.

Ὅς εἶναι φανερόν, ἐν ποσὸν θερμότητος H , ποὺ θὰ διέλθῃ

ἀπὸ τὴν πλάκα Α, θὰ διέλθῃ ἐν συνεχείᾳ ἀπὸ τὴν Β καὶ τέλος ἀπὸ τὴν Γ.

Οὕτως ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας καὶ ἀνὰ ὥραν ἐκ τῆς ἰσότητος (15) θὰ ἔχωμεν :

$$H = \frac{K_1 (t_1 - t_2)}{X_1} \quad \eta \quad t_1 - t_2 = H \cdot \frac{X_1}{K_1} \quad \text{διὰ τὴν πλάκα Α}$$

$$H = \frac{K_2 (t_2 - t_3)}{X_2} \quad \eta \quad t_2 - t_3 = H \cdot \frac{X_2}{K_2} \quad \text{διὰ τὴν πλάκα Β}$$

$$H = \frac{K_3 (t_3 - t_4)}{X_3} \quad \eta \quad t_3 - t_4 = H \cdot \frac{X_3}{K_3} \quad \text{διὰ τὴν πλάκα Γ}$$

Προσθέτομεν κατὰ μέλη καὶ ἔχομεν :

$$t_1 - t_4 = H \left(\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3} \right) \quad \text{και}$$

$$H = \frac{t_1 - t_4}{\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3}} \quad (18)$$

Ἐὰν τὸ τοίχωμα ἦτο μὲ δύο πλάκας διαφορετικοῦ ὕλικου, τότε :

$$H = \frac{t_1 - t_3}{\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2}} \quad (19)$$

Ἐπομένως ἀπὸ τὰς ἰσότητας (18) καὶ (19) παρατηροῦμεν ὅτι ἡ μεταδοθεῖσα δι' ἀγωγῆς θερμότης μέσω σειρᾶς πλακῶν διαφορετικοῦ ὕλικου ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν εὐρίσκεται, ἐὰν διαιρέσωμεν τὴν διαφορὰν ἐσωτερικῇ μείον ἐξωτερικῇ θερμοκρασίᾳ διὰ τοῦ ἀθροίσματος τῶν λόγων $\frac{X}{K}$ τοῦ ἀριθμοῦ τῶν πλακῶν.

Παράδειγμα.

Τοίχωμα ψυκτικοῦ θαλάμου ἔχει ἐπιφάνειαν 240 ft². Ἀποτελεῖται ἀπὸ φελλὸν πάχους 6 in, πού ἐσωτερικῶς καὶ ἐξωτερικῶς ἐπενδύεται μὲ ξύλον πάχους 1 in. Ὁ συντελεστὴς K θερμικῆς ἀγωγιμότητος τοῦ φελλοῦ εἶναι 0,29 καὶ τοῦ ξύλου 1,45 εἰς BTU ἀνὰ ft² ἐπιφ. ἀνὰ ὥραν καὶ ἀνὰ in πάχους.

Ζητεῖται ἡ εἰσορὴ θερμότητος ἐκ τοῦ περιβάλλοντος ἐντὸς τοῦ ψυκτικοῦ θαλάμου ἀνὰ 24 ὥρον, ἐὰν ἡ διαφορὰ μεταξύ θερμοκρασίας ἐσωτερικῶς τοῦ θαλάμου καὶ τοῦ περιβάλλοντος ἐξωτερικῶς εἶναι 52° F.

Λύσις:

Χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (18), ἐφ' ὅσον ἔχομεν τρεῖς σειρᾶς πλακῶν (φελλόν, ξύλον ἐσωτερικῶς, ξύλον ἐξωτερικῶς).

Εἰς τὴν ἰσότητα αὐτὴν καὶ βάσει τῶν διαστάσεων τοῦ K , ὅπως δίδονται εἰς τὸ πρόβλημα, πρέπει τὸ μὲν πάχος νὰ ληφθῇ εἰς in, ἐνῶ ἡ ἐπιφάνεια εἰς ft².

$$\text{Οὕτως } H = \frac{52}{\frac{1}{1,45} + \frac{6}{0,29} + \frac{1}{1,45}} = 2,37 \text{ BTU ἀνὰ ft}^2 \text{ ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν.}$$

Πολλαπλασιάζομεν ἐπὶ τὴν ἐπιφάνειαν 240 ft² καὶ ἐπὶ 24 ὥρας καὶ εὐρίσκομεν τὸ ζητούμενον ἥτοι:

$$H = 2,37 \times 240 \times 24 = 13651 \text{ BTU ἀνὰ 24 ὥρον.}$$

2.16 Μετάδοσις θερμότητος διὰ μεταφορᾶς.

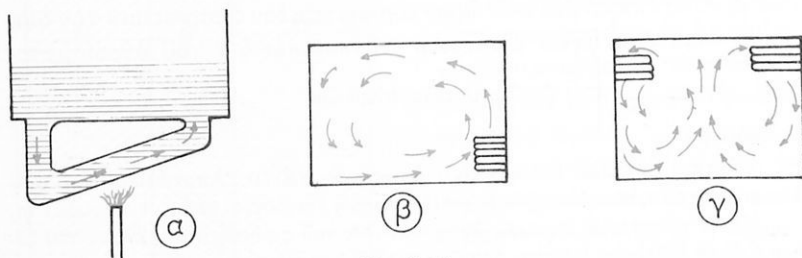
Οὕτω καλεῖται ἡ μεταφορὰ ἢ ἡ ροὴ τῆς θερμικῆς ἐνεργείας τῇ βοηθείᾳ κινουμένου ρευστοῦ, τὸ ὁποῖον ἀναμιγνύεται.

Ἡ κίνησις αὐτὴ τοῦ ρευστοῦ κατὰ τρόπον, ὥστε ἐν μέρος του νὰ ἀναμιγνύεται μὲ ἄλλο, εἶναι ἡ φυσικὴ, λόγῳ διαφορᾶς πυκνότητος τῶν

μερῶν τοῦ ρευστοῦ, ποὺ προέρχεται ἀπὸ τὴν διαφορετικὴν θερμοκρασίαν, ποὺ ἐπικρατεῖ ἐντὸς αὐτοῦ, ἢ βεβιασμένη, ὅταν ἡ κίνησις τοῦ ρευστοῦ προκαλῆται διὰ μηχανικῶν μέσων.

Καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις ὑπάρχει καὶ μεταφορὰ θερμότητος δι' ἀγωγῆς μεταξὺ μιᾶς στερεᾶς ἐπιφανείας καὶ τοῦ ρευστοῦ.

Εἰς τὰς ἐμπειρικὰς σταθεράς, ποὺ χρησιμοποιοῦνται διὰ τὸν ὑπολογισμόν τῆς θερμότητος δι' ἀγωγῆς εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν, ἔχει ὑπολογισθῇ καὶ ἡ ἐπίδρασις τῆς διὰ μεταφορᾶς μεταδόσεως τῆς θερμότητος μέσω τοῦ ρευστοῦ. Εἰς τὸ σχῆμα 2·16 ἔχομεν τρία παραδείγματα μεταδόσεως θερμότητος διὰ μεταφορᾶς.



Σχ. 2·16.

Εἰς τὸ σχῆμα 2·16 (α) ἔχομεν δοχεῖον, τὸ ὁποῖον ἔχει εἰς τὸν πυθμένα συνδεδεμένον σωλῆνα ὑπὸ κλίσιν. Ὄταν θερμαίνεται τὸ ἐντὸς τοῦ δοχείου ὕδωρ, τὰ πλησιέστερα πρὸς τὴν πυρὰν σωματίδια τοῦ ὕδατος καθίστανται εἰδικῶς ἐλαφρότερα καὶ ἀνέρχονται, ἐνῶ τὰ εὐρισκόμενα ἄνω, ὡς βαρύτερα, κινοῦνται πρὸς τὰ κάτω διὰ νὰ τὰ ἀντικαταστήσουν. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον δημιουργοῦνται *ρεύματα μεταφορᾶς*, ἕως ὅτου τὸ ὕδωρ τοῦ δοχείου καὶ τοῦ σωλῆνος θερμανθῇ σχεδὸν ὁμοιόμορφως λόγῳ τῆς κυκλοφορίας του. Αὕτῃ εἶναι ἡ ἀρχὴ λειτουργίας ἐνὸς ὑδραυλωτοῦ λέβητος.

Εἰς τὸ σχῆμα 2·16 (β) παρίσταται ἡ θέρμανσις τοῦ ἀέρος ἐντὸς δωματίου διὰ μεταφορᾶς τῆς θερμότητος. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ ἐστία ἢ τὸ θερμὸν σῶμα τοποθετεῖται πλησίον τοῦ πατώματος τοῦ δωματίου. Ὁ θερμὸς ἀήρ ἀνέρχεται, ὁ ψυχρὸς κατέρχεται καὶ οὕτω κυκλοφορεῖ ἐντὸς τοῦ δωματίου μεταδίδων θερμότητα διὰ μεταφορᾶς.

Εἰς τὸ σχῆμα 2·16 (γ) ἔχομεν ψύξιν τοῦ ἀέρος ἐνὸς δωματίου διὰ μεταφορᾶς. Τὰ ψυκτικὰ σώματα (π.χ. σωληνώσεις) τοποθετοῦν

ται τώρα πλησίον τῆς ὀροφῆς τοῦ δωματίου ὁ ψυχρότερος ἀήρ κατέρχεται, ὁ θερμότερος ἀνέρχεται κ.ο.κ.

2.17 Μετάδοσις θερμότητος μέσω τοιχώματος, πού διαχωρίζει δύο ρευστά.

Ἡ ἰσότης (14) τοῦ Fourier δὲν δύναται νὰ χρησιμοποιηθῇ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτήν, πού πρέπει νὰ εὗρωμεν τὴν μεταφερομένην θερμότητα ἀπὸ κινούμενον ρευστὸν εἰς στερεὰν ἐπιφάνειαν (καὶ ἀντιστρόφως) ἢ ἀπὸ ρευστὸν εἰς ρευστόν, ὅταν αὐτὰ διαχωρίζωνται ἀπὸ στερεὸν τοίχωμα.

Ἡ θερμότης μεταφέρεται ἀπὸ τὸ θερμότερον ρευστὸν πρὸς τὸ στερεὸν δι' ἀγωγῆς καὶ διὰ μεταφορᾶς καὶ πιθανὸν καὶ δι' ἀκτινοβολίας, διέρχεται τὸ στερεὸν τοίχωμα δι' ἀγωγῆς καὶ μεταδίδεται πρὸς τὸ ψυχρότερον ὑγρὸν δι' ἀγωγῆς καὶ μεταφορᾶς.

Ὅταν ἔν ρευστὸν εὐρίσκεται ἐν κινήσει καὶ εἰς ἐπαφὴν μὲ στερεὰν ἐπιφάνειαν, τότε σχηματίζεται πάντοτε ἐπ' αὐτῆς μία λεπτὴ *μεμβράνη τοῦ ρευστοῦ*, ἡ ὁποία παραμένει σχεδὸν ἀκίνητος. Μέσω αὐτῆς τῆς μεμβράνης ρευστοῦ πρέπει νὰ διέλθῃ ἡ θερμότης, ὥστε νὰ μεταφερθῇ ἀπὸ τὸ στερεὸν ἢ πρὸς τὸ στερεὸν σῶμα. Τὸ πάχος τῆς μεμβράνης εἶναι λεπτὸν καὶ μεταβάλλεται ἀναλόγως τοῦ ἰσώδους ρευστοῦ καὶ τοῦ τρόπου ροῆς αὐτοῦ. Ὅταν ἡ κίνησις τοῦ ρευστοῦ εἶναι ἡρεμος καὶ φυσικὴ, τὸ πάχος φθάνει τὸ 1 mm, ἐλαττοῦται δέ, ἐὰν ἡ κίνησις τοῦ ρευστοῦ εἶναι βεβιασμένη καὶ στροβιλώδης.

Δεδομένου ὅτι τὸ ὀκριβὲς πάχος τῆς μεμβράνης εἰς πολλὰς περιπτώσεις δὲν δύναται νὰ μετρηθῇ, ἡ εὐκολία, μὲ τὴν ὁποίαν ἡ θερμότης μεταδίδεται μέσω αὐτῆς, ὀνομάζεται *συντελεστὴς ἐπιφανείας* ἢ *συντελεστὴς μεμβράνης ρευστοῦ*.

Συντελεστὴς μεμβράνης εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, πού διέρχεται μέσω αὐτῆς δι' ἑν ὥρισμένον ρευστὸν ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν καὶ διὰ διαφορὰν θερμοκρασίας ἐνὸς βαθμοῦ μεταξὺ τοιχώματος καὶ ρευστοῦ.

Ἐὰν x εἶναι ὁ συντελεστὴς μεμβράνης τοῦ ρευστοῦ, τότε ἡ διάστασις αὐτοῦ ἐκ τοῦ ὀρισμοῦ θὰ εἶναι :

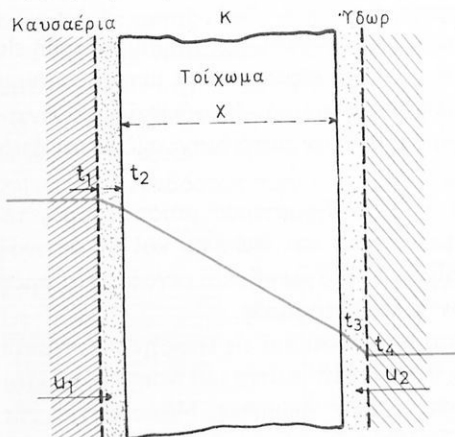
$$\text{kcal/h, m}^2, ^\circ\text{C} \quad \text{ἢ} \quad \text{BTU/h, ft}^2, ^\circ\text{F}.$$

Διὰ τὴν εὕρεσιν τώρα τῆς θερμότητος, πού μεταφέρεται ἀπὸ τὴν στερεὰν ἐπιφάνειαν πρὸς τὸ ρευστὸν καὶ ἀντιστρόφως, ἐφαρμόζεται ἡ ἰσότης τοῦ Newton:

$$H = \kappa \cdot A \cdot \theta (t_1 - t_2) \quad (20)$$

όπου κ ο συντελεστής μεμβράνης εις kcal/h, m², °C (ή BTU/h, ft², °F), A ή θερμαινομένη επιφάνεια εις m² (ή ft²), θ ο χρόνος εις ώρας, t_1 ή ύψηλη θερμοκρασία ρευστού ή τοιχώματος εις °C (ή °F) και t_2 ή χαμηλή θερμοκρασία ρευστού ή τοιχώματος εις °C (ή °F).

Έστω τώρα ότι το σχήμα 2.17 παριστᾷ τοίχωμα λέβητος, πού διαχωρίζει δύο ρευστά με τὰ καυσαέρια ύψηλης θερμοκρασίας t_1 , πού θερμαίνονται, και τὸ ὕδωρ χαμηλής θερμοκρασίας t_4 , πού θερμαίνεται. Παρατηροῦμεν ὅτι ἡ θερμοκρασία, καθὼς ἡ θερμότης διέρχεται μέσω τῆς μεμβράνης τῶν καυσαερίων, ἀπὸ t_1 πίπτει εἰς t_2 (ἐρυθρὰ γραμμή), ἐν συνεχείᾳ ἐντὸς τοῦ



Σχ. 2.17.

τοιχώματος ἀπὸ t_2 πίπτει εἰς t_3 και τέλος ἐντὸς τῆς μεμβράνης τοῦ ὕδατος ἀπὸ t_3 πίπτει εἰς t_4 , ἡ ὁποία εἶναι και ἡ τελικὴ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος.

Υπολογίζομεν τώρα τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, πού θὰ μεταφερθῇ ἀπὸ τὰ καυσαέρια εἰς τὸ ὕδωρ, ἔστω διὰ μίαν ὥραν και ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας ($\theta = 1$ και $A = 1$).

α) Ἀπὸ τὰ καυσαέρια εἰς τοίχωμα λέβητος :

$$H = \kappa_1 \cdot (t_1 - t_2) \text{ (ισότης 20).}$$

β) Διὰ μέσου τοῦ τοιχώματος τοῦ λέβητος :

$$H = \frac{K (t_2 - t_3)}{X} \text{ (ισότης 15).}$$

γ) Ἀπὸ τοίχωμα λέβητος εἰς ὕδωρ :

$$H = \kappa_2 (t_3 - t_4) \text{ (ισότης 20).}$$

Εἰς τὰς ἰσότητας αὐτὰς τὸ κ_1 εἶναι ὁ συντελεστής μεμβράνης τῶν καυσαερίων, κ_2 ὁ συντελεστής μεμβράνης τοῦ ὕδατος, K ὁ συντελεστής θερμικῆς ἀγωγιμότητος τοῦ τοιχώματος και X τὸ πάχος αὐτοῦ. Ἀπὸ τὰς ἰσότητας τώρα τῶν α), β) και γ) εὐρίσκομεν τὸν ὀλικὸν συντελεστήν μεταφορᾶς θερμότητος U :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{X}{K} + \frac{1}{\kappa_2}} \quad \text{είς kcal/h, m}^2, ^\circ\text{C} \quad \text{ή} \quad \text{BTU/h, ft}^2, ^\circ\text{F} \quad (21)$$

Διὰ τῆς χρήσεως τοῦ συντελεστοῦ U ἡ θερμότης, ἡ ὁποία ἀπὸ τὰ καυσαέρια θὰ μεταδίδεται εἰς τὸ ὕδωρ, δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος:

$$H = U \cdot A \cdot \theta (t_1 - t_4) \quad (22)$$

Ἐπομένως, διὰ νὰ ὑπολογισθῇ ἡ θερμότης, ἡ ὁποία ἀπὸ ρευστὸν μεταδίδεται εἰς ρευστὸν μέσω στερεοῦ τοιχώματος, πολλαπλασιάζομεν τὴν θερμαινομένην ἐπιφάνειαν ἐπὶ τὸν χρόνον εἰς ὥρας, ἐπὶ τὴν διαφορὰν θερμοκρασίας τῶν δύο ρευστῶν καὶ τέλος ἐπὶ τὸν ὀλικὸν συντελεστήν μεταφορᾶς θερμότητος.

Σημείωσις: Εὗρεσις τοῦ U .

Διὰ τὴν εὗρεσιν τοῦ συντελεστοῦ U αἱ ἰσότητες τῶν α), β) καὶ γ) τῆς προηγούμενης παραγράφου γράφονται ὡς κάτωθι:

$$t_1 - t_2 = \frac{H}{\kappa_1}, \quad t_2 - t_3 = H \cdot \frac{X}{K} \quad \text{καὶ} \quad t_3 - t_4 = \frac{H}{\kappa_2}.$$

Προσθέτοντες τὰς ἰσότητας αὐτὰς κατὰ μέλη λαμβάνομεν:

$$t_1 - t_4 = \frac{H}{\kappa_1} + H \cdot \frac{X}{K} + \frac{H}{\kappa_2} \quad \text{ἢ}$$

$$t_1 - t_4 = H \left(\frac{1}{\kappa_1} + \frac{X}{K} + \frac{1}{\kappa_2} \right) \quad \text{καὶ} \quad H = \frac{t_1 - t_4}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{X}{K} + \frac{1}{\kappa_2}}$$

$$\text{καὶ ἔαν} \quad U = \frac{1}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{X}{K} + \frac{1}{\kappa_2}}, \quad \text{θὰ ἔχωμεν:}$$

$$H = U (t_1 - t_4)$$

ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν, ὅποτε διὰ A θερμαινομένην ἐπιφάνειαν καὶ θ ὥρας ἔχομεν τὴν ἰσότητα (22), ἥτοι:

$$H = U \cdot A \cdot \theta (t_1 - t_4). \quad (22)$$

2.18 Μεταφορὰ θερμότητος καὶ ἐπικρατοῦσαι θερμοκρασίαι εἰς κύλινδρον μηχανῆς Ντῆξελ.

Ἡ μεγίστη θερμοκρασία εἰς τὴν μηχανὴν Ντῆξελ παρατηρεῖται εἰς τὸ τέλος τῆς καύσεως καὶ ἀνέρχεται περίπου εἰς 1600°C .

Ἡ καῦσις ὅμως γίνεται πολὺ ταχέως, ὥστε αὐτὴ δὲν ἐπιδρᾷ εἰς τὸ ἔμβολον καὶ τὰ τοιχώματα τοῦ κυλίνδρου. Ἡ μέση θερμοκρασία τῶν καυσαερίων, ποὺ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν, εἶναι περίπου 620°C . (Ἀπὸ δίχρονον μηχανὴν τύπου B. & W.). Ὁ κύλινδρος ὅμως εἶναι κατεσκευασμένος ἀπὸ χυτοσίδηρον, εἰς τὸν ὁποῖον, ὡς γνωστόν, ἄρ-

χεται ἐλάττωσις τῆς ἀντοχῆς του εἰς τοὺς 300°C , ἐνῶ συγχρόνως τὸ ἔλαιον λιπάνσεως χάνει τὰς λιπαντικὰς ιδιότητας εἰς τὰς ὑψηλὰς αὐτὰς θερμοκρασίας. Εἶναι ἐπομένως ἀπαραίτητος ἡ ὑπαρξίς συστήματος ψύξεως τοῦ κυλίνδρου καὶ τοῦ ἐμβόλου.

Ἡ ψύξις γίνεται διὰ κυκλοφορίας ὕδατος ἢ ἐλαίου ψύξεως μέσω τοῦ διωστήρος εἰς τὸ ἐσωτερικὸν τοῦ ἐμβόλου καὶ διὰ κυκλοφορίας ὕδατος ψύξεως περίξ τῶν τοιχωμάτων τοῦ κυλίνδρου.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος ψύξεως τηρῇται εἰς τοὺς 70°C περίπου, τότε δυνάμεθα νὰ ἐμποδίσωμεν τὴν θερμοκρασίαν τῶν ἐσωτερικῶν τοιχωμάτων τοῦ κυλίνδρου νὰ ὑπερβῇ τοὺς 300°C . Τοῦτο ὁμως θὰ ἦτο ἀδύνατον ἄνευ τῆς *ὑπάρξεως τῆς μεμβράνης τῶν ρευστῶν*, περὶ τῆς ὁποίας ὠμιλήσαμεν.

Ἔστω ὅτι τὸ σχῆμα 2.17 παριστᾷ τοίχωμα χυτοσιδηροῦ κυλίνδρου Ντῆζελ πάχους 7 cm. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν αἱ διάφοροι τιμαὶ θερμοκρασιῶν εἶναι :

$$t_1 = 620^{\circ}\text{C}, \quad t_2 = 300^{\circ}\text{C}, \quad t_3 = 150^{\circ}\text{C} \quad \text{καὶ} \quad t_4 = 70^{\circ}\text{C}.$$

Βλέπομεν δηλαδή ὅτι ἀπὸ θερμοκρασίαν 620°C τῶν καυσαερίων κατερχόμεθα εἰς θερμοκρασίαν 70°C τοῦ ὕδατος χάρις εἰς τὴν ὑπαρξιν δύο μεμβρανῶν τῶν ρευστῶν, εἰς τὰς ὁποίας ἔχομεν πτώσιν θερμοκρασίας 320°C εἰς τὴν μεμβράνην τῶν καυσαερίων καὶ 80°C εἰς τὴν μεμβράνην τοῦ ὕδατος. Ἐὰν δὲν ὑπῆρχον αἱ μεμβράναι τῶν ρευστῶν, τότε τὸ πάχος τοῦ κυλίνδρου ὑπολογίζεται ὅτι πρέπει νὰ εἶναι περίπου 26 cm διὰ θερμοκρασίας 620°C καυσαερίων καὶ 70°C ὕδατος ψύξεως.

2.19 Τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ ρευστοῦ καὶ τοῦ U.

Αἱ τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ μεμβράνης τοῦ ρευστοῦ καὶ τοῦ U φανερόν εἶναι ὅτι μεταβάλλονται ἀναλόγως τῶν περιστάσεων καὶ τῶν ρευστῶν. Διὰ τοιχώματα λεβήτων, ἀτμαγωγούς καὶ λοιπὰς παρομοίας ἐγκαταστάσεις ἡ τιμὴ τοῦ U πρέπει νὰ εἶναι μικρά, ὥστε αἱ ἀπώλειαι θερμότητος νὰ ἐλαττωθοῦν εἰς τὸ ἐλάχιστον.

Εἰς τὴν ἀντίστασιν τῆς ροῆς θερμότητος ὑποβοηθοῦν πολὺ, ὡς προανεφέρθη, αἱ μεμβράναι τοῦ ρευστοῦ. Ἐπομένως, ὅταν ἡ ροὴ θερμότητος πρέπει νὰ ἔχῃ χαμηλὴν τιμὴν, τότε ὅσον τὸ δυνατόν χαμηλότεραι τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ μεμβράνης τοῦ ρευστοῦ εἶναι εὐνοϊκαί. Ἐξ ἄλλου ὁμως ὁ σκοπὸς ἐνὸς ἐναλλακτῆρος θερμότητος εἶναι ἡ μεταφορὰ θερμότητος ἀπὸ ἓν ρευστὸν εἰς ἄλλο, ἐπομένως εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ τιμὴ τοῦ U συμφέρει νὰ εἶναι μεγάλη. Γενικῶς ἡ ἀντίστασις, πού προσφέρουν οἱ αὐλοὶ ἐνὸς ἐναλλακτῆρος θερμότητος εἰς τὴν μεταφορὰν τῆς θερμότητος, εἶναι μικρά καὶ ἐπομένως βασικῶς αὕτη ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὸν συντελεστὴν μεμβρά-

νης του ρευστού. 'Η απόδοσις επομένως ενός τοιούτου εξαρτήματος εξαρτάται από το είδος των ρευστών, που κυκλοφορούν.

Τὰ ἀέρια λόγω τῆς μικρᾶς πυκνότητός των ἔχουν καὶ τοὺς μικροτέρους συντελεστὰς μεμβράνης. Χαρακτηριστικαὶ τιμαὶ διὰ τὸν ἀέρα εἶναι 1 ἕως 5 εἰς φυσικὸν ἔλκυσμόν καὶ φθάνει τὸ 30 εἰς ὑψηλὰς ταχύτητας αὐτοῦ. Οἱ συντελεσταὶ μεμβράνης τῶν ὑγρῶν ἔχουν μεγάλας διαφοράς. Αἱ τιμαὶ διὰ λιπαντικὰ ἔλαια καὶ πετρέλαιον κυμαίνονται ἀπὸ 30 ἕως 70, ἐνῶ διὰ τὸ ὕδωρ ὑπὸ τὰς αὐτὰς συνθήκας φθάνει τὸ 800.

"Υδωρ, ποὺ κυκλοφορεῖ εἰς δέσμην αὐλῶν, ἔχει συντελεστὴν μεμβράνης ἀπὸ 1000 ἕως 2000, ἐνῶ δι' ὕδρατμόν, ποὺ συμπυκνῶνται ἐπὶ τῆς ἐξωτερικῆς ἐπιφανείας τῶν αὐλῶν συμπυκνωτοῦ, ἡ τιμὴ κυμαίνεται μεταξὺ 1000 ἕως 4000. 'Η μέση τιμὴ τοῦ U διὰ συμπυκνωτῶν ἀτμοῦ εἶναι περίπου 600, διὰ ψυκτῆρα ἐλαίου 40 καὶ διὰ προθερμαντῆρα ἀέρος λέβητος 5 BTU ἀνὰ h ἀνὰ ft^2 ἀνὰ $^{\circ}F$.

Παράδειγμα.

Ζητεῖται τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ διέρχεται ἀπὸ τὰ καυσαέρια εἰς τὸ ὕδωρ ψύξεως μηχανῆς Ντῆζελ ἀνὰ m^3 ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν, ἐὰν ἡ θερμοκρασία τῶν καυσαερίων εἶναι $620^{\circ}C$, τοῦ ὕδατος ψύξεως $70^{\circ}C$, τὸ πάχος τοῦ κυλίνδρου ἐκ χυτοσιδήρου εἶναι 7 cm καὶ ὁ συντελεστὴς θερμικῆς ἀγωγιμότητος τοῦ κυλίνδρου 45 kcal/m, h, $^{\circ}C$.

Οἱ συντελεσταὶ μεμβράνης καυσαερίων καὶ ὕδατος ἀντιστοίχως εἶναι 300 καὶ 1200 kcal/m², h, $^{\circ}C$. Ποῖον θὰ ἔπρεπε νὰ εἶναι τὸ πάχος τοῦ κυλίνδρου, ἐὰν δὲν ἐσχηματίζοντο αἱ μεμβράναι ρευστοῦ διὰ τὴν αὐτὴν διαφορὰν θερμοκρασίας;

Λύσις:

Ἀναφερόμενοι εἰς τὸ σχῆμα 2.17:

α) Ἐφαρμόζομεν τὴν ἰσότητα (22):

$$H = U \cdot A \cdot \theta (t_1 - t_4) \quad (\delta\pi\upsilon\upsilon A = 1, \theta = 1, t_1 = 620 \text{ καὶ } t_4 = 70^{\circ}C).$$

$$\text{'Αλλὰ ἐκ τῆς ἰσότητος (21) ἔχομεν: } U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{X}{K} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\delta\pi\upsilon\upsilon \alpha_1 = 300, \alpha_2 = 1200, X = 0,07 \text{ m καὶ } K = 45$$

$$\text{καὶ } U = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0,07}{45} + \frac{1}{1200}} = 175 \text{ kcal/m}^2, \text{ h, } ^{\circ}C$$

$$\text{ἐπομένως } H = 175 (620 - 70) = 96\,250 \text{ kcal/m}^2, \text{ h.}$$

β) Ἡ ροὴ μέσω τοῦ τοιχώματος δίδεται ὑπὸ τῆς ἰσότητος (15):

$$H = \frac{K (t_2 - t_3)}{X},$$

$$\delta\pi\upsilon\upsilon H = 96\,250 \text{ kcal/m}^2, \text{ h } K = 45 \text{ kcal/m, h, } ^{\circ}C, t_2 = 620^{\circ}C, t_3 = 70^{\circ}C.$$

Ζητεῖται τὸ X :

$$96\,250 = \frac{45 \times (620 - 70)}{X} \quad \text{καὶ } X = 0,26 \text{ m περίπου.}$$

2.20 Μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας.

Θερμότης μεταφέρεται όχι μόνον δι' έπαφής αλλά και δι' ακτινοβολίας, δηλαδή άνευ τής χρησιμοποίησεως μεταφορικοῦ μέσου. Ἡ ακτινοβολία οφείλεται εἰς ηλεκτρομαγνητικά κύματα ὅμοια μέ τὰ τοῦ φωτός ἀλλὰ μέ διαφορετικὸν μήκος.

Τὰ κύματα αὐτὰ ακτινοβολίας θερμότητος διέρχονται τὸν χώρον τοῦ διαστήματος καὶ κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον ἡ γῆ θερμαίνεται ἀπὸ τὸν ἥλιον. Εἶναι χαρακτηριστικὸν ὅτι κατὰ τὸν χειμῶνα καὶ ὅταν ὁ ἀήρ εἶναι ψυχρὸς, αἰσθανόμεθα θερμὰς τὰς ἀκτῖνας τοῦ ἡλίου.

Ἡ ακτινοβολουμένη θερμότης μεταδίδεται καὶ μέσω τοῦ κενοῦ, δὲν εὐρίσκει δὲ ἀντίστασιν, ὅταν διέρχεται μέσω ἀερίων. Τὰ ἀέρια, ὅταν εὐρίσκωνται μακρὰν τοῦ σημείου ὑγροποιήσεως των, ἐπιτρέπουν τὴν μέσω αὐτῶν δίοδον τής θερμότητος δι' ακτινοβολίας, χωρὶς νὰ τὴν ἀπορροφοῦν, πρᾶγμα ποὺ θὰ εἶχεν ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἐλάττωσιν τής πυκνότητός των. Ἀντιθέτως, τὰ ὑγρὰ καὶ ἰδιαίτερος τὰ στερεὰ σώματα ἀπορροφοῦν τὴν ακτινοβολουμένην θερμότητα εἰς ποσότητας μικροτέρας ἢ μεγαλυτέρας ἀναλόγως τής φύσεως αὐτῶν.

Εἰς τὴν πραγματικότητα διὰ τὰ ὑγρὰ καὶ τὰ στερεὰ ἡ ακτινοβολουμένη θερμότης χωρίζεται εἰς ἐκείνην ποῦ :

α) Ἀπορροφοῦν.

β) Ἀνακλοῦν.

γ) Μεταφέρεται μέσω αὐτῶν.

Βάσει τῶν ἀνωτέρω ἔν σῶμα ὀνομάζεται *λευκόν*, ὅταν ἀνακλᾷ ὅλας τὰς ἀκτῖνας, ποὺ πίπτουν ἐπ' αὐτοῦ, καὶ *μέλαν*, ὅταν ἀπορροφῇ ὅλας τὰς ἀκτῖνας καὶ οὐδεμίαν ἀνακλᾷ.

Ἡ ακτινοβολία μέσω στερεᾶς ἢ ὑγρᾶς ἐπιφανείας δίδεται ἀπὸ τὴν ἰσότητα :

$$H_A = \Sigma \cdot A \cdot E \cdot T^4 \quad \text{BTU/h} \quad (23)$$

ὅπου Σ εἶναι ἡ σταθερὰ τοῦ Stefan - Boltzmann ($0,172 \times 10^{-8}$) BTU/h, ft², °R. Τὸ E εἶναι ὁ συντελεστὴς *ἐκπομπῆς ακτινοβολίας*, ὁ ὁποῖος ἔχει ὡς μεγίστην τιμὴν τὴν μονάδα (διὰ μέλαν σῶμα), A εἶναι ἡ ἐπιφάνεια τοῦ σώματος εἰς ft² καὶ T οἱ βαθμοὶ θερμοκρασίας Rankine.

Ὁ συντελεστὴς E ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κατάστασιν τής ἐπιφανείας καὶ τὸ χρῶμα τοῦ σώματος. Τὸ μέλαν σῶμα ἔχει $E=1$, τὸ φαῖον $E < 1$. Τὰ σώματα ακτινοβολοῦν θερμότητα ἀνεξαρτήτως ἐὰν ἔχουν ὑψηλὴν ἢ χαμηλὴν θερμοκρασίαν. Τὸ εἰς ὑψηλοτέραν ὁμως θερμοκρασίαν σῶμα,

ἐφ' ὅσον οἱ ἄλλοι παράγοντες εἶναι οἱ αὐτοί, ἀκτινοβολεῖ περισσοτέραν θερμότητα ἀπὸ τὸ ἄλλο. Ἐὰν δύο σώματα θερμοκρασίας T_1 καὶ T_2 ἀντιστοιχῶς εὐρίσκωνται τὸ ἐν πλησίον τοῦ ἄλλου, τότε ἡ καθαρὰ ἐναλλαγὴ τῆς ἀκτινοβολουμένης θερμότητος δίδεται ὑπὸ τῆς ἰσότητος:

$$H_A = K_a \cdot \Sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \text{ BTU/h} \quad (24)$$

ὅπου K μία σταθερὰ ἀδιάστατος, ἡ ὁποία ἐξαρτᾶται ἀπὸ παράγοντας ὡς ἡ γωνία προσπτώσεως τῶν ἀκτίνων εἰς τὸ σῶμα καὶ ἀπὸ τὴν διαφορὰν τοῦ σώματος ἐν σχέσει μὲ τὸ μέλαν σῶμα.

Ἡ τιμὴ τοῦ K εἶναι ἴση ἢ μικρότερα τῆς μονάδος, ὁ δὲ καθορισμὸς τῆς εἶναι διὰ λίαν εἰδικευμένους εἰς τὸ θέμα Τεχνικούς.

2.21 Ἀσκήσεις.

1) Νὰ εὐρεθῇ εἰς ποίαν θερμοκρασίαν οἱ βαθμοὶ Κελσίου καὶ Φαρενάιτ συμπίπτουν καὶ κατ' ἀπόλυτον τιμὴν καὶ κατὰ σημείον. (Ἀπ.: -40)

2) Νὰ εὐρεθῇ ἡ σχέσις μεταξὺ kcal, BTU, lcal.

(Ἀπ.: $1 \text{ kcal} = 3,967 \text{ BTU}$, $1 \text{ kcal} = 2,2 \text{ lcal}$, $1 \text{ lcal} = 1,8 \text{ BTU}$)

3) Ὁ πρῶτος μηχανικὸς πλοίου διὰ νὰ εὐρῇ τὴν θερμοκρασίαν τῶν καυσαερίων, ποὺ ἐξήρχοντο ἀπὸ τὴν καπνοδόχον τοῦ λέβητος, ἐφήρμοσεν τὴν ἐξῆς μέθοδον: Ἐκρέμασε τεμάχιον χαλκοῦ (εἶδ. θερμότης $0,095$) βάρους 4 lb ἐντὸς τῆς καπνοδόχου ἐπὶ ἀρκετὸν χρόνον, ὥστε νὰ λάβῃ τοῦτο τὴν θερμοκρασίαν τῶν καυσαερίων καὶ ἐν συνεχείᾳ τὸ ἐβύθισεν ἐντὸς ξυλίνου κάδου μὲ ὕδωρ θερμοκρασίας 68° F . Ἐὰν ἡ ἰσορρόπησις θερμοκρασιῶν ὕδατος καὶ χαλκοῦ ἐγίνε εἰς τοὺς 90° F , ποία ἡ θερμοκρασία τῶν καυσαερίων;

(Ἀπ.: $506,9^\circ \text{ F}$)

4) Ἐντὸς δοχείου, ποὺ περιεῖχεν $22,5 \text{ lb}$ ὕδατος θερμοκρασίας 72° F , ἐρρίφθησαν 2 lb πάγου. Μετὰ τὴν τήξιν τοῦ πάγου ἡ θερμοκρασία τοῦ συνολικοῦ ὕδατος τοῦ δοχείου ἦτο 55° F . Ζητεῖται ἡ ἀρχικὴ θερμοκρασία τοῦ πάγου, ὅταν ἡ εἰδικὴ θερμότης αὐτοῦ εἶναι $0,5$ καὶ ἡ λανθάνουσα θερμότης τήξεως ἀπὸ 32° F εἰς ὕδωρ 32° F εἶναι 144 BTU ἀνὰ lb .

(Ἀπ.: $l = -16,5^\circ \text{ F}$)

5) Νὰ εὐρεθῇ τὸ βάρος 6800 ft^3 πετρελαίου λεβήτων καὶ θερμοκρασίας 60° F , εἰς ἀγγλικούς τόνους. Τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ πετρελαίου εἰς τὴν θερμοκρασίαν τῶν 60° F εἶναι 24 API .

(Ἀπ.: $172,38$ ἀγγλικοὶ τόννοι)

6) Ἀτμοστρόβιλος ἀναπτύσσει ἰσχύιν 200 HP , ἐνῶ μετατρέπει εἰς ἔργον 100 kcal ἐξ ἐκάστου kg ὕδρατμου, ὁ ὁποῖος εἰσέρχεται εἰς αὐτόν. Ζητεῖται τὸ βάρος εἰς kg/h τοῦ εἰς τὸν ἀτμοστρόβιλον εἰσερχομένου ὕδρατμου.

(Ἀπ.: 1264)

7) Ζητεῖται τὸ ποσὸν θερμότητος, ποὺ διέρχεται ἀνὰ ὥραν μέσω τοιχώματος ἐκ τοιμέντου μήκους 20 ft , ὕψους 8 ft καὶ πάχους 10 in . Συντελεστὴς θερμικῆς ἀγωγιμότητος εἶναι $1 \text{ BTU/h, in, } ^\circ \text{ F}$. Ἡ θερμοκρασία τῆς ἐξωτερικῆς ἐπιφανείας εἶναι 5° F καὶ τῆς ἐσωτερικῆς ἐπιφανείας τοῦ τοιχώματος 45° F .

(Ἀπ.: 7680 BTU)

8) Διὰ τὸ τοίχωμα τῆς ἀσκήσεως (7) οἱ συντελεσταὶ μεμβράνης ἐξωτερικῶς καὶ ἐσωτερικῶς εἶναι ἀντιστοίχως 6 καὶ 1,5 BTU/h, ft², °F. Ἡ ἐξωτερικὴ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος εἶναι -3°F καὶ ἡ ἐσωτερικὴ 77°F . Ζητεῖται: α) Ὁ ὅλικός συντελεστὴς μεταφορᾶς τῆς θερμότητος καὶ β) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ διέρχεται μέσῳ τοῦ τοιχώματος, ἀνὰ ὥραν.

(Ἀπ.: α) 0,6 BTU/h, ft², °F. β) 7680 BTU)

9) Νὰ ὑπολογισθῇ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ διέρχεται ἀνὰ ὥραν μέσῳ πλακοῦ ἐπιφανείας 2 m², πάχους 2 cm μὲ διαφορὰν θερμοκρασίας 5°C , ἐὰν $K = 1,5 \text{ kcal/h, cm, }^{\circ}\text{C}$.

(Ἀπ.: = 75 000 kcal)

ΑΕΡΙΑ — ΝΟΜΟΙ ΑΕΡΙΩΝ — ΜΙΓΜΑΤΑ ΑΕΡΙΩΝ

3.1 Τέλεια αέρια. Φυσικά αέρια.

Ἡ συμπεριφορὰ τῶν αερίων εἰς διαφόρους θερμοκρασίας καὶ πιέσεις βασίζεται εἰς ὠρισμένους Νόμους τῆς Φυσικῆς, οἱ ὅποιοι καλοῦνται *Νόμοι τῶν Ἀερίων*. Τοὺς νόμους αὐτοὺς θὰ ἐξετάσωμεν ἐν συνεχείᾳ.

Ἐν αέριον ὀνομάζεται ἰδανικὸν ἢ τέλειον, ὅταν ὑπακούῃ πλήρως εἰς τοὺς Νόμους τῶν Ἀερίων καὶ ἔχῃ ἀμεταβλήτους εἰδικὰς θερμότητας.

Τέλεια αέρια δὲν ὑπάρχουν. Τὰ εἰς θερμικὰς μηχανὰς χρησιμοποιούμενα αέρια ὀνομάζονται *φυσικὰ ἢ πραγματικὰ αέρια*.

Οἱ νόμοι τῶν τελείων αερίων ἐφαρμόζονται εἰς τὴν πρᾶξιν καὶ διὰ τὰ φυσικὰ αέρια μὲ σχετικὴν προσέγγισιν. Ἡ ἀκρίβεια τοῦ ὑπολογισμοῦ εἶναι τόσον μεγαλυτέρα, ὅσον τὰ αέρια αὐτὰ εὐρίσκονται μακρότερον τοῦ σημείου ὑγροποιήσεως των καὶ αἱ διαφοραὶ θερμοκρασιῶν δὲν εἶναι πολὺ μεγάλα.

Ἐν ἐκ τῶν πλέον κοινῶν *θερμοδυναμικῶν μέσων* ἐκ τῶν χρησιμοποιουμένων εἰς τὰς θερμικὰς μηχανὰς εἶναι, ὡς ἐλέχθη ἤδη, ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ. Τοῦτο θὰ τὸ διαπιστώσωμεν βραδύτερον κατὰ τὴν ἐξέτασιν λειτουργίας τῶν Μηχανῶν Ἑσωτερικῆς Καύσεως καὶ τῶν Ἀεροσυμπιεστῶν.

3.2 Νόμος Boyle καὶ Mariotte.

Ὁ Boyle καὶ ὁ Mariotte ἀνεκάλυψαν ὅτι: *Ἐὰν ἡ ἀπόλυτος πίεσις ἐνὸς αερίου μεταβάλλεται, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία του παραμένει σταθερά, τότε μεταβάλλεται καὶ ὁ ὄγκος τοῦ αερίου οὕτως, ὥστε τὸ γινόμενον τῆς πίεσεως ἐπὶ τὸν ὄγκον νὰ παραμένῃ πάντοτε σταθερόν.*

Ἐπομένως, ἐὰν ἐν αέριον ἔχῃ ἀρχικὴν ἀπόλυτον πίεσιν P_1 καὶ ὄγκον U_1 καὶ ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν T ἡ πίεσις μεταβληθῇ εἰς P_2 , τότε ὁ ὄγκος θὰ γίνῃ U_2 κατὰ τρόπον, ὥστε: $P_1 \cdot U_1 = P_2 \cdot U_2$. Δηλαδή, ἐὰν ἐν αέριον ἔχῃ $T = \text{σταθερόν}$, τότε καὶ $P \cdot U = \text{σταθ.}$ Ὁ Νόμος αὐτὸς εἰς τὴν πρᾶξιν καὶ διὰ μεγάλας διαφορὰς πιέσεων παρουσιάζει ἀποκλίσεις μέχρι 5%, αἱ ὅποια ὅμως δὲν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς τῶν ναυτικῶν μηχανῶν.

3.3 Νόμος του Charles ή του Gay - Lussac.

Ο Charles τὸ ἔτος 1787 καὶ ὁ Gay - Lussac ἀνεξαρτήτως τοῦ πρώτου, τὸ ἔτος 1802, ἀνεκάλυψαν ὅτι: *ἐὰν ἡ πίεσις P ἐνὸς αὐρίου παραμένῃ σταθερά, ὁ ὄγκος του U μεταβάλλεται ἀναλόγως τῆς μεταβολῆς τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας του T .* Δηλαδή ἐὰν $P =$ σταθερὸν καὶ

$$\frac{U}{T} = \text{σταθερὸν} \quad \eta \quad \frac{U_1}{T_1} = \frac{U_2}{T_2} = \frac{U_3}{T_3}.$$

Αὐτοὶ ἀπέδειξαν ὅτι ὅλα τὰ ἀέρια ἔχουν τὸν αὐτὸν συντελεστήν διαστολῆς καὶ ὅτι διὰ κάθε βαθμὸν Κελσίου, κατὰ τὸν ὁποῖον μεταβάλλεται ἡ θερμοκρασία ἐνὸς αὐρίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ὁ ὄγκος του μεταβάλλεται κατὰ τὸ $\frac{1}{273}$ τοῦ ὄγκου, ποὺ ἔχει τὸ ἀέριον εἰς 0°C . Διὰ κάθε βαθμὸν Φαρενάιτ ὁ ὄγκος του μεταβάλλεται κατὰ $\frac{1}{460}$ τοῦ ὄγκου, ποὺ ἔχει εἰς τοὺς 0°F ἢ κατὰ τὸ $\frac{1}{492}$ τοῦ ὄγκου του εἰς τοὺς 32°F .

Οὕτως, ἐὰν U_0 εἶναι ὁ ὄγκος αὐρίου εἰς θερμοκρασίαν 0°C , t ἡ αὔξησις ἢ ἐλάττωσις τῆς θερμοκρασίας του ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ U ὁ νέος ὄγκος τοῦ αὐρίου, τότε :

$$U = U_0 + U_0 \cdot \frac{t}{273} \quad \eta \quad U = U_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right) \quad (25)$$

Ἡ ἰσότης (25) διὰ βαθμοὺς Φαρενάιτ θὰ ἔχη τὴν μορφήν :

$$U = U_0 \left(1 + \frac{t}{460} \right) \quad \eta \quad U = U_{32} \left(1 + \frac{t-32}{492} \right) \quad (26)$$

Παρατηροῦμεν ἀπὸ τὰς ἰσότητας (25) καὶ (26) ὅτι, ἐὰν $t = -273^{\circ}\text{C}$ ἢ $t = -460^{\circ}\text{F}$, ὁ ὄγκος τοῦ αὐρίου θεωρητικῶς μηδενίζεται. Οὕτω βάσει τοῦ Νόμου αὐτοῦ ἔχομεν ἓν ἄλλο χαρακτηριστικὸν τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀπολύτου μηδενός, τὸ ὁποῖον εἶναι :

Ἀπόλυτον μηδὲν θερμοκρασίας εἶναι ἡ θερμοκρασία, εἰς τὴν ὁποῖαν ὁ ὄγκος ἐνὸς αὐρίου θεωρητικῶς μηδενίζεται.

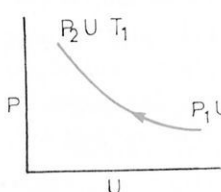
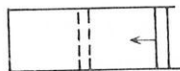
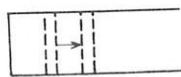
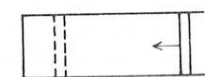
Εἰς τὴν πραγματικότητα μηδενίζεται ἡ ταχύτης τῶν μορίων τῶν αὐρίων, ὡς ἀνεφέρθη εἰς τὴν παράγραφον 2.7.

Καὶ ὁ νόμος αὐτὸς διὰ μεγάλας διαφορὰς θερμοκρασιῶν παρουσιάζει ἀποκλίσεις μέχρι 5%, αἱ ὁποῖαι ὅμως δὲν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς τῶν ναυτικῶν μηχανῶν.

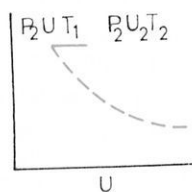
3.4 Συνδυασμός Νόμων Boyle και Lussac.

Ἐκαστος τῶν δύο αὐτῶν νόμων θεωρεῖ τὴν πίεσιν, τὸν ὄγκον καὶ τὴν θερμοκρασίαν ἑνὸς αὐρίου καὶ ἐξετάζει πῶς μεταβάλλονται τὰ δύο χαρακτηριστικά, ὅταν τὸ τρίτον παραμένῃ σταθερόν. Ἐὰν ὁμως μεταβάλλωνται καὶ τὰ τρία, τὸ P , τὸ U καὶ τὸ T , τότε διὰ νὰ καθορισθῇ ἡ τελικὴ κατάσταση τοῦ αὐρίου εἶναι ἀπαραίτητος ὁ συνδυασμὸς τῶν δύο νόμων.

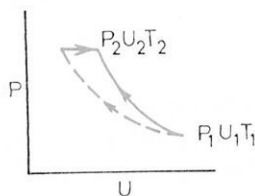
Ἐστω εἰς τὸ σχῆμα 3.4α εἰς κύλινδρον, ὁ ὁποῖος εἶναι ἀεροστεγῆς καὶ περιέχει τὸ αὐτὸ πάντοτε βάρος αὐρίου. Τὸ αὐρίον ἔχει ἀρχικῶς ἀπόλυτον πίεσιν P_1 , ὄγκον U_1 , ἀπόλυτον θερμοκρασίαν T_1 καὶ συμπιέζεται οὕτως, ὥστε ἡ πίεσις, ὁ ὄγκος καὶ ἡ θερμοκρασία νὰ λάβουν τελικὰς τιμὰς P_2 , U_2 , T_2 (σχ. 3.4γ). Ἄς δεχθῶμεν ὅτι διὰ νὰ λάβῃ τὸ αὐρίον τὴν τελικὴν κατὰστασίν του διέρχεται διὰ δύο φάσεων, ἐκ τῶν ὁποίων ἡ μία στηρίζεται εἰς τὸν Νόμον Boyle, ἡ δὲ ἄλλη εἰς τὸν νόμον Lussac.



Σχ. 3.4 α.



Σχ. 3.4 β.



Σχ. 3.4 γ.

Κατ' ἀρχὰς συμπιέζεται τὸ αὐρίον διὰ μετακινήσεως τοῦ ἐμβόλου πρὸς τὰ ἀριστερὰ (σχ. 3.4α), ὥστε νὰ λάβῃ τὴν τελικὴν πίεσιν τοῦ P_2 ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν T_1 , ὁπότε ὁ ὄγκος του θὰ εἶναι U . Κανονικῶς ἡ θερμοκρασία τοῦ αὐρίου θὰ ἔπρεπε νὰ αὐξηθῇ, ἐφ' ὅσον τοῦτο συμπιέζεται· διὰ νὰ μὴ συμβῇ αὐτό, ψύχεται κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς συμπιέσεως. Ἡ μεταβολὴ αὕτῃ τῆς πίεσεως καὶ τοῦ ὄγκου ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν παρίσταται ὑπὸ μιᾶς καμπύλης εἰς δύο ὀρθογωνίους ἄξονας, εἰς τοὺς ὁποίους ὁ κάθετος παριστᾷ τὴν πίεσιν P καὶ ὁ ὀριζόντιος τὸν ὄγκον U . Οὕτως, εἰς τὸ σχῆμα 3.4α βλέπομεν ὅτι ἀρχικῶς τὸ αὐρίον ἔχει χαρακτηριστικὰ P_1 , U_1 , T_1 καὶ τελικῶς P_2 , U καὶ T_1 . Ἐπομένως κατὰ τὸν νόμον Boyle: $P_1 \cdot U_1 = P_2 \cdot U$ (α).

Τώρα παρέχεται θερμότης εἰς τὸ ἀέριον, αὐξάνεται ἡ θερμοκρασία του εἰς T_2 , ἐνῶ συγχρόνως τὸ ἔμβολον μετακινεῖται πρὸς τὰ δεξιὰ, ὥστε ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου νὰ παραμείνῃ σταθερὰ P_2 (σχ. 3.4β). Ὁ ὄγκος του τότε κατὰ τὸν νόμον τοῦ Lussac ἀπὸ U θὰ γίνῃ U_2 κατὰ τρόπον, ὥστε

$$\frac{U_2}{T_2} = \frac{U}{T_1} \quad (\beta). \text{ Λαμβάνοντες τὴν τιμὴν τοῦ } U \text{ ἀπὸ τὴν ἰσότητα } (\beta) \text{ καὶ ἀντικαθιστῶντες αὐτὴν εἰς τὴν } (\alpha) \text{ εὐρίσκομεν τὴν ἰσότητα :}$$

$$\frac{P_1 \cdot U_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot U_2}{T_2} \quad (27)$$

ἡ ὁποία εἶναι συνδυασμὸς τῶν Νόμων Boyle καὶ Lussac καὶ λέγει ὅτι:

ὁ λόγος $\frac{P \cdot U}{T}$ ἐνὸς ἀερίου παραμένει πάντοτε σταθερὸς, ἐφ' ὅσον τὸ βάρος τοῦ ἀερίου ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου δὲν μεταβάλλεται κατὰ τὴν μεταβολὴν τῶν P , U καὶ T . Τὸ αὐτὸ ἀποτέλεσμα δηλαδὴ θὰ εἶχομεν, ἐὰν τὸ ἀέριον ὑφίστατο ἀπ' εὐθείας συμπίεσιν ἀπὸ P_1 , U_1 καὶ T_1 εἰς P_2 , U_2 καὶ T_2 , ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 3.4 γ.

Ἐπαναλαμβάνεται ὅτι διὰ νὰ ἰσχύῃ ἡ ἰσότης (27) δὲν πρέπει κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν ἢ συμπίεσιν ἐνὸς ἀερίου ἐντὸς κυλίνδρου οὔτε νὰ ἐξέρχεται οὔτε νὰ εἰσέρχεται ἐπὶ πλεον ἀέριον εἰς τὸν κύλινδρον. Ἡ ἰσότης αὕτη εἰς τὴν πρᾶξιν ἰσχύει μόνον δι' ἀέρια καὶ ὄχι δι' ἀτμούς ἀπὸ τὴν στιγμὴν, ποὺ κλείει ἡ βαλβὶς τῆς εἰσαγωγῆς τοῦ κυλίνδρου μιᾶς μηχανῆς, ἕως ὅτου ἀνοίξῃ ἡ βαλβὶς ἐξαγωγῆς. Δὲν ἰσχύει δι' ἀτμούς, διότι οἱ νόμοι τῶν ἀερίων, ὡς ἀνεφέρθη εἰς παράγραφον 2.2, δὲν ἰσχύουν διὰ τοὺς ἀτμούς.

3.5 Χαρακτηριστικὴ σταθερὰ ἀερίου.

Ἐὰν εἰς τὸν κύλινδρον τοῦ σχήματος 3.4 α ὑπάρχῃ ἀέριον βάρους 1 kg ἢ 1 lb, τότε ὁ ὄγκος v τῆς μονάδος βάρους τοῦ ἀερίου θὰ ᾔτο ὁ εἰδικὸς ὄγκος αὐτοῦ, ὁπότε ἡ ἰσότης (27) θὰ ἐλάμβανε τὴν μορφήν :

$$\frac{P_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot v_2}{T_2} \quad \eta \quad \frac{P \cdot v}{T} = \text{σταθερόν.}$$

Δεδομένου ὅμως ὅτι κάθε ἀέριον ὑπὸ ὠρισμένην πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν ἔχει ἰδίαν τιμὴν εἰδικοῦ ὄγκου, ἡ σταθερὰ τιμὴ τοῦ λόγου

$\frac{P \cdot v}{T}$ θὰ ἀφορᾷ μόνον εἰς ἓν συγκεκριμένον ἀέριον. Ἐνεκα τούτου ἡ σταθερὰ αὕτη ὀνομάζεται *χαρακτηριστικὴ σταθερὰ τοῦ ἀερίου* καὶ παρίσταται μὲ τὸ γράμμα R , ἥτοι :

$$\frac{P \cdot v}{T} = R \quad (28)$$

όπου P είναι ή πίεσις εις kg/m^2 ή lb/ft^2 , v ό ειδικός όγκος εις m^3/kg ή ft^3/lb , T ή θερμοκρασία εις βαθμούς $^\circ\text{K}$ ή $^\circ\text{R}$.

Ή διάστασις έπομένως του R είναι: $\text{kgm}/\text{kg}^\circ\text{K}$ ή $\text{ftlb}/\text{lb}^\circ\text{R}$ ή $\text{ftlb}/\text{lb}^\circ\text{K}$.

Θά άποδείξωμεν άργότερον ότι το R ένός αέριου παριστᾶ το έργον, πού δίδει ή μονάς βάρους του αέριου, όταν τουτο θερμαίνεται υπό σταθεράν πίεσιν και ή θερμοκρασία του αύξάνη κατά ένα βαθμόν (παράγρ. 4.4).

Έάν έπομένως ή ως άνω τιμή του R διαιρεθῇ διά του μηχανικοῦ ίσοδυναμου τῆς θερμότητος J , τότε ή διάστασις αύτου δύναται νά είναι επίσης: $\text{kcal}/\text{lb}^\circ\text{K}$ ή $\text{BTU}/\text{lb}^\circ\text{R}$ ή $\text{lb}/\text{cal}/\text{lb}^\circ\text{K}$. Δεδομένου όμως ότι: και ή διαφορά $C_p - C_v$ έχει τήν αύτην διάστασιν [παράγρ. 2.10 (β)] και παριστᾶ και αύτή τήν θερμότητα, πού μετατρέπεται εις έργον ανά μονάδα βάρους και ανά βαθμόν θερμοκρασίας ένός αέριου, όταν τουτο θερμαίνεται υπό σταθεράν πίεσιν, είναι φανερόν ότι $R = C_p - C_v$ (έάν το R λαμβάνεται εις μονάδας θερμότητος), ή $\frac{R}{J} = C_p - C_v$ (έάν το R λαμβάνεται εις μονάδας έργου).

3.6 Χαρακτηριστική ισότης αερίων.

Έκ τῆς ισότητος (28) έχομεν $P \cdot v = R \cdot T$. Έάν πολλαπλασιάσωμεν άμφότερα τᾶ μέλη τῆς ισότητος μέ το βάρος B του αέριου, θά έχωμεν: $P \cdot v \cdot B = B \cdot R \cdot T$, αλλά $v \cdot B =$ ειδικός όγκος επί βάρος = όγκος = U , και

$$P \cdot U = B \cdot R \cdot T \quad (29)$$

Ή ισότης (29) ονομάζεται *χαρακτηριστική ισότης των τελείων αερίων* και εφαρμόζεται εις τήν πρᾶξιν μέ μεγάλην προσέγγισιν και διά τᾶ φυσικά άέρια.

Εις τήν ισότητα αύτήν, έάν μεταβληθῇ ή πίεσις και ό όγκος, τότε μεταβάλλεται και ή θερμοκρασία του αέριου, ώστε νά είναι πάντοτε $P_1 \cdot U_1 = B \cdot R \cdot T_1$ ή $P_2 \cdot U_2 = B \cdot R \cdot T_2$ κ.ο.κ. Αύτή βεβαίως ισχύει μόνον, έφ' όσον το έντός του κυλίνδρου βάρος του αέριου δέν μεταβάλλεται.

Ένταῦθα το $P = \text{kg}/\text{m}^2$ ή lb/ft^2 , το $U = \text{m}^3$ ή ft^3 , το $B = \text{kg}$ ή lb , το $T =$ βαθμοί Kelvin ή Rankine και το $R = \text{kgm}/\text{kg}^\circ\text{K}$ ή $\text{ftlb}/\text{lb}^\circ\text{R}$ ή $\text{ftlb}/\text{lb}^\circ\text{K}$.

3.7 Νόμος του Regnault.

Ο νόμος αὐτὸς λέγει ὅτι αἱ εἰδικαὶ θερμότητες C_p καὶ C_v ἐνὸς αερίου εἶναι σταθεραὶ ἀνεξαρτήτως πίεσεως ἢ θερμοκρασίας τοῦ αερίου καὶ ἰσχύει μόνον διὰ τὰ τέλεια αέρια.

Ὁ λόγος τῶν εἰδικῶν θερμότητων εἶναι μία ἐνδιαφέρουσα σταθερὰ εἰς τὴν Θερμοδυναμικὴν καὶ παρίσταται μὲ τὸ γράμμα γ , δηλαδὴ $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$. Εἰς τὴν πρᾶξιν αἱ εἰδικαὶ θερμότητες τῶν αερίων ἐνῶ δὲν ἐπηρεάζονται αἰσθητῶς ἀπὸ τὴν πίεσιν, αὐξάνουν μὲ τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ αερίου.

Εἰς τὸν Πίνακα 3.7.1 ἐμφαίνεται ἡ μεταβολὴ C_p καὶ C_v τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ αέρος, ὅταν αὐξάνη ἡ θερμοκρασία του.

ΠΙΝΑΞ 3.7.1

Θερμοκρασία βαθμοὶ Rankine	C_p	C_v	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$
400	0,2390	0,1700	1,405
492	0,2400	0,1710	1,403
600	0,2406	0,1721	1,398
800	0,2436	0,1751	1,391
1100	0,2488	0,1803	1,380
1500	0,2644	0,1959	1,350
2000	0,2775	0,2090	1,328
3000	0,2931	0,2246	1,305
4000	0,3018	0,2333	1,294
5000	0,3075	0,2389	1,287

Ἐκ τοῦ πίνακος τούτου παρατηρεῖται ὅτι διὰ μεγάλης διαφορᾶς θερμοκρασίας ὁ νόμος τοῦ Regnault παρουσιάζει ἑκτροπὰς μέχρις 25%. Ὄταν ἐπομένως εἰς τοὺς θερμικοὺς ὑπολογισμοὺς τὰ C_p καὶ C_v ἐνὸς αερίου λαμβάνωνται σταθερά, τὸ σφάλμα διὰ μὴ μεγάλης διαφορᾶς θερμοκρασιῶν δὲν ἐπηρεάζει τὸ ἀποτέλεσμα. Εἰς μεγάλης ὁμως διαφορᾶς θερμοκρασιῶν, ὅπως π.χ. εἰς τὰς παρατηρουμένας κατὰ τὴν λειτουργίαν τῶν μηχανῶν Ντῆζελ, ἡ μεταβολὴ τοῦ C_p καὶ C_v δημιουργεῖ προβλήματα ὑπολογισμοῦ.

3.8 Νόμος τοῦ Joule.

Ὁ Νόμος αὐτὸς λέγει ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ἐνὸς αερίου εἶναι συνάρτησις τῆς θερμοκρασίας του.

Ἐκ τούτου ἔπεται ὅτι ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας εἶναι ἀνάλογος μὲ τὴν μεταβολὴν τῆς θερμοκρασίας. Ἐπομένως μεταβολὴ ἐσωτερικῆς ἐνεργείας εἶναι :

$$E = \text{μία σταθερὰ} \times (T_2 - T_1).$$

Ἡ σταθερὰ αὕτῃ εἶναι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ αἰρίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον C_v , ἥτοι διὰ 1 kg ἢ 1 lb αἰρίου θὰ εἶναι: $E = C_v (T_2 - T_1)$ καὶ διὰ βάρους B : $E = C_v B (T_2 - T_1)$, ἥτις εἶναι ἡ ἀναφερθεῖσα εἰς τὴν παράγραφον 2·11 ἰσότης (13).

Δεδομένου τώρα ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ἑνὸς αἰρίου εἶναι ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων αὐτοῦ (παράγρ. 2·6), ἔπεται ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια θὰ εἶναι μηδέν, ἐὰν μηδενισθῇ ἡ ταχύτης τῶν μορίων· τοῦτο συμβαίνει εἰς τὸ ἀπόλυτον μηδέν θερμοκρασίας.

Ἐκ τούτου ἔπεται ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ἑνὸς αἰρίου ἀπολύτου θερμοκρασίας T θὰ εἶναι :

$$E = C_v \cdot T \text{ ἀνὰ μονάδα βάρους αὐτοῦ, (30)}$$

$$\text{καὶ διὰ βάρους } B \quad E = C_v B T \quad (31)$$

Παράδειγμα 1ον.

Ἀτμοσφαιρικός ἀήρ εἰς φυσικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν (Φ.Θ.Π. = πίεσις ἀτμοσφαιρικὴ καὶ θερμοκρασία 0°C ἢ 32°F) ἔχει εἰδικὸν ὄγκον $0,78 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Ποῖος ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ αἰὸς εἰς πίεσιν 1 kg/cm^2 ἀπόλυτον καὶ θερμοκρασίαν 60°C ;

Λύσις:

Ἐφαρμόζοντες τὴν ἰσότητα (27) ἔχομεν :

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \quad \text{τὸ } P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2, \quad T_1 = 273^\circ \text{K}, \quad P_2 = 12 \text{ kg/cm}^2,$$

$$T_2 = 333^\circ \text{K} \text{ καὶ τὸ } v_1 = 0,78 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ ζητεῖται τὸ } v_2.$$

$$v_2 = \frac{P_1 \cdot v_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1} = \frac{1 \times 0,78 \times 333}{12 \times 273} = 0,079 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$\text{Διαστάσεις : } \frac{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot {}^\circ \text{K}}{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot {}^\circ \text{K}} = \text{m}^3/\text{kg}$$

Παράδειγμα 2ον.

Ἀτμοσφαιρικός ἀήρ εἰς Φ.Θ.Π. ἔχει εἰδικὸν ὄγκον $12,39 \text{ ft}^3/\text{lb}$. Ποία ἡ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ αὐτοῦ;

Λύσις:

$$\text{Ἐχομεν } \frac{P \cdot v}{T} = R, \text{ ἴδε ἰσότητα (28), ὅπου } P = 14,7 \times 144 \text{ lb/ft}^2$$

$$v = 12,39 \text{ ft}^3/\text{lb} \text{ και } T = 492^\circ \text{ R} \text{ και } R = \frac{14,7 \times 144 \times 12,39}{492} =$$

$$= 53,2 \text{ ftlb}/\text{lb}^\circ \text{ F} \left[\frac{\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}{^\circ \text{ R}} = \text{ftlb}/\text{lb}^\circ \text{ R} \right]$$

Παράδειγμα 3ον.

Ο όγκος χώρου ύποδοχής επιβατών πλοίου (σαalόνι) είναι 750 m^3 . Όλος ο αήρ αυτού αντικαθίσταται ανά ήμισιαν ώραν. Διὰ νὰ αἰσθάνωνται ἀνετα οἱ ἐπιβάται, ὁ εἰσερχόμενος αἰὴρ πρέπει νὰ ἔχη θερμοκρασίαν 25° C , ἐνῶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος τῆς ἀτμοσφαίρας ἔχει θερμοκρασίαν 30° C .

Ζητεῖται: α) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, πού πρέπει νὰ ἀφαιρῇται ἀνὰ ὥραν ἀπὸ τὸν αἶρα, πρὶν εἰσέλθῃ εἰς τὸ σαalόνι τοῦ πλοίου καὶ β) τὸ ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος εἰς ἵππους. Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀέρος εἰς Φ.Θ.Π. εἶναι $0,78 \text{ m}^3/\text{kg}$ τὸ $C_p = 0,24$.

Λύσις:

*Όγκος τοῦ χορηγούμενου ἀέρος ἀνὰ ὥραν $= 2 \times 750 = 1500 \text{ m}^3$, (Εἰς πίεσιν ἀτμοσφαιρικὴν καὶ $t = 25^\circ \text{ C}$). Εὐρίσκομεν τὸν εἰδικὸν ὄγκον αὐτοῦ.

$$\text{Ἐφ' ὅσον } P = \text{σταθερόν, τότε } \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2},$$

$$\delta\text{που } v_1 = 0,78 \text{ m}^3/\text{kg} \quad T_1 = 273^\circ \text{ K} \quad T_2 = 298^\circ \text{ K}$$

$$\text{καὶ } v_2 = \frac{0,78}{273} \times 298 = 0,85 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Τὸ βάρος B τοῦ εἰσερχομένου ἀέρος θὰ εἶναι:

$$B = \frac{\delta\text{γκος}}{\text{εἰδ. ὄγκος}} = \frac{1500}{0,85} = 1764,4 \text{ kg ἀέρος ἀνὰ ὥραν.}$$

α) Ἡ ἀφαιρουμένη θερμότης εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (12):

$$H = C_p \cdot B (t_2 - t_1) = 0,24 \times 1764,4 (30 - 25) = 2117,3 \text{ kcal/h.}$$

β) Γνωρίζομεν ὅτι $1 \text{ HP} = 632 \text{ kcal/h}$, ἐπομένως τὸ ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος αὐτῆς εἰς ἵππους θὰ εἶναι: $\frac{2117,3}{632} = 3,2 \text{ HP}$ περίπου.

Σημείωσις: Ἐλέγξατε τὰ ἀποτελέσματα α) καὶ β) μὲ διαστάσεις.

3.9 Νόμος τοῦ Avogadro.

Ὁ νόμος αὐτὸς λέγει ὅτι: "Ἴσοι ὄγκοι διαφόρων αερίων, ἐφ' ὅσον εὐρίσκονται ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν, περιέχουν τὸν αὐτὸν ἀριθμὸν μορίων. Ἐκ τούτου ἔπεται ὅτι τὰ μοριακὰ βάρη τῶν αερίων εἶναι ἀνάλογα τῶν πυκνοτήτων των.

Ἐπὶ τῆς ἀρχῆς αὐτῆς στηρίζεται ἡ μετατροπὴ τῆς ὀγκομετρικῆς ἀναλύσεως ἐνὸς αερίου εἰς ἀνάλυσιν βάρους, ὡς θὰ ἐξετασθῇ βραδύτερον.

3.10 Λιβρομόριον καὶ Κιλομόριον (Mol).

Ἐὰν M εἶναι τὸ μοριακὸν βάρος ἀερίου καὶ ρ ἡ πυκνότης του εἰς Φ.Θ.Π., τότε βάσει τοῦ Νόμου τοῦ Avogadro ὁ λόγος $\frac{M}{\rho}$ εἶναι σταθερὸς δι' ὅλα τὰ ἀέρια καὶ εὑρέθη ὅτι ἰσοῦται μὲ 358, ἐὰν τὸ ρ εἶναι lb/ft³, ἢ 22,4, ἐὰν τὸ ρ εἶναι kg/m³.

Ἐὰν εἰς τὸν λόγον $\frac{M}{\rho} = 358$ τὸ ρ εἶναι lb/ft³ εἰς Φ.Θ.Π., τότε ὁ ἀριθμὸς 358 παριστᾷ ὄγκον ἑνὸς ἀερίου εἰς ft³ εἰς φυσικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν, τοῦ ὁποίου τὸ βάρος εἰς lb εἶναι ἴσον μὲ τὸν ἀριθμὸν, ποὺ ἐκφράζει τὸ μοριακὸν βάρος του.

Ἐπίσης, ἐὰν εἰς τὸν λόγον $\frac{M}{\rho} = 22,4$ τὸ ρ εἶναι kg/m³ εἰς Φ.Θ.Π., τότε ὁ ἀριθμὸς 22,4 παριστᾷ ὄγκον ἑνὸς ἀερίου εἰς Φ.Θ.Π., τοῦ ὁποίου τὸ βάρος εἰς kg εἶναι ἴσον μὲ τὸν ἀριθμὸν, ποὺ ἐκφράζει τὸ μοριακὸν βάρος του [διότι lb/(lb/ft³) = ft³ ἢ kg/(kg/m³) = m³].

Παραδείγματος χάριν διὰ τὸ ὀξυγόνον, ποὺ ἔχει μοριακὸν βάρος $M = 32$ καὶ τὸ ὕδρογόνον μὲ $M = 2$, θὰ ἰσχύη ὅτι :

32 lb ὀξυγόνου εἰς Φ.Θ.Π. καταλαμβάνουν ὄγκον 358 ft³ ἢ
 32 kg ὀξυγόνου εἰς Φ.Θ.Π. καταλαμβάνουν ὄγκον 22,4 m³ ἢ
 2 lb ὕδρογόνου εἰς Φ.Θ.Π. καταλαμβάνουν ὄγκον 358 ft³ ἢ
 2 kg ὕδρογόνου εἰς Φ.Θ.Π. καταλαμβάνουν ὄγκον 22,4 m³.

Οἱ ἀριθμοὶ αὐτοὶ 358 ἢ 22,4 μᾶς δίδουν μίαν νέαν ὀγκομετρικὴν μονάδα γνωστὴν ὡς Mol, τὴν ὁποίαν θὰ παριστῶμεν μὲ τὸ γράμμα $\bar{U}$ καὶ τὸ μὲν 358 ὀνομάζεται lbMol (λιβρομόριον), ἐνῶ τὸ 22,4 kgMol (κιλομόριον).

Παράδειγμα.

Νὰ εὑρεθῇ ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἁζώτου εἰς φυσικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν εἰς m³/kg καὶ ft³/lb.

Λύσις :

Ὅπως καὶ ὅλα τὰ ἀέρια εἰς Φ.Θ.Π. ἔτσι καὶ τὸ ἁζωτον ἔχει ὄγκον 358 ft³, ὅταν ἔχη βάρος 28 lb (ὅσον τὸ μοριακὸν βάρος του) ἢ 22,4 m³, ἐὰν εἴχῃ βάρος 28 kg.

Ἐπομένως ὁ ζητούμενος εἰδικὸς ὄγκος εἰς Φ.Θ.Π. εἶναι :

$$\frac{358}{28} = 12,78 \text{ ft}^3/\text{lb} \quad \eta \quad \frac{22,4}{28} = 0,8 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

3.11 Διεθνής σταθερά των αερίων.

Ἐὰν P εἶναι πίεσις ἀτμοσφαιρική εἰς kg/m^2 ἢ lb/ft^2 καὶ T ἡ ἀπόλυτος φυσική θερμοκρασία (273°K ἢ 492°R) καὶ $v = \delta$ εἰδικὸς ὄγκος ἑνὸς αερίου ἐπίσης εἰς Φ.Θ.Π. (εἰς m^3/kg ἢ ft^3/lb), τότε, ὡς γνωστὸν, ὁ λόγος $\frac{P \cdot v}{T} = \text{σταθερὸς} = R = \eta$ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ ἑνὸς αερίου (ισότης 28).

Ἐὰν τῶρα λάβωμεν τυχὸν αέριον μοριακοῦ βάρους M , θὰ ἰσχύη ἡ σχέσις $\frac{P \cdot v \cdot M}{T} = M \cdot R$. Ἀλλὰ γνωρίζομεν ὅτι εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν τὸ γινόμενον $v_1 \cdot M = \bar{U} = \text{Mol} = 358$ ἢ $22,4$ καὶ ἰσχύει δι' ὅλα τὰ αέρια. Ἐπομένως ἐκ τούτου συνάγεται ὅτι καὶ τὸ γινόμενον $M \cdot R = \text{σταθερὸν}$ θὰ ἰσχύη δι' ὅλα τὰ αέρια.

Τὸ γινόμενον αὐτὸ καλεῖται *διεθνὴς σταθερὰ τῶν αερίων* καὶ παρίσταται μὲ τὸ γράμμα C .

Ἡ τιμὴ τῆς σταθερᾶς C δι' ὅλα τὰ αέρια εἶναι $C = 1,986$ εἰς μονάδας θερμότητος καὶ ἔχει διάστασιν θερμότης ἀνὰ Mol ἀνὰ βαθμὸν θερμοκρασίας ($\text{kcal}/\text{Mol}^\circ\text{K}$ ἢ $\text{BTU}/\text{Mol}^\circ\text{R}$ ἢ $\text{lbc}/\text{Mol}^\circ\text{K}$)

$$\eta \quad C = 1,986 \times 427 = 848 \text{ kgm}/\text{Mol}^\circ\text{K}.$$

$$\eta \quad C = 1,986 \times 778 = 1545 \text{ ftlb}/\text{Mol}^\circ\text{R}$$

$$\eta \quad C = 1,986 \times 1400 = 2783 \text{ ftlb}/\text{Mol}^\circ\text{R}.$$

Παράδειγμα.

Ζητεῖται: α) Ὁ εἰδικὸς ὄγκος ὕδρογόνου εἰς m^3/kg εἰς Φ.Θ.Π καὶ β) ἡ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ του εἰς $\text{kgm}/\text{kg}^\circ\text{K}$.

Λύσις:

α) kgMol ὕδρογόνου = $22,41 \text{ m}^3$ εἰς Φ.Θ.Π. καὶ ἔχει βάρους 2 kg , ἐπομένως ὁ ζητούμενος εἰδικὸς ὄγκος θὰ εἶναι :

$$v = \frac{22,41}{2} = 11,2 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}.$$

β) Ἡ διεθνὴς σταθερὰ $C = M \cdot R = 1,986 \text{ kcal}/\text{Mol}^\circ\text{K}$

$$\eta \quad M \cdot R = 1,986 \times 427 = 848 \text{ kgm}/\text{Mol}^\circ\text{K}.$$

$$\text{Τὸ } M = 2, \text{ ὁπότε } R = \frac{848}{2} = 424 \text{ kgm}/\text{kg}^\circ\text{K}.$$

3.12 Ὀγκομετρικὴ θερμότης. Σταθερὰ γ αερίων.

Ὀγκομετρικὴ θερμότης εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται ἐν Mol αερίου διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του κατὰ ἓνα βαθμόν.

Ἐπειδὴ 1 Mol ζυγίζει εἰς kg ἢ lb ὅσον ὁ ἀριθμὸς, ποὺ ἐκφράζει τὸ μοριακὸν βάρος τῶν ἀερίων του, δι' αὐτὸ ἡ ὀγκομετρικὴ θερμότης ὀνομάζεται καὶ *μοριακὴ θερμότης*.

Ἐὰν K_p εἶναι ἡ ὀγκομετρικὴ θερμότης ἀερίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, K_v ἡ ὀγκομετρικὴ θερμότης ἀερίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον καὶ M τὸ μοριακὸν βάρος, τότε ἐκ τοῦ ὁρισμοῦ τῆς ὀγκομετρικῆς καὶ εἰδικῆς θερμότητος συνάγεται ὅτι $K_p = MC_p$, καὶ $K_v = MC_v$.

Παρατηροῦμεν ὅτι ἡ διαφορὰ $K_p - K_v$ δίδει τὴν τιμὴν τῆς διεθνoῦς σταθερᾶς διότι :

$$K_p - K_v = M (C_p - C_v) = M \cdot R = C = 1,986 \quad (32)$$

$$\text{Ἐπίσης : } \frac{K_p}{K_v} = \frac{MC_p}{MC_v} = \frac{C_p}{C_v} = \gamma.$$

Ἡ τιμὴ αὐτὴ τοῦ γ μᾶς ἐνδιαφέρει ὅλως ἰδιαιτέρως διὰ τὰ ἀέρια, ὡς θὰ ἐξηγηθῇ ἀργότερον εἰς τὰ περὶ ἀδιαβατικῆς ἀλλαγῆς (παράγρ. 4.9) καὶ ἔχει εὐρεθῇ ὅτι γενικῶς :

$$\gamma = 1,67 \text{ διὰ μονατομικὰ ἀέρια}$$

$$\gamma = 1,4 \text{ διὰ διατομικὰ ἀέρια καὶ}$$

$$\gamma = 1,33 \text{ διὰ τριατομικὰ ἀέρια.}$$

3.13 Κινητικὴ θεωρία τῶν ἀερίων. Βαθμὸς ἐλευθερίας κινήσεως τῶν μορίων τῶν ἀερίων.

Ἡ κινητικὴ θεωρία τῶν ἀερίων δέχεται ὅτι κάθε ποσότης ἀερίου ἀποτελεῖται ἀπὸ μέγαν ἀριθμὸν ἀπειροελαχίστων μερῶν, τὰ ὁποῖα καλοῦνται *μόρια*. Τὰ μόρια κινουῦνται μὲ ὑψηλὰς ταχύτητας καὶ συγκρούονται μεταξὺ τῶν ὡς καὶ μὲ τὰ τοιχώματα τοῦ δοχείου, ἐντὸς τοῦ ὁποῖου εὐρίσκεται τὸ ἀέριον.

Τὰ μόρια εἶναι ἀπολύτως ἐλαστικά καὶ ἀναπηδοῦν μὲ τὴν αὐτὴν ταχύτητα ἔπειτα ἀπὸ ἐκάστην σύγκρουσιν.

Ἡ ταχύτης τῶν μορίων ὀφείλεται εἰς τὴν θερμοκρασίαν καὶ αὐξάνει μὲ αὐτὴν· ἐπομένως *θερμικὴ ἢ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια εἶναι ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων τῶν ἀερίων*. Ἡ δύναμις ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων τοῦ δοχείου, ἡ ὁποία εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς κρούσεως τῶν μορίων αὐτοῦ εἶναι ἡ αἰτία, ποὺ προκαλεῖ τὸ φαινόμενον τῆς πίεσεως. Αὕτη αὐξάνει μὲ τὴν ταχύτητα τῶν μορίων καὶ ἐπομένως μὲ τὴν θερμοκρασίαν τῶν ἀερίων. Ἡ ταχύτης τῶν μορίων αὐτῶν εἶναι ἐξαιρετικῶς μεγάλη, ἐξαρτᾶται δὲ ἀπὸ τὸν τύπον τοῦ ἀερίου καὶ ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν του.

Ἡ ταχύτης τῶν μορίων εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀπολύτου μηδενὸς εἶναι μηδέν.

Ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τῶν ἀερίων εἶναι συνυφασμένη μὲ τὴν δρα-

στηριότητα των μορίων. Ἡ δραστηριότης των μορίων συνίσταται εἰς τὰς ἑξῆς τρεῖς μορφὰς κινήσεως:

- α) Τὰς τυχαίας μεταφορικὰς κινήσεις ἐνὸς ἐκάστου μορίου.
- β) Τὴν περιστροφὴν ἐκάστου μορίου περὶ τοῦ κέντρου τῆς μάζης του.
- γ) Τὴν παλμικὴν κίνησιν των ἀτόμων των μορίων.

Αἱ τρεῖς αὐταὶ μορφαὶ ἀποτελοῦν τὴν ὁλικὴν ἐσωτερικὴν κινητικὴν ἐνέργειαν ἐνὸς αέριου. Τὰ αέρια ἐπειδὴ εἶναι σώματα, τὰ μόρια των ὁποίων ἀπέχουν τόσον μεταξύ των, ὥστε νὰ θεωρῇται ὅτι ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια των μορίων εἶναι μηδέν, ἐξετάζονται μὲ βάσιν τὴν ἐλευθερίαν κινήσεως των μορίων των, ὡς κατωτέρω ἐκτίθεται:

Μονατομικὸν αέριον.

Ἐν μονατομικὸν αέριον ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓν ἄτομον ἀνὰ μόριον (σχ. 3·13α).

Τὸ μόριον αὐτὸ εἰς κάποιαν θερμοκρασίαν ἄνω τοῦ ἀπολύτου μηδενὸς θὰ ἔχῃ κίνησιν μεταφορικὴν ἐντὸς των 3 καθέτων ἐπιπέδων τοῦ χώρου XX , YY , ZZ .

Ἡ κίνησις αὐτὴ ὀνομάζεται μεταφορικὸς βαθμὸς ἐλευθερίας.

Εἶναι τώρα προφανὲς ὅτι τὰ μονατομικὰ αέρια οὐδεμίαν ἀξιόλογον ἐνέργειαν περιστροφικοῦ τύπου ἔχουν. Ἡ ἐξήγησις τοῦ φαινομένου στηρίζεται ἐπὶ τῆς δομῆς τοῦ ἀτόμου. Σχεδὸν ὅλη ἡ μᾶζα τοῦ ἀτόμου εἶναι συγκεντρωμένη εἰς τὸν μεγάλῃς πυκνότητος πυρῆνα καὶ τὸ μονατομικὸν αέριον δύναται νὰ θεωρηθῇ ὡς μᾶζα-σημεῖον. Λόγω τῆς μεταφορικῆς κινήσεως τὰ μόρια θὰ προκαλοῦν κρούσεις. Δεδομένου ὅμως ὅτι τὰ μονατομικὰ αέρια εἶναι «σημεῖα» μάζης, ταῦτα θὰ ἀναπηδοῦν μετὰ τὴν κρούσιν, χωρὶς νὰ πραγματοποιηθῇ περιστροφή.

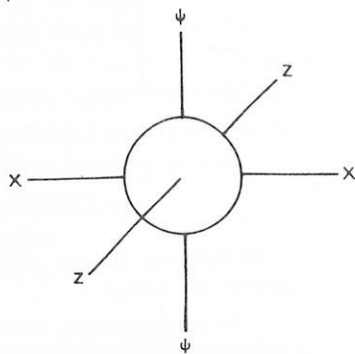
Ὁ μηχανισμὸς εἶναι ἀνάλογος μὲ τὴν κρούσιν των σφαιρῶν μπιλιάρδου, ὅταν ἡ γραμμὴ τῆς κινήσεως συμπίπτῃ μὲ τὴν γραμμὴν των κέντρων των σφαιρῶν.

Τέλος ἓν μονατομικὸν αέριον δὲν δύναται νὰ ἔχῃ οἰανδήποτε ἐνέργειαν παλμικοῦ τύπου, διότι διὰ νὰ ὑπάρξῃ παλμικὴ κίνησις χρειάζεται ἡ παρουσία δύο τουλάχιστον ἀτόμων ἀνὰ μόριον, τὰ ὁποῖα ἄλλοτε θὰ πλησιάζουν καὶ ἄλλοτε θὰ τείνουν νὰ ἀπομακρυνθοῦν.

Ἐκ των ἀνωτέρω συμπεραίνεται ὅτι τὸ μόριον ἐνὸς μονατομικοῦ αέριου ἔχει μόνον τρεῖς μεταφορικὰς ἐλευθερίας κινήσεως εἰς τὸν ὥρον.

Διατομικὸν αέριον.

Τὸ διατομικὸν αέριον ἔχει δομὴν ὡς αὐτὴ τοῦ σχήματος 3·13β. Ἀπο-



Σχ. 3·13 α.

τελείται δηλαδή από δύο άτομα ανά μόριον, τὰ ὁποῖα συνδέονται μεταξύ των σταθερῶς ἐν εἴδει βαρῶν γυμναστικῆς. Ὁ τύπος αὐτὸς τοῦ μορίου δύναται νὰ περιλαμβάνη τὰς κάτωθι ἐλευθέρως κινήσεις :

α) Τρεῖς μεταφορικὰς εἰς τὸν χώρον, κατὰ τοὺς ἄξονας XX , YY , ZZ .

β) Δύο περιστροφικὰς περίξ τοῦ ἄξονος συνδέσεως τῶν ἀτόμων.

γ) Παλμικὰς κινήσεις, αἱ ὁποῖαι μεταβάλλουν τὴν ἀπόστασιν τῶν ἀτόμων τῶν μορίων.

Οὕτως, ἐν διατομικὸν ἀέριον ἔχει πέντε ἐλευθερίας κινήσεως (3 μεταφορικὰς καὶ 2 περιστροφικὰς) καὶ ἐπὶ πλέον τὰς παλμικὰς κινήσεις τοῦ μορίου του.

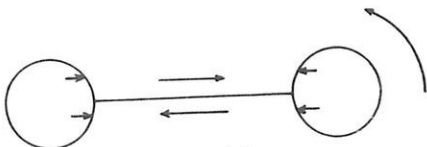
Τριατομικὸν ἀέριον.

Ἐν τριατομικὸν ἀέριον ἀποτελεῖται ἀπὸ τρία άτομα ἀνὰ μόριον, τὰ ὁποῖα ἔχουν τὸν σχηματισμὸν τοῦ σχήματος 3·13 γ. Τὸ μόριον τοῦ ἀερίου τούτου ἔχει τὰς κάτωθι ἐλευθερίας κινήσεως :

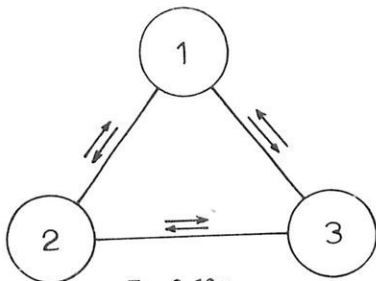
α) Τρεῖς μεταφορικὰς.

β) Τρεῖς περιστροφικὰς, ἀνὰ μίαν περίξ τῶν ἁξόνων συνδέσεως τῶν μορίων 1,2, 1,3 καὶ 2,3.

γ) Ἐπὶ πλέον παλμικὰς κινήσεις, αἱ ὁποῖαι τείνουν νὰ πλησιάσουν ἢ ἀπομακρύνουν τὰ άτομα τῶν μορίων.



Σχ. 3·13 β.



Σχ. 3·13 γ.

3·14 Καθορισμὸς τῆς τιμῆς τοῦ K_v τῶν ἀερίων.

Ἀποδεικνύεται διὰ τῆς κινητικῆς θεωρίας τῶν ἀερίων ὅτι ἡ τιμὴ τῆς μοριακῆς θερμότητος ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον K_v δι' ἐκάστην ἐλευθερίαν κινήσεως τοῦ μορίου ἐνὸς ἀερίου ἰσοῦται μέ :

$$K_v = \frac{C}{2} \quad (33)$$

ὅπου C ἡ διεθνὴς σταθερά.

Ἡ τιμὴ τοῦ K_v θὰ εἶναι προφανῶς διαφορετικὴ διὰ τὰ μονατομικά, διατομικά, τριατομικά κ.λπ. ἀέρια. Οὕτω :

α) *Μονατομικὰ ἀέρια* : Ἔχουν τρεῖς μεταφορικοὺς βαθμοὺς ἐλευθερίας, ἐπομένως: $K_v = \frac{1,98}{2} \times 3 = 2,97$, ἡ ὁποία λαμβάνεται

Ίση με 3 (ή τιμή αυτή συμφωνεί με πειράματα). Έπομένως ή όγκο-μετρική θερμότης υπό σταθερόν όγκον όλων τών μονατομικών αερίων είναι : $K_v = 3$.

β) *Διατομικά αέρια* : Έχουν τρεις μεταφορικούς βαθμούς έλευθερίας, δύο περιστροφικές και επί πλέον δύνανται τὰ άτομα τών μορίων νά έχουν παλμικές κινήσεις, αί όποϊαι όμως δέν παρουσιάζονται εις συνήθεις τιμάς θερμοκρασιών, ήτοι :

$$K_v = \frac{1,98}{2} \times 5 = 4,95 \quad \eta \quad K_v = 5.$$

Έπομένως τὸ K_v όλων τών διατομικών αερίων θά λαμβάνεται Ίσον με 5.

γ) *Τριατομικά αέρια* : Τὰ μόρια των έχουν έντὸς τών συνήθων τιμών θερμοκρασιών έξ βαθμούς έλευθερίας, τρεις μεταφορικές και τρεις περιστροφικές. Ήτοι :

$$K_v = \frac{1,98}{2} \times 6 = 5,95 \quad \eta \quad K_v = 6.$$

Έπομένως ή τιμή τοῦ K_v δι' όλα τὰ τριατομικά αέρια θά λαμβάνεται Ίση με 6.

Παράδειγμα.

Νά εύρεθοῦν αί τιμαί C_p και C_v τοῦ όξυγόνου.

Λύσις:

Τὸ όξυγόνον ὡς διατομικὸν στοιχείον έχει $K_v = 5$. Τὸ μοριακὸν βάρος του είναι $M = 32$, επομένως $C_v = \frac{5}{32} = 0,1562$.

Ἀλλὰ γνωρίζομεν εκ τῆς Ισότητος (32) ὅτι:

$$K_p - K_v = 1,986 \quad \eta \quad K_p = 6,986, \quad \alpha \rho \alpha \quad C_p = \frac{6,986}{32} = 0,2058.$$

3.15 Ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς μοριακῆς θερμότητος.

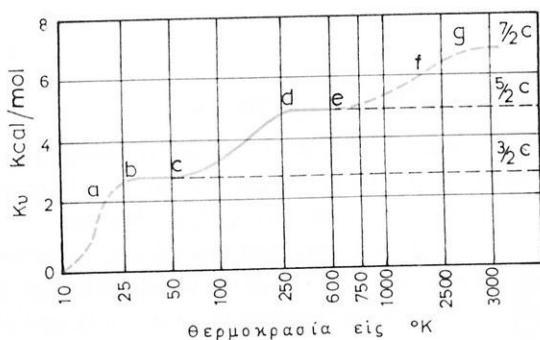
Εἰς τὴν παράγραφον 3.14 ανέφέρθη ὅτι τὸ K_v τών αερίων ὑπολογίζεται βάσει τῆς κινητικῆς θεωρίας τών αερίων και εἶναι Ίσον με 3 διὰ τὰ μονατομικά, 5 διὰ τὰ διατομικά και 6 διὰ τὰ τριατομικά αέρια.

Αἱ τιμαί ὅμως αὐταί Ισχύουν δι' ὠρισμένα μόνον ὅρια θερμοκρασιών. Ἐντελῶς διαφορετικά αποτελέσματα λαμβάνονται, ἐὰν τὰ αέρια ξετάζωνται ἐπὶ εύρέων ὀρίων θερμοκρασιών. Ἡ καμπύλη τοῦ σχήματος 3.15 δεικνύει τὴν μεταβολὴν τοῦ K_v τοῦ διατομικοῦ αερίου Ὑδρογόνου με τὴν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας (τὸ ἐστιγμένον μέρος τῆς καμπύλης εἶναι φανταστικόν).

Παρατηρούμεν από τὸ σχῆμα ὅτι ἡ καμπύλη φαίνεται νὰ ἀρχίζει ἀπὸ τὸ ἀπόλυτον μηδέν θερμοκρασίας καὶ τὸ K_u αὐξάνει μετὰ τὴν θερμοκρασίαν μέχρι τοῦ σημείου b . Κατὰ τὸ τμήμα bc τὸ K_u παραμένει σταθερὸν καὶ ἴσον μετὰ $\frac{3}{2} C$ (C ἡ διεθνὴς σταθερά). Αὕτῃ εἶναι ἡ τιμὴ τοῦ K_u διὰ τὰ μονατομικὰ ἀέρια. Ἀπὸ τὸ c ἕως τὸ d ἡ τιμὴ τοῦ K_u αὐξάνει μετὰ τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας.

Κατὰ τὸ τμήμα de τὸ K_u παραμένει σταθερὸν καὶ ἴσον μετὰ $\frac{5}{2} C$, ἡ ὁποία εἶναι ἡ τιμὴ τοῦ K_u τῶν διατομικῶν ἀερίων. Ἀπὸ τὸ e ἕως τὸ f τὸ K_u αὐξάνει πάλιν, καθὼς ἀνέρχεται ἡ θερμοκρασία, καὶ φθάνει, ὡς δεικνύεται ἀπὸ τὸ ἐστιγμένον τμήμα τῆς καμπύλης, εἰς τὴν τιμὴν $\frac{7}{2} C$, ἡ ὁποία εἶναι ἡ πιθανὴ τιμὴ τοῦ K_u δι' ἓν τριατομικὸν ἀέριον.

Ἡ ἐξήγησις τῆς μεταβολῆς αὐτῆς τοῦ K_u , ὡς παρίσταται διὰ τῆς καμ-



Σχ. 3.15.

πύλης τοῦ σχήματος 3.15, εἶναι ἡ ἀκόλουθος:

Εἰς τὸ ἀπόλυτον μηδέν θερμοκρασίας τὰ μόρια τοῦ ἀερίου εὐρίσκονται ἐν ἀκίνησίᾳ.

Μετὰ τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας ἄρχεται ἡ μεταφορικὴ κίνησις, ἡ ὁποία ἔχει πλήρως ἀναπτυχθῇ εἰς τὸ σημεῖον b . Ἀπὸ τὸ b ἕως τὸ c τὸ ὕδρογονόνον ἔχει τρεῖς μόνον μεταφορικοὺς βαθμοὺς ἐλευθερίας (περίπτωσης μονατομικοῦ ἀερίου) καὶ ἐπομένως τὸ $K_u = \frac{3}{2} C$. Ἀπὸ τὸ σημεῖον c ἄρχεται ἡ περιστροφικὴ κίνησις τῶν μορίων τοῦ ὕδρογονόου, ἡ ὁποία ἔχει πλήρως ἀναπτυχθῇ εἰς τὸ σημεῖον d . Ἀπὸ τὸ d ἕως τὸ e τὸ ἀέριον ἔχει τρεῖς μεταφορικοὺς καὶ δύο περιστροφικοὺς βαθμοὺς ἐλευθερίας (περίπτωσης διατομικοῦ ἀερίου) καὶ ἐπομένως $K_u = \frac{5}{2} C$. Ἀπὸ τὸ σημεῖον e ἀρχίζει ἡ παλμικὴ κίνησις τῶν ἀτόμων τῶν μορίων καὶ ὁ βαθμὸς ἐλευθερίας κινήσεως αὐ-

ξάνει, έως ότου φθάση τὸν ἀριθμὸν 7 (τρίατομικὸν ἀέριον) καὶ ἐπομένως:

$$K_v = \frac{7}{2} C.$$

Παρατηροῦμεν ὅτι τὸ ὀριζόντιον τμήμα *de* καλύπτει εὖρος θερμοκρασιῶν ἀπὸ 260° K ἕως 600° K. Ἐντὸς τοῦ εὗρους αὐτοῦ οἱ διάφοροι πειραματισταὶ (ὅπως Boyle, Lussac, Regnault), ἐξετέλεσαν τὰ πειράματά των καὶ διετύπωσαν τοὺς Νόμους των.

Ἐπομένως οἱ Νόμοι αὐτοὶ εἰς μεγάλας διαφορὰς θερμοκρασιῶν παρουνισάζουν ἀποκλίσεις, ἰδιαιτέρως δὲ ὁ τοῦ Regnault.

Τὰ μονατομικὰ ὁμως ἀέρια, ὅπως π.χ. τὸ ἀργόν, τὸ ἥλιον, ὡς ἔχοντα μόνον τρεῖς βαθμοὺς ἐλευθερίας κινήσεως ἔχουν σταθερὸν K_v καὶ ἐπομένως C_p καὶ C_v ἀνεξαρτήτως θερμοκρασίας. Συμπεριφέρονται ἐπομένως ὡς ἰδανικὰ ἀέρια καὶ οἱ Νόμοι τῶν ἀερίων ἐφαρμόζονται εἰς αὐτὰ μὲ ἀκρίβειαν.

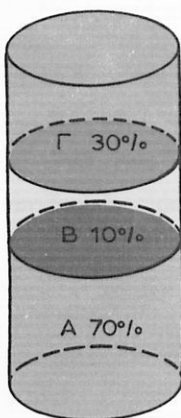
Δι' ἐν διατομικὸν ἀέριον κατόπιν πειραμάτων εὐρέθη ἡ κατωτέρω σχέσις μεταβολῆς τοῦ K_v μὲ τὴν θερμοκρασίαν:

$$K_v = 4,95 + 0,00017 T \quad (34)$$

ὅπου: T εἶναι βαθμοὶ Kelvin.

3.16 Μίγματα ἀερίων. Νόμος τοῦ Dalton.

Ἡ ἐμφάνισις μιγμάτων ἀερίων εἰς τὰς ναυτικὰς μηχανὰς εἶναι συχνοτάτη. Ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ, βασικὸν στοιχεῖον λειτουργίας τῶν περισσοτέρων μηχανῶν, εἶναι καὶ αὐτὸς μῖγμα ἀερίων.



Σχ. 3.16.

Εἰς τὰς μηχανὰς ἐσωτερικῆς καύσεως ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ λαμβάνει θερμότητα ἀπὸ τὸ καύσιμον καὶ ἐξέρχεται ἀπὸ τὴν μηχανὴν (ἀφοῦ μεταδῶση ἐνέργειαν εἰς αὐτήν) ὡς καυσάριον.

Εἰς τοὺς λέβητας ὁ ἀήρ εἶναι ἀπαραίτητος διὰ τὴν ἀπελευθέρωσιν τῆς θερμικῆς ἐνεργείας τοῦ καυσίμου. Τὸ μῖγμα ἀέρος-καυσίμου ἀποτελεῖ τὰ καυσάγια, τὰ ὁποῖα ἀφοῦ μεταδώσουν θερμότητα εἰς τὸ ὕδωρ καὶ ὑδρατμόν, ἐξέρχονται ἀπὸ τὴν καπνοδόχον τοῦ λέβητος εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν.

Εἰς ἀμφοτέρας τὰς ἀνωτέρω περιπτώσεις ἡ ἀνάλυσις τῶν καυσαερίων μᾶς καθορίζει, ἐὰν ἡ ἀπελευθέρωσις τῆς θερμικῆς ἐνεργείας ἀπὸ τὸ καύσιμον ἔγινε καλῶς.

Οἱ περισσότεροι ὑπολογισμοὶ ἐπὶ τῶν μιγμάτων ἀερίων στηρίζονται εἰς τὸν Νόμον τοῦ Dalton, ὁ ὁποῖος λέγει ὅτι:

Ἡ ὅλική πίεσις μίγματος ἀερίων ἰσοῦται μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν μερικῶν

πιέσεων τῶν ἀερίων, πὺν τὸ ἀποτελοῦν, ὅταν ἕκαστον ἀπὸ αὐτὰ καταλάβῃ τὸν ὄγκον τοῦ μίγματος ὑπὸ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν.

Ἔστω ὅτι τὸ σχῆμα 3·16 παριστᾷ δοχεῖον, ἐντὸς τοῦ ὁποίου ὑπάρχουν τρία ἀέρια Α, Β καὶ Γ καὶ ὑπὸ θερμοκρασίαν Τ ἡ πίεσις τοῦ μίγματος εἶναι P_{μ} . Ἐὰν τώρα τὸ ἀέριον Α καταλάβῃ τὸν ὄγκον τοῦ δοχείου μόνον του ὑπὸ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν Τ, ἡ πίεσις εἰς τὸ δοχεῖον θὰ εἶναι P_A (μερικὴ πίεσις τοῦ ἀερίου Α).

Ὅμοίως P_B καὶ P_{Γ} θὰ εἶναι αἱ μερικαὶ πιέσεις τῶν ἀερίων Β καὶ Γ, ἐὰν χωριστὰ ἕκαστον καταλάβῃ τὸν ὄγκον τοῦ δοχείου ὑπὸ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν πάντοτε Τ.

Κατὰ τὸν Νόμον τοῦ Dalton θὰ ἰσχύῃ ἡ σχέσις :

$$P_{\mu} = P_A + P_B + P_{\Gamma} \quad (35)$$

3·17 Εὗρεσις μερικῶν πιέσεων μίγματος ἀερίων, ὅταν δίδεται ἡ ὀλική.

Οἱ Νόμοι τῶν ἀερίων ἐφαρμόζονται καὶ εἰς τὰ μίγματα ἀερίων, ἐπομένως ἡ χαρακτηριστικὴ ἰσότης (29), ἥτοι $PV = BRT$ ἰσχύει καὶ διὰ μῖγμα ἀερίων, ὅταν ἡ πίεσις, ὁ ὄγκος, τὸ βάρος, ἡ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ καὶ ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία εἶναι στοιχεῖα τοῦ μίγματος.

Ἔστω τώρα ὅτι ἐν μῖγμα ἀποτελεῖται ἀπὸ τρία ἀέρια καὶ ἔστω P_1, P_2, P_3 αἱ μερικαὶ αὐτῶν πιέσεις, ὅταν καταλάβουν αὐτὰ ἕκαστον χωριστὰ τὸν ὄγκον U τοῦ μίγματος εἰς τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν Τ.

Αἱ χαρακτηριστικαὶ ἰσότητες τοῦ μίγματος καὶ ἐνὸς ἐκάστου τῶν τριῶν ἀερίων θὰ εἶναι :

$$\left. \begin{aligned} PV &= BRT && (\text{διὰ τὸ μῖγμα}) \\ P_1U &= B_1R_1T && (\text{διὰ τὸ ἀέριον Α}) \\ P_2U &= B_2R_2T && (\text{διὰ τὸ ἀέριον Β}) \\ P_3U &= B_3R_3T && (\text{διὰ τὸ ἀέριον Γ}) \end{aligned} \right\} \quad (\alpha)$$

Διαιροῦμεν κατὰ μέλη ἐκάστην τῶν ἰσοτήτων τῶν ἐπὶ μέρους ἀερίων διὰ τῆς ἰσότητος τοῦ μίγματος καὶ λαμβάνομεν :

$$\frac{P_1}{P} = \frac{B_1}{B} \cdot \frac{R_1}{R} \quad \eta \quad \frac{P_2}{P} = \frac{B_2}{B} \cdot \frac{R_2}{R} \quad \text{καὶ} \quad \frac{P_3}{P} = \frac{B_3}{B} \cdot \frac{R_3}{R} \quad (\beta)$$

Ἀφοῦ ὅμως εἰς Β βάρος τοῦ μίγματος ἔχομεν B_1 βάρος τοῦ ἀερίου Α, εἰς τὰ 100 βάρη μίγματος θὰ ἔχωμεν : $\frac{B_1 \cdot 100}{B}$, ἡ ὁποία εἶναι ἡ

έκατοστιαία ανάλυσις τοῦ αέριου Α εἰς τὸ μίγμα καὶ γράφεται :

$$\frac{B_1 \cdot 100}{B} = \% B_1 \quad \text{ἐπομένως} \quad \frac{B_1}{B} = \frac{\% B_1}{100}.$$

Ἐπίσης θὰ ἔχωμεν :

$$\frac{B_2}{B} = \frac{\% B_2}{100} \quad \text{καὶ} \quad \frac{B_3}{B} = \frac{\% B_3}{100}.$$

Ἀντικαθιστῶμεν τὰς τιμὰς αὐτὰς εἰς τὰς (β) καὶ λύοντες ὡς πρὸς P_1, P_2, P_3 ἔχομεν :

$$P_1 = P \cdot \frac{\% B_1}{100} \cdot \frac{R_1}{R}, \quad P_2 = \frac{\% B_2}{100} \cdot \frac{R_2}{R}, \quad P_3 = \frac{\% B_3}{100} \cdot \frac{R_3}{R} \quad (36)$$

Μὲ τὰς ἰσότητας (36) εὐρίσκομεν τὰς μερικὰς πιέσεις μίγματος αέριου, ὅταν γνωρίζωμεν τὴν ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν κατὰ βάρος ἀνάλυσιν αὐτοῦ.

Διὰ νὰ εὐρώμεν τὰς μερικὰς πιέσεις βάσει τῆς ὀγκομετρικῆς ἀναλύσεως τοῦ μίγματος σκεπτόμεθα ὡς ἑξῆς :

Ἐστω ὅτι ἕκαστον ἐπὶ μέρους αέριον ἀποχωρίζεται καὶ συμπιέζεται ὑπὸ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν τοῦ μίγματος Τ εἰς τὴν πίεσιν τοῦ μίγματος Ρ, τότε ἡ χαρακτηριστικὴ ἰσότης ἑκάστου θὰ λάβῃ τὴν μορφήν :

$$\left. \begin{aligned} PU_1 &= B_1 R_1 T \quad (\text{διὰ τὸ αέριον Α}) \\ PU_2 &= B_2 R_2 T \quad (\text{διὰ τὸ αέριον Β}) \\ PU_3 &= B_3 R_3 T \quad (\text{διὰ τὸ αέριον Γ}) \end{aligned} \right\} \quad (\gamma)$$

Ἐκ τῶν ἰσοτήτων (α) καὶ (γ) ἔχομεν :

$$U_1 = \frac{B_1 R_1 T}{P} \quad \text{καὶ} \quad U = \frac{B_1 R_1 T}{P_1} \quad (\text{διὰ τὸ αέριον Α})$$

$$U_2 = \frac{B_2 R_2 T}{P} \quad \text{καὶ} \quad U = \frac{B_2 R_2 T}{P_2} \quad (\text{διὰ τὸ αέριον Β})$$

$$U_3 = \frac{B_3 R_3 T}{P} \quad \text{καὶ} \quad U = \frac{B_3 R_3 T}{P_3} \quad (\text{διὰ τὸ αέριον Γ})$$

Διαιροῦμεν κατὰ μέλη ἀνὰ δύο ἰσότητας τοῦ αὐτοῦ αέριου καὶ ἔχομεν :

$$\frac{U_1}{U} = \frac{P_1}{P}, \quad \frac{U_2}{U} = \frac{P_2}{P}, \quad \frac{U_3}{U} = \frac{P_3}{P} \quad (\delta)$$

$$\text{ἀλλὰ} \quad \frac{U_1}{U} = \frac{\% U_1}{100} \quad \eta \quad \frac{U_2}{U} = \frac{\% U_2}{100} \quad \eta \quad \frac{U_3}{U} = \frac{\% U_3}{100}.$$

Ἀντικαθιστῶντες τὰς τιμὰς αὐτὰς εἰς τὰς (δ) λαμβάνομεν :

$$P_1 = \frac{\% U_1}{100} \cdot P, \quad P_2 = \frac{\% U_2}{100} \cdot P, \quad P_3 = \frac{\% U_3}{100} \cdot P \quad (37)$$

Με τὰς ἰσότητας (37) εὐρίσκομεν τὰς μερικὰς πιέσεις, ὅταν γνωρίζωμεν τὴν ὀγκομετρικὴν ἀνάλυσιν τοῦ μίγματος.

Παράδειγμα.

Ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀὴρ ἀποτελεῖται κατ' ὄγκον ἀπὸ 21% ὀξυγόνου καὶ 79% ἄζωτον. Νὰ εὐρεθοῦν αἱ μετρικαὶ πιέσεις τῶν στοιχείων αὐτῶν εἰς τυπικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν 760 mm Hg.

Λύσις:

Ἔχομεν τὴν ἰσότητα Dalton :

$$P_{\mu} = P_1 + P_2 \quad \text{εἰς τὴν ὁποίαν } P_{\mu} = 760 \text{ mm Hg,} \quad P_1 = \text{τοῦ ὀξυγόνου,}$$

$$P_2 = \text{τοῦ ἄζωτου.}$$

Ἐκ τῶν ἰσοτήτων (37) ἔχομεν :

$$P_1 = \frac{21}{100} \times 760 = 159,6 \text{ mm Hg}$$

$$P_2 = \frac{79}{100} \times 760 = 600,6 \text{ mm Hg}$$

3.18 Ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος. Χαρακτηριστικὴ σταθερά, εἰδικαὶ θερμότητες μίγματος ἀερίων.

α) Τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος μίγματος ἀερίων δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως :

$$M = \frac{1}{100} (\% U_1 \cdot M_1 + \% U_2 \cdot M_2 + \% U_3 \cdot M_3) \quad (38)$$

$$\tilde{M} = \frac{100}{\frac{\% B_1}{M_1} + \frac{\% B_2}{M_2} + \frac{\% B_3}{M_3}} \quad (39)$$

Ἡ ἰσότης (38) ἐφαρμόζεται, ὅταν εἶναι γνωστὴ ἡ ὀγκομετρικὴ ἀνάλυσις τοῦ μίγματος, καὶ ἡ ἰσότης (39), ὅταν εἶναι γνωστὴ ἡ ἀνάλυσις κατὰ βάρος. M_1, M_2, M_3 , εἶναι τὰ μοριακὰ βάρη τῶν ἐπὶ μέρους ἀερίων, ποὺ ἀποτελοῦν τὸ μῖγμα.

β) Ἡ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ τοῦ μίγματος R εὐρίσκεται ἀφοῦ πρῶτα ὑπολογισθῇ τὸ ἰσοδύναμον βάρος M , ὁπότε θὰ εἶναι :

$$R = \frac{C}{M} \quad (C \text{ εἶναι ἡ διεθνὴς σταθερὰ} = 1,986).$$

γ) Αἱ εἰδικαὶ θερμότητες τοῦ μίγματος εὐρίσκονται συναρτήσει τῶν εἰδικῶν θερμότητων τῶν ἀερίων, ποὺ τὸ ἀποτελοῦν, καὶ τῆς κατὰ βάρος ἀναλογίας, ἥτοι :

$$C_v = \frac{B_1 C_{v1} + B_2 C_{v2} + B_3 C_{v3}}{B} \quad (40)$$

$$C_p = \frac{B_1 C_{p1} + B_2 C_{p2} + B_3 C_{p3}}{B} \quad (41)$$

Εἰς τὰς ἰσότητας (40) καὶ (41) τὸ Β εἶναι τὸ βάρος τοῦ μίγματος καὶ τὰ B_1, B_2, B_3 τὰ βάρη τῶν ἀερίων τοῦ μίγματος· τὸ $B = B_1 + B_2 + B_3$.

3.19 Ἀποδείξεις ἰσοτήτων (38) καὶ (39).

Ἐστω ὅτι μῖγμα ἀερίων ἀποτελεῖται ἀπὸ τρία ἀέρια Α, Β, Γ, καὶ ὅτι αὐτὰ καταλαμβάνουν ὄγκους U_1, U_2, U_3 εἰς ἓν Μολ μίγματος εἰς φυσικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν, τότε: $U_1 + U_2 + U_3 = 358$ (α)

Ἐὰν M_1, M_2, M_3 εἶναι τὰ μοριακὰ βάρη τῶν ἀερίων Α, Β, Γ καὶ B_1, B_2, B_3 τὰ βάρη αὐτῶν εἰς ἓν Μολ τοῦ μίγματος, ἔχομεν:

$$B_1 = \frac{U_1}{358} \cdot M_1 \quad B_2 = \frac{U_2}{358} \cdot M_2 \quad \text{καὶ} \quad B_3 = \frac{U_3}{358} \cdot M_3$$

τὸ ὅλικόν βάρος τοῦ μίγματος εἰς ἓν Μολ θὰ εἶναι τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος αὐτοῦ Μ ἢ $B_1 + B_2 + B_3 = M$

$$\text{καὶ} \quad M = \frac{U_1}{358} \cdot M_1 + \frac{U_2}{358} \cdot M_2 + \frac{U_3}{358} \cdot M_3$$

$$\text{ἢ} \quad M = \frac{1}{100} \left(\frac{U_1 \cdot 100}{358} M_1 + \frac{U_2 \cdot 100}{358} M_2 + \frac{U_3 \cdot 100}{358} M_3 \right)$$

$$\text{καὶ} \quad M = \frac{1}{100} (\% U_1 \cdot M_1 + \% U_2 \cdot M_2 + \% U_3 \cdot M_3) \quad (38)$$

Ἐὰν δίδεται ἡ κατὰ βάρος ἀνάλυσις τοῦ μίγματος, τότε βάσει τῶν ἀναλογιῶν ἀφοῦ B_1 βάρος τοῦ ἀερίου Α ἀντιστοιχεῖ εἰς Μ βάρος μίγματος, θὰ εἶναι:

$$\% B_1 = \frac{B_1}{M} \cdot 100 \quad \text{ἐπίσης} \quad \% B_2 = \frac{B_2}{M} \cdot 100 \quad \text{καὶ} \quad \% B_3 = \frac{B_3}{M} \cdot 100.$$

$$\text{Ἀλλὰ} \quad \frac{B_1}{M_1} = \frac{U_1}{358} \quad \text{ἢ} \quad U_1 = \frac{B_1 \cdot 358}{M_1} = \frac{\% B_1 M}{100} \cdot 358$$

$$\text{ὁμοίως} \quad U_2 \text{ θὰ εἶναι } U_2 = \frac{\% B_2 M}{100} \cdot 358 \quad \text{καὶ} \quad U_3 = \frac{\% B_3 M}{100} \cdot 358.$$

Ἀντικαθιστῶμεν τὰς τιμὰς εἰς τὴν ἰσότητα (α) καὶ ἔχομεν:

$$\frac{\% B_1}{100} M \cdot 358 + \frac{\% B_2}{100} M \cdot 358 + \frac{\% B_3}{100} M \cdot 358 = 358$$

καὶ ἐκ ταύτης λαμβάνεται ἡσχέσις (39):

$$M = \frac{100}{\frac{\% B_1}{M_1} + \frac{\% B_2}{M_2} + \frac{\% B_3}{M_3}}$$

Παράδειγμα 1ον.

Ἐὰν ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ θεωρηθῇ ὡς μῖγμα ἀερίων ὀξυγόνου καὶ ἀζώτου μὲ ἀνάλυσιν 21% καὶ 79% κατ' ὄγκον καὶ 23% καὶ 77% κατὰ βάρος, νὰ εὑρεθῇ τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος αὐτοῦ εἰς ἀμφοτέρας τὰς περιπτώσεις.

Λύσις:

Ἐχομεν διὰ χρήσεως τῆς ἰσότητος (38):

$$M = \frac{1}{100} (21 \times 32 + 79 \times 28) = 28,84.$$

Διά της χρήσεως της Ισότητος (39):

$$M = \frac{100}{\frac{23}{32} + \frac{77}{28}} = 28,8.$$

Παράδειγμα 2ον.

Μίγμα αερίου βάρους 1 kg αποτελείται από 0,7 kg άζωτον, 0,2 kg όξυγό-
νον και 0,1 kg άργόν. Ποία ή ειδική θερμότης υπό σταθερόν όγκον του μίγματος ;

Λύσις :

Έκ της Ισότητος (40) έχομεν :

$$C_v = \frac{0,7 C_{v1} + 0,2 C_{v2} + 0,1 C_{v3}}{1}$$

$$\text{του } \acute{\alpha}\zeta\omega\tau\omicron\upsilon \quad C_{v1} = \frac{5}{28} = 0,178 \text{ (διατομικόν)}$$

$$\text{του } \acute{\omicron}\xi\upsilon\gamma\omicron\gamma\omicron\upsilon \quad C_{v2} = \frac{5}{32} = 0,156 \text{ (διατομικόν)}$$

$$\text{του } \acute{\alpha}\rho\gamma\omicron\upsilon \quad C_{v3} = \frac{3}{40} = 0,075 \text{ (μονατομικόν)}$$

$$\text{και} \quad C_v = 0,7 \times 0,178 + 0,2 \times 0,156 + 0,1 \times 0,075 = 0,1633.$$

Μοριακά βάρη στοιχείων χρησιμοποιουμένων εις την θερμοδυναμικήν βλ. εις
τόν Πίνακα 10 του Παρατήματος.

3. 20 Άσκήσεις.

1) 'Η χαρακτηριστική σταθερά του άερος, είναι 53,3 ftlb/lb°F. Νά εύρεθῇ
εις kgm/kg°C και εις ft lb/lb°C. (Άπ.: 29,27 - 96)

2) 'Αεροφυλάκιον, που έχει όγκον 1m³, πληρουται με άερα μανομετρικής πιέ-
σεως 2kg/cm² εις θερμοκρασίαν 40°C. Ζητείται ό ειδικός όγκος και τό όλικόν βάρος
του έντός του δοχείου άερος, εάν R = 29,27 kgm/kg°C. (Άπ.: 0,458 - 2,4)

3) 'Αέριον βάρους 0,2lb συμπιέζεται έντός κυλίνδρου. 'Ο άρχικός όγκος του
πρό της συμπίεσεως ήτο 1,8 ft³ και ό τελικός όγκος μετά την συμπίεσιν 0,32 ft³.
'Η άρχική πίεσις ήτο 14,8 lb/in² άπόλ. και ή τελική 100 lb/in² άπόλ. 'Εάν ή άρ-
χική θερμοκρασία ήτο 90°F, ζητείται: α) 'Η θερμοκρασία του αερίου μετά την
συμπίεσιν εις °F. β) 'Ο ειδικός όγκος του αερίου πρό της συμπίεσεως εις ft³/lb.
γ) 'Η χαρακτηριστική σταθερά του αερίου εις ft lb/lb°F. (Άπ.: 200° - 9 - 34,9)

4) Ζητείται ό ειδικός όγκος άτμοσφαιρικού άερος εις ft³/lb εις Φ.Θ.Π. και ή
σταθερά αυτού R εις kgm/kg°C εις ftlb/lb°F και ftlb/lb°C. (Άπ.: 12,39 - 29,27 - 53,3 - 96)

5) Νά εύρεθούν αι τιμαί των C_p και C_v του άτμοσφαιρικού άερος.
(Άπ.: 0,24 - 0,17)

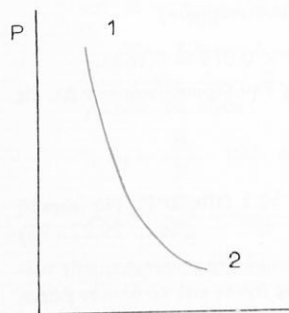
ΑΛΛΑΓΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΑΕΡΙΩΝ

4.1 Γενικά.

Ἡ κατάσταση ἐνὸς αέριου χαρακτηρίζεται βασικῶς ἀπὸ τὴν πίεσιν, τὸν ὄγκον καὶ τὴν θερμοκρασίαν του. Τὰ λοιπὰ χαρακτηριστικά (παράγρ. 2.3) εἶναι συνάρτησις τῶν ἀνωτέρω.

Ἐὰν αἱ τιμαὶ τῶν P_1, U_1, T_1 ἐνὸς αέριου μεταβληθοῦν εἰς P_2, U_2, T_2 , τότε λέγομεν ὅτι τὸ αέριον ἀλλάσσει κατάστασιν.

Ἡ θερμοδυναμικὴ αὐτὴ ἀλλαγὴ ἀπὸ τὴν κατάστασιν 1 ἕως τὴν κατάστασιν 2 (σχ. 4.1) παρίσταται γραφικῶς διὰ δύο ὀρθογωνίων ἀξόνων μὲ μίαν γραμμὴν, ἡ ὁποία ὀνομάζεται *γραμμὴ ἀλλαγῆς καταστάσεως*.



Σχ. 4.1.

Ἡ ἐπίλυσις πολλῶν θερμοδυναμικῶν προβλημάτων ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν καθορισμὸν τῆς ἀρχικῆς καὶ τελικῆς καταστάσεως τοῦ αέριου καὶ τὴν γνῶσιν τοῦ εἶδους τῆς λειτουργίας, πού ἠκολουθήθη κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτήν. Ὅπως ἔχομεν ἀναφέρει, τὰ χαρακτηριστικά τῶν αέριων ἔχουν τιμὰς αὐτοτελεῖς καὶ στιγμιαίας, πρᾶγμα πού σημαίνει ὅτι αἱ ἀριθμητικαὶ τιμαὶ τῶν εἶναι ἀνεξάρτητοι τῆς προηγουμένης θέσεως τοῦ

αέριου, ἐνῶ ἡ θερμότης καὶ τὸ ἔργον εἶναι ἀμφότερα συναρτήσεις καὶ αἱ ἀριθμητικαὶ τιμαὶ τῶν ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὸν τρόπον τῆς ἀλλαγῆς, πού ἔλαβεν χώραν. Ἡ πίεσις καὶ ἡ θερμοκρασία π.χ. μετροῦνται εἰς οἰανδήποτε στιγμὴν καὶ θέσιν εὐρίσκεται τὸ αέριον, ἐνῶ διὰ νὰ ὑπολογισθῇ ἡ θερμότης καὶ τὸ ἔργον πρέπει νὰ εἶναι γνωστὸς ὁ τρόπος, μὲ τὸν ὁποῖον ἐγίνε ἡ ἀλλαγὴ.

Μία γενικὴ ἀρχή, πού ἀκολουθεῖται εἰς τὴν Θερμοδυναμικὴν, εἶναι ὁ καθορισμὸς καὶ ἡ ἔρευνα μιᾶς ἰδανικῆς καταστάσεως καὶ ἐν συνεχείᾳ ἡ σύγκρισις μὲ ἐν πραγματικὸν μηχανήμα, πού ἐργάζεται ὑπὸ παρομοίαν ἀλλὰ πραγματικὴν κατάστασιν. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον καθορί-

ζεται συγκριτικῶς ἡ ἀπόδοσις τοῦ μηχανήματος μεταξύ ἰδανικῆς καὶ πραγματικῆς λειτουργίας.

Εἰς τὴν Θερμοδυναμικὴν αἱ *ἰδανικαὶ λειτουργίαι* ὀνομάζονται καὶ *ἀναστρέψιμοι*.

Ἐὰν ἔν ἁέριον ἀλλάξη κατάστασιν ἀπὸ (1) εἰς (2), ἡ ἀλλαγὴ αὕτη θὰ εἶναι ἀναστρέψιμος, ἔαν μετὰ τὴν συμπλήρωσίν της δύναται νὰ ἀναστραφῇ κατὰ τρόπον, ὥστε τὸ ἁέριον νὰ ἐπανέλθῃ ἀπὸ τὴν (2) εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του (1) ἀκολουθοῦν ἀντιστρόφως ἀκριβῶς τὸ ἴδιον ἴχνος.

Μία ἀναστρέψιμος λειτουργία ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἀλλαγὴν καταστάσεως τοῦ αἰρίου κατὰ τρόπον ὁμαλὸν μὲ κανονικὴν σειρὰν καὶ μὲ τὰ χαρακτηριστικά του νὰ μεταβάλλωνται μὲ μίαν καθωρισμένην μεταξὺ των σχέσιν. Ἰδιαιτέρου ἐνδιαφέροντος εἶναι αἱ ἀναστρέψιμοι ἀλλαγαί, εἰς τὰς ὁποίας παραμένει σταθερὸν ἓν χαρακτηριστικὸν τοῦ αἰρίου.

Ἡ ἀναστρεψιμότης θὰ ἐξετασθῇ λεπτομερέστερον βραδύτερον. Πρὸς τὸ παρὸν σημειώνομεν ὅτι ὑπὸ τὸν ὅρον *ἀναστρέψιμον* ἐννοοῦμεν, ὡς ἐλέχθη, ἰδανικὴν λειτουργίαν καὶ ἔχει τὴν αὐτὴν ἔννοιαν πρὸς τὸν ὅρον *ἄνευ τριβῶν*, ὃ ὁποῖος χρησιμοποιεῖται εἰς τὰς μηχανάς.

4.2 Ἰσότης διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας εἰς λειτουργίαν ἄνευ ροῆς.

Διὰ τοὺς μηχανικοὺς τῶν Ναυτικῶν μηχανῶν δύο εἶναι αἱ κύρια θερμοδυναμικαὶ λειτουργίαι βασικοῦ ἐνδιαφέροντος : α) Ἄνευ ροῆς β) σταθερᾶς ροῆς.

Πρὸς τὸ παρὸν θὰ ἐξετάσωμεν τὴν ἄνευ ροῆς λειτουργίαν. Κατ' αὐτὴν τὸ ἁέριον ἢ ὁ ἀτμὸς δὲν ἐξέρχεται τοῦ χώρου, ὅπου λαμβάνει χώραν ἡ ἀλλαγὴ καταστάσεως, ἀλλὰ οὔτε καὶ εἰσέρχεται ἐπὶ πλεόν ποσότης ἐντὸς αὐτοῦ. Ἀλλαγὴ ἄνευ ροῆς λαμβάνει χώραν εἰς παλινδρομικοὺς ἀεροσυμπιεστάς, παλινδρομικὰς μηχανὰς ἐσωτερικῆς καύσεως, καὶ εἰς παλινδρομικὰς ἀτμομηχανὰς (μὲ ὕδρατμόν) καὶ κατὰ τὸν χρόνον, πού εἶναι κλεισταὶ ἀμφότεραι αἱ βαλβίδες εἰσαγωγῆς καὶ ἐξαγωγῆς.

Εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς ἀλλαγῆς ἄνευ ροῆς ἔχομεν τὴν ἰσότητα διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας ἥτοι :

$$E_1 + H_{1,2} = E_2 + \frac{W_{1,2}}{J} \quad \text{ἢ} \quad H_{1,2} = (E_2 - E_1) + \frac{W_{1,2}}{J}$$

ὅπου : E_1 ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ αἰρίου πρὸ τῆς ἀλλαγῆς, $H_{1,2}$ τὸ χορηγηθὲν ποσὸν θερμότητος εἰς τὸ ἁέριον κατὰ τὴν ἀλλαγὴν ἀπὸ

1 εις 2, E_2 ή έσωτερική ένέργεια του αερίου μετά την αλλαγήν και $W_{1,2}$ τὸ παραχθέν ὑπὸ τοῦ αερίου ἔργον κατὰ τὴν αλλαγήν ἀπὸ 1 εις 2. Ἡ ισότης αὕτη λέγει ὅτι ἐν χορηγηθέν ποσὸν θερμότητος κατὰ τὴν αλλαγὴν ἀπὸ 1 εις 2, τὸ $H_{1,2}$, θὰ ἰσοῦται μὲ τὴν μεταβολὴν τῆς έσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ αερίου $E_2 - E_1$, σὺν τὸ ἔργον ποὺ παρήχθη ἀπὸ 1 εις 2.

Τὴν ἀνωτέρω ισότητα διὰ λόγους ἀπλουστεύσεως θὰ τὴν γράψωμεν ὡς ἑξῆς :

$$H = \frac{W}{J} + E \quad (42)$$

Εἰς τὴν ισότητα (42) ή μεταβολή τῆς έσωτερικῆς ἐνεργείας E τοῦ αερίου ἰσοῦται, ὡς ἔχομεν ἤδη ἀναφέρει (παράγρ. 3·8) μέ :

$$E = C_v B (T_2 - T_1)$$

Τὸ ἔργον W ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν τρόπον, ποὺ ἐπραγματοποιήθη ή αλλαγή καταστάσεως τοῦ αερίου.

Ἡ ισότης (42) εὐρίσκει ἐφαρμογὴν εἰς ὅλας τὰς ἀλλαγὰς καταστάσεως *ἀνευ ροῆς*, ἰδανικὰς ἢ πραγματικὰς καὶ μὲ οἷονδήποτε ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον (π.χ. αέριον ἢ ἀτμόν).

Αἱ ἀλλαγαὶ καταστάσεως αερίων, ποὺ θὰ ἐξετασθοῦν ἐν συνεχείᾳ, εἶναι ἑπτὰ :

- α) Ἀλλαγή καταστάσεως ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον.
- β) Ἀλλαγή καταστάσεως ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.
- γ) Ἰσοθερμοκρασιακὴ (ἢ ισόθερμος) ἀλλαγή καταστάσεως.
- δ) Ὑπερβολικὴ ἀλλαγή καταστάσεως.
- ε) Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγή καταστάσεως.
- στ) Πολυτροπικὴ ἀλλαγή καταστάσεως.
- ζ) Ἐλευθέρᾳ ἀνευ ἀντιστάσεως ἀλλαγή καταστάσεως.

Εἰς ὅλας αὐτὰς τὰς ἀλλαγὰς ἀνευ ροῆς ἰσχύει ἐπίσης ή ισότης (27) τοῦ συνδυασμοῦ Νόμων Boyle - Lussac :

$$\frac{P_1 U_1}{T_1} = \frac{P_2 U_2}{T_2}$$

ἀλλὰ μόνον δι' αέρια καὶ ὄχι δι' ἀτμούς.

4·3 Ἀλλαγή καταστάσεως αερίων ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον.

Εἶναι ἐκείνη, κατὰ τὴν ὁποίαν ἀπὸ τὰ τρία χαρακτηριστικὰ P , U καὶ T τοῦ αερίου, ὁ ὄγκος U παραμένει σταθερός, ἐνῶ μεταβάλλεται ή πίεσις καὶ ή θερμοκρασία.

Ἐκ τῆς σχέσεως :

$$\frac{P_1 U_1}{T_1} = \frac{P_2 U_2}{T_2}$$

ἐὰν $U_1 = U_2 = \text{σταθερόν}$, θὰ ἔχωμεν :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (43)$$

Ἐπομένως, ὅταν ὁ ὄγκος ἐνὸς αὐρίου παραμένῃ σταθερός, αἱ πιέσεις μεταβάλλονται ἀνάλογα μὲ τὴν μεταβολὴν τῶν ἀπολύτων θερμοκρασιῶν.

Ἐστω τώρα ὅτι θερμαίνεται ἐν αὐρίον ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον καὶ χορηγεῖται εἰς αὐτὸ Ἡ ποσὸν θερμότητος, τότε ἐκ τῆς ἰσότητος (11) θὰ εἶναι :

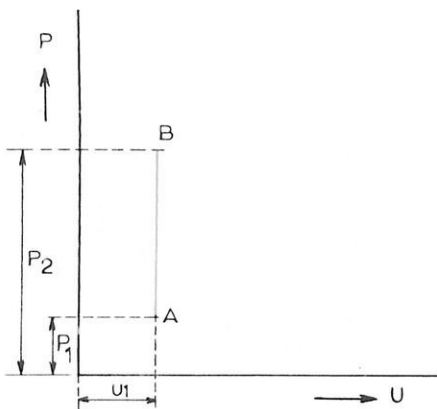
$$H = C_v B (t_2 - t_1).$$

Ἐφαρμόζομεν τὴν ἰσότητα (42), $H = -\frac{W}{J} + E$. Τὸ ἔργον W

εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν θὰ ἰσοῦται μὲ μηδέν ($W=0$), διότι, ἐφ' ὅσον ὁ ὄγκος τοῦ αὐρίου παραμένει σταθερός, δὲν ὑπάρχει μετακίνησις δυνάμεως εἰς ὠρισμένην ἀπόστασιν. Κατὰ τὴν θέρμανσιν ἐπομένως τοῦ αὐρίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον τὸ $H = E = C_v B (t_2 - t_1)$. Ἐκ τούτου ἔπεται ὅτι :

Ὅταν ἐν αὐρίον θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον, ὁλόκληρον τὸ χορηγούμενον εἰς αὐτὸ ποσὸν θερμότητος παραμένει ἐντὸς τοῦ αὐρίου ὡς αὔξησις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας αὐτοῦ.

Ἐὰν τώρα λάβωμεν δύο ὀρθογωνίους ἄξονας, εἰς τοὺς ὁποίους ὑπὸ κλίμακα παρίστανται αἱ πιέσεις P (εἰς τὸν κάθετον) καὶ οἱ ὄγκοι U (εἰς τὸν ὀριζόντιον), τότε τὸ σημεῖον A (σχ. 4.3) παριστᾷ κατὰστασιν αὐρίου πίεσεως P_1 καὶ ὄγκου U_1 . Ἡ θέρμανσις τοῦ αὐρίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον παρίσταται εἰς τοὺς ἄξονας αὐτοὺς ἀπὸ τὴν κάθετον AB καὶ τὸ σημεῖον B θὰ παριστᾷ τὴν τελικὴν κατὰστασιν τοῦ αὐρίου πίεσεως P_2 , ἀλλὰ ὄγκου πάλιν U_1 .



Σχ. 4.3.

Ἡ περίπτωση αὐτὴ θερμάνσεως ἀερίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον παρουσιάζεται εἰς τὴν πρᾶξιν εἰς τὰς μηχανὰς τὰς λεγομένας *σταθεροῦ ὄγκου* ἢ *ἐκρηξέως*, αἱ ὁποῖαι κατὰ κανόνα εἶναι αἱ βενζινομηχαναί.

Παράδειγμα.

Ἐντὸς κυλίνδρου θερμαίνεται ἀέριον ἥλιον βάρους 0,5 kg ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον. Ἡ ἀρχικὴ πίεσις καὶ θερμοκρασία τοῦ ἡλίου εἶναι 2 kg/cm² καὶ 30°C. Ἐὰν ἡ τελικὴ πίεσις τοῦ ἡλίου ἀνέλθῃ εἰς τὰ 4 kg/cm², ποία ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας αὐτοῦ;

Λύσις:

Ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας E θὰ εἶναι $E = C_v B (t_2 - t_1)$, ἰσότης (13). Ἐκ τῶν στοιχείων τῆς ἰσότητος αὐτῆς ἔχομεν ὡς δεδομένα: $B = 0,5 \text{ kg}$ καὶ $t_1 = 30^\circ\text{C}$. Εὐρίσκομεν τὸ C_v καὶ t_2 .

$$\text{Ἐκ τῆς ἰσότητος (43) λαμβάνομεν: } \frac{2}{303} = \frac{4}{T_2} \quad \text{καὶ} \quad T_2 = \frac{303 \times 4}{2} \quad \eta$$

$$T_2 = 606^\circ\text{K} \quad \eta \quad t_2 = 606 - 273 = 323^\circ\text{C}.$$

Τὸ ἥλιον εἶναι μονατομικὸν ἀέριον, ἐπομένως $K_v = 3$ καὶ τὸ μοριακὸν βάρος του εἶναι 4 (ἴδε Πίνακα 10), ἐπομένως $C_v = \frac{K_v}{M} = \frac{3}{4} = 0,75$ καὶ

$$E = 0,75 \times 0,5 (323 - 30) = 109,8 \text{ kcal} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot \text{kg}^\circ\text{C} = \text{kcal} \right).$$

4.4 Ἀλλαγὴ καταστάσεως ἀερίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Αὕτῃ συμβαίνει, ὅταν μεταβάλλεται ἡ θερμοκρασία καὶ ὁ ὄγκος ἑνὸς ἀερίου, ἐνῶ ἡ πίεσις παραμένει σταθερά. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἰσχύει ἡ σχέσις $\frac{U_1}{T_1} = \frac{U_2}{T_2}$ (Νόμος Gay - Lussac). Οἱ ὄγκοι μεταβάλλονται ἀνάλογα μὲ τὴν μεταβολὴν τῶν ἀπολύτων θερμοκρασιῶν.

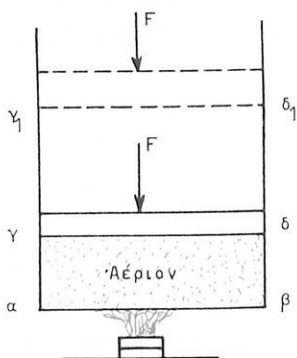
Ἐὰν θερμαίνεται ἓν ἀέριον ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, τότε, κατὰ τὰ γνωστά, τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος H (ἰσότης 12) θὰ εἶναι $H = C_p \cdot B (t_2 - t_1)$. Ἐφαρμόζοντες τὴν ἰσότητα (42) $H = \frac{W}{J} + E$ εὐρίσκομεν τὸ παραγόμενον ἔργον ὑπὸ τοῦ ἀερίου :

$$W = (H - E) J \quad (44)$$

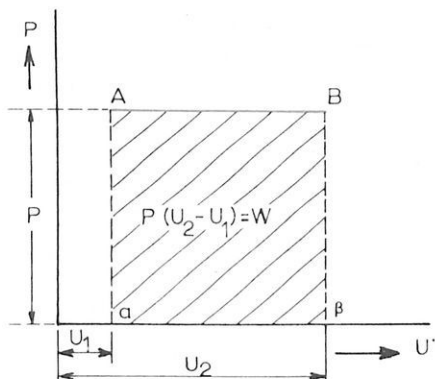
Κατὰ τὴν *θέρμανσιν* ἐπομένως ἑνὸς ἀερίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἓν μέρος ἀπὸ τὴν χορηγούμενην θερμότητα μεταβάλλεται εἰς ἔργον, ἐνῶ τὸ ὑπόλοιπον παραμένει ἐντὸς τοῦ ἀερίου καὶ τοῦ ἀνξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν κατὰ ποσὸν $E = C_v B (T_2 - T_1)$.

Ἔστω τώρα ὅτι ἔχομεν ἓνα κύλινδρον (σχ. 4.3α), ἐντὸς τοῦ ὁποίου ὑπάρχει ἔμβολον, ἐπὶ τοῦ ὁποίου ἐξασκεῖται σταθερὰ δύνα-

μιν F και ἔστω ὅτι τὸ σύστημα εὐρίσκεται ἐν ἰσορροπία. Τότε, κατὰ τὰ γνωστά, ἡ ἐξασκουμένη πίεσις εἰς τὸ σύστημα θὰ εἶναι: $P = \frac{F}{A}$, ὅπου A εἶναι ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἐμβόλου. Ὑποθέτομεν ὅτι χορηγοῦμεν



Σχ. 4.3 α.



Σχ. 4.3 β.

θερμότητα εἰς τὸ ἀέριον, τὸ ὁποῖον οὕτως ἐκτονούμενον μετακινεῖ πρὸς τὰ ἄνω τὸ ἐλεύθερον ἔμβολον, ἕως ὅτου τὸ ἀέριον καταλάβῃ τὸν ὄγκον $\alpha\beta\gamma_1\delta_1 = U_2$.

Κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν ἡ πίεσις δὲν μετεβλήθη, ἐφ' ὅσον τὸ F καὶ A παραμένουν σταθερά. Ἔχομεν δηλαδή μίαν ἀλλαγὴν καταστάσεως τοῦ ἀερίου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Κατὰ τὴν ἀλλαγὴν ὅμως αὐτὴν ἔχομεν παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου:

$$W = \text{Δύναμις } F \times \text{Μετακίνησις } \delta\delta_1 = F \cdot \delta\delta_1 = P \cdot A \cdot \delta\delta_1.$$

$$\text{Ἀλλὰ τὸ γινόμενον } A \cdot \delta\delta_1 = \text{Ὀγκος κυλίνδρου } \gamma \delta \delta_1 \gamma_1 = U_2 - U_1.$$

Ἐπομένως καί :

$$W = P (U_2 - U_1) \quad (45)$$

Ἐπειδὴ ὅμως $P U_2 = B R T_2$ καὶ $P U_1 = B R T_1$ [ἐκ τῆς ἰσότητος (29)] ἡ ἰσότης (45) λαμβάνει καὶ τὴν μορφήν:

$$W = B R (T_2 - T_1) \quad (46)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (46) ἐὰν $T_2 - T_1 = 1$ καὶ $B = 1$, θὰ εἶναι καὶ $W = R$. Δηλαδή, ἡ σταθερὰ ἐνὸς ἀερίου παριστᾷ τὸ ἔργον, ποὺ δίδει ἡ μονὰς βάρους ἐνὸς ἀερίου, ὅταν τοῦτο θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ αὐξάνεται ἡ θερμοκρασία του κατὰ ἓνα βαθμόν.

Εἰς ὀρθογωνίους ἄξονας P, U ἡ ἀλλαγὴ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν παρίσταται ὑπὸ τῆς ὀριζοντίας γραμμῆς AB (σχ. 4.3 β).

Εἰς αὐτὴν τὸ σημεῖον A εἶναι ἡ ἀρχικὴ κατάστασις τοῦ αέριου πιέσεως P καὶ ὄγκου U_1 καὶ εἰς τὸ B ἡ τελικὴ κατάστασις τοῦ αέριου πιέσεως πάλιν P , ἀλλὰ ὄγκου U_2 . Παρατηροῦμεν ὅτι ἡ ἐπιφάνεια κάτω τῆς γραμμῆς AB ἰσοῦται μὲ $P(U_2 - U_1)$, τὸ ὁποῖον, ὅπως ἐδείξαμεν, εἶναι τὸ παραγόμενον ἔργον.

Ἐκ τούτου συνάγεται ὅτι: *εἰς ἄξονας P, U ἡ ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς γραμμῆς, ποὺ παριστᾷ τὴν ἀλλαγὴν καταστάσεως ἑνὸς αέριου, μᾶς δίδει τὸ ἔργον, ποὺ λαμβάνεται ἀπὸ τὸ αέριον εἰς ἐκτόνωσιν ἢ ποὺ δίδεται εἰς τὸ αέριον κατὰ τὴν συμπίεσιν.*

Ἐκ τῆς ἰσότητος (42) διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας :

$$H = \frac{W}{J} + E$$

καὶ ἐὰν ἀντικαταστήσωμεν τὰς τιμὰς H, W καὶ E , ὡς διευτυπώθησαν ἀνωτέρω, λαμβάνομεν :

$$C_p B (T_2 - T_1) = \frac{BR (T_2 - T_1)}{J} + C_v B (T_2 - T_1) \quad \text{καὶ}$$

$$C_p = \frac{R}{J} + C_v \quad \text{καὶ} \quad R = (C_p - C_v) J \quad (47)$$

Οὕτως εὐρίσκεται κατ' ἄλλον τρόπον ἡ τιμὴ τῆς σταθερᾶς R συναρτῆσει τῶν εἰδικῶν θερμότητων τοῦ αέριου, ὡς διευτυπώθη καὶ εἰς παράγραφον 3.5.

Ἡ περίπτωσις τῆς θερμάνσεως ἑνὸς αέριου, ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν παρουσιάζεται εἰς τὴν πρᾶξιν εἰς τὰς μηχανὰς Diesel.

Παράδειγμα.

Ἀέριον βάρους 2 kg θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν $42,7 \text{ kg/cm}^2$ ἀπὸ θερμοκρασίας 75°C εἰς θερμοκρασίαν 175°C . Ὁ ἀρχικὸς ὄγκος του εἶναι $0,2 \text{ m}^3$ καὶ ὁ τελικὸς $1,2 \text{ m}^3$. Ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ αέριου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον $C_v = 0,17$. Ζητεῖται: α) Τὸ παραγόμενον ἔργον καὶ β) ἡ χορηγηθεῖσα θερμότης εἰς αὐτό.

Λύσις:

α) Τὸ παραγόμενον ἔργον δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (45): $W = P (U_2 - U_1)$, ὅπου $P = 42,7 \text{ kg/cm}^2 = 42,7 \times 10\,000 = 427\,000 \text{ kg/m}^2$, $U_2 = 1,2 \text{ m}^3$ καὶ $U_1 = 0,2 \text{ m}^3$. Ἐπομένως: $W = 427\,000 (1,2 - 0,2) = 427\,000 \text{ kgm} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{kgm} \right)$.

β) Χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (42) διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας διὰ νὰ εὕρωμεν τὸ H , ἥτοι $H = \frac{W}{J} + E$.

$$E = C_v B (t_2 - t_1) = 0,17 \times 2 (175 - 75) = 34 \text{ kcal} \quad \text{και}$$

$$H = \frac{427\,000}{427} + 34 = 1000 + 34 = 1034 \text{ kcal.}$$

4.5 Γενική ισότης έργου κατά την αλλαγήν καταστάσεως αερίων.

Ἐν αέριον εἶναι δυνατόν νά θερμαίνεται ἐντὸς κυλίνδρου κατὰ οἷον-δήποτε γενικὸν τρόπον, ὥστε οὔτε ἡ πίεσις οὔτε ὁ ὄγκος του νὰ παραμείνουν σταθερά.

Ἐστω ὅτι εἰς τὸ σχῆμα 4.5 τὸ Α παριστᾷ αέριον πίεσεως P_1 καὶ ὄγκου U_1 καὶ ὅτι τοῦτο θερμαίνεται ἐντὸς κυλίνδρου κατὰ ἀκαθόριστον τρόπον αὐξάνει τὸν ὄγκον του εἰς U_2 , ἐνῶ συγχρόνως μεταβάλλεται καὶ ἡ πίεσις του.

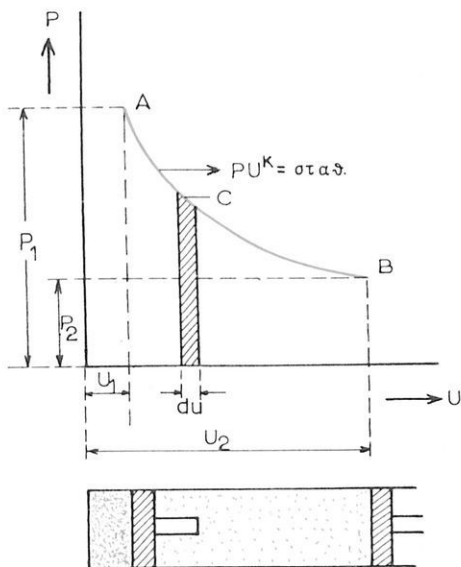
Καθὼς τὸ ἔμβολον μετακινεῖται, μετροῦμεν εἰς διαφόρους θέσεις τὰς τιμὰς P καὶ U καὶ ὑπὸ κλίμακα τὰς τοποθετοῦμεν εἰς τοὺς ἀντιστοιχοῦς ἄξονας, ὁπότε λαμβάνεται ἡ καμπύλη AB . Ἡ καμπύλη αὕτη παριστᾷ τὴν ἀλλαγὴν τῆς καταστάσεως τοῦ αερίου ἀπὸ $A (P_1, U_1)$ εἰς $B (P_2, U_2)$.

Ἡ ἐξίσωσις τῆς καμπύλης αὐτῆς δὲν εἶναι ἀκόμῃ γνωστή· ἔστω ὁμῶς ὅτι ἀκολουθεῖ τὸν Νόμον $P U^K = \text{σταθ.}$ σταθερόν, ὅπου K εἶναι μία σταθερά, ἐξαρτωμένη ἀπὸ τὸν τρόπον, μὲ τὸν ὁποῖον ἔγινε ἡ ἐκτόνωνσις τοῦ αερίου. Τὸ ἔργον, τὸ ὁποῖον παρήγαγε τὸ αέριον κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν, παρίσταται ὑπὸ τῆς ἐπιφανείας κάτωθεν τῆς καμπύλης AB .

Ἐστω εἰς τὸ σημεῖον C μία πολὺ μικρὰ ὀρθογώνιος ἐπὶ μέρους ἐπιφάνειας, τῆς ὁποίας τὸ ὕψος εἶναι P καὶ ἡ βάσις ἐλαχίστη dU (διαφορικὸν τοῦ U). Ἡ ἐπιφάνεια τῆς λωρίδος αὐτῆς θὰ εἶναι ἴση μὲ $P \cdot dU$, ἡ δὲ ὅλικη ἐπιφάνεια κάτω τῆς καμπύλης AB , ἡ ὁποία θὰ παριστᾷ καὶ τὸ παραχθὲν ὑπὸ τοῦ αερίου ἔργον, θὰ εἶναι :

$$W = \int_{U_1}^{U_2} P dU \quad (48)$$

Ἡ ἰσότης (48) εἶναι ἡ γενικὴ μαθηματικὴ ἐκφράσις τοῦ ἔργου, ποῦ λαμ-



Σχ. 4.5.

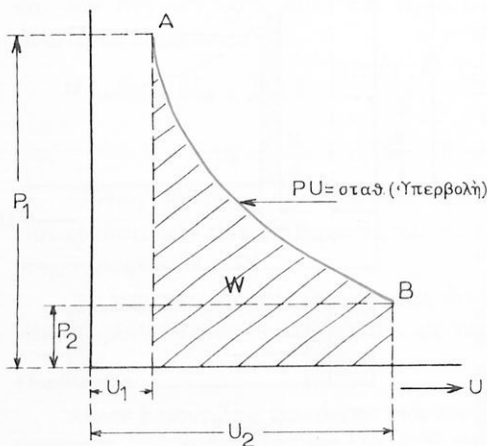
βάνεται από έκτονωσιν αερίου ή ατμού από όγκον U_1 εις όγκον U_2 καί ισχύει δι' οίονδήποτε τύπον έκτονώσεως ή συμπίεσεως.

4·6 Ίσοθερμοκρασιακή ή ισόθερμος αλλαγή καταστάσεως αερίων.

"Όταν μεταβάλλεται ή πίεσις καί ό όγκος ενός αερίου, ένω παραμένει ή θερμοκρασία του σταθερά, ή αλλαγή αυτή του αερίου ονομάζεται *ισοθερμοκρασιακή*.

Κατά τόν Νόμον τών Boyle - Mariotte (παράγρ. 3·2), όταν ή θερμοκρασία T ενός αερίου παραμένη σταθερά, τότε τó γινόμενον $P \cdot U = \text{σταθερόν}$. Η σχέσης αυτή πίεσεως καί όγκου μās επιτρέπει νά χαράξωμεν τήν αλλαγήν αυτήν εις δύο άξονας όρθογωνίους P, U (σχ. 4·6).

Εις τó σχήμα τó σημείον Α παριστā τήν άρχικήν κατάστασιν του αερίου (P_1, U_1) καί τó σημείον Β τήν τελικήν (P_2, U_2). Καθ' όλην τήν



Σχ. 4·6.

διάρκειαν τής έκτονώσεως, ή όποία παρίσταται υπό τής καμπύλης ΑΒ, ή θερμοκρασία παραμένει σταθερά, επίσης καί τó γινόμενον $P \cdot U$ παραμένει σταθερόν. Από τά Μαθηματικά είναι γνωστόν ότι ή καμπύλη, πού χαράσσεται υπό αύτούς τούς όρους (δηλαδή $P \cdot U = \text{σταθ.}$), ονομάζεται *υπερβολή*. ως έκ τούτου ή αλλαγή αυτή ονομάζεται επίσης *υπερβολική αλλαγή καταστάσεως*.

Η υπό τήν καμπύλην ΑΒ

επιφάνεια δίδει τó έργον, πού λαμβάνεται από τó αέριον κατά τήν έκτόνωσίν του αυτήν. Τοῦτο είναι :

$$W = P_1 \cdot U_1 \cdot \ln \frac{U_2}{U_1} \quad (49)$$

Ο λόγος $\frac{U_2}{U_1} = \frac{\text{όγκος αερίου εις τó τέλος τής έκτονώσεως}}{\text{όγκος αερίου εις τήν έναρξιν τής έκτονώσεως}}$ ονομάζεται *βαθμός έκτονώσεως του αερίου*.

Ἐὰν τὸ ἀέριον ἐκ τῆς καταστάσεως Β μετέβαινεν εἰς τὴν Α, προφανῶς θὰ ὑφίστατο συμπίεσιν, ὁπότε ὁ λόγος :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\text{ὄγκος εἰς τὴν ἔναρξιν τῆς συμπίεσεως}}{\text{ὄγκος εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως}}$$

ὀνομάζεται *βαθμὸς συμπίεσεως*.

Παρατηροῦμεν ὅτι οἱ ὅροι *βαθμὸς ἐκτονώσεως* καὶ *βαθμὸς συμπίεσεως* παριστοῦν τὸ αὐτὸ μέγεθος $\frac{U_2}{U_1}$, τὸ ὁποῖον παρίσταται συνήθως μὲ τὸ γράμμα r .

Ἄρα ἡ ἰσότης (49) γράφεται ἐπίσης καί :

$$W = P_1 U_1 I_n r \quad (50)$$

Ἐπειδὴ ὁμως $P_1 \cdot U_1 = BRT_1$ θὰ εἶναι καί :

$$W = BRT_1 I_n r \quad (51)$$

Διὰ νὰ εὗρωμεν τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος εἰς τὸ ἀέριον κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (42) διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας :

$$H = \frac{W}{J} + E$$

Ἀλλὰ $E = C_v B (T_2 - T_1)$. Ἀφοῦ ὁμως ἡ ἐκτόνωσις εἶναι ἰσοθερμοκρασική, τότε $T_2 = T_1$ ἐπομένως καὶ $E = 0$.

Τοῦτο σημαίνει ὅτι κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν ἡ ἐσωτερικὴ ἢ θερμικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου δὲν μεταβάλλεται, ἀλλὰ παραμένει σταθερά. Ἐκ τούτου ἡ ἀλλαγή αὐτὴ ὀνομάζεται καὶ *ισόθερμος*. Ἐξ αὐτῶν προκύπτει ὅτι :

$$H = \frac{W}{J} \quad \eta \quad H = \frac{P_1 \cdot U_1 I_n r}{J} \quad (52)$$

Κατὰ τὴν *ισοθερμοκρασιακὴν* ἐπομένως *ἀλλαγὴν καταστάσεως ἀερίου ὁλόκληρον* τὸ εἰς αὐτὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος μετατρέπεται εἰς ἔργον.

Ἡ ἰσόθερμος λειτουργία πρέπει νὰ πραγματοποιηθῇ πολὺ βραδέως, ὥστε νὰ δίδεται ὁ ἀπαιτούμενος χρόνος διὰ τὴν μεταφορὰν θερμότητος ἀπὸ ἡ πρὸς τὸ ἀέριον.

Κατὰ τὴν ἰσόθερμον συμπίεσιν τὸ δαπανώμενον ἔργον μετατρέπεται εἰς θερμότητα, ἡ ὁποία τείνει νὰ αὐξήσῃ τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀερίου, ἐπομένως καὶ τὴν θερμοκρασίαν του.

Διὰ νὰ τηρηθῇ ἐπομένως σταθερὰ ἡ θερμοκρασία εἶναι ἀπαραίτη-

τος ή αφαιρέσεις τής θερμότητας αυτής από τὸ ἀέριον κατὰ τὴν διάρκειαν τής συμπίεσεως· διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ ὁμως αὐτὴ εἶναι ἀπαραίτητος ἡ κυκλοφορία ὕδατος ψύξεως πέριξ ἑνὸς κυλίνδρου συμπίεσεως.

Οἱ ἀεροσυμπιεσταὶ ὑπολογίζονται θεωρητικῶς μὲ ἰσόθερμον συμπίεσιν. Εἰς τὴν πρᾶξιν ὁμως ἡ θερμοκρασία δὲν δύναται νὰ τηρηθῇ τελείως σταθερὰ παρὰ μόνον εἰς τὴν περίπτωσιν συμπακνώσεως ἀτμοῦ κατὰ τὴν συμπίεσιν, ἢ τής ἐξατμίσεως ὑγροῦ κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν.

4.7 Ὑπερβολικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ἀερίου.

Ὑπερβολικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως εἶναι ἐκείνη, πού, ὅταν χαρακτηθῇ εἰς ἄξονας P, U , μᾶς δίδει μίαν καμπύλην ὑπερβολὴν ἀκολουθοῦσαν τὸν Νόμον : $P \cdot U = \text{σταθερόν.}$

Ὅταν ὁμως ἡ πίεσις καὶ ὁ ὄγκος ἑνὸς ἀερίου μεταβάλλωνται κατὰ τρόπον, ὥστε τὸ γινόμενον αὐτῶν νὰ εἶναι σταθερόν, τότε καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου θὰ παραμένῃ σταθερὰ (Νόμος Boyle). Ἐπομένως ἡ ὑπερβολικὴ καὶ ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ εἶναι διὰ τὰ ἀέρια ἴδιαι καὶ αἱ ἀλλαγαὶ καταστάσεως τῶν ἀερίων ἀπὸ ἑπτὰ γίνονται ἔξ.

Ὅ,τι ἰσχύει διὰ τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν ἀλλαγὴν, ἰσχύει καὶ διὰ τὴν ὑπερβολικὴν ἀλλαγὴν καταστάσεως προκειμένου ὁμως δι' ἀέρια μόνον καὶ ὄχι δι' ἀτμούς.

4.8 Μαθηματικὴ ἀπόδειξις ἔργου ὑπερβολικῆς ἀλλαγῆς.

Ἡ μαθηματικὴ ἔκφρασις τοῦ ἔργου δι' ὅλας τὰς μορφὰς ἐκτονώσεων δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (48)

$$W = \int_{U_1}^{U_2} P dU. \text{ Λύομεν τὸ ὁλοκλήρωμα αὐτὸ μὲ βάσιν ὅτι εἰς τὴν ἀλλαγὴν}$$

αὐτὴν ἡ καμπύλη ἐκτονώσεως (σχ. 4.5) ἀκολουθεῖ τὸν Νόμον $P \cdot U = \text{σταθερόν, ὁπότε :}$

$$W = \int_{U_1}^{U_2} P \cdot U \cdot \frac{dU}{U} \quad (\text{πολλαπλασιάζομεν καὶ διαιροῦμεν διὰ } U)$$

$$W = P \cdot U \int_{U_1}^{U_2} \frac{dU}{U} \quad (\text{τὸ } PU \text{ ὡς σταθερόν τίθεται ἐκτὸς τοῦ ὁλοκληρώμα-}$$

τος), ἀλλὰ $\frac{dU}{U} = d \ln U$ καὶ

$$W = P \cdot U \int_{U_1}^{U_2} d \ln U \text{ ἔπομένως } W = P \cdot U [\ln U]_{U_1}^{U_2} = P \cdot U (\ln U_2 - \ln U_1) \text{ ἢ}$$

$$W = P \cdot U \ln \frac{U_2}{U_1}, \text{ ἀλλὰ } P \cdot U = P_1 \cdot U_1, \text{ ἄρα}$$

$$W = P_1 \cdot U_1 l_n \frac{U_2}{U_1}, \text{ ή όποία είναι ή ισότης (49).}$$

Έάν ή αλλαγή ήτο υπό σταθεράν πίεσιν, τότε:

$$W = \int_{U_1}^{U_2} P dU = P \int_{U_1}^{U_2} dU = P[U]_{U_1}^{U_2}$$

$$\text{και } W = P (U_2 - U_1), \text{ ή όποία είναι ή ισότης (45).}$$

Παράδειγμα.

Άηρ έκτονουται εις κύλινδρον μηχανής ίσοθερμοκρασιακώς από όγκον $0,2 \text{ m}^3$ και πίεσιν 10 kg/cm^2 εις όγκον $0,8 \text{ m}^3$ και πίεσιν 1 kg/cm^2 . Ποιον τó παραχθέν έργον υπό του αέρος.

Λύσις:

Τό έργον δίδεται έκ της ισότητος (50). Δηλαδή $W = P_1 \cdot U_1 \cdot l_n r$, όπου

$$P_1 = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad \eta \quad 100\,000 \text{ kg/m}^2$$

$$U_1 = 0,2 \text{ m}^3 \quad \text{τό } r = \frac{U_2}{U_1} \quad \text{άγνωστον.}$$

Έπειδι ή έκτόνωσις είναι ίσοθερμοκρασιακή, έχομεν:

$$P_1 \cdot U_1 = P_2 \cdot U_2 \quad \eta \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{10}{1} = 10. \quad \text{Έπομένως:}$$

$W = 100\,000 \times 0,2 \cdot l_n \cdot 10$ αλλά $l_n \cdot 10 = 2,3$ (άπό πίνακα 16 Νεπερείων λογαρίθμων) και

$$W = 100\,000 \times 0,2 \times 2,3 = 46\,000 \text{ kgm} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{kgm} \right).$$

4.9 Άδιαβατική αλλαγή καταστάσεως αερίων.

Άδιαβατική ή *αδιάρθρομος* αλλαγή καταστάσεως ενός αερίου είναι εκείνη, ή όποία έχει τά εξής δύο χαρακτηριστικά:

α) Θερμότης από έξωτερικήν πηγήν ούτε χορηγείται ούτε αφαιρείται από τó αέριον κατά την αλλαγήν αυτήν.

β) Καθώς τó αέριον έκτονουται, παράγει έργον.

Η άδιαβατική αλλαγή, έφ' όσον πραγματοποιείται άνευ τριβών, είναι ιδανική ή αναστρέψιμος.

Ός θά έξηγηθῇ άργότερον, εις την περίπτωσην αυτήν ή *έντροπία* του αερίου τηρείται σταθερά, όποτε ή άδιαβατική αλλαγή όνομάζεται και *ισοτροπική*.

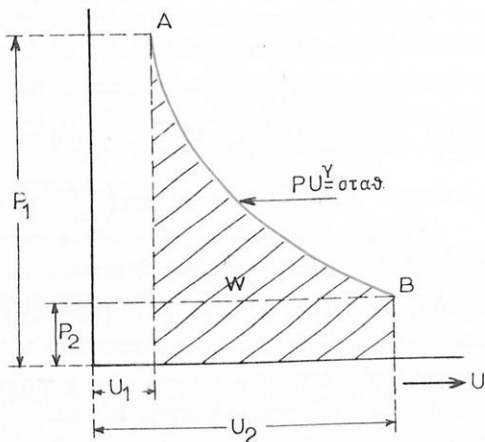
Άρα μέ τόν όρον ίσοτροπική έννοοῦμεν ιδανικήν άνευ τριβών (αναστρέψιμον) άδιαβατικήν αλλαγήν.

Άδιαβατική έκτόνωσις δύναται νά πραγματοποιηθῇ εις μίαν μηχανήν, εάν δέν διέρχεται θερμότης μέσω των τοιχωμάτων του κυλίν-

δρου καὶ παράγεται ἔργον, καθὼς τὸ ἀέριον ἐκτονοῦται. Ἐπειδὴ δὲν χορηγεῖται θερμότης εἰς τὸ ἀέριον, τὸ ἔργον θὰ παράγεται εἰς βάρος τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου. Ἐπομένως κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν θὰ ἔχωμεν πτώσιν θερμοκρασίας τοῦ ἀερίου, ἐνῶ κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν θὰ ἔχωμεν αὐξήσιν αὐτῆς.

Ἡ ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ χαράσσεται εἰς δύο ἄξονας P , U καὶ ἡ καμπύλη της ἀκολουθεῖ τὸν Νόμον $P \cdot U^\gamma = \text{σταθ.}$ (σχ. 4·9α), ὅπου $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, ὡς θὰ ἀποδείξωμεν ἐν συνεχείᾳ.

Διὰ νὰ πραγματοποιηθῇ μία ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ ἀπαιτεῖται εἰς τὴν πρᾶξιν μεγάλη ταχύτης τοῦ ἐμβόλου τῆς μηχανῆς, ὥστε νὰ περιορίζεται εἰς τὸ ἐλάχιστον ἢ μέσω τῶν τοιχωμάτων τοῦ κυλίνδρου μετάδοσις θερμότητος.



Σχ. 4·9 α.

Παραγόμενον ἔργον : Ἡ ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς καμπύλης AB (σχ. 4·9α) παριστᾷ τὸ παραγόμενον ἔργον κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν ἀπὸ A εἰς B ἢ τὸ δαπανώμενον κατὰ τὴν συμπίεσιν ἀπὸ B ἔως A .

Μαθηματικῶς ἀποδεικνύεται (παράγρ. 4·11), ὅτι τοῦτο εἶναι :

$$W = \frac{P_1 \cdot U_1 - P_2 \cdot U_2}{\gamma - 1} \quad (53)$$

ἀλλὰ $P_1 U_1 = BRT_1$ καὶ $P_2 U_2 = BRT_2$ · ἐπομένως καί :

$$W = \frac{BR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad (54)$$

Ἡ ἐλάττωσις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν θὰ εἶναι :

— $E = C_v B (T_1 - T_2)$, ἐπομένως μία ἄλλη ἰσότης τοῦ παραγομένου ἔργου θὰ εἶναι :

$$W = C_v B (T_1 - T_2) \cdot J \quad (55)$$

Ἡ ἀλλοίωσις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν θὰ εἶναι :

Κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἀλλαγὴν μεταβάλλεται ἡ πίεσις, ὁ ὄγκος καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου· ἐπομένως ἐνταῦθα ἰσχύει ἡ ἰσότης (27) :

$$\frac{P_1 \cdot U_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot U_2}{T_2} \quad (\alpha)$$

ἔχομεν ἐπίσης

$$P_1 \cdot U_1^\gamma = P_2 \cdot U_2^\gamma \quad (\beta)$$

Ἐκ τῆς (α) ἔχομεν :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} = r \cdot \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{U_2}{U_1} = \text{βαθμὸς ἐκτονώσεως} = r \right)$$

Ἐκ τῆς (β) ἔχομεν :

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^\gamma = r^\gamma$$

Ἐπομένως :

$$r \cdot \frac{T_1}{T_2} = r^\gamma \quad \eta \quad \frac{T_1}{T_2} = r^{\gamma-1} \quad (56)$$

Μία παρομοία ἰσότης λαμβάνεται ἐκ τῶν (α) καὶ (β) μὲ ὅρους πιέσεως, ἥτοι :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (57)$$

Ἡ ἰσότης (56) ἐκφράζει ὅτι: εἰς μίαν ἀδιαβατικὴν ἀλλαγὴν ὁ λόγος ὑψηλῇ ἀπόλυτος θερμοκρασία πρὸς χαμηλὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν ἰσοῦται μὲ τὸν βαθμὸν ἐκτονώσεως ἢ συμπίεσεως ὑφούμενον εἰς τὴν δύναμιν $(\gamma - 1)$.

Ἀποδείξις ὅτι $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$: Ἐφαρμόζομεν τὴν ἰσότητα (42) διατηρή-

σεως τῆς ἐνεργείας $H = \frac{W}{J} + E$.

Ἀλλὰ εἰς ἀδιαβατικὴν ἀλλαγὴν $H = 0$,

$W = \frac{BR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$ καὶ $E = C_v B (T_2 - T_1)$ ἐπομένως θὰ εἶναι :

β) Εάν P_1 , U_1 , T_1 ή αρχική πίεσις, όγκος, θερμοκρασία και P_2 , U_2 , T_2 αί τιμαί μετά την άδιαβατικήν συμπίεσιν, θά είναι $P_2 U_2^\gamma = P_1 U_1^\gamma$ ή

$$P_2 = P_1 \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^\gamma = 14,7 \times 5^{1,4}$$

$$\log. P_2 = \log. 14,7 + 1,4 \log. 5 = 2,1459 \quad \text{και} \quad P_2 = 139,93 \text{ lb/in}^2.$$

Επίσης εκ της ισότητος (56) έχομεν $\frac{T_2}{T_1} = r^{\gamma-1}$ ή $T_2 = 293,5^{0,4}$ και τη βοήθεια λογαρίθμων εύρισκομεν $T_2 = 557,8^\circ \text{K}$ ή $t_2 = 557,8 - 273 = 284,8^\circ \text{C}$.

γ) Το καταναλωθέν έργον κατά την άδιαβατικήν συμπίεσιν 1,2 (σχ. 4.9β) είναι :

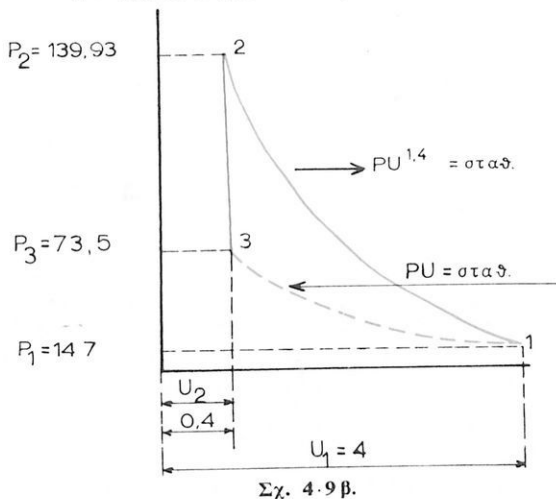
$$W = \frac{P_1 U_1 - P_2 U_2}{\gamma - 1} \quad \eta \quad W = \frac{144(14,7 \times 4 - 139,93 \times 0,8)}{1,4 - 1} = -19\,132 \text{ ft/lb.}$$

Τò ισodύναμον τοῦ έργου αὐτοῦ εἰς θερμότητα θά εἶναι καὶ ἡ αὐξησις τῆς έσωτερικῆς ένεργείας τοῦ αέριου E, ἥτοι $E = \frac{19\,132}{1400} = 13,67 \text{ lbeal.}$

Όταν εἶναι γνωστὸν τὸ E, ἡ τελικὴ θερμοκρασία εἰς τὸ σημεῖον 2 εύρίσκεται ἐπίσης καὶ εκ τῆς σχέσεως $E = C_v B (t_2 - t_1)$.

δ) Ἡ θερμότης, ποὺ αποβάλλεται κατὰ τὴν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 2,3 ψύξιν τοῦ αέριου, εἶναι :

$$H = C_v B (t_2 - t_3), \quad \text{ὅπου} \quad t_3 = t_1 = 20^\circ \text{C} \quad \text{καὶ} \\ H = 0,1718 \times 6,301 \times 264,8 = 13,69 \text{ lbeal.}$$

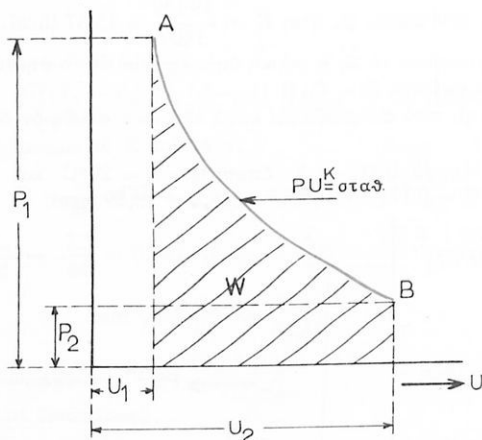


ε) Ἡ τελικὴ πίεσις P_3 μετὰ τὴν ψύξιν εύρίσκεται εκ τῆς σχέσεως $P_1 \cdot U_1 = P_3 \cdot U_3$ διότι τὰ σημεῖα 1 καὶ 3 θά εύρίσκωνται ἐπὶ τῆς ἰσοθερμοκρασιακῆς καμπύλης 1,3, (άφοῦ $t_1 = t_3 = 20^\circ \text{C}$) καὶ $P_3 = \frac{14,7 \times 4}{0,8} = 73,5 \text{ lb/in}^2$.

4.10 Πολυτροπική αλλαγή καταστάσεως αερίων.

Εἰς τοὺς δύο τύπους αλλαγῶν καταστάσεως, ποὺ ἐξητάσαμεν προηγουμένως, ἡ μὲν ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀπαιτεῖ ἰδανικοὺς ὅρους ἐναλλαγῶν θερμότητος μεταξὺ τοῦ αερίου καὶ τοῦ περιβάλλοντος, ἐνῶ ἡ ἀδιαβατικὴ αλλαγή δὲν ἀπαιτεῖ ἐναλλαγὴν θερμότητος. Εἰς τὴν πρῶ- ξιν οὐδεμία τῶν ἰδανικῶν αὐτῶν αλλαγῶν δύναται νὰ πραγματοποιηθῇ πλήρως.

Εἰς τὰς ἐν λειτουργίᾳ μηχανὰς αἱ πραγματικαὶ ἀλλαγαὶ παρί- στανται ὑπὸ καμπυλῶν, αἱ ὁποῖαι πίπτουν μεταξὺ τῶν δύο αὐτῶν ἄκρων. Μία τοιαύτη πραγματικὴ αλλαγή καταστάσεως αερίου ὀνο-



Σχ. 4.10.

μάζεται *πολυτροπικὴ αλλαγή*, ἡ δὲ καμπύλη της ἀκολουθεῖ τὸν Νό- μον $P \cdot U^K = \text{σταθερόν}$, ὅπου ἡ σταθερὰ K ἔχει συνήθως τιμὴν με- ταξὺ 1 καὶ γ . Ὅλοι αἱ ἄλλαι ἀλλαγαὶ καταστάσεως, αἱ ὁποῖαι ἐξητά- σθησαν προηγουμένως, δύναται νὰ χαρακτηρισθοῦν ὡς εἰδικαὶ περι- πτώσεις τῆς πολυτροπικῆς, διότι :

διὰ $K = 0$ ἔχομεν $P U^0 = \text{σταθ.}$ ἢ $P = \text{σταθ.}$

διὰ $K = 1$ ἔχομεν $P U^1 = \text{σταθ.}$ ἢ $P U = \text{σταθ.}$

διὰ $K = \gamma$ ἔχομεν $P U^\gamma = \text{σταθ.}$

διὰ $K = \infty$ ἔχομεν $P U^\infty = \text{σταθ.}$ ἢ $P U^{\frac{1}{\infty}} \cdot U = \text{σταθ.}$ ἢ $U = \text{σταθερόν.}$

Ίσότητες πολυτροπικῆς: Πολλὰ ἰσότητες τῆς ἀδιαβατικῆς ἰσχύουν καὶ διὰ τὴν πολυτροπικὴν, ἐὰν ἀντικατασταθῇ τὸ γ ὑπὸ τοῦ K . Οὕτως τὸ ἔργον :

$$W = \frac{P_1 U_1 - P_2 U_2}{K - 1} \quad \eta \quad (58)$$

$$W = \frac{BR (T_1 - T_2)}{K - 1} \quad (59)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = r^{K-1} \quad (60)$$

$$\eta \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad (61)$$

Καὶ εἰς τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν ἰσχύει ἡ ἰσότης (27) :

$$\frac{P_1 U_1}{T_1} = \frac{P_2 U_2}{T_2}$$

Εἰς τὴν πολυτροπικὴν ἀλλαγὴν ἡ θερμότης, ποὺ χορηγεῖται εἰς τὸ ἀέριον H , εὐρίσκεται μέσω τῆς ἰσότητος (42) διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας :

$$H = \frac{W}{J} + E \quad \eta \quad H = \frac{P_1 U_1 - P_2 U_2}{(K - 1)J} + C_v B(T_2 - T_1) \quad (62)$$

$$\eta \quad H = \frac{BR(T_1 - T_2)}{(K - 1)J} + CB(T_2 - T_1) \quad (63)$$

4.11 Εὑρεσις ἔργου πολυτροπικῆς καὶ ἰσοεντροπικῆς ἀλλαγῆς.

Ἡ πολυτροπικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ἀκολουθεῖ τὸν Νόμον $PU^K = \text{σταθερόν}$ (σχ. 4.5).

Ἡ μαθηματικὴ ἔκφρασις τοῦ ἔργου δι' ὅλας τὰς ἀλλαγὰς καταστάσεως δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (48).

ἦτοι $W = \int_{U_1}^{U_2} P dU$. Πολλαπλασιάζομεν καὶ διαιροῦμεν διὰ U^K καί :

$W = \int_{U_1}^{U_2} PU^K \cdot \frac{dU}{U^K}$. Ἐπειδὴ τὸ PU^K εἶναι σταθερόν, θὰ εἶναι :

$$W = PU^K \int_{U_1}^{U_2} \frac{dU}{U^K} \quad \eta \quad W = PU^K \int_{U_1}^{U_2} U^{-K} \cdot dU$$

$$\text{καὶ } W = PU^K \int_{U_1}^{U_2} \frac{(1 - K) \cdot U^{-K} \cdot dU}{1 - K}$$

$$W = \frac{PU^K}{1 - K} \int_{U_1}^{U_2} dU^{1-K} \quad \text{καὶ}$$

$$W = \frac{PU^K}{1 - K} \left[U^{1-K} \right]_{U_1}^{U_2} = \frac{PU^K}{1 - K} \left(U_2^{1-K} - U_1^{1-K} \right).$$

· Ἀλλὰ $P_1 U_1^K = P_2 U_2^K$. Ἐπομένως, ἐὰν πολλαπλασιάσωμεν ἀναλόγως, ἔχομεν :

$$W = \frac{P_1 U_1 - P_2 U_2}{K - 1}, \text{ ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (58).}$$

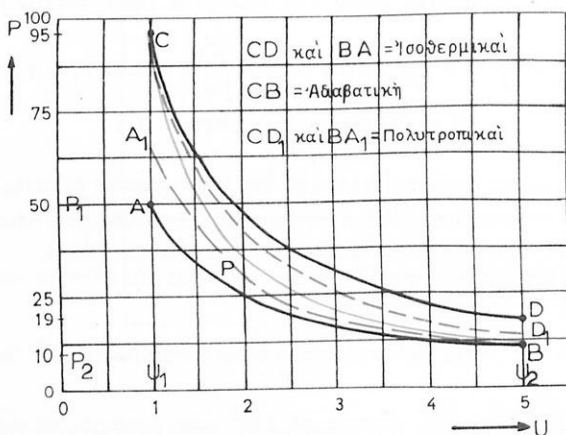
Ἐὰν ἐπαναλάβωμεν τὰς αὐτὰς πράξεις θέτοντες τὴν τιμὴν K ἴσην μὲ γ , θὰ

$$\text{εὔρωμεν: } W = \frac{P_1 U_1 - P_2 U_2}{\gamma - 1}, \text{ ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (53).}$$

4.12 Σύγκρισις ἀδιαβατικῆς, ἰσοθερμοκρασιακῆς καὶ πολυτροπικῆς καμπύλης.

Εἰς τὸ σχῆμα 4.12 ἡ καμπύλη AB παριστᾷ ἰσοθερμοκρασιακὴν (ἢ ὑπερβολικὴν) ἐκτόνωσιν ἑνὸς αἰρίου μὲ γινόμενον $PU = \text{σταθερὰ} = 50$.

Διὰ τὸ αὐτὸ αἶριον ἀλλὰ μὲ διαφορετικὴν σταθερὰν θερμοκρασίαν χαράσσεται παρομοία ἰσόθερμος, ἡ CD . Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον δυνά-



Σχ. 4.12.

μεθα νὰ χαράξωμεν οἷονδήποτε ἀριθμὸν ἰσοθερμικῶν ἀλλαγῶν αὐξάνοντες τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειάν του.

Μὲ τὸν αὐτὸν τώρα βαθμὸν ἐκτονώσεως $\frac{U_2}{U_1} = \frac{5}{1} = 5$, ἐὰν χαραχθῇ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις, αὕτη θὰ παρίσταται ὑπὸ τῆς καμπύλης CB .

Εἰς τὴν ἀδιαβατικὴν αὐτὴν ἐκτόνωσιν τὸ ἔργον παράγεται εἰς βάρος τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ αἰρίου, ἐπομένως ἡ τελικὴ πίεσις

καὶ θερμοκρασία πίπτουν κάτω τῶν ἀντιστοίχων τῆς ἰσοθέρμου ἔκτο-
νώσεως διὰ τὴν αὐτὴν μεταβολὴν τοῦ ὄγκου. Κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν
συμπίεσιν BC τὸ ἔργον, ποὺ δίδεται εἰς τὸ ἀέριον, μετατρέπεται εἰς
θερμότητα. Οὕτως αὐξάνεται ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου μὲ
ἀποτέλεσμα τὴν αὐξήσιν τῆς θερμοκρασίας καὶ τῆς πίεσεως τοῦ ἀε-
ρίου. Κατὰ τὴν ἀντίστοιχον ἰσόθερμον συμπίεσιν μεταξύ τῶν αὐτῶν
ὄγκων ἀπὸ Β εἰς τὸ Α ἡ παραγόμενη θερμότης τῆς συμπίεσεως πρέπει
νὰ ἀφαιρῇται διὰ νὰ τηρῇται ἡ θερμοκρασία σταθερά· ἐπομένως ἡ
καμπύλη τῆς ἰσοθέρμου θὰ εἶναι κάτωθεν τῆς ἀδιαβατικῆς. Γενικῶς :
*ἡ ἀδιαβατικὴ καμπύλη ἔχει περισσότερον ἀπότομον κλίσιν ἀπὸ τὴν ἰσο-
θερμοκρασιακὴν καὶ κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν καὶ κατὰ τὴν συμπίεσιν.*

Ἡ πολυτροπικὴ ἀλλαγὴ $P_1 U_1^K = \text{σταθ.}$ ($K < \gamma$) παρίσταται διὰ
τῆς ἐστιγμένης καμπύλης CD_1 (ἐκτόνωσις) καὶ BA_1 (συμπίεσις) καὶ
πλησιάζει τὴν ἰσόθερμον ἢ τὴν ἀδιαβατικὴν ἀναλόγως πρὸς τὴν τι-
μὴν τοῦ ἐκθέτου K .

4.13 Καθορισμὸς τῆς τιμῆς τοῦ ἐκθέτου K .

Ἐὰν αἱ ἀρχικαὶ καὶ τελικαὶ πιέσεις τῆς πολυτροπικῆς ἀλλαγῆς $P \cdot U^K = \text{σταθ.}$
εἶναι γνωσταί, ἡ τιμὴ τοῦ K εὐρίσκεται ἀπὸ τοὺς λογαρίθμους τῶν τιμῶν
αὐτῶν καὶ εἶναι :

$$K = \frac{\log. \frac{P_2}{P_1}}{\log. \frac{U_1}{U_2}}$$

Ἐστω $P_1 U_1^K = P_2 U_2^K$ λαμβάνομεν τοὺς λογαρίθμους ἀμφοτέρων τῶν
μελῶν τῆς ἰσότητος :

$$\log. P_1 + K \log. U_1 = \log. P_2 + K \log. U_2$$

$$K \log. U_1 - K \log. U_2 = \log. P_2 - \log. P_1$$

$$K \cdot \frac{\log. U_1}{\log. U_2} = \frac{\log. P_2}{\log. P_1}$$

$$K = \frac{\log. \frac{P_2}{P_1}}{\log. \frac{U_1}{U_2}} \quad (64)$$

Διὰ τὸν ἐκθέτην γ τῆς ἀδιαβατικῆς θὰ ἰσχύῃ ἡ αὐτὴ ἰσότης, ἔαν ἀντὶ K λά-
βωμεν γ .

4.14 Ἐλευθέρᾳ ἄνευ ἀντιστάσεως ἐκτόνωσις ἀερίου.

Ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ δὲν παρουσιάζει ἐνδιαφέρον εἰς τὰ ἀέρια, ἀλλὰ εἰς τοὺς
ἀτμοὺς ὑπὸ τὴν ὀνομασίαν *στραγγαλισμός*.

Κατά την αλλαγήν αὐτήν οὔτε δίδεται οὔτε ἀφαιρεῖται θερμότης ἀπὸ τὸ ἀέριον μέσω ἐξωτερικῆς πηγῆς, ἀλλὰ οὔτε καὶ ἔργον ἐξωτερικὸν παράγεται. Ἐπομένως ἐφαρμόζοντες τὴν ἰσότητα διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας

$$H = \frac{W}{J} + E \text{ καὶ ἀφοῦ } H = 0 \text{ καὶ } W = 0, \text{ θὰ ἔχωμεν καί:}$$

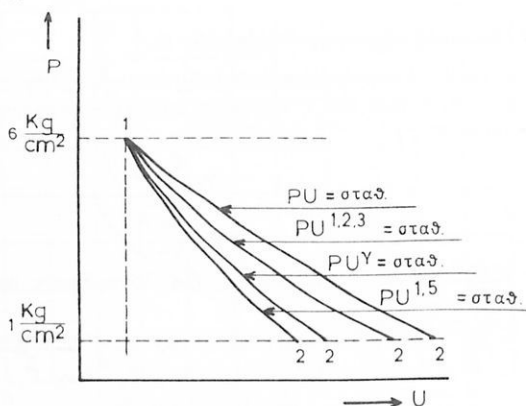
$$E = C_v B (T_2 - T_1) = 0 \quad \eta \quad T_2 - T_1 = 0 \quad \eta \quad T_2 = T_1.$$

Θεωρητικῶς δὲν ἔχομεν πτώσιν θερμοκρασίας εἰς τὴν αλλαγήν αὐτήν ἐνὸς τελείου αερίου.

Ἄν καὶ εἰς τὴν ἐλευθέραν, ἄνευ ἀντιστάσεως, αλλαγήν ἢ θερμοκρασία τοῦ αερίου τηρεῖται, ὡς ἐλέχθη, σταθερά, ἐν τούτοις αὕτη διαφέρει βασικῶς καὶ ἀπὸ τὴν ἰσόθερμον καὶ ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικήν, διότι δὲν παράγεται ἐξωτερικὸν ἔργον κατὰ τὴν αλλαγήν αὐτήν.

Παράδειγμα.

1 kg αέρος ἔκτονοῦται ἐντὸς κυλίνδρου ἀπὸ ἀρχικὴν θερμοκρασίαν 100°C καὶ πίεσιν 6 kg/cm^2 ἀπὸλ. εἰς πίεσιν 1 kg/cm^2 ἀπὸλ. κατὰ τὰς ἐξῆς τέσσαρας ἀλλαγὰς : α) $P \cdot U = \text{σταθερὸν}$. β) $P \cdot U^\gamma = \text{σταθερὸν}$, γ) $P \cdot U^{1,2} = \text{σταθερὸν}$. δ) $P \cdot U^{1,5} = \text{σταθερὸν}$ (σχ. 4·14). Ζητεῖται δι' ἐκάστην ἀλλαγὴν ἢ παράστασις αὐτῆς εἰς



Σχ. 4·14.

ἄξονας P, U , τὸ παραγόμενον ἔργον, ἢ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ αέρος καὶ ἢ θερμότης, ποὺ χορηγεῖται. Ποῖα συμπεράσματα ἐξάγονται ἐκ τῶν ἀποτελεσμάτων; (Διὰ τὸν ἀέρα $R = 29,2 \text{ kgm/kg } ^\circ\text{K}$, $C_v = 0,17$ καὶ $\gamma = 1,4$).

Λύσις :

α) Ἐκ τῆς ἰσότητος (51) ἔχομεν :

$$W = BRT_1 l_n \frac{U_2}{U_1} = BRT_1 \log \frac{P_1}{P_2} = 29,2 \times 373 \times 1,79 = 19\,495,9 \text{ kgm.}$$

$$H = \frac{W}{J} = \frac{19\,495,9}{427} = 45,6 \text{ kcal. Τὸ } E = 0.$$

β) Έκ τῆς ισότητος (57) ἔχομεν :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 6^{\frac{1,4-1}{1,4}} \quad \eta \quad \frac{T_1}{T_2} = 1,7 \quad \text{καὶ}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{1,7} = \frac{373}{1,7} = 219^\circ \text{ K}$$

Έκ τῆς ισότητος (54)

$$W = \frac{BR (T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = \frac{29,2 (373 - 219)}{0,4} = 11\,242 \text{ kgm} \quad \eta$$

$$W = \frac{11\,242}{427} = 26,2 \text{ kcal} \quad \tau\acute{o} \quad H = 0.$$

$$E = C_v B (T_2 - T_1) = 0,17 (219 - 373) = -26,2 \text{ kcal}.$$

$$\gamma) \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} = 6^{\frac{1,2-1}{1,2}} \quad \eta$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 1,35 \quad \text{καὶ} \quad T_2 = \frac{373}{1,35} = 276^\circ \text{ K}$$

$$W = \frac{BR (T_1 - T_2)}{K - 1} = \frac{29,2 (373 - 276)}{0,2} = 14\,162 \text{ kgm}$$

$$E = 0,17 (276 - 373) = -16,49 \text{ kcal}$$

$$H = \frac{W}{J} + E = \frac{14\,162}{427} - 16,49 \quad \text{καὶ}$$

$$H = 33,16 - 16,49 = 13,67 \text{ kcal}.$$

$$\delta) \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1,5-1}{1,5}} = 6^{\frac{1,5-1}{1,5}} \quad \text{καὶ} \quad T_2 = 205^\circ \text{ K}$$

$$W = \frac{29,2 (373 - 205)}{0,5} = 9811,2 \text{ kgm}$$

$$E = 0,17 (205 - 373) = -28,56 \text{ kcal}$$

$$H = \frac{W}{J} + E = \frac{9811,2}{427} - 28,56 \quad \text{καὶ}$$

$$H = 22,98 - 28,56 = -5,58 \text{ kcal}.$$

Συμπέρασμα: Εἰς τὴν περίπτωσιν α) (ισόθερμον) ἔχομεν τὸ μεγαλύτερον ποσὸν παραγομένου ἔργου. Πρέπει ὅμως νὰ χορηγῇται εἰς τὸ ἀέριον ποσὸν θερμότητος ἴσον μὲ τὸ παραγόμενον ἔργον.

Εἰς τὴν περίπτωσιν β) (ἀδιαβατικὴν) τὸ ἔργον προέρχεται μόνον ἀπὸ τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀερίου. Ὡς ἐκ τούτου ἡ ἐκτόνωσις αὐτὴ εἶναι ἡ πλέον συμφέρουσα διὰ μίαν μηχανήν.

Εἰς τὴν περίπτωσιν γ) (πολυτροπικὴν $K < \gamma$) τὸ παραγόμενον ἔργον εἶναι μεγαλύτερον τῆς μεταβολῆς τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου. Ἐπομένως τὸ ἀέριον λαμβάνει θερμότητα ἀπὸ τὰ τοιχώματα τοῦ κυλίνδρου ἢ ἐξ ἄλλης πηγῆς καθὼς ἐκτονοῦται.

Εἰς τὴν περίπτωσιν δ) (πολυτροπικὴν $K > \gamma$) τὸ παραγόμενον ἔργον εἶναι μικρότερον τῆς μεταβολῆς τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας τοῦ αἰρίου, ἐπομένως κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν θερμότης ἀποβάλλεται ἐκ τοῦ αἰρίου πρὸς τὰ τοιχώματα τοῦ κυλίνδρου.

4.15 Ἀσκήσεις.

1) Ὁ ὄγκος καὶ ἡ θερμοκρασία ἐνὸς αἰρίου εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς ἐκτονώσεως εἶναι $0,2 \text{ ft}^3$ καὶ 360°F ἀντιστοίχως καὶ εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως εἶναι $0,85 \text{ ft}^3$ καὶ 72°F . Ἐὰν ἡ ἐκτόνωσις ἀκολουθῇ τὸν Νόμον $P \cdot U^K = \text{σταθερόν}$, ζητεῖται ἡ τιμὴ τοῦ K .
(Ἀπ.: $K = 1,29$)

2) Ὁ βαθμὸς συμπίεσεως μιᾶς βενζινομηχανῆς εἶναι 8,6 πρὸς 1. Εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς συμπίεσεως ἡ πίεσις εἶναι 14 lb/in^2 ἀπολ. καὶ ἡ θερμοκρασία 82°F . Ἐὰν ἡ συμπίεσις ἀκολουθῇ τὸν νόμον $P \cdot U^{1,36} = \text{σταθ.}$, ζητεῖται ἡ πίεσις καὶ ἡ θερμοκρασία εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως.
(Ἀπ.: $261,2 \text{ lb/in}^2$, 716°F)

3) Βάρος $0,1 \text{ lb}$ αἰρίου ἔχει ὄγκον $0,5 \text{ ft}^3$ καὶ ἐκτονοῦται ἐντὸς κυλίνδρου μηχανῆς ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 150 lb/in^2 μέχρι ὄγκου 1 ft^3 . Ἐν συνεχείᾳ τὸ αἷριον ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου μέχρι ὄγκου 5 ft^3 . Ἐάν:

$$C_p = 198 \text{ ftlb/lb } ^\circ\text{F} \quad \text{καὶ} \quad C_v = 144 \text{ ftlb/lb } ^\circ\text{F}$$

ζητεῖται: α) Ἡ χάραξις τῶν μεταβολῶν αὐτῶν εἰς ἄξονας P, U . β) Ἡ θερμοκρασία τοῦ αἰρίου εἰς τὸ τέλος τῆς ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἐκτονώσεως, τὸ χορηγηθὲν ποσὸν θερμότητος καὶ τὸ παραχθὲν ἔργον. γ) Ἡ θερμοκρασία τοῦ αἰρίου εἰς τὸ τέλος τῆς ἀδιαβατικῆς ἐκτονώσεως καὶ τὸ παραχθὲν ἔργον.

$$(Ἀπ.: 3540^\circ\text{F}, 50,9 \text{ BTU}, 10\,800 \text{ ftlb}, 1728^\circ\text{F}, 26\,093 \text{ ftlb})$$

4) Ὁγκος 3 ft^3 ὑδρογόνου πίεσεως 15 lb/in^2 ἀπολύτου, θερμοκρασίας 18°C συμπίεζεται ἀδιαβατικῶς εἰς πίεσιν 200 lb/in^2 ἀπόλ. Ἐν συνεχείᾳ τὸ ὑδρογόνον ἐκτονοῦται ἰσοθερικῶς μέχρι τοῦ ἀρχικοῦ ὄγκου του 3 ft^3 . Ζητεῖται: α) Ἡ πίεσις τοῦ αἰρίου μετὰ τὴν ἰσόθερμον ἐκτόνωσιν. β) Τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος κατὰ τὴν ἰσόθερμον ἐκτόνωσιν. γ) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἀπὸ τὸ ὑδρογόνον μετὰ τὴν ἐκτόνωσιν, ὥστε ἡ πίεσις του νὰ κατέλθῃ εἰς τὴν ἀρχικὴν 15 lb/in^2 . δ) Ἡ παράστασις τῶν μεταβολῶν αὐτῶν εἰς ἄξονας P, U .

$$(Ἀπ.: \alpha = 31,75 \text{ lb/in}^2 \text{ ἀπόλ. } \beta = 18,03 \text{ lbc} \quad \gamma = 12,68 \text{ lbc})$$

[Προσοχὴ διὰ τὰς ἀπαντήσεις α) καὶ γ) ὑπάρχουν δύο τρόποι λύσεως, νὰ χρησιμοποιοῦν ἀμφότεροι].

5) Ἐὰν ἐν αἷριον ἐκτονοῦται ὑπερβολικῶς, τότε θὰ δώσῃ περισσότερον ἔργον, ὅταν τοῦ χορηγηθῶν:

$$2000 \text{ BTU ἀνὰ lb ἢ } 1800 \text{ lbc} \text{ ἀνὰ lb ἢ } 500 \text{ kcal ἀνὰ kg}$$

$$(Ἀπ.: Ἐὰν τοῦ χορηγηθῶν 2000 BTU ἀνὰ lb)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 5

ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ

5.1 Γενικά.

Διὰ νὰ λειτουργήσῃ μία μηχανή, ποὺ θὰ μετατρέπῃ συνεχῶς τὴν θερμικὴν εἰς μηχανικὴν ἐνέργειαν, εἶναι βασικῶς ἀπαραίτητον νὰ ἀποκαθίσταται περιοδικῶς εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του τὸ ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον (π.χ. ἀέριον ἢ ἀτμός).

Τὸ ἐργαζόμενον μέσον (ἀέριον ἢ ἀτμός) ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου μιᾶς μηχανῆς ὑφίσταται σειρὰν ἀλλαγῶν καταστάσεων, ποὺ ἀποτελοῦν ἓν κλειστὸν κύκλωμα, εἰς τὸ τέλος τοῦ ὁποίου τὸ ἀέριον ἔχει ἐπανέλθει εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του καὶ τὸ κύκλωμα ἐπαναλαμβάνεται.

Ἐὰν ἀντὶ τῶν ἀλλαγῶν αὐτῶν ἐπραγματοποιεῖτο μία μόνον ἀλλαγὴ, οὐδὲν θετικὸν ἔργον θὰ παρῆχεν ἡ μηχανή. Τοῦτο καθίσταται φανερόν, ἐὰν ὡς παράδειγμα λάβωμεν τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν ἐκτόνωσιν ἑνὸς αἰρίου (παράγρ. 4·6), κατὰ τὴν ὁποίαν ὁλόκληρον τὸ ποσὸν τῆς χορηγουμένης θερμότητος μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον. Συγχρόνως ὁμως τὸ ἀέριον ἐκτονοῦται ἀπὸ ὑψηλὴν εἰς χαμηλὴν πίεσιν. Διὰ νὰ ἐπανέλθῃ τὸ ἀέριον εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του (P, U, T), θὰ ἀπαιτηθῇ κατανάλωσις μηχανικοῦ ἔργου ἐπὶ τοῦ αἰρίου, καὶ τὸ τελικὸν κέρδος θὰ εἶναι μηδέν.

Τὸ κλειστὸν κύκλωμα λειτουργίας ἡ ὁ κύκλος μιᾶς μηχανῆς ὀνομάζεται *θερμοδυναμικὸς ἢ θερμικὸς κύκλος μηχανῆς*. Ὁ τύπος μιᾶς μηχανῆς ἔχει σχέσιν μὲ τὸν τύπον τοῦ θερμικοῦ κύκλου τῆς. Ἡ ἀνάπτυξις ἑνὸς θερμικοῦ κύκλου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τοὺς κάτωθι βασικοὺς παράγοντας :

- α) Ἐν θερμοδυναμικὸν ἐργαζόμενον σῶμα.
- β) Μίαν μηχανήν.
- γ) Μίαν ὑψηλῆς θερμοκρασίας πηγὴν θερμικῆς ἐνεργείας.
- δ) Μίαν χαμηλῆς θερμοκρασίας δεξαμενὴν - συλλέκτην θερμικῆς ἐνεργείας.
- ε) Μίαν ἀντλίαν.
- στ) Ἐὰν ὁ θερμικὸς κύκλος εἶναι κλειστὸς ἢ ἀνοικτός.

Τὸ ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον δύναται νὰ εἶναι ὑγρόν, ἀτμὸς ἢ ἀέριον καὶ εἶναι ὁ φορεὺς τῆς ἐνεργείας εἰς ὁλόκληρον τὸν κύκλον.

Αἱ ἐγκαταστάσεις ὑδρατμοῦ π.χ. ἔχουν ὕδωρ ὡς ἐργαζόμενον μέσον, ἐνῶ αἱ μηχαναὶ ἐσωτερικῆς καύσεως ἔχουν βασικῶς ἀέρα.

Ἡ μηχανὴ εἶναι ἐν σύνολον ἐξαρτημάτων, ποὺ μετατρέπει τὴν θερμικὴν ἐνέργειαν εἰς μηχανικὴν· ἡ μηχανὴ δύναται νὰ εἶναι *παλινδρομικὴ* (ἀτμομηχανὴ ἢ μηχανὴ ἐσωτερικῆς καύσεως) ἢ *περιστροφικὴ* (ἀτμοστρόβιλος ἢ ἀεριοστρόβιλος).

Ἡ *πηγὴ θερμικῆς ἐνεργείας* εὐρισκομένη εἰς ὑψηλὴν θερμοκρασίαν, ὅπως π.χ. τὰ παράγωγα καύσεως ἐντὸς τῆς ἐστίας λέβητος, τροφοδοτεῖ μὲ ἐνέργειαν (ὑπὸ μορφήν θερμότητος) τὸ ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον.

Ἡ *δεξαμενὴ-συλλέκτης* δέχεται ἐνέργειαν (ὑπὸ μορφήν θερμότητος) ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον καὶ εἶναι ἡ ἀτμόσφαιρα διὰ τὰς μηχανὰς ἐσωτερικῆς καύσεως ἢ ἡ θάλασσα διὰ τὰ ἀτμοκίνητα πλοῖα.

Ἡ *ἀντλία* χρησιμεύει διὰ νὰ μετακινή τὸ ἐργαζόμενον μέσον ἀπὸ τὴν χαμηλὴν πίεσιν τῆς ἐγκαταστάσεως εἰς τὴν ὑψηλὴν. Ἡ ἀντλία εἶναι βασικώτατον ἐξάρτημα κυρίως εἰς τὰς περιστρεφόμενας μηχανάς, ὅπως π.χ. οἱ ἀτμοστρόβιλοι, ἐντὸς τῶν ὁποίων ὁ ἀτμὸς ἐκτονοῦται ἀπὸ ὑψηλὴν εἰς χαμηλὴν πίεσιν, ὅποτε ἡ ἀντλία εἶναι ἀπαραίτητος διὰ νὰ ἐπαναφέρῃ τὸ ἐργαζόμενον μέσον (ὡς ὕδωρ πλέον) εἰς τὴν ὑψηλὴν πίεσιν.

Εἰς τὰς παλινδρομικὰς μηχανὰς ἐσωτερικῆς καύσεως, ἐπειδὴ ὅλος ὁ κύκλος πραγματοποιεῖται ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου, αἱ ἴδιαι αἱ μηχαναὶ δροῦν καὶ ὡς ἀντλίας. Εἰς τὰς μηχανὰς ἐπομένως αὐτὰς ἡ ἀντλία ὡς βασικὴ προϋπόθεσις τοῦ κύκλου δὲν ὑπάρχει.

Ἡ *Ἀνοικτὸς κύκλος*· ὑπὸ τὴν ὀνομασίαν αὐτὴν εἰς τὴν Θερμοδυναμικὴν ἐννοεῖται ὁ κύκλος, εἰς τὸν ὁποῖον ἡ ἀτμόσφαιρα χρησιμοποιεῖται διὰ νὰ συμπληρωθῇ ἢ, ὅπως ἄλλως λέγομεν διὰ νὰ κλείσῃ ὁ κύκλος. Οὕτω π.χ. εἰς μίαν μηχανὴν ἐσωτερικῆς καύσεως, εἰς τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ἀτμοσφαιρικός ἀήρ διὰ τὴν καῦσιν, τὰ καυσάερια ἐπιστρέφουν πάλιν εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν, ὅπου καὶ κλείει ὁ κύκλος.

Ἡ *Κλειστὸς κύκλος* εἶναι ἐκεῖνος, εἰς τὸν ὁποῖον τὸ ἐργαζόμενον μέσον οὐδέποτε ἐγκαταλείπει τὸ σύστημα (ἐκτὸς τῶν ἀναποφεύκτων διαρροῶν), ὅπως π.χ. συμβαίνει εἰς μίαν ἐγκατάστασιν ἀτμοῦ εἰς πλοῖον.

Οί θεωρητικοί θερμικοί κύκλοι τῶν μηχανῶν ἐσωτερικῆς καύσεως ὑπολογίζονται ἐπίσης ὡς *κλειστοί*.

5.2 Ἰδανικὴ ἀπόδοσις θερμικοῦ κύκλου.

Κατὰ τὴν ἀνάπτυξιν τοῦ κύκλου μιᾶς θερμικῆς ἐγκαταστάσεως τὸ ἐργαζόμενον μέσον λαμβάνει εἰς μίαν ὠρισμένην φάσιν ἓν ποσὸν θερμότητος. Μέρος τῆς θερμότητος αὐτῆς μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον ἐντὸς τῆς μηχανῆς, ἐνῶ τὸ ὑπόλοιπον ἀποβάλλεται ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον εἰς τὴν δεξαμενὴν - συλλέκτην (ἀτμόσφαιραν ἢ θάλασσαν) καὶ οὕτω κλείει ὁ θερμικὸς κύκλος, δηλαδὴ τὸ ἐργαζόμενον μέσον ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του καὶ ὁ κύκλος ἐπαναλαμβάνεται.

Ἐὰν δεχθῶμεν ὅτι οὐδεμία ἀπώλεια θερμικὴ ὑπάρχει κατὰ τὴν πραγματοποιήσιν ἑνὸς θερμικοῦ κύκλου καὶ ἔαν:

H_1 εἶναι τὸ χορηγηθὲν εἰς τὸ ἐργαζόμενον μέσον ποσὸν θερμότητος καὶ H_2 ἡ ἀποβληθεῖσα ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον θερμότης, τότε ἡ διαφορὰ $H_1 - H_2$ θὰ εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποῦ μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον ἢ $W = H_1 - H_2$ (εἰς μονάδας θερμότητος). Ἡ ἀπόδοσις η_θ τῆς ἐγκαταστάσεως ἀνὰ κύκλον λειτουργίας θὰ εἶναι ὁ λόγος:

$$\eta_\theta = \frac{\text{λαμβανόμενον ἔργον}}{\text{δαπανηθεῖσα θερμότης}} \quad \eta$$

$$\eta_\theta = \frac{\text{χορηγηθεῖσα θερμότης} - \text{ἀποβληθεῖσα θερμότης}}{\text{χορηγηθεῖσα θερμότης}} \quad \eta$$

$$\eta_\theta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \quad (65)$$

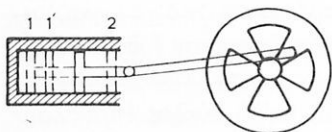
Ἡ ἰσότης (65) εἶναι ἡ γενικὴ ἰσότης, διὰ τῆς ὁποίας ὑπολογίζεται ἡ ἰδανικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις οἰουδήποτε θερμικοῦ κύκλου.

5.3 Θερμοδυναμικὴ ἀναστρεψιμότης.

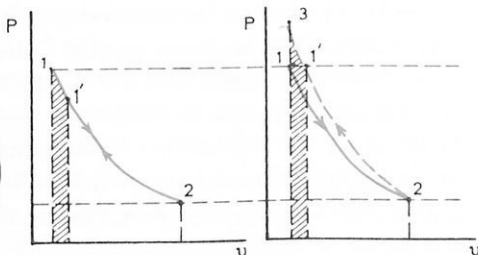
Εἰς τὴν παράγραφον 4.1 ἀνεφέρθη ὅτι μὲ τὸν ὅρον *ἀναστρέψιμον* ἐννοοῦμεν μίαν ἰδανικὴν θερμοδυναμικὴν λειτουργίαν. Ἡ λειτουργία αὕτη, ὡς ἰδανικὴ, θὰ εἶχεν ὡς ἀποτέλεσμα τὴν καλυτέραν ἀπόδοσιν τῆς μηχανῆς, ἐὰν βεβαίως ἡδύνατο νὰ πραγματοποιηθῇ. Ἐὰν ἀποδειχθῇ ὅτι μία ἰδανικὴ μηχανὴ δὲν δύναται νὰ ἔχῃ ἀπόδοσιν 100%, τότε ἀκόμη περισσότερον δὲν θὰ δύναται νὰ ἔχῃ τὴν ἀπόδοσιν αὐτὴν μία

πραγματική μηχανή, ή όποια, ώς είναι αυτονόητον, θά ἔχη ἀπόδοσιν μικρότεράν τῆς ἰδανικῆς.

Τὴν ἀναστρεψιμότητα δυνάμεθα νὰ κατατάξωμεν εἰς δύο κατηγορίας : *μηχανικὴν* καὶ *θερμικὴν*.



Σχ. 5.3 α.



Σχ. 5.3 β.

Σχ. 5.3 γ.

Μηχανικὴ ἀναστρεψιμότης.

Ἐστω ὅτι τὸ σχῆμα 5.3 α παριστᾷ κύλινδρον μηχανῆς, τῆς ὁποίας τὸ ἔμβολον μὲ κατάλληλον μηχανισμόν συνδέεται μὲ ἕνα σφόνδυλον.

Ἐὰν δὲν ὑπάρχουν τριβαὶ εἰς τὰ κινούμενα μέρη τῆς μηχανῆς, τότε ὅλον τὸν ἔργον ἀπὸ 1 εἰς 2 (σχ. 5.3 β) τῆς ἔκτονώσεως τοῦ αἰρίου ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου θά ἀποθηκεύεται ὡς κινητικὴ ἐνέργεια εἰς τὸν σφόνδυλον κατὰ τὴν πρὸς τὰ δεξιὰ κίνησιν τοῦ ἐμβόλου.

Κατὰ τὴν ἀναστροφὴν τῆς πορείας τοῦ ἐμβόλου πρὸς τὰ ἀριστερά, ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τοῦ σφονδύλου ἐπιστρέφει εἰς τὸ αἶριον, ὅποτε καὶ ὁ μηχανισμός καὶ τὸ αἶριον ἀκολουθοῦν τὸν αὐτὸν δρόμον ἐπιστροφῆς καὶ καταλήγουν εἰς τὸ ἀρχικὸν σημεῖον, ἀπὸ τὸ ὁποῖον καὶ ἐξεκίνησαν (σημεῖον 1, σχ. 5.3 α καὶ 5.3 β).

Τοῦτο εἶναι τυπικὸν παράδειγμα τῆς λεγομένης ἐξωτερικῆς ἀναστρεψιμότητος.

Ἐὰν ὁμως ὑπάρχουν τριβαὶ εἰς τὸν μηχανισμόν, τότε μέρος τῆς ἐνεργείας, ἡ ὁποία ἔπρεπε νὰ μεταβληθῇ εἰς μηχανικὸν ἔργον, θά μεταβάλλεται εἰς ἄχρηστον θερμότητα. Ἡ θερμότης αὕτη μεταδίδεται εἰς τὸ περιβάλλον ἢ ἀποθηκεύεται εἰς τὸ μεταλλικὸν ὑλικὸν τοῦ μηχανισμοῦ. Τώρα ἡ ἐν ἀποθηκεύσει κινητικὴ ἐνέργεια εἰς τὸν σφόνδυλον εἶναι μικρότερα ἀπὸ ὅ,τι ἦτο προηγουμένως. Ἐπομένως κατὰ τὴν ἀναστροφὴν πορείας οὔτε τὸ ἔμβολον οὔτε τὸ αἶριον θά καταλήξουν εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν των 1, ἀλλὰ θά φθάσουν χαμηλότερα, ἔστω

εἰς τὸ 1', καίτοι ἀκολουθεῖται ὁ αὐτὸς δρόμος ἐπιστροφῆς ἀπὸ τὸ 2 πρὸς τὸ 1 (σχ. 5·3β).

Λόγω ἐπομένως τῶν τριβῶν τοῦ μηχανισμοῦ ἡ ἀναστρεψιμότης δὲν πραγματοποιεῖται. Διὰ νὰ συμπληρωθῇ ἡ λειτουργία, πρέπει νὰ προστεθῇ ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν ἡ ἐπὶ πλέον ἀπαιτούμενη ἐνέργεια. Κάτι δηλαδὴ πρέπει νὰ ἀλλάξῃ ἐξωτερικῶς τοῦ συστήματος.

Ἔστω τώρα ὅτι ὁ μηχανισμὸς εἶναι ἄνευ τριβῶν, δηλαδὴ τὸ μὲν σύστημα εἶναι ἐξωτερικῶς ἀναστρέψιμον, ἀλλὰ ὑπάρχουν τριβαὶ εἰς τὸ ἀέριον, καθὼς συμπίεζεται ἀπὸ 2 εἰς 1. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὕτην εἶναι φανερόν ὅτι κατὰ τὴν συμπίεσιν τὸ ἀέριον ἐκτὸς τῆς ἐνεργείας, ποὺ θὰ ἀποθηκεύῃ λόγω τοῦ ἔργου συμπίεσεως, θὰ θερμαίνεται ἐπίσης λόγω τῶν τριβῶν. Τότε καὶ ὁ δρόμος ἐπιστροφῆς εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν μεταβάλλεται ἀπὸ 2-1 εἰς 2-1' ἢ 2-3 (σχ. 5·3γ) καὶ τὸ ἀέριον δὲν ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του 1, ὁπότε πάλιν δὲν πραγματοποιεῖται ἡ ἀναστρεψιμότης.

Ἐὰν τὸ ἀέριον φθάσῃ εἰς τὴν κατάστασιν 1' ἀντὶ τῆς 1, τότε καὶ ὁ μηχανισμὸς δὲν ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν θέσιν του.

Διὰ νὰ καταλάβῃ τὸ ἀέριον τὸν αὐτὸν ἀρχικὸν ὄγκον (σημεῖον 3), ὁπότε ὁ μηχανισμὸς ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν θέσιν του, πρέπει νὰ δοθῇ εἰς τὸν μηχανισμὸν ἐπὶ πλέον ποσὸν ἐνεργείας, ὥστε, ἀντὶ τῆς πίεσεως τοῦ σημείου 1, νὰ δυνηθῇ νὰ ἀναβιβάξῃ τὴν πίεσιν τοῦ αἰρίου εἰς τὴν ἀντίστοιχον τοῦ 3. Ὡς συμπέρασμα τῶν ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι: *Ἀναστρεψιμότης σημαίνει ἐπιστροφή εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν διὰ τῆς αὐτῆς ἀρχικῆς ὁδοῦ, χωρὶς τίποτε νὰ ἀλλάξῃ ἐξωτερικῶς τοῦ συστήματος. Μὴ ἀναστρεψιμότης ἐξ ἄλλου σημαίνει ἐλάττωσιν τοῦ ἔργου, ὡς τοῦτο δεικνύεται εἰς τὸ γραμμοσκιασμένον τμήμα τῶν σχημάτων 5·3β καὶ 5·3γ.*

Θερμικὴ ἀναστρεψιμότης.

Διὰ νὰ εἶναι ἓν φαινόμενον θερμικῶς ἀναστρέψιμον θὰ πρέπει νὰ ἰσχύῃ ἡ αὐτὴ ὡς προηγουμένως ἀρχή, δηλαδὴ *ἐπαναφορὰ τοῦ θερμογενέτος αἰρίου εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του, ἄνευ ἐνδεμιᾶς μεταβολῆς τοῦ συστήματος, ποὺ περιβάλλει τὸ θερμοδυναμικὸν μέσον (αἶριον).*

Ἐπομένως διὰ νὰ ὑπάρχῃ θερμικὴ ἀναστρεψιμότης θὰ πρέπει τὸ θερμαίνον σῶμα καὶ τὸ θερμαινόμενον ἀέριον νὰ ἔχουν εἰς οἵανδήποτε στιγμὴν τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ θερμαίνοντος σώματος εἶναι μεγαλυτέρα

ἀπὸ τὴν τοῦ θερμαινομένου αἰρίου, τότε θερμότης μεταφέρεται ἀπὸ τὸ πρῶτον εἰς τὸ δεύτερον. Ὄταν ὅμως ἀναστραφῇ ἡ λειτουργία, θερμότης θὰ πρέπει νὰ ἐπιστραφῇ ἀπὸ τὸ αἶριον εἰς τὸ θερμὸν σῶμα, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον εἶναι ἀδύνατον, διότι τοῦτο εὐρίσκεται εἰς ὑψηλότεραν θερμοκρασίαν.

Ἐφ' ὅσον ἀφαιρεθῇ τὸ θερμὸν σῶμα καὶ εἰς τὴν θέσιν του τοποθετηθῇ ψυχρὸν μικροτέρας θερμοκρασίας τῆς τοῦ αἰρίου, τότε θερμότης θὰ μεταφερθῇ ἀπὸ τὸ δεύτερον εἰς τὸ πρῶτον. Ἡ ἀλλαγὴ ὅμως εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν δὲν θὰ εἶναι ἀναστρέψιμος, διότι ἐπῆλθε μεταβολὴ (ἀπὸ θερμὸν εἰς ψυχρὸν σῶμα) εἰς τὸ σύστημα, ποῦ περιβάλλει τὸ θερμοδυναμικὸν μέσον.

Διὰ νὰ τηρῇται ἐπίσης ὁ ὅρος τῆς θερμικῆς ἀναστρεψιμότητος πρέπει τὸ αἶριον νὰ συμπιέζεται καὶ νὰ ἐκτονοῦται ἄνευ ἐσωτερικῶν τριβῶν. Ἐκ τῶν ἀνωτέρω καθίσταται φανερόν ὅτι: ἡ ἰδανικὴ ἢ ἀναστρέψιμος ἀλλαγὴ εἶναι καθαρῶς ὑποθετικὴ, διότι, διὰ νὰ πραγματοποιηθῇ, ἀπαιτεῖται ἔλλειψις παντελῶς «τριβῶν» εἰς τὸ σύστημα καὶ δὲν πρέπει νὰ ὑπάρχῃ διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ θερμοαἰνόντος καὶ θερμαινόμενου σώματος.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συμπεραίνεται ὅτι ἰδανικὴ ἢ ἀναστρέψιμος ἀλλαγὴ δὲν δύναται νὰ πραγματοποιηθῇ εἰς τὴν πρᾶξιν.

5.4 Ἀναστρεψιμότης καὶ θερμοδυναμικαὶ ἀλλαγαὶ καταστάσεως.

Ἄς ἐξετάσωμεν ἐκάστην θερμοδυναμικὴν ἀλλαγὴν, διὰ νὰ ἴδωμεν πῶς δυνάμεθα νὰ τὴν πλησιάσωμεν πρὸς τὴν ἀναστρέψιμον.

α) Ἀδιαβατικὴ. Εἰς αὐτὴν δὲν ὑπάρχει μεταφορὰ θερμότητος ἀπὸ ἢ εἰς ἐξωτερικὴν πηγὴν ἐκ τοῦ ἐργαζομένου μέσου, ἐπομένως, ἂν δὲν ὑπάρχουν ἐσωτερικαὶ τριβαί, ἡ ἀλλαγὴ θὰ εἶναι θερμοδυναμικῶς ἀναστρέψιμος.

β) Ἰσόθερμος. Κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν ἡ μεταφορὰ θερμότητος ἀπὸ τὴν θερμὴν πηγὴν εἰς τὸ ἐργαζόμενον μέσον γίνεται ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν. Ἐὰν δεχθῶμεν ὅτι καὶ ἡ θερμοαἰνούσα πηγὴ καὶ τὸ θερμοαἰνόμενον μέσον ἔχουν τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν, ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ εἶναι θεωρητικῶς ἀναστρέψιμος.

γ) Σταθερὰ πίεσις, Σταθερὸς ὄγκος. Πολυτροπικὴ. Οὐδεμία ἀπὸ τὰς ἀλλαγὰς αὐτὰς εἶναι ἀναστρέψιμος. Δύναται ὅμως νὰ πλησιάσουν τὴν ἀναστρέψιμον, ἂν δὲν ὑπάρχουν ἐσωτερικαὶ τριβαί· εἰς τὸ ἐργαζό-

μενον μέσον και ἔαν ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ θερμῆς πηγῆς καὶ θερμαινομένου μέσου εἶναι ὅσον τὸ δυνατόν μικροτέρα.

Εἰς τὴν πρᾶξιν καταβάλλεται πάντοτε προσπάθεια, ὅπως τὸ θερμαινόμενον ἀέριον εὐρίσκεται εἰς τὴν ὑψηλοτέραν δυνατὴν θερμοκρασίαν, ὅταν λομβάνῃ τὴν θερμότητα καὶ εἰς τὴν χαμηλοτέραν δυνατὴν, ὅταν ἀποβάλλῃ θερμότητα.

δ) *Ἐλευθέρα ἀνεν ἀντιστάσεως ἀλλαγὴ ἢ στραγγαλισμός.* Ἡ ἀλλαγὴ αὐτή, ἡ ὁποία κυρίως χαρακτηρίζεται ἀπὸ τριβάς, οὔτε εἶναι, οὔτε δύναται ὑπὸ οἰασδήποτε συνθήκας νὰ γίνῃ ἀναστρέψιμος. Οὐδέποτε δηλαδὴ ἀέριον ἢ ἀτμός δύναται νὰ ἐπανέλθῃ εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του διὰ στραγγαλισμοῦ.

Ἡ ἐντροπία ἑνὸς συστήματος (Κεφάλ. 7), ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀναστρεψίμους ἀλλαγάς, δὲν μεταβάλλεται, ἐνῶ ἡ ἐντροπία συστήματος μὲ μὴ ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως αὐξάνει. Τοῦτο ἐπηρεάζει τὴν ἀπόδοσιν τοῦ συστήματος, ὡς θὰ ἐξηγηθῇ βραδύτερον.

Εἰς θεωρητικὸς θερμικὸς κύκλος μὲ ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως εἶναι ὁ κύκλος τοῦ Carnot.

5.5 Κύκλος τοῦ Carnot.

Ὁ κύκλος αὐτὸς ἐπενοήθη ὑπὸ τοῦ Carnot τὸ ἔτος 1824.

Ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως καὶ ὡς ἐκ τούτου ἔχει τὴν μεγίστην δυνατὴν θερμικὴν ἀπόδοσιν ἀπὸ οἰονδήποτε ἄλλον κύκλον.

Ὁ κύκλος ἀρχίζει ἀπὸ τὸ σημεῖον α (σχ. 5.5). Ὁ κύλινδρος περιέχει ποσότητα ἀέρος ἀπολύτου θερμοκρασίας T_1 , πίεσεως P_1 καὶ ὄγκου U_1 . Μία πηγὴ θερμότητος καὶ θερμοκρασίας T_1 τοποθετεῖται εἰς τὸ ἄκρον τοῦ κυλίνδρου καὶ ὁ ἀήρ ἐκτονοῦται ἰσοθερμικῶς κατὰ τὴν αβ, ἐνῶ συγχρόνως θερμότης ρεεῖ ἀπὸ τὸ θερμὸν σῶμα εἰς τὸν ἀέρα.

Καθὼς ὁ ἀήρ ἐκτονοῦται, ὥθει τὸ ἔμβολον πρὸς τὰ δεξιὰ καὶ οὕτω πραγματοποιεῖται μηχανικὸν ἔργον. Εἰς τὸ σημεῖον β ἀφαιρεῖται τὸ θερμὸν σῶμα ἀπὸ τὸ ἄκρον τοῦ κυλίνδρου καὶ ὁ ἀήρ συνεχίζει νὰ ἐκτονοῦται κατὰ τὴν βc ἀδιαβατικῶς, ἐνῶ τὸ ἔμβολον συνεχίζει τὴν πρὸς τὰ δεξιὰ πορείαν του καὶ τὸ ἔργον παράγεται εἰς βάρος τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀέρος. Ἡ θερμοκρασία του πίπτει εἰς T_2 , ἐνῶ ἡ πίεσις γίνεται P_2 καὶ ὁ ὄγκος U_2 (σημεῖον c).

Τοποθετεῖται τῶρα ἐν ψυχρὸν σῶμα εἰς τὸ ἄκρον τοῦ κυλίνδρου θερμοκρασίας T_2 καὶ τὸ ἔμβολον ἀναστρέφει πορείαν συμπιέζον τὸν

Ἀπόδειξις ισότητος (66).

Ἐστω $P_1 \cdot U_1 \cdot T_1$ ἡ κατάσταση τοῦ ἀέρος εἰς τὸ α
 $P_2 \cdot U_2 \cdot T_2$ ἡ κατάσταση τοῦ ἀέρος εἰς τὸ β
καὶ $r = \frac{U_b}{U_\alpha} =$ βαθμὸς ἰσοθερμοκρασιακῆς ἐκτονώσεως.

Ἐὰν $\frac{U_c}{U_d} =$ βαθμὸς ἰσοθερμικῆς συμπίεσεως cd, θὰ εἶναι : $\frac{U_c}{U_d} = \frac{U_b}{U_\alpha} = r$
διότι ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν ἔχομεν :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{U_c}{U_b} \right)^{\gamma-1} \quad (\text{ισότης 56}).$$

ἐπίσης ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν da ἔχομεν :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{U_d}{U_\alpha} \right)^{\gamma-1}$$

ἐπομένως καί :

$$\frac{U_c}{U_b} = \frac{U_d}{U_\alpha} \quad \eta \quad \frac{U_b}{U_\alpha} = \frac{U_c}{U_d} = r.$$

Ὁ βαθμὸς ἐπομένως ἐκτονώσεως μιᾶς μηχανῆς εἶναι ὁ αὐτὸς μὲ τὸν βαθμὸν συμπίεσεως.

Τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος H_1 ἀπὸ α εἰς β θὰ εἶναι ἴσον μὲ τὸ παραγόμενον ἔργον, ἀφοῦ ἡ ἐκτόνωσις εἶναι ἰσοθερμικὴ (ισότης 50), ἥτοι $H_1 = P_1 U_1 l_1 r = BRT_1 l_1 r$.

Ἐπίσης ἡ θερμότης H_2 , ποὺ ἀποβάλλεται κατὰ τὴν ἰσόθερμον συμπίεσιν cd, θὰ ἰσοῦται μὲ τὸ ἔργον συμπίεσεως, ἥτοι :

$$H_2 = P_2 U_2 l_2 r = BRT_2 l_2 r.$$

Ἀντικαθιστῶμεν τὰς τιμὰς H_1 καὶ H_2 εἰς τὴν ἰσότητα (65) καὶ ἔχομεν :

$$\eta_\theta = \frac{BRT_1 l_1 r - BRT_2 l_2 r}{BRT_1 l_1 r}$$

$$\eta_\theta = \frac{BR l_1 r (T_1 - T_2)}{BRT_1 l_1 r}$$

$$\eta_\theta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (\text{ισότης 66})$$

Ἡ ἰσότης (66) μᾶς διδίδει τὴν ἀπόδοσιν τοῦ κύκλου Carnot καὶ εἶναι ἡ μέγιστη δυνατὴ, ἡ ὁποία δύναται νὰ ἀποκτηθῇ μὲ οἷονδήποτε ἄλλον κύκλον ἰδανικὸν ἢ πραγματικόν.

Διερεύνησις τῆς ἀποδόσεως τοῦ κύκλου Carnot.

Ἡ ἰσότης (66) γράφεται καί :

$\eta_\theta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, ἐκ τῆς ὁποίας φαίνεται ὅτι ἡ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου αὐξάνει, αὐξανόμενου τοῦ T_1 καὶ ἐλαττωμένου τοῦ T_2 , θὰ εἶναι δέ : $\eta_\theta = 1$ ἢ ἀπόδοσις 100%, ἐὰν $T_2 = 0$.

Παρατηρούμεν δηλαδή ὅτι μηχανὴ μὲ ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως, ἢ ὁποῖα ἔχει θερμικὴν ἀπόδοσιν μεγαλυτέραν ἀπὸ κάθε ἄλλην μηχανήν, διὰ τὴν ἔχει 100 % ἀπόδοσιν, πρέπει ἡ θερμότης νὰ ἀποβάλλεται εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀπολύτου μηδενός. Πρᾶγμα ἀδύνατον.

Εἰς τὴν πρᾶξιν ἡ τιμὴ τοῦ T_2 εἶναι περιορισμένη καὶ δεδομένου ὅτι ἡ θερμότης ἀποβάλλεται εἰς τὸ περιβάλλον, ἡ τιμὴ τοῦ T_2 πρέπει νὰ εἶναι μεγαλυτέρα τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος. Ἡ αὔξηση τῆς τιμῆς τοῦ T_1 , δηλαδή τῆς θερμοκρασίας, μὲ τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ἡ θερμότης, εἶναι ἡ τάσις τῶν κατασκευαστῶν ὅλων τῶν μηχανῶν, ἀλλὰ εἶναι καὶ συνάρτησις τῆς ἀντοχῆς τῶν μετάλλων. Σήμερον εἰς τὴν πρᾶξιν ἡ μηχανὴ Diesel ἐργάζεται μὲ τὴν ὑψηλοτέραν τιμὴν T_1 καὶ ὁ ἀεριοστρόβιλος μὲ τὴν χαμηλοτέραν· διὰ τοῦτο αἱ δύο αὗται μηχαναὶ εἶναι τὰ ἄκρα ὅρια μεγίστου καὶ ἐλαχίστου τῆς θερμικῆς ἀποδόσεως τῶν μηχανῶν ἐν τῇ πράξει. Ἐκ τῆς ἰσότητος (66) ἀποδεικνύεται ἐπίσης ὅτι ἡ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου Carnot ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὰς θερμοκρασίας, ποὺ χορηγεῖται καὶ ἀποβάλλεται ἡ θερμότης, καὶ εἶναι ἀνεξάρτητος τῶν λοιπῶν ιδιοτήτων τοῦ ἐργαζομένου θερμοδυναμικοῦ μέσου.

Μηχανικὸν ἔργον.

Τὸ παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον ἀνὰ κύκλον δίδεται ὑπὸ τῆς ἐπιφανείας $abcd$ τοῦ σχήματος 5·5, εἶναι δὲ $W = H_1 - H_2$ ἢ

$$W = BR \ln r (T_1 - T_2) \quad (67)$$

Τὸ μέγιστον δυνατόν ποσὸν θερμότητος, ποὺ δύναται μία μηχανὴ νὰ μετατρέψῃ εἰς ἔργον, θὰ εἶναι :

$$W = H_1 \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \quad (68)$$

Δεδομένου ὅτι εἰς τὴν ἰσότητα (68) τὸ $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ οὐδέποτε ἰσοῦται μὲ τὴν μονάδα ἀλλὰ πάντοτε μὲ κλάσμα αὐτῆς, ἔχομεν τὴν διατύπωσιν τοῦ δευτέρου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος εἰδικῶς ἐφηρμοσμένου εἰς τὰς θερμικὰς μηχανάς, τὸ ὁποῖον λέγει ὅτι :

Οὐδεμία μηχανὴ πραγματικὴ ἢ ἰδανικὴ λειτουργοῦσα μὲ ἓνα θερμοδυναμικὸν κύκλον δύναται νὰ μετατρέψῃ ὁλόκληρον τὴν εἰς τὸν κύκλον χορηγομένην θερμότητα εἰς μηχανικὸν ἔργον.

Ἀνακεφαλαίωσης.

Ἐκ τοῦ κύκλου Carnot ἔχομεν τὰ κάτωθι βασικά συμπεράσματα ἐπὶ τῶν θερμικῶν μηχανῶν :

α) Οὐδεμία θερμικὴ μηχανὴ εἶναι δυνατὸν νὰ ἔχῃ μεγαλυτέραν ἀπόδοσιν, ἀπὸ ἐκείνην ποὺ ἐργάζεται μὲ κύκλον μὲ ἀναστρεψίμους ἀλλαγάς.

β) Ἡ ἀπόδοσις ἐνὸς ἀναστρεψίμου κύκλου ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὰς θερμοκρασίας, ὅπου χορηγεῖται καὶ ἀποβάλλεται ἡ θερμότης, καὶ ἐκ τούτου ἔπεται ὅτι :

γ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις ὅλων τῶν μηχανῶν μὲ ἀναστρεψίμους κύκλους θὰ εἶναι ἡ αὐτὴ μὲ τὰς αὐτὰς τιμὰς τοῦ T_1 καὶ T_2 .

δ) Οὐδεμία θερμικὴ μηχανὴ δύναται νὰ ἔχῃ ἀπόδοσιν 100%.

ε) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις μιᾶς μηχανῆς εἶναι συνάρτησις τῆς θερμικῆς ἀποδόσεως τοῦ κύκλου, μὲ τὸν ὁποῖον ἐργάζεται ἡ μηχανή.

Ἐφαρμογὴ κύκλου Carnot εἰς τὴν πράξιν.

Λειτουργία μιᾶς μηχανῆς μὲ κύκλον Carnot δὲν εἶναι δυνατὴ εἰς τὴν πράξιν, διότι τὸ ἔμβολον κατὰ τὴν ισόθερμον ἀλλαγὴν πρέπει νὰ κινῆται πολὺ ἀργά, ἐνῶ κατὰ τὸ ὑπόλοιπον τῆς διαδρομῆς διὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἀλλαγὴν πολὺ γρήγορα (παράγρ. 4·6 καὶ 4·9). Τοῦτο εἶναι ἀνεφάρμοστον. Ἐπίσης τὸ διάγραμμα P, U τοῦ κύκλου Carnot εἶναι πολὺ στενόμακρον. Τοῦτο ἀπαιτεῖ μεγάλην διαδρομὴν ἐμβόλου διὰ νὰ πραγματοποιηθῇ, μὲ ἀποτέλεσμα τὸ περισσότερον παραγόμενον ἔργον νὰ ἀπωροφῇται ἀπὸ τὰς τριβάς τῶν κινουμένων μερῶν τῆς μηχανῆς. Τὰ θεωρητικὰ ὅμως συμπεράσματα τοῦ Carnot εἶναι ἐκεῖνα, ποὺ ἐβोधήθησαν εἰς τὴν πραγματοποίησιν τῶν διαφόρων κύκλων τῶν ἐν λειτουργίᾳ σήμερον μηχανῶν (Otto, Diesel, κ.λπ.), τοὺς ὁποίους θὰ ἐξετάσωμεν ἐν συνεχείᾳ.

Παράδειγμα.

Ἐγκατάστασις λέβητος παράγει ἀτμὸν θερμοκρασίας 350° C. Ὁ ἀτμὸς μεταφέρει εἰς τὴν μηχανὴν θερμότητα ἴσην μὲ 250 000 kcal/h. Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ ἵπποδύναμις μιᾶς ἰδανικῆς μηχανῆς Carnot, ἡ ὁποία χρησιμοποιεῖ τὴν θερμότητα αὐτήν, ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος, δηλαδὴ τοῦ διαθεσίμου ὕδατος ψύξεως τοῦ ἀτμοῦ κατὰ τὴν ἐξαγωγὴν του ἀπὸ τὴν μηχανήν, εἶναι 25° C. Μὲ τί ἰσοῦται τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀποβάλλεται μὲ τὸ ὕδωρ ψύξεως ;

Λύσις:

Ἡ θερμότης, ἡ ὁποία θὰ μετατρέπεται εἰς μηχανικὴν ἐνέργειαν ἀνὰ ὥραν θὰ

είναι, εκ τῆς Ισότητος (68):

$$W = 250\,000 \left(\frac{623 - 298}{623} \right) = 130\,000 \text{ kcal/h}$$

ἀλλὰ $1 \text{ HP} = 632 \text{ kcal/h}$ ἐπομένως ἡ ἱπποδύναμις τῆς μηχανῆς εἶναι:

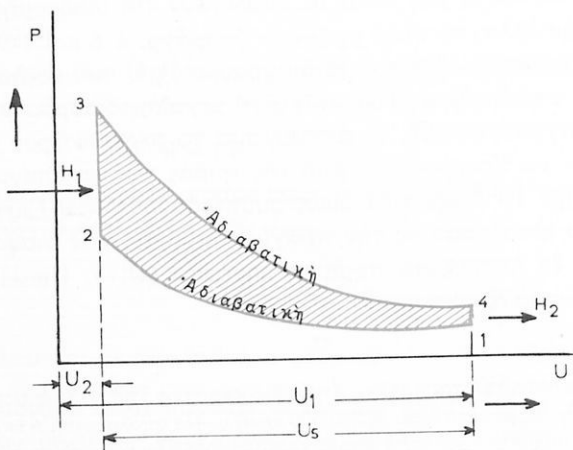
$$\frac{130\,000}{632} = 205,6 \text{ HP}$$

Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης μετὰ τὸ ὕδωρ ψύξεως θὰ εἶναι:

$$H_2 = 250\,000 \times \frac{298}{628} = 120\,000 \text{ kcal/h.}$$

5.6 Ἰδανικὸς ἢ θεωρητικὸς κύκλος Otto.

Ὁ κύκλος αὐτὸς ἐτέθη εἰς ἐφαρμογὴν ὑπὸ τοῦ Nicholas Otto τὸ ἔτος 1862 εἰς μίαν 4χρονον μηχανὴν ἀναφλέξεως τῇ βοήθειᾳ σπινθῆρος. Λόγω τῆς ἀπλότητός της καὶ τῆς μεγαλυτέρας ταχύτητος ἡ μηχανὴ Otto ἐπεβλήθη τῶν μέχρι τότε ἄλλων μηχανῶν, αἱ ὁποῖαι ἐργάζονται μετὰ βάσιν ἄλλους κύκλους. Σήμερον ὅλαι αἱ βενζινοκίνητοι μηχαναὶ αὐτοκινήτων, παλινδρομικαὶ βενζινομηχαναὶ ἀεροπλάνων καὶ πολλαὶ ἄλλαι μικρότεραι μηχαναὶ ἐσωτερικῆς καύσεως, δι' ἀναφλέξεως τῇ βοήθειᾳ σπινθῆρος, ἐργάζονται μετὰ βάσιν τὸν κύκλον Otto.



Σχ. 5.6 α.

Ὁ ἰδανικὸς κύκλος ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 5.6 α. Εἶναι κλειστός, δηλαδὴ τὸ ἐργαζόμενον μέσον (ἀήρ) θεωρεῖται ὅτι παραμένει πάντοτε ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου, ἐνῶ ἡ πραγματικὴ μηχανὴ ἐργάζεται μετὰ ἀνοικτὸν

κύκλον, εἰς τὸν ὁποῖον τὸ μίγμα ἀέρος-καυσίμου εἰσέρχεται καὶ ἐξέρχεται περιοδικῶς ἀπὸ τὸν κύλινδρον. Εἰς τὸ σημεῖον 1 (σχ. 5·6α) ὁ κύλινδρος εἶναι πλήρης ἀέρος καταστάσεως P_1, U_1, T_1 .

Τὸ ἔμβολον ἀνέρχεται καὶ συμπιέζει τὸν ἀέρα κατὰ τὴν 1-2 ἀδιαβατικῶς, ἕως ὅτου ὁ ἀήρ καταλάβῃ τὸν ὄγκον τῶν διακένων. Λόγω τῆς ἀδιαβατικῆς αὐτῆς συμπίεσεως ἡ πίεσις καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος ἀνέρχεται εἰς P_2, T_2 , ἐνῶ ὁ ὄγκος τῶν διακένων εἶναι U_2 . (Ὁ ὄγκος U_S ὀνομάζεται ὄγκος διαδρομῆς καὶ εἶναι $U_1 = U_S + U_2$).

Εἰς τὸ σημεῖον 2 τοποθετεῖται ἐν θερμὸν σῶμα εἰς τὸ ἄκρον τοῦ κυλίνδρου καὶ ὁ ἀήρ θερμαίνεται κατὰ τὴν 2-3 ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον, μὲ ἀποτέλεσμα αὐξησιν τῆς πίεσεως καὶ θερμοκρασίας τοῦ ἀέρος εἰς P_3, T_3 , ἐνῶ ὁ ὄγκος παραμένει σταθερὸς $U_3 = U_2$. Ἀφαιρεῖται ἐν συνεχείᾳ τὸ θερμὸν σῶμα καὶ κατερχομένου τοῦ ἐμβόλου ὁ ἀήρ ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς κατὰ τὴν 3-4 μὲ ἀποτέλεσμα πτώσιν τῆς πίεσεως καὶ θερμοκρασίας εἰς P_4, T_4 , ἐνῶ ὁ ὄγκος αὐξάνει εἰς U_4 .

Εἰς τὸ σημεῖον 4 τοποθετεῖται ἐν ψυχρὸν σῶμα εἰς τὸ ἄκρον τοῦ κυλίνδρου, ὁ ἀήρ ἀποβάλλει θερμότητα ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον $U_4 = U_1$, καὶ ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του τοῦ σημείου 1, ἥτοι P_1, U_1, T_1 .

Ἡ ἐπιφάνεια 1, 2, 3, 4 τοῦ διαγράμματος εἶναι τὸ λαμβανόμενον ἔργον ἀνὰ κύκλον.

Ὁ βαθμὸς συμπίεσεως $= \frac{U_1}{U_2}$ ἰσοῦται μὲ τὸν βαθμὸν ἐκτονώσεως

$$\frac{U_4}{U_3} = r.$$

Ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου η_θ ἰσοῦται μέ:

$$\eta_\theta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad (69)$$

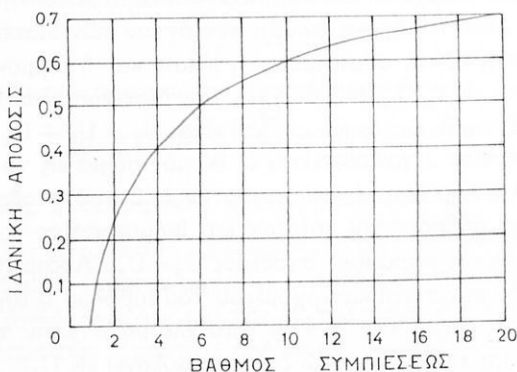
$$\text{ὅπου } \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα αὐτὴν βλέπομεν ὅτι ἡ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου *Otto* ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν βαθμὸν συμπίεσεως καὶ αὐξάνει, ἐφ' ὅσον αὐξηθῇ ὁ βαθμὸς συμπίεσεως. Εἰς τὰς μηχανὰς αὐτὰς ὁ βαθμὸς συμπίεσεως διὰ τεχνικοὺς λόγους δὲν δύναται νὰ αὐξηθῇ πολὺ· κυμαίνεται δὲ μεταξὺ 7 ἕως 10.

Εἰς τὸ σχῆμα 5·6β ἔχει χαραχθῇ μία καμπύλη, ἡ ὁποία δεικνύει τὴν αὐξησιν τῆς ἰδανικῆς ἀποδόσεως μὲ τὴν αὐξησιν τοῦ βαθμοῦ συμπίεσεως.

Θερμοδυναμικὴ

Ο κύκλος Otto ονομάζεται και *κύκλος σταθεροῦ ὄγκου*, διότι ἡ θερμότης χορηγεῖται ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον, ἢ *κύκλος ἐκρήξεως*, διότι ἡ θερμότης χορηγεῖται ἀκαριαίως.



Σχ. 5.6β.

Εὑρεσις ἀποδόσεως κύκλου Otto.

Ἡ ἰδανικὴ ἀπόδοση τοῦ κύκλου εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (65), ἥτοι :

$$\eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}.$$

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 5.6 α ἔχομεν :

$H_1 = C_v B (T_3 - T_2)$ καὶ $H_2 = C_v B (T_4 - T_1)$, ἐπομένως καὶ

$$\eta_{\theta} = \frac{C_v B (T_3 - T_2) - C_v B (T_4 - T_1)}{C_v B (T_3 - T_2)} \quad \text{καὶ} \quad \eta_{\theta} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (\alpha)$$

Ἀντικαθιστῶμεν εἰς τὴν (α) τὴν θερμοκρασίαν T_4 συναρτήσῃ τῆς T_3 καὶ τὴν θερμοκρασίαν T_1 συναρτήσῃ τῆς T_2 . Πρὸς τοῦτο ἔχομεν ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν 3-4, ὅτι:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{U_4}{U_3} \right)^{\gamma-1} = r^{\gamma-1} \quad \text{καὶ} \quad T_4 = \frac{T_3}{r^{\gamma-1}}.$$

Ἐπίσης ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν 1-2 λαμβάνομεν ὅτι:

$$T_1 = \frac{T_2}{r^{\gamma-1}}.$$

Ἀντικαθιστῶμεν εἰς τὴν ἰσότητα (α) καὶ ἔχομεν :

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{\frac{T_3}{r^{\gamma-1}} - \frac{T_2}{r^{\gamma-1}}}{T_3 - T_2} \quad \eta \quad \eta_{\theta} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad (\text{ισότης 69})$$

Παράδειγμα.

Κατά την έναρξιν τῆς διαδρομῆς συμπίεσεως εἰς μηχανὴν κύκλου Otto ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος εἶναι 1 kg/cm^2 ἀπὸλ., ἡ θερμοκρασία του 20°C καὶ ὁ ὄγκος $0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$. Εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως ὁ ὄγκος εἶναι $0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$. Ἡ χορηγομένη θερμότης εἰς τὸν κύκλον εἶναι 200 kcal/kg . Ζητεῖται : α) Ὁ Βαθμὸς συμπίεσεως. β) Αἱ πιέσεις καὶ θερμοκρασίαι εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως, ἐκρήξεως καὶ ἐκτονώσεως. γ) Ἡ ἀποβληθεῖσα θερμότης. δ) Ἡ θερμότης, ἡ ὁποία μετεβλήθη εἰς ἔργον ἀνὰ κύκλον. ε) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου ἐπὶ τοῖς ἑκατόν. στ) Ἡ ἀνάπτυσσομένη ἱπποδύναμις ἀπὸ τὴν μηχανήν, ἐὰν πραγματοποιιοῦνται 100 κύκλοι ἀνὰ λεπτὸν μὲ βάρος ἀέρος $0,2 \text{ kg}$. Διὰ τὸν ἀέρα $C_v = 0,17$ καὶ τὸ $\gamma = 1,4$.

Λύσις :

Ἀναφερόμενοι εἰς τὸ σχῆμα 5·6 α ἔχομεν δεδομένα :

$$P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2 \quad U_1 = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg} \quad T_1 = 20^\circ \text{C} \quad U_2 = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$H_1 = 200 \text{ kcal/kg} \quad U_2 = U_3 \quad \text{καὶ} \quad U_4 = U_1.$$

$$\alpha) \text{ Ὁ βαθμὸς συμπίεσεως } = \frac{U_1}{U_2} = \frac{0,9}{0,1} = 9.$$

β) Εὐρίσκομεν πρῶτα τὸ P_2 καὶ T_2 . Ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν 1-2 ἔχομεν :

$$P_1 \cdot U_1^\gamma = P_2 \cdot U_2^\gamma \quad \text{καὶ} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{1,4} = 9^{1,4}$$

$$\eta \quad \frac{P_2}{1} = 9^{1,4} \quad \text{καὶ} \quad P_2 = 21,67 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Τὸ} \quad \frac{T_2}{T_1} = r^{\gamma-1} \quad \eta \quad T_2 = 293 \times 9^{0,4} \quad \text{καὶ} \quad T_2 = 705,6^\circ \text{K}.$$

Διὰ τὴν εὔρεσιν τῆς T_3 ἔχομεν $H_1 = C_v (T_3 - T_2)$ ἀνὰ μονάδα βάρους ἀέρος, ὁπότε :

$$T_3 = \frac{H_1}{C_v} + T_2 = \frac{200}{0,17} + 705,6 \quad \text{καὶ} \quad T_3 = 1882^\circ \text{K}.$$

Διὰ τὴν εὔρεσιν ἐκ τῆς P_3 τῆς ἀλλαγῆς ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 2-3, ἔχομεν :

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{καὶ} \quad P_3 = 1882 \times \frac{21,67}{705,6} \quad \eta \quad P_3 = 57,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ ἀπὸλ.}$$

Διὰ τὴν εὔρεσιν τῆς P_4 ἔχομεν τὴν ἰσότητα :

$$P_3 \cdot U_3^\gamma = P_4 \cdot U_4^\gamma \quad \text{καὶ} \quad P_4 = P_3 \left(\frac{U_3}{U_4} \right)^\gamma = 57,8 \times \left(\frac{1}{9} \right)^{1,4} \quad \text{καὶ} \quad P_4 = 2,67 \text{ kg/cm}^2.$$

Διὰ τὴν εὔρεσιν τῆς T_4 ἔχομεν τὴν σχέσιν :

$$\frac{P_3 U_3}{T_3} = \frac{P_4 U_4}{T_4} \quad \text{καὶ} \quad T_4 = \frac{P_4 \cdot U_4 \cdot T_3}{P_3 \cdot U_3} = \frac{2,67 \times 0,9 \times 1882}{57,8 \times 0,1} \quad \text{καὶ} \quad T_4 = 781,6^\circ \text{K}.$$

$$\gamma) \text{ Ἡ ἀποβληθεῖσα θερμότης } H_2 = C_v (T_4 - T_1) = 0,17 (781,6 - 293)$$

$$\text{καὶ} \quad H_2 = 83,06 \text{ kcal/kg}.$$

δ) Θερμότης, ἡ ὁποία μετετρέπη εἰς ἔργον ἀνὰ κύκλον :

$$W = H_1 - H_2 = 200 - 83,06 = 116,94 \text{ kcal/kg}.$$

$$\epsilon) \text{ 'Η απόδοσις } \eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{200 - 83,06}{200} = 0,584 \text{ ἢ } 58,4 \%$$

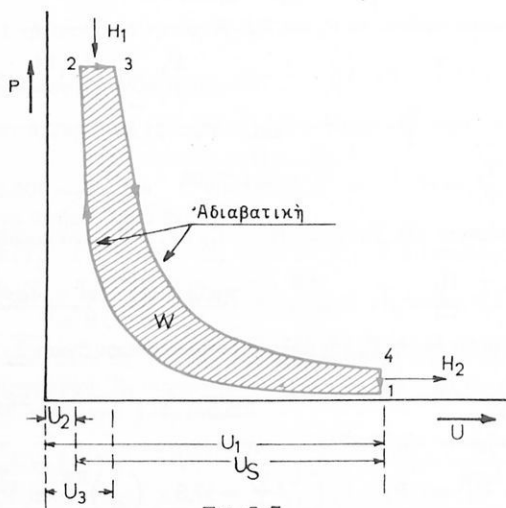
$$\text{'Επίσης } \eta_{\theta} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{9^{0,4}} = 0,584 \text{ ἢ } \eta_{\theta} = 58,4 \%$$

στ) 'Η αναπτυσσόμενη ἵπποδύναμις διὰ 0,2 kg ἀέρος καὶ 100 κύκλους ἀνὰ λεπτόν θὰ εἶναι :

$$HP = \frac{0,2 \times 116,94 \times 100 \times 60}{632} = 222 \text{ HP.}$$

5.7 'Ιδανικὸς ἢ θεωρητικὸς κύκλος Diesel.

Ὁ κύκλος αὐτὸς (σχ. 5.7) ἐτέθη εἰς ἐφαρμογὴν ὑπὸ τοῦ Rudolph Diesel περὶ τὸ ἔτος 1900. Ὁ κύκλος λέγεται καὶ *σταθερᾶς πίεσεως ἢ κύκλος καύσεως*, διότι ἡ θερμότης χορηγεῖται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Μὲ τὸν κύκλον αὐτὸν ἐργάζονται σήμερον πλείστοι μηχαναὶ ἐσωτερικῆς καύσεως διαφόρων ἵπποδυνάμεων καὶ χρήσεων.



Σχ. 5.7.

Εἰς τὸ σημεῖον 1 ὁ κύλινδρος εἶναι πλήρης ἀέρος καταστάσεως P_1, U_1, T_1 . Ἀνέρχεται τὸ ἔμβολον κατὰ τὸν ὄγκον διαδρομῆς U_S καὶ ὁ ἀήρ συμπιέζεται κατὰ τὴν 1-2 ἀδιαβατικῶς μετὰ αὐξήσιν πίεσεως καὶ θερμοκρασίας, ἐνῶ καταλαμβάνει τὸν ὄγκον τῶν διακένων. Οὕτως ἡ κατάστασις τοῦ ἀέρος εἰς τὸ σημεῖον 2 θὰ εἶναι P_2, U_2, T_2 . Κατερχομένῳ τοῦ ἔμβολου χορηγεῖται κατ' ἀρχὰς θερμότης εἰς τὸν ἀέρα ὑπὸ σταθε-

ράν πίεσιν κατὰ τὴν 2-3. Εἰς τὸ σημεῖον 3, τὸ ὁποῖον λέγεται *σημεῖον ἀποκοπῆς*, σταματᾷ ἡ θέρμανσις τοῦ ἀέρος καὶ συνεχίζει αὐτὸς τὴν ἐκτόνωσιν του 3-4 ἀδιαβατικῶς. Εἰς τὸ σημεῖον 3 ἡ κατάσταση τοῦ ἀέρος θὰ εἶναι P_3, U_3, T_3 ($P_3 = P_2$) καὶ εἰς τὸ σημεῖον 4 θὰ εἶναι P_4, U_4 καὶ T_4 .

Ὅταν τὸ ἔμβολον φθάσῃ πάλιν εἰς τὸ κατώτερον σημεῖον τῆς διαδρομῆς του, ἀφαιρεῖται θερμότης ἀπὸ τὸν ἀέρα ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 4-1, ὃ ἀπὸ ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν του P_1, U_1, T_1 καὶ ὁ κύκλος ἐπαναλαμβάνεται.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 5·7 παρατηροῦμεν ὅτι ὁ ὄγκος τοῦ κυλίνδρου U_1 εἶναι ἄθροισμα τοῦ ὄγκου διαδρομῆς U_S καὶ τοῦ ὄγκου τῶν διακένων U_2 ἥτοι $U_1 = U_S + U_2$. Ἐπίσης $U_1 = U_4$. Ἡ ἐπιφάνεια τοῦ διαγράμματος 1, 2, 3, 4 εἶναι τὸ ἔργον ἀνὰ κύκλον τῆς μηχανῆς.

Ἐὰν τῶρα ὁ λόγος $\frac{U_S + U_2}{U_2} = \frac{U_1}{U_2} = r =$ βαθμὸς συμπίεσεως καὶ ὁ λόγος $\frac{U_3}{U_2} = \frac{\text{ὄγκος καύσεως}}{\text{ὄγκου διακένων}} = \rho =$ βαθμὸς καύσεως, ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ ἰδανικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου η_θ εἶναι :

$$\eta_\theta = 1 - \frac{1}{r^\gamma - 1} \cdot \frac{\rho^\gamma - 1}{\gamma(\rho - 1)} \quad (70)$$

Ἐκ τῆς ἰσότητος (70) ἐμφαίνεται ὅτι ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις τῆς μηχανῆς Diesel αὐξάνει μὲ τὴν αὐξησιν τοῦ βαθμοῦ συμπίεσεως, ὅπως συμβαίνει καὶ εἰς τὸν κύκλον Otto. Ἡ ἀπόδοσις ὅμως τοῦ κύκλου Diesel ἐπηρεάζεται καὶ ἀπὸ τὸν βαθμὸν καύσεως ρ , δηλαδὴ τοῦ φορτίου τῆς μηχανῆς, ἀπὸ τὸ ὁποῖον δὲν ἐπηρεάζεται ὁ κύκλος Otto. Ἐὰν ἐκ τῆς ἰσότητος (70) ὑπολογίσωμεν τὴν παράγωγον ὡς πρὸς ρ μὲ σταθερὸν r καὶ ἐξισώσωμεν αὐτὴν μὲ τὸ μηδέν, εὐρίσκεται ὅτι διὰ μέγιστον ἀποδόσεως η_θ ἡ τιμὴ τοῦ ρ πρέπει νὰ ἰσοῦται μὲ τὴν μονάδα. Ὅταν ὅμως τὸ ρ ἐλαττωῖται μὲ ὅριον τὴν μονάδα, πλησιάζομεν τὴν ἀπόδοσιν τοῦ κύκλου Otto.

Δεδομένου ὅτι τὸ ρ εἶναι πάντοτε μεγαλύτερον τῆς μονάδος, συμπεραίνομεν ὅτι : *διὰ τὸν αὐτὸν βαθμὸν συμπίεσεως ὁ κύκλος Otto ἔχει μεγαλύτεραν ἀπόδοσιν τοῦ κύκλου Diesel.*

Ὁ κύκλος ὅμως Diesel, ἐπεὶδὴ συμπιέζει μόνον ἀέρα καὶ ὄχι μίγμα καυσίμου καὶ ἀέρος, δύναται νὰ ἔχῃ πολὺ μεγαλύτερον βαθμὸν συμπίεσεως τοῦ κύκλου Otto. Ὁ μεγαλύτερος βαθμὸς συμπίεσεως ὑπερκαλύπτει τὴν μείωσιν τῆς ἀποδόσεως τῆς Diesel, λόγῳ τοῦ ὅτι

τὸ ρ εἶναι μεγαλύτερον τῆς μονάδος. "Ὅπως θὰ ἀποδείξωμεν καὶ μετὰ τὸ ἀκολουθοῦν παράδειγμα, μετὰ τὴν αὐξήσιν τῆς χορηγουμένης θερμότητος (ἐπομένως καὶ τοῦ ρ) ἔχομεν ἐλάττωσιν τοῦ βαθμοῦ ἀποδόσεως εἰς τὴν μηχανὴν Diesel. "Ὅσον ὅμως περισσότερα θερμότης χορηγεῖται εἰς μίαν μηχανὴν ἀνὰ κύκλον, τόσον αὐξάνει τὸ ὠφέλιμον ἔργον. Τοῦτο ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν κατασκευὴν μικροτέρου μεγέθους μηχανῆς διὰ μίαν δεδομένην ἵπποδύναμιν. Εἰς τὴν πράξιν γίνεταί ἕνας *συμβιβασμός* μεταξὺ ἀποδόσεως καὶ μεγέθους μηχανῆς.

Εὑρεσις ἀποδόσεως κύκλου Diesel.

Ἡ ἰδανικὴ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (65) ἢ

$$\eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}.$$

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 5.7 ἔχομεν :

$$H_1 = C_p B (T_3 - T_2) \quad \text{καὶ} \quad H_2 = C_v B (T_4 - T_1).$$

ἐπομένως καὶ

$$\eta_{\theta} = \frac{C_p B (T_3 - T_2) - C_v B (T_4 - T_1)}{C_p B (T_3 - T_2)} \quad \text{ἢ} \quad \eta_{\theta} = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (\alpha)$$

Διὰ νὰ φέρωμεν τὴν ἰσότητα (α) εἰς τὴν τελικὴν μορφήν τῆς ἐκφράζομεν ὅλας τὰς θερμοκρασίας μετὰ βάσιν μίαν, ἔστω τὴν T_3 . Δι' ἀπλοποίησην πράξεων ἔστω ὅτι ὁ ὄγκος διακένων $U_2 = 1$.

Τότε : ὁ βαθμὸς συμπίεσεως $= \frac{U_1}{U_2} = U_1 = U_4 = r$ καὶ ὁ βαθμὸς καύσεως $= \frac{U_3}{U_2} = U_3 = \rho$.

Ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν 3-4 ἔχομεν τὴν σχέσιν :

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{U_4}{U_3} \right)^{\gamma-1} \quad \text{ἢ} \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{r}{\rho} \right)^{\gamma-1} \quad \text{καὶ} \quad T_4 = \frac{T_3 \cdot \rho^{\gamma-1}}{r^{\gamma-1}} \quad (\beta)$$

Ἀπὸ τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀλλαγὴν 2-3 ἔχομεν τὴν σχέσιν :

$$\frac{U_2}{T_2} = \frac{U_3}{T_3} \quad \text{ἢ} \quad T_2 = T_3 \cdot \frac{U_2}{U_3} \quad \text{καὶ} \quad T_2 = \frac{T_3}{\rho} \quad (\gamma)$$

Ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν 1-2 ἔχομεν τὴν σχέσιν $\frac{T_2}{T_1} = r^{\gamma-1}$.

Ἀντικαθιστῶμεν εἰς τὴν ἰσότητα (γ) τὴν T_2 καὶ ἔχομεν :

$$\frac{T_3}{\rho \cdot T_1} = r^{\gamma-1} \quad \text{καὶ} \quad T_1 = \frac{T_3}{\rho \cdot r^{\gamma-1}} \quad (\delta)$$

Ἀντικαθιστῶντες τὰς τιμὰς τῶν ἰσοτήτων (β), (γ) καὶ (δ) εἰς τὴν ἰσότητα (α), ἔχομεν :

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\frac{T_3 \cdot \rho^{\gamma-1}}{r^{\gamma-1}} - \frac{T_3}{\rho \cdot r^{\gamma-1}}}{T_3 - \frac{T_3}{\rho}}$$

Ἐκτελοῦντες τὰς πράξεις λαμβάνομεν :

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{(\rho^{\gamma} - 1)}{\gamma(\rho - 1)}, \text{ ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (70).}$$

Παράδειγμα.

Κατὰ τὴν ἑναρξιν τῆς διαδρομῆς συμπίεσεως εἰς μηχανὴν κύκλου Diesel ὁ ἀήρ ἔχει πίεσιν 1 kg/cm^2 ἀπὸλ., θερμοκρασίαν 20°C καὶ ὄγκον $0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$. Ἐὰν ὁ βαθμὸς συμπίεσεως εἶναι 15 καὶ τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος 200 kcal/kg , ζητοῦνται : α) Αἱ θερμοκρασίαι καὶ πίεσεις εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως, εἰς τὸ τέλος τῆς καύσεως καὶ εἰς τὸ τέλος τῆς ἔκτονώσεως. β) Ἡ ἀποβληθεῖσα θερμότης. γ) Ἡ θερμότης, ποὺ μετατρέπεται εἰς ἔργον ἀνὰ κύκλον. δ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν καὶ ὁ βαθμὸς καύσεως τῆς μηχανῆς. ε) Ἡ ἀναπτυσσομένη ἵπποδύναμις ἀπὸ τὴν μηχανήν, ἐὰν πραγματοποιιοῦνται 100 κύκλοι ἀνὰ λεπτὸν μὲ βάρος ἀέρος $0,2 \text{ kg}$. στ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις καὶ ὁ βαθμὸς καύσεως τῆς μηχανῆς μὲ τὰ αὐτὰ δεδομένα ἀλλὰ μὲ χορηγουμένην θερμότητα κατὰ τὴν καῦσιν 300 kcal/kg .

Διὰ τὸν ἀέρα $C_p = 0,24$ καὶ $\gamma = 1,4$.

Λύσις :

Ἀναφερόμενοι εἰς τὸ σχῆμα 5.7 ἔχομεν δεδομένα :

$$P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ ἀπὸλ.}, \quad U_1 = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg} \quad t_1 = 20^{\circ}\text{C}, \quad \frac{U_1}{U_2} = r = 15 \\ H_1 = 200 \text{ kcal/kg} \text{ καὶ } U_4 = U_1.$$

$$\alpha) \quad U_2 = \frac{U_1}{15} = \frac{0,9}{15} = 0,06 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{1,4} \quad \text{καὶ} \quad P_2 = 1 \times 15^{1,4} \quad \eta \quad P_2 = 44,3 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\gamma-1} \quad \text{καὶ} \quad T_2 = 293 \times 15^{0,4} \quad \eta \quad T_2 = 865,56^{\circ}\text{K}$$

$$P_3 = P_2 \quad \eta \quad P_3 = 44,3 \text{ kg/cm}^2.$$

$$T_3 = T_2 + \frac{H_1}{C_p} = 865,65 + \frac{200}{0,24} \quad \text{καὶ} \quad T_3 = 1698,89^{\circ}\text{K}$$

$$\frac{U_3}{T_3} = \frac{U_2}{T_2} \quad \text{καὶ} \quad U_3 = 0,06 \times \frac{1698 \times 89}{865,56} \quad \text{καὶ} \quad U_3 = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{U_4}{U_3} \right)^{\gamma-1} \quad \eta \quad T_4 = 1698,89 \left(\frac{0,1}{0,9} \right)^{0,4} \quad \text{καὶ} \quad T_4 = 705,45^{\circ}\text{K}.$$

$$P_4 = P_1 \left(\frac{T_4}{T_1} \right) \quad \text{καὶ} \quad P_4 = 1 \times \frac{705,45}{293} \quad \text{καὶ} \quad P_4 = 2,04 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\beta) \quad H_2 = C_v (T_4 - T_1) = 0,17 (705,45 - 293) \quad \text{καὶ} \quad H_2 = 70,11 \text{ kcal}.$$

$$\gamma) \quad W = H_1 - H_2 = 200 - 70,11 \quad \text{καὶ} \quad W = 129,89 \text{ kcal/kg}.$$

$$\delta) \quad \eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{200 - 70,11}{200} = 0,649 \quad \text{καὶ} \quad \eta_{\theta} = 64,9 \%. \quad \text{στ)}$$

$$\text{Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις } \rho = \frac{U_3}{U_2} = \frac{0,01}{0,06} \quad \text{καὶ} \quad \rho = 1,6.$$

$$\epsilon) \text{ HP} = \frac{0,2 \times 129,89 \times 100 \times 60}{632} = 246,6 \text{ HP.}$$

$$\sigma\tau) T'_3 = T_2 + \frac{H'_1}{C_P} = 865,56 + \frac{300}{0,24} \quad \text{και} \quad T'_3 = 2115,56^\circ \text{K}$$

$$U'_3 = U_2 \cdot \frac{T'_3}{T_2} = 0,06 \times \frac{2115,56}{865,56} \quad \text{και} \quad U'_3 = 0,146 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

$$\frac{T'_3}{T'_4} = \left(\frac{U_4}{U'_3}\right)^{\gamma-1} \quad \eta \quad T'_4 = 2115,56 \times \left(\frac{0,146}{0,9}\right)^{0,4} \quad \text{και} \quad T'_4 = 1022^\circ \text{K.}$$

$$H'_2 = C_V (T'_4 - T_1) = 0,17(1022 - 293) \quad \text{και} \quad H'_2 = 123,93 \text{ kcal.}$$

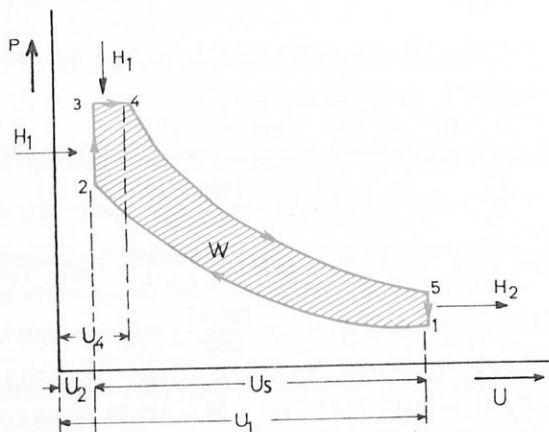
$$\eta_\theta = \frac{H'_1 - H'_2}{H'_1} = \frac{300 - 123,93}{300} = 0,5869 \quad \text{και} \quad \eta_\theta = 58,69\%$$

$$\rho' = \frac{U'_3}{U_2} = \frac{0,146}{0,06} \quad \text{και} \quad \rho' = 2,43.$$

Παρατηρούμεν ότι με την αύξηση του ρ από 1,6 εις 2,43 λόγω αύξησης της χορηγούμενης θερμότητας ανά κύκλον, η απόδοσις από 64,9%, κατήλθεν εις 58,69%.

5.8 Ίδανικός ή θεωρητικός μικτός κύκλος Dual.

Ο μικτός ή Dual κύκλος, γνωστός και ως κύκλος Sabatier, είναι συνδυασμός των κύκλων Otto και Diesel. Αὐτὸς συμπίπτει τὸν ἀέρα κατὰ τὴν 1-2 ἀδιαβατικῶς (σχ. 5.8) καὶ ἐν συνεχείᾳ μέρος τῆς θερ-



Σχ. 5.8.

μότητος H_1 χορηγείται ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 2-3 καὶ μέρος αὐτῆς χορηγείται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 3-4.

Ἐν συνεχείᾳ ὁ ἀήρ ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς κατὰ τὴν 4-5 καὶ τέλος ἀφαιρεῖται θερμότης H_2 ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον κατὰ τὴν 5-1.

Αἱ πλεῖσται τῶν μηχανῶν Diesel μεγάλης ταχύτητος σήμερον ἐργάζονται μὲ βάσιν τὸν κύκλον αὐτὸν καὶ ὀνομάζονται *μηχαναὶ ἀναφλέξεως διὰ συμπίεσεως* κατ' ἀντιδιαστολὴν μὲ τὰς *μηχανὰς ἐκρήξεως*, αἱ ὁποῖαι ὀνομάζονται μηχαναὶ ἀναφλέξεως τῇ βοήθειᾳ ἡλεκτρικοῦ σπινθήρος.

Ἡ ταχύτης τοῦ ἐμβόλου καὶ τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ καυσίμου εἶναι οἱ παράγοντες ἐκεῖνοι, ποὺ κυρίως ἐπηρεάζουν τὴν διαφορὰν μεταξὺ τοῦ πραγματικοῦ κύκλου Diesel καὶ τοῦ μικτοῦ κύκλου.

$$\text{Ἐὰν ὁ βαθμὸς συμπίεσεως} = \frac{U_s + U_2}{U_2} = \frac{U_1}{U_2} = r$$

$$\text{ὁ βαθμὸς καύσεως} = \frac{U_4}{U_3} = \rho$$

$$\text{καὶ ὁ βαθμὸς ἐκρήξεως} = \frac{P_3}{P_2} = \alpha,$$

ἡ ἰδανικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου η_θ εἶναι :

$$\eta_\theta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{(\alpha\rho^\gamma - 1)}{(\alpha - 1) + \alpha \cdot \gamma (\rho - 1)} \quad (71)$$

Ἐὰν εἰς τὴν ἰσότητα (71) τὸ $\alpha = 1$, τότε καταλήγομεν εἰς τὴν ἰσότητα (70) τοῦ κύκλου Diesel. Ἐὰν τὸ $\rho = 1$, καταλήγομεν εἰς τὴν ἰσότητα (69) τοῦ κύκλου Otto.

Μὲ τὸν μικτὸν κύκλον πραγματοποιοῦνται βαθμοὶ συμπίεσεως μεγαλύτεροι τοῦ κύκλου Otto, ἀλλὰ μικρότεροι τοῦ κύκλου Diesel.

Εὗρεσις ἀποδόσεως μικτοῦ κύκλου.

Ἐστω ὅτι ὁ ὄγκος τῶν διακένων $U_2 = U_3 = 1$.

$$\text{Τότε } \frac{U_1}{U_2} = r \quad \text{καὶ} \quad U_1 = r. \quad \text{Ἐπίσης } \frac{U_4}{U_3} = \rho \quad \eta \quad U_4 = \rho$$

$$\text{καὶ } \frac{U_5}{U_4} = \frac{U_1}{U_4} = \frac{r}{\rho}.$$

Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις εὐρίσκεται ἀπὸ τὴν ἰσότητα (65), ἥτοι :

$$\eta_\theta = \frac{H_1 - H_2}{H_1}. \quad \text{Ἀπὸ τὸ σχῆμα 5.8 ἔχομεν :}$$

$$H_1 = C_v B (T_3 - T_2) + C_p B (T_4 - T_3) \quad \text{καὶ} \quad H_4 = C_v B (T_5 - T_1) \quad \text{καὶ}$$

$$\eta_{\theta} = \frac{C_{vB} (T_3 - T_2) + C_{pB} (T_4 - T_3) - C_{vB} (T_5 - T_1)}{C_{vB} (T_3 - T_2) + C_{pB} (T_4 - T_3)}$$

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{C_v (T_5 - T_1)}{C_v (T_3 - T_2) + C_p (T_4 - T_3)}$$

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{(T_5 - T_1)}{(T_3 - T_2) + \gamma (T_4 - T_3)} \quad (\beta)$$

Έκφράζομεν ὅλας τὰς θερμοκρασίας εἰς τὴν ἰσότητα (β) βάσει τῆς T_2 .

Ἀπὸ τὴν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 2-3 τὸ $\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \alpha$ καὶ $T_2 = \frac{T_3}{\alpha}$.

Ἀπὸ τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 3-4 τὸ $\frac{U_4}{U_3} = \frac{T_4}{T_3} = \rho$ καὶ $T_4 = \rho \cdot T_3$.

Ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν 1-2 τὸ $\frac{T_2}{T_1} = r^{\gamma-1}$ ἢ $T_1 = \frac{T_2}{r^{\gamma-1}}$ καὶ $T_1 = \frac{T_3}{\alpha \cdot r^{\gamma-1}}$

Ἀπὸ τὴν ἀδιαβατικὴν 4-5 τὸ $\frac{T_4}{T_5} = \left(\frac{r}{\rho}\right)^{\gamma-1}$ καὶ

$$T_5 = \frac{T_4 \cdot \rho^{\gamma-1}}{r^{\gamma-1}} \quad \text{καὶ} \quad T_5 = \frac{T_3 \cdot \rho^{\gamma}}{r^{\gamma-1}}$$

Ἡ ἰσότης (β) λαμβάνει τώρα τὴν μορφήν :

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{\frac{T_3 \rho^{\gamma}}{r^{\gamma-1}} - \frac{T_3}{\alpha r^{\gamma-1}}}{T_3 \frac{T_3}{\alpha} + \gamma (\rho T_3 - T_3)} \quad \text{καὶ ἐκ ταύτης καταλήγομεν :}$$

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{(\alpha \rho^{\gamma} - 1)}{(\alpha - 1) + \alpha \gamma (\rho - 1)} \quad \text{ἢ ὁποῖα εἶναι ἡ ἰσότης (71).}$$

Παράδειγμα.

Κατὰ τὴν ἔναρξιν τῆς συμπίεσεως ἑνὸς ἰδανικοῦ μικτοῦ κύκλου ὁ ἀήρ ἔχει πίεσιν 1 kg/cm^2 ἀπολ., θερμοκρασίαν 20°C καὶ ὄγκον $0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$. Βαθμὸς συμπίεσεως 12. Θερμότης χορηγεῖται 100 kcal/kg ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον καὶ 100 kcal/kg ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Νὰ εὑρεθοῦν : α) Αἱ θερμοκρασίαι καὶ αἱ πίεσεις εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως, εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκρήξεως, εἰς τὸ τέλος τῆς καύσεως καὶ εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως. β) Ἡ ἀποβληθεῖσα θερμότης. γ) Ἡ θερμότης, ἡ ὁποία μετεβλήθη εἰς μηχανικὸν ἔργον. δ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν καὶ ὁ βαθμὸς καύσεως. ε) Ἡ ἀναπτυσσομένη ἵπποδύναμις, ἐὰν ἡ μηχανὴ πραγματοποιῇ 100 κύκλους ἀνὰ λεπτόν μὲ βάρος ἀέρος $0,2 \text{ kg}$.

Διὰ τὸν ἀέρα $R = 29,2 \text{ kgm/kg}^\circ\text{C}$, $C_p = 0,24$, $C_v = 0,17$, $\gamma = 1,4$.

Λύσις :

Ἀναφερόμενοι εἰς τὸ σχῆμα 5·8 ἔχομεν δεδομένα :

$$P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2, \quad U_1 = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg} \quad t_1 = 20^\circ\text{C}, \quad \frac{U_1}{U_2} = r = 12, \quad U_1 = U_5.$$

$$H_v = 100 \text{ kcal/kg} \quad \text{και} \quad H_p = 100 \text{ kcal/kg} \quad \text{ήτοι}$$

$$H_1 = H_v + H_p = 200 \text{ kcal/kg}$$

$$\alpha) \quad P_2 = P_1 \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{\gamma} = 1 \times 12^{1,4} \quad \text{και} \quad P_2 = 32,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{\gamma-1} = 293 \times 12^{0,4} \quad \text{και} \quad T_2 = 791,6^{\circ} \text{ K.}$$

$$T_3 = T_2 + \frac{H_v}{C_v} = 791,6 + \frac{100}{0,17} \quad \text{και} \quad T_3 = 1379,8^{\circ} \text{ K.}$$

$$U_3 = \frac{U_5}{r} = \frac{0,9}{12} \quad \text{και} \quad U_3 = 0,075 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_3 = P_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 32,4 \times \frac{1379,8}{791,6} \quad \text{και} \quad P_3 = 56,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_4 = P_3 \quad \eta \quad P_4 = 56,4 \text{ kg/cm}^2.$$

$$T_4 = T_3 + \frac{H_p}{C_p} = 1379,8 + \frac{100}{0,24} \quad \text{και} \quad T_4 = 1796,4^{\circ} \text{ K}$$

$$U_4 = U_3 \cdot \frac{T_4}{T_3} = 0,075 \times \frac{1796,4}{1379,8} \quad \text{και} \quad U_4 = 0,09 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_4 U_4^{\gamma} = P_5 U_5^{\gamma} \quad \text{και} \quad P_5 = P_4 \left(\frac{U_4}{U_5} \right)^{\gamma} = 56,4 \times \left(\frac{0,09}{0,9} \right)^{1,4} \quad \text{και}$$

$$P_5 = 2,24 \text{ kg/cm}^2. \quad \text{Από την αλλαγή 5-1 λαμβάνομεν:}$$

$$\frac{P_5}{T_5} = \frac{P_1}{T_1} \quad \text{και} \quad T_5 = T_1 \cdot \frac{P_5}{P_1} = 293 \times \frac{2,24}{1} \quad \text{και} \quad T_5 = 654,32^{\circ} \text{ K.}$$

$$\beta) \quad H_2 = C_v(T_5 - T_1) = 0,17(654,32 - 293) \quad \text{και} \quad H_2 = 61,42 \text{ kcal.}$$

$$\gamma) \quad W = H_1 - H_2 = 200 - 61,42 = 138,58 \text{ kcal/kg.}$$

$$\delta) \quad \eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{200 - 61,42}{200} = 0,6929 \quad \text{και} \quad \eta_{\theta} = 69,29\%.$$

$$\epsilon) \quad \text{HP} = \frac{W \cdot 0,2 \times 100 \times 60}{632} = \frac{138,58 \times 0,2 \times 100 \times 60}{632} = 263,12 \text{ HP.}$$

Παρατηρούμεν ότι εις τὸν κύκλον αὐτὸν ἔχομεν ἀπόδοσιν μεγαλυτέραν τοῦ Otto καὶ Diesel μὲ τὸ αὐτὸ συνολικῶς χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος καὶ τὰς αὐτὰς ἀρχικὰς καταστάσεις.

Τοῦτο ἔδει νὰ ἀνεμένετο λόγῳ τοῦ ὅτι ἐλήφθη ἐνταῦθα μεγαλύτερος βαθμὸς συμπίεσεως τοῦ Otto, ἐνῶ ἐχορηγήθη μικρότερον ποσὸν θερμότητος ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν τῆς τοῦ Diesel.

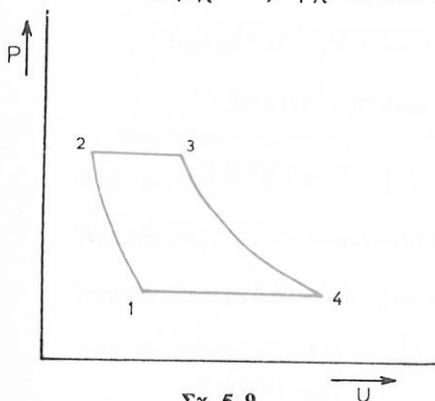
5.9 Κύκλος τοῦ Joule.

Ὁ κύκλος τοῦ Joule ἢ κύκλος Brayton εἶναι ὁ κύκλος σταθερᾶς πίεσεως, ὁ ὁποῖος ἔχει ἐφαρμογὴν εἰς τοὺς ἀεριοστροβίλους.

Αὐτὸς ἐξετάζεται κατ' ἀρχὴν ὡς κλειστὸς κύκλος, δηλαδὴ μὲ τὸ

θερμοδυναμικὸν ἐργαζόμενον μέσον νὰ παραμένῃ ἐντὸς τῆς μηχανῆς.

Ὁ κύκλος (σχ. 5·9) ἄρχεται ἀπὸ τὸ σημεῖον 1 καὶ ἀήρ συμπιέζεται



Σχ. 5·9.

ἀδιαβατικῶς μέχρι τὸ 2. Ἀπὸ τὴν κατάσταση 2 ἕως 3 χορηγεῖται θερμότης εἰς τὸν ἀέρα ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Ἀπὸ τὴν κατάσταση 3 ἕως 4 ὁ ἀήρ ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς καὶ ἐν συνεχείᾳ ἀποβάλλεται θερμότης κατὰ τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 4-1.

Ἡ χορηγούμενη θερμότης $H_1 = C_p (T_3 - T_2)$.

Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης $H_2 = C_p (T_4 - T_1)$.

Τὸ παραγόμενον ἔργον θὰ εἶναι $W = H_1 - H_2$ (εἰς μονάδας θερμότητος) καὶ ἡ ἀπόδοσις $\eta_\theta = \frac{H_1 - H_2}{H_1}$.

Ἀποδεικνύεται ὅτι :

$$\eta_\theta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (72)$$

$$\eta_\theta = \frac{C_p (T_3 - T_2) - C_p (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)} \quad \text{καὶ} \quad \eta_\theta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}.$$

Ἀπὸ τὰς ἀδιαβατικὰς ἀλλαγὰς 3-4 καὶ 1-2 μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (57) ἔχομεν ὅτι :

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{καὶ} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

καὶ δεδομένου ὅτι $P_4 = P_1$ καὶ $P_3 = P_2$ θὰ εἶναι καὶ $\frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2}$.

$$\text{Ἐπομένως καὶ} \quad \frac{T_4}{T_3} - 1 = \frac{T_1}{T_2} - 1 \quad \eta \quad \frac{T_4 - T_1}{T_1} = \frac{T_3 - T_2}{T_2} \quad \eta$$

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \text{ἐπομένως} \quad \eta_\theta = 1 - \frac{T_1}{T_2}, \quad \text{ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (72).}$$

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (72) παρατηροῦμεν ὅτι ὁ κύκλος Joule καὶ Otto ἔχουν τὴν αὐτὴν θερμικὴν ἀπόδοσιν διὰ τὰς αὐτὰς τιμὰς T_1 καὶ T_2 .

Εἰς τὴν πρᾶξιν ὅμως οἱ ἀεριοστρόβιλοι ἔχουν μικρὰν θερμικὴν ἀπόδοσιν λόγῳ μικρῶν σχετικῶς τιμῶν τοῦ βαθμοῦ συμπίεσεως καὶ τῶν θερμοκρασιῶν, πού εἶναι ἐπιτρεπταὶ εἰς τὰς μηχανὰς αὐτοῦ τοῦ τύπου, ὥς ἐμφαίνεται εἰς τὸ παράδειγμα.

Παράδειγμα.

Εἰς ἰδανικὸν κύκλον Joule ἀήρ συμπίεζεται ἀπὸ ἀρχικὴν πίεσιν 1 kg/cm^2 ἀπὸλ. εἰς πίεσιν 6 kg/cm^2 ἀπὸλ. Ὁ ἀρχικὸς εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀέρος εἶναι $0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Ἡ ἀρχικὴ θερμοκρασία του εἶναι 20°C . Ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος μετὰ τὴν συμπίεσιν εἶναι 250°C , ἐνῶ εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως εἶναι 520°C :

Ζητεῖται: α) Ἡ χορηγούμενη θερμότης εἰς kcal/kg . β) Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης εἰς kcal/kg . γ) Τὸ παραγόμενον ἔργον ἀνὰ κύκλον εἰς kcal/kg . δ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις ἐπὶ τοῖς ἑκατόν. ε) Ἡ ἀναπτυσσομένη ἵπποδύναμις διὰ μηχανήν, ποὺ πραγματοποιεῖ 100 κύκλους ἀνὰ λεπτὸν μὲ βάρος ἀέρος $0,2 \text{ kg}$.

Διὰ τὸν ἀέρα $R = 29,27 \text{ kgm/kg}^\circ \text{K}$, $C_p = 0,24$ καὶ $\gamma = 1,4$.

Λύσις:

Ἀναφερόμενοι εἰς τὸ σχῆμα 5·8 ἔχομεν δεδομένα :

$P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$, $P_2 = 6 \text{ kg/cm}^2$, $U_1 = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$, $T_1 = 293^\circ \text{K}$, $T_2 = 523^\circ \text{K}$
καὶ $T_4 = 793^\circ \text{K}$.

$$\text{Εὐρίσκομεν τὴν } T_3 = T_4 \cdot \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 793 \left(\frac{6}{1} \right)^{0,286}$$

$$\text{καὶ } T_3 = 1323,78^\circ \text{K}.$$

α) Ἡ χορηγούμενη θερμότης $H_1 = C_p (T_3 - T_2) = 0,24 (1323,78 - 523)$
καὶ $H_1 = 192,18 \text{ kcal/kg}$.

β) Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης $H_2 = C_p (T_4 - T_1) = 0,24 (793 - 293)$
καὶ $H_2 = 120 \text{ kcal/kg}$.

γ) Τὸ παραγόμενον ἔργον $W = H_1 - H_2 = 192,18 - 120 = 72,18 \text{ kcal/kg}$.

δ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις $\eta_\theta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{72,18}{192,18} = 0,37$ ἢ 37% .

ε) Ἡ ἀναπτυσσομένη ἵπποδύναμις $HP = \frac{0,2 \times 72,18 \times 60 \times 100}{632} = 137 \text{ HP}$.

Σημείωσις : Παρατηροῦμεν πόσον μικρὰν θερμικὴν ἀπόδοσιν ἔχει ὁ κύκλος αὐτὸς συγκρινόμενος μὲ τοὺς προηγουμένους τρεῖς. Τοῦτο ὀφείλεται εἰς τὸν χαμηλὸν λόγον τῶν πιέσεων $\frac{P_2}{P_1} = 6$ τοῦ κύκλου καὶ τῶν μικροτέρων ἀναπτυσσομένων θερμοκρασιῶν.

5·10 Ἀσκήσεις.

1) Ἀήρ βάρους $0,5 \text{ kg}$ χρησιμοποιεῖται ὡς ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον εἰς μηχανήν Carnot. Κατὰ τὴν ἀρχὴν τῆς ἀδιαβατικῆς συμπίεσεως ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος εἶναι 320°K καὶ ἡ πίεσις 3 kg/cm^2 ἀπὸλ. Ἡ πίεσις εἰς τὸ τέλος τῆς ἀδιαβατικῆς συμπίεσεως εἶναι 19 kg/cm^2 ἀπὸλ. καὶ βαθμὸς ἰσοθερμοκρασιακῆς ἐκτονώσεως $r = 2$.

Ζητεῖται: α) Ἡ πίεσις, ὄγκος καὶ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος εἰς ὅλα τὰ σημεία τοῦ τέλους ἐκάστης ἀλλαγῆς καταστάσεως τοῦ κύκλου. β) Ἡ χορηγούμενη θερμότης

εις kcal/kg. γ) 'Η αποβαλλομένη θερμότης εις kcal/kg. δ) Τὸ παραγόμενον ἔργον ἀνὰ κύκλον. ε) 'Η θερμικὴ ἀπόδοσις ἐπὶ τοῖς ἑκατόν. στ) 'Η ἵπποδύναμις τῆς μηχανῆς, ἐὰν αὐτὴ πραγματοποιῇ 500 κύκλους ἀνὰ λεπτόν. Δίδεται $R = 29,27 \text{ kgm/kg}^\circ\text{K}$ καὶ $\gamma = 1,4$.

(Ἐπ.: Μὲ βάσιν τὸ σχῆμα 5.5 εὐρίσκομεν :

α) $P_d = 3 \text{ kg/cm}^2$	$T_d = 320^\circ \text{K}$	$U_d = 0,1561 \text{ m}^3$
$P_\alpha = 12 \text{ kg/cm}^2$	$T_\alpha = 475,8^\circ \text{K}$	$U_\alpha = 0,0580 \text{ m}^3$
$P_b = 6 \text{ kg/cm}^2$	$T_b = 475,8^\circ \text{K}$	$U_b = 0,1160 \text{ m}^3$
$P_c = 1,5 \text{ kg/cm}^2$	$T_c = 320^\circ \text{K}$	$U_c = 0,3126 \text{ m}^3$

β) $H_1 = 22,45 \text{ kcal/kg}$

γ) $H_2 = 15,20 \text{ kcal/kg}$

δ) $W = 7,25 \text{ kcal/kg}$

ε) $\eta_\theta = 32,3\%$

στ) $HP = 169$)

2) Νὰ εὐρεθῇ ἡ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου Otto μὲ ὄρους θερμοκρασίας καὶ νὰ ὑπολογισθῇ αὐτὴ μὲ στοιχεῖα τοῦ παραδείγματος τῆς παραγράφου 5.6.

(Ἐπ.: Ἀναφερόμενοι εἰς τὸ σχῆμα 5.4 : $\eta_\theta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$ καὶ $\eta_\theta = 58,4\%$)

3) Ὁ κύλινδρος βενζινομηχανῆς ἔχει διάμετρον 2,48 in. Ἡ διαδρομὴ ἐμβόλου εἶναι 3,74 in καὶ ὁ βαθμὸς συμπίεσεως 5,7.

Εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς συμπίεσεως ἡ πίεσις εἶναι 14 lb/in^2 ἀπὸλ. καὶ ἡ θερμοκρασία 25°C . Εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως ἡ πίεσις εἶναι 160 lb/in^2 καὶ εἰς τὸ τέλος τῆς ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἐκρήξεως ἡ πίεσις εἶναι 440 lb/in^2 .

Ζητεῖται : ἡ κατὰ τὴν ἐκρηξιν χορηγούμενη θερμότης ($R = 100 \text{ ft-lb/lb}^\circ\text{C}$ καὶ $C_v = 0,21$). (Ἐπ.: $H = 0,1540 \text{ lcal}$)

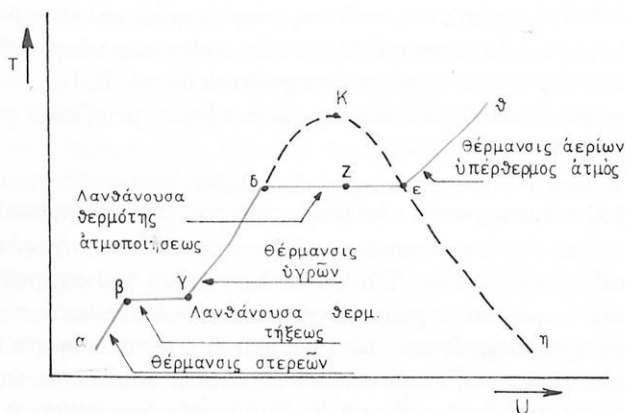
ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 6

ΥΔΡΑΤΜΟΙ

6.1 Γενικά περί ἀτμῶν. Αἱ τέσσαρες καταστάσεις ἐνὸς σώματος.

Εἰς τὴν φύσιν ἐν σῶμα δύναται νὰ ὑφίσταται εἰς μίαν τῶν τεσσάρων καταστάσεων ἀναλόγως μὲ τὴν πίεσιν καὶ τὴν θερμοκρασίαν, εἰς τὰς ὁποίας τοῦτο εὐρίσκεται, δηλαδή νὰ εἶναι στερεόν, ὑγρὸν, ἀτμός καὶ ἀέριον.

Ἐστω ὅτι ἐν ὑλικὸν εἰς πολὺ χαμηλὴν θερμοκρασίαν εὐρίσκεται εἰς κατάστασιν στερεοῦ σώματος. Ἐὰν θερμανθῇ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ἡ θερμοκρασία του θὰ ἀρχίσῃ νὰ ἀνέρχεται, ἕως ὅτου φθάσῃ εἰς τὸ σημεῖον τήξεως τοῦ σώματος. Τοῦτο παρίσταται ἀπὸ τὴν γραμμὴν α-β εἰς διάγραμμα μὲ ἄξονας θερμοκρασία-ὄγκος (σχ. 6.1). Ἐὰν συνεχί-



Σχ. 6.1.

σωμεν τὴν θέρμανσιν, ἡ θερμοκρασία παραμένει σταθερὰ καὶ ἀπορροφεῖται ἀπὸ τὸ σῶμα ἡ λανθάνουσα θερμότης τήξεως. Ἡ μεταβολὴ αὕτῃ παρίσταται διὰ τῆς γραμμῆς σταθερᾶς θερμοκρασίας β-γ.

Εἰς τὸ σημεῖον γ τὸ σῶμα εἶναι εἰς κατάστασιν ὑγρᾶν. Ἡ γραμμὴ γ-δ παρίστα τὴν θέρμανσιν τοῦ ὑγροῦ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ἕως ὅτου ἀποκτηθῇ ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως εἰς τὸ σημεῖον δ.

Εἰς τὸ σημεῖον δ ἄρχεται ἡ ἀτμοποίησης ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν, ἕως ὅτου τὸ σῶμα μεταβληθῇ εἰς ἀέριον εἰς τὸ σημεῖον ε. Ἡ γραμμὴ δ-ε παριστᾷ τὴν ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν χορήγησιν θερμότητος ἢ ἄλλως τὴν λανθάνουσαν θερμότητα ἀτμοποιήσεως. Μεταξὺ τῶν σημείων δ καὶ ε τὸ σῶμα εἶναι εἰς κατάστασιν ἀτμοῦ. Περιέχει δηλαδή ἐν αἰωρήσει σταγονίδια ὕγρου, ἀπὸ τὸ ὁποῖον προέρχεται. Τὸ ποσὸν τῶν σταγονιδίων ὕγρου ἐν αἰωρήσει εἰς ἓν σημεῖον ἐπὶ τῆς γραμμῆς δ-ε καθορίζει τὴν ὑγρότητα τοῦ ἀτμοῦ.

Ἡ ξηρότης τοῦ ἀτμοῦ, γνωστὴ ὡς *βαθμὸς ξηρότητας* ἢ *τίτλος τοῦ ἀτμοῦ*, παρίσταται μὲ τὸ σύμβολον χ . Ἐὰν χ εἶναι ὁ βαθμὸς ξηρότητας εἰς ἓν σημεῖον Z (σχ. 6.1), τότε $\chi = \frac{\text{Βάρος ξηροῦ ἀερίου}}{\text{Βάρος ὕγρου ἀτμοῦ}} = \frac{\text{Βάρος ξηροῦ ἀερίου ἀνὰ kg ἢ lb τοῦ ὕγρου ἀτμοῦ}}{\text{Βάρος ὕγρου ἀτμοῦ}}$.

Εἰς τὸ σημεῖον ε ὁ ἀτμὸς εἶναι 100% ξηρὸς καὶ εἰς ὠρισμένας περιπτώσεις δύναται νὰ θεωρηθῇ ὡς ἀέριον. Εἰς τὴν κατάστασιν αὐτὴν ἐ ὀνομάζεται ἐπίσης ξηρὸς κεκορεσμένος ἀτμὸς.

Ἡ περαιτέρω θέρμανσις ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν παρίσταται εἰς τὸ σχῆμα ὑπὸ τῆς γραμμῆς ε-θ, καλεῖται *ὑπερθέρμανσις* καὶ τὸ σῶμα μεταπίπτει εἰς τὴν κατάστασιν τοῦ ἀερίου. Ὡς ἀέριον τώρα ἀκολουθεῖ τοὺς νόμους τῶν ἀερίων καὶ ἔχει χαρακτηριστικὰ ὡς τὸ R , C_p , C_v καὶ γ , ποὺ παραμένουν σταθερὰ ἐντὸς ὠρισμένων ὁρίων μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας.

Τὰ διάφορα σημεῖα τῆς γραμμῆς αβγδεθ παριστοῦν τὴν κατάστασιν τοῦ σώματος κατὰ τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν θέρμανσίν του. Παρατηροῦμεν ὅτι ἔχομεν μεγάλην αὔξησιν ὀγκου κατὰ τὴν φάσιν τῆς τήξεως καὶ ἀτμοποιήσεως. Ἐὰν εἰς τὸ διάγραμμα τοῦ σχήματος 6.1 χαραχθοῦν παρόμοιαι γραμμαὶ θερμάνσεως ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν μὲ διαφορετικὰς τιμὰς πιέσεων, τότε θὰ εὑρεθῇ ὅτι τὰ διάφορα σημεῖα ἀντίστοιχα τῶν δ καὶ ε κεῖνται ἐπὶ τῆς αὐτῆς καμπύλης, ὡς αὕτη δεικνύεται ἐστιγμένη εἰς τὸ σχῆμα. Ἐντὸς τῆς ἐπιφανείας, ἡ ὁποία περικλείεται ἀπὸ τὴν καμπύλην γδΚεῖ ἔχομεν κατάστασιν ἀτμοῦ, τὸ δὲ σημεῖον Κ εἰς τὴν κορυφὴν τῆς καμπύλης ὀνομάζεται *κριτικὸν σημεῖον*.

Ἡ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν δύο σκελῶν τῆς καμπύλης εἰς οἰανδήποτε τιμὴν τοῦ T δίδει τὴν λανθάνουσαν θερμότητα ἀτμοποιήσεως διὰ τὴν θερμοκρασίαν αὐτὴν. Ἐπομένως εἰς τὸ κριτικὸν σημεῖον Κ ἡ λανθάνουσα θερμότης εἶναι μηδέν. Ἀνωθεν τοῦ σημείου αὐτοῦ δὲν δύ-

ναται νὰ ὑπάρξη κατάστασις ἀτμοῦ καὶ τὸ σῶμα μετατρέπεται κατ' εὐθείαν ἀπὸ ὑγρὸν εἰς ἀέριον, χωρὶς νὰ διέλθῃ τὴν φάσιν τοῦ ἀτμοῦ.

Ὅταν χορηγῇται ἡ ἀποβάλλεται ἀπὸ τὸν ἀτμὸν θερμότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, τοῦτο ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα αὐξησιν ἢ ἐλάττωσιν τοῦ βαθμοῦ ξηρότητος, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία παραμένει σταθερά· ἐπομένως δὲν ἔχουν ἐφαρμογὴν εἰς ἀτμούς χαρακτηριστικὰ ὡς C_p , C_v , R ἢ γ . Οἱ νόμοι δηλαδὴ τῶν αἰρίων δὲν ἐφαρμόζονται εἰς τοὺς ἀτμούς. Τὰ διάφορα χαρακτηριστικὰ τῶν ἀτμῶν εἰς εὐρέα ὅρια θερμοκρασιῶν καὶ πιέσεων ἔχουν μετρηθῇ πειραματικῶς καὶ ἔχουν ἀναγραφῇ εἰς εἰδικούς πίνακας δι' ὅλους τοὺς ἀτμούς, ποὺ χρησιμοποιοῦνται εἰς τὴν βιομηχανίαν (ιδεὲ Παράρτημα Θερμοδυναμικῆς πίνακες καὶ διαγράμματα).

6.2 Σχηματισμὸς ὕδρατμοῦ. Ὑγρὸς, ξηρὸς, ὑπέρθερμος ὕδρατμός.

Ὁ ὕδρατμός ἔχει τεραστίαν ἐφαρμογὴν εἰς τὰ πλοῖα, διότι πλεῖστα κύρια καὶ βοηθητικὰ μηχανήματα κινοῦνται μὲ ὕδρατμόν.

Ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως τοῦ ὕδατος ὅπως καὶ κάθε ὑγροῦ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν. Εἰς τυπικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν $1,033 \text{ kg/cm}^2$ τὸ ὕδωρ, ὡς γνωστόν, βράζει εἰς τοὺς 100°C ἢ 212°F . Ἡ τιμὴ τῆς θερμοκρασίας αὐτῆς ἀνέρχεται ἢ κατέρχεται, ἐφ' ὅσον ἡ πίεσις, εἰς τὴν ὁποίαν εὐρίσκεται τὸ ὕδωρ, εἶναι μεγαλυτέρα ἢ μικροτέρα τῆς ἀτμοσφαιρικῆς. Δι' ἐκάστην ἐπομένως τιμὴν πίεσεως ὑπάρχει μία καθωρισμένη θερμοκρασία, ἡ ὁποία ὀνομάζεται *θερμοκρασία βρασμοῦ* ἢ *θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως* ἢ *θερμοκρασία κορεσμοῦ*.

Γενικῶς, ὅταν ἐν ὑγρὸν εὐρίσκεται εἰς θερμοκρασίαν βρασμοῦ, λέγομεν ὅτι εἶναι εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ.

Εἰς τὸ σχῆμα 6.2 παρίσταται ἡ παραγωγὴ ὕδρατμοῦ ὑπὸ συνθήκας, αἱ ὁποῖαι ἐπικρατοῦν ἐντὸς λέβητος πλοίου.

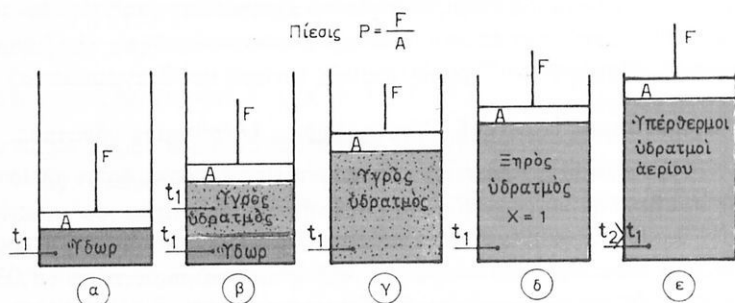
Ἐστω ὅτι ἐντὸς κυλίνδρου ἐν ἔμβολον ἐπιφανείας A (σχ. 6.2), ἄνωθεν τοῦ ὁποίου ἐφαρμόζεται μία σταθερὰ δύναμις F . Κάτωθεν τοῦ ἐμβόλου ὑπάρχει ποσότης 1 kg ὕδατος ἀρχικῆς θερμοκρασίας 0°C . Τὸ ὕδωρ τοῦτο θὰ εὐρίσκεται ὑπὸ πίεσιν $P_1 = \frac{F}{A}$. Ἐὰν θερμάνωμεν τὸ ὕδωρ, θὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του καὶ θὰ αὐξηθῇ κατὰ τι ὁ ὄγκος του. Ἡ αὐξησις αὕτῃ τοῦ ὄγκου θὰ ὑποχρεώσῃ τὸ ἔμβολον νὰ μετακινηθῇ πρὸς τὰ ἄνω, μὲ ἀποτέλεσμα παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου λόγω τῆς μετακινήσεως τῆς δυνάμεως F .

Τὸ ἔργον ὅμως τοῦτο δὲν εἶναι παρὰ μικρὸν κλάσμα τῆς θερμότη-

τητος, πού χορηγεῖται εἰς τὸ ὕδωρ διὰ νὰ ἀνέλθῃ ἡ θερμοκρασία του εἰς ἐκείνην τοῦ βρασμοῦ, καὶ συνήθως δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν.

Υγρὸς ὑδρατμός.

Ἐστω ὅτι εἰς τὴν πίεσιν P_1 ἀντιστοιχεῖ θερμοκρασία βρασμοῦ t_1 . Ὄταν τὸ ὕδωρ ἀποκτήσῃ τὴν θερμοκρασίαν αὐτὴν [σχ. 6.2(α)], ἀρχίζει νὰ ἀτμοποιῇται (ἐὰν ἐξακολουθῇ ἡ θέρμανσις ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν), ἐνῶ δὲν μεταβάλλεται ἡ θερμοκρασία του. Ἀποτέλεσμα τῆς



ἀτμοποιήσεως εἶναι ἡ αὔξησις τοῦ ὄγκου καὶ ἐπομένως καὶ ἡ πρὸς τὰ ἄνω μετακίνησις τοῦ ἐμβόλου (σχ. 6.2β).

Ἐφ' ὅσον τὸ ὕδωρ δὲν ἔχει ἐξατμισθῇ πλήρως, ὁ παραγόμενος ὑδρατμός εἶναι ὑγρὸς καὶ περιέχει ἐν αἰωρήσει μικρὰ σταγονίδια ὕδατος. Αὐτὸς εἶναι ὁ ὑπὸ τῶν λεβήτων τῶν πλοίων (ἄνευ ὑπερθερμαντήρος) παραγόμενος ἀτμός.

Διὰ νὰ εὐρεθοῦν ἀπὸ πίνακος τὰ διάφορα χαρακτηριστικὰ ἐνὸς ὑγροῦ ἀτμοῦ, πρέπει νὰ γνωρίζωμεν τὴν πίεσιν του P (ἢ τὴν θερμοκρασίαν του) καὶ τὸν βαθμὸν ξηρότητος αὐτοῦ χ .

Ξηρὸς ὑδρατμός.

Εἰς τὸ γ τοῦ σχήματος 6.2 ἔχομεν ὑγρὸν ὑδρατμόν καὶ ἐφ' ὅσον ἐξακολουθοῦμεν νὰ θερμαίνωμεν, τότε ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν θὰ ἀτμοποιηθοῦν ἐν πρὸς ἐν ὅλα τὰ ἐν αἰωρήσει σταγονίδια καὶ ὁ ὑδρατμός θὰ μετατραπῇ εἰς ξηρόν. Εἰς τὸ δ ἔχομεν κατάστασιν ξηροῦ ὑδρατμοῦ. Εἰς τὸν ξηρὸν ὑδρατμόν: α) Οὐδὲν σταγονίδιον ὕδατος ὑπάρχει ἐν αἰωρήσει. β) Ὁ βαθμὸς ξηρότητός του $\chi = 1$. γ) Ἡ θερμοκρασία του εἶναι ἡ αὐτὴ με ἐκείνην τοῦ κορεσμοῦ.

Διὰ νὰ εὑρεθοῦν ἀπὸ πίνακας τὰ διάφορα χαρακτηριστικά ἐνὸς ξηροῦ ἀτμοῦ, πρέπει νὰ γνωρίζωμεν τὴν πίεσιν τοῦ ἢ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ. Εὐνόητον τυγχάνει ἐκ τῶν ἀνωτέρω ὅτι ἡ ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν, ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως τοῦ ὕδατος, ἡ θερμοκρασία ὑγροῦ ὕδρατμοῦ καὶ ἡ θερμοκρασία ξηροῦ ὕδρατμοῦ εἶναι ἡ αὐτή.

Ὑπερθερμος ὕδρατμός.

Ἐφ' ὅσον ἐξακολουθήσῃ ἡ θέρμανσις, ὁ ξηρὸς ὕδρατμός μετατρέπεται εἰς ὑπέρθερμον (ἄριος κατάστασις). Ἡ θερμοκρασία δηλαδὴ αὐξάνει ἀνωθεν ἐκείνης τοῦ κορεσμοῦ, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ ε τοῦ σχήματος 6·2.

Διὰ νὰ εὗρωμεν τὰ χαρακτηριστικά ἐνὸς ὑπερθέρμου ἀτμοῦ ἀπὸ πίνακας, πρέπει νὰ γνωρίζωμεν τὴν πίεσιν καὶ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ.

Αἱ φάσεις α καὶ β (σχ. 6·2) σχηματισμοῦ ὕδρατμοῦ λαμβάνουν χώραν ἐντὸς τοῦ ἀτμοθαλάμου καὶ τῶν ἀτμογόνων αὐλῶν τοῦ λέβητος ἐνὸς πλοίου, ἐνῶ αἱ φάσεις γ, δ καὶ ε λαμβάνουν χώραν ἐντὸς ἰδιαίτερου ἐξαρτήματος τοῦ λέβητος, ποὺ λέγεται *ὑπερθερμαντήρ*.

Εἰς τὴν πρᾶξιν δὲν ὑφίσταται ξηρὸς ὕδρατμός, ἀλλὰ ὑγρὸς ἢ ὑπέρθερμος. Ὁ ξηρὸς ἀτμός γενικὰ εἶναι μία στιγμιαία μεταβατικὴ κατάσταση ὑγροῦ ἀτμοῦ πρὸς ὑπέρθερμον.

Παρατηροῦμεν εἰς τὸ σχῆμα 6·2 ὅτι ὁ ὄγκος τοῦ ὕδρατμοῦ αὐξάνει ἀπὸ φάσεως εἰς φάσιν ἀνερχομένου τοῦ ἐμβόλου ἀναλόγως, μὲ ἀποτέλεσμα παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου λόγῳ τῆς μετακινήσεως τῆς δυνάμεως F πρὸς τὰ ἄνω.

6·3 Αἰσθητὴ θερμότης ὕδατος. Ὀλικὴ θερμότης ὕδατος.

Ἡ μέτρησις τῆς περιεχομένης θερμότητος εἰς ὕδωρ ἢ εἰς ὕδρατμόν γίνεται μὲ τὴν ὑπόθεσιν ὅτι ὕδωρ θερμοκρασίας 0°C ἢ 32°F δὲν περιέχει καθόλου θερμότητα. Ἐπομένως ἐὰν t_1 εἶναι ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως τοῦ ὕδατος, ὡς εἰς περίπτωσιν α τοῦ σχήματος 6·2, θὰ ἔχωμεν :

Ὀλικὴ θερμότης ὕδατος = $C(t_1 - 0)$ εἰς kcal, ἐὰν t_1 εἶναι εἰς βαθμοὺς $^{\circ}\text{C}$ ἢ $= C(t_1 - 32)$ εἰς BTU, ἐὰν t_1 εἶναι εἰς βαθμοὺς $^{\circ}\text{F}$, ὅπου C εἶναι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος.

Διὰ μηχανολογικοὺς ὑπολογισμοὺς δεχόμεθα ὅτι ὑπάρχει ἀρκετὴ ἀκρίβεια, ἐὰν διὰ τὸ ὕδωρ λάβωμεν τὴν τιμὴν τοῦ C ἴσην μὲ τὴν μονάδα, ὁπότε ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος : α) θὰ ἰσοῦται μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ εἰς μονάδας ἑκατονταβάθμου διὰ 1 kg ἢ β) θὰ ἰσοῦ-

ται με την θερμοκρασίαν του μείον 32 εις μονάδας Φαρενάιτ, διὰ 1 lb.

Ἀπὸ μετρήσεις εὐρέθη ὅτι ὑπάρχει ἐλαφρὰ μεταβολὴ τῆς εἰδικῆς θερμότητος τοῦ ὕδατος διὰ μεγάλας μεταβολὰς θερμοκρασίας. Ἡ μεταβολὴ αὕτῃ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν εἰς τὰς τιμὰς τῆς θερμότητος, ποὺ δίδονται εἰς τοὺς πίνακας ὑδρατμῶν (ἰδὲ Παράρτημα). Εἰς τοὺς πίνακας αὐτοὺς μετὰ τὸ σύμβολον ρ ἀναφέρεται ἡ αἰσθητὴ θερμότης τοῦ ὕδατος εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ, δηλαδὴ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀπαιτεῖται διὰ τὴν ἀνύψωσιν τῆς θερμοκρασίας 1 kg (ἢ 1 lb) ὕδατος ἀπὸ θερμοκρασίαν 0°C (ἢ 32°F) εἰς τὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως t_1 , ἡ ὁποία ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν.

Ἡ τιμὴ τοῦ ρ εἰς τυπικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν εἶναι 100 kcal/kg ἢ 180 BTU/lb.

6.4 Βαθμὸς ξηρότητος ἢ τίτλος ὑγροῦ ὑδρατμοῦ.

Γνωρίζομεν ὅτι βαθμὸς ξηρότητος ἢ τίτλος ὑγροῦ ὑδρατμοῦ εἶναι τὸ ποσὸν τοῦ καθαροῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ, ποὺ περιέχει 1 kg (ἢ 1 lb) ὑγροῦ ὑδρατμοῦ καὶ παρίσταται μετὰ τὸ γράμμα χ (παράγρ. 6.1).

Οὕτω $\chi=0,9$ σημαίνει ὅτι τὰ 0,9 τοῦ ὕδατος ἔχουν ἀτμοποιηθῇ πλήρως, ἐνῶ τὸ ὑπόλοιπον 0,1 εἶναι σταγονίδια ὕδατος ἐν αἰωρήσει ἐντὸς τοῦ ὑδρατμοῦ. Ἐὰν δηλαδὴ χ εἶναι ὁ βαθμὸς ξηρότητος ἐνὸς ὑγροῦ ὑδρατμοῦ, $1-\chi$ εἶναι ἡ εἰς αὐτὸν περιεχομένη ὑγρασία ὑπὸ μορφὴν σταγονιδίων κατὰ βάρος. Ὁ ξηρὸς ὑδρατμὸς ἔχει τιμὴν χ ἴσην μετὰ τὴν μονάδα, ἐνῶ ὕδωρ εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ ἔχει χ ἴσον μετὰ τὸ μηδέν.

6.5 Λανθάνουσα θερμότης ὑδρατμοῦ.

Εἰς τὸ σχῆμα 6.2 εἶδομεν ὅτι μόλις τὸ ὕδωρ ἀποκτήσῃ τὴν θερμοκρασίαν βρασμοῦ t_1 εἰς φάσιν α , ἀρχίζει ἡ ἀτμοποίησις ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν μέχρι τῆς φάσεως δ . Ἡ θερμότης, ἡ ὁποία ἀπορροφεῖται ἀπὸ τὸ ὕδωρ κατὰ τὴν ἀτμοποίησίν του ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν, λέγεται *λανθάνουσα θερμότης ἀτμοποιήσεως*. Εἰς τοὺς πίνακας τῶν ὑδρατμῶν μετὰ τὸ σύμβολον λ παρίσταται ἡ λανθάνουσα θερμότης ξηροῦ ὑδρατμοῦ, δηλαδὴ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀπαιτεῖται διὰ τὴν μετατροπὴν 1 kg (ἢ 1 lb) ὕδατος ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν βρασμοῦ εἰς ξηρὸν ὑδρατμὸν τῆς αὐτῆς πίεσεως καὶ θερμοκρασίας.

Ἡ τιμὴ τῆς λανθανούσης θερμότητος ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν. Ἐλαττοῦται ὅσον ἡ πίεσις αὐξάνει καὶ μηδενίζεται εἰς τὴν κριτικὴν

πίεσιν, ή όποία διά τόν ύδωρ είναι 225,2 kg/cm² (ή 3206,2 lb/in²).

Η τιμή τής λανθανούσης θερμότητος του ύγρου ύδρατμου φανερόν είναι ότι θα είναι κλάσμα εκείνης του ξηροῦ τής αὐτῆς πίεσεως, θα ίσοῦται δέ μέ τόν γινόμενον $\chi \cdot \lambda$, όπου χ είναι ό βαθμός ξηρότητος του ύγρου ύδρατμου.

Η τιμή του λ εἰς τυπικήν ατμοσφαιρικήν πίεσιν είναι 539 kcal/kg ή 970,4 BTU/lb.

6.6 Όλική θερμότης ύδρατμου.

Τό ποσόν τής θερμότητος, που απαιτεῖται εἰς ώρισμένην πίεσιν διά τήν ατμοποίησιν 1 kg (ή 1 lb) ύδατος από θερμοκρασίαν 0° C (ή 32° F) καλεῖται *όλική θερμότης ύδρατμου* καί παρίσταται μέ τόν γράμμα ι .

Οὕτω διά νά γίνη ό ατμός ύγρός, ως εἰς τόν γ του σχήματος 6.2, απαιτεῖται ποσόν θερμότητος ρ , διά νά ανέλθῃ ή θερμοκρασία του ύδατος από τούς 0° C εἰς τούς t_1 του βρασμοῦ καί ποσόν ($\chi \cdot \lambda$) λανθανούσης θερμότητος, διά νά μετατραπῇ τόν ύδωρ εἰς ύγρόν ατμόν· επομένως ή όλική θερμότης ύγρου ύδρατμου εύρίσκεται έκ τής ισότητος :

$$\iota = \rho + \chi \cdot \lambda \quad (73)$$

Διά νά μετατραπῇ 1 kg ύδατος εἰς ξηρόν ύδρατμόν, πρέπει νά απορροφήσῃ ρ αἰσθητήν θερμότητα, διά νά ἀρχίσῃ ή ατμοποίησις, καί λ λανθάνουσας θερμότητας, ώστε ό ατμός νά γίνη ξηρός (δ του σχ. 6.2). Έπομένως ή όλική θερμότης του ξηροῦ ύδρατμου δίδεται έκ τής ισότητος :

$$\iota = \rho + \lambda \quad (74)$$

Μόλις ό ατμός γίνη ξηρός, διά περαιτέρω θερμάνσεως μετατρέπεται εἰς ύπερθερμόν δι' αὐξήσεως τής θερμοκρασίας του (ε του σχ. 6.2).

Η θερμανσις γίνεται ὑπό σταθεράν πίεσιν, δεδομένου δέ ότι ό ύπερθερμός ύδρατμός ὑπάγεται εἰς τήν κατηγορίαν τῶν αερίων, τόν ποσόν τής ἐπὶ πλέον χορηγηθείσης θερμότητος εἰς 1 kg (ή 1 lb) ξηροῦ ύδρατμου διά νά μετατραπῇ εἰς ύπερθερμόν θα ίσοῦται μέ $C_p (t_2 - t_1)$, όπου :

C_p εἶναι ή εἰδική θερμότης ὑπό σταθεράν πίεσιν του ύπερθέρμου ατμοῦ, t_2 ή θερμοκρασία του ύπερθέρμου ατμοῦ, t_1 ή θερμοκρασία του ξηροῦ ύδρατμου τής αὐτῆς πίεσεως μέ τόν ύπερθερμόν.

Έπομένως ή όλική θερμότης του ύπερθέρμου ύδρατμου εύρίσκεται έκ τής ισότητος :

$$\iota = \rho + \lambda + C_p (t_2 - t_1) \quad (75)$$

Τὸ C_p τοῦ ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ, ἐκτὸς ἐὰν ἄλλως ἀναφέρεται, θὰ λαμβάνεται $C_p = 0,55$.

6.7 Χρήσις πινάκων ξηροῦ ὑδρατμοῦ. Ὑπολογισμὸς θερμότητος ἀτμοποιήσεως τοῦ ὕδατος.

Πίνακες ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς μετρικὸν καὶ ἀγγλικὸν σύστημα μονάδων δίδονται εἰς τὸ παράρτημα *Πίνακες καὶ Διαγράμματα Θερμodynamικῆς* (Ἔκδοσις Ἰδρύματος Εὐγενίδου).

Τῇ βοήθειᾳ τῶν πινάκων ὑπολογίζονται αἱ διάφοροι ιδιότητες τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς οἵανδήποτε κατάστασιν καὶ ἐὰν εὐρίσκεται αὐτός.

Οἱ πίνακες αὐτοὶ εἶναι πραγματικοὶ καὶ ἐξήχθησαν διὰ πειραμάτων ἐπὶ ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς διαφόρους θερμοκρασίας καὶ πιέσεις.

Αἱ ἀναγραφόμεναι εἰς τοὺς πίνακας πιέσεις εἶναι ἀπόλυτοι, ἥτοι κατὰ μίαν ἀτμόσφαιραν (15 lb/in^2 ἢ 1 kg/cm^2) μεγαλύτεραι τῶν θλιβομετρικῶν (μανομετρικῶν). Οἱ πίνακες ξηροῦ ὑδρατμοῦ δίδουν τιμὰς τῆς ἀπολύτου πιέσεως, τῆς θερμοκρασίας ἀτμοποιήσεως, τοῦ ρ καὶ λ καὶ τοῦ i ξηροῦ ὑδρατμοῦ, ὡς ἐπίσης τὸν εἰδικὸν ὄγκον αὐτοῦ εἰς m^3/kg ἢ ft^3/lb . Ἐπίσης οἱ πίνακες αὐτοὶ δυνατόν νὰ περιέχουν καὶ τιμὰς εἰδικοῦ ὄγκου ὕδατος εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ ὡς καὶ τιμὰς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας καὶ ἐντροπίας τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ. (Οἱ ὅροι αὐτοὶ ἐπεξηγοῦνται εἰς παράγραφον 6.11 καὶ Κεφάλαιον 7 ἀντιστοίχως). Διὰ νὰ εὐρεθῇ τὸ ἀπαιτούμενον ποσὸν θερμότητος μετατροπῆς εἰς ὑδρατμὸν 1 kg ἢ 1 lb ὕδατος ὑπὸ ὠρισμένην θερμοκρασίαν καὶ εἰς ὠρισμένην πίεσιν, εὐρίσκεται πρῶτον ἡ ὅλική θερμότης i τοῦ ὑδρατμοῦ διὰ τῆς χρήσεως τῶν ἰσοτήτων (73), (74) ἢ (75) ἀναλόγως (μὲ τὴν βοήθειαν τῶν πινάκων) καὶ ἐν συνεχείᾳ ἀφαιρεῖται τὸ ποσὸν θερμότητος, ποῦ ἀρχικῶς περιεῖχεν τὸ ὕδωρ μὲ βάσιν τὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν του (παράγρ. 6.3).

Παράδειγμα 1^{ον}.

Ζητεῖται ἡ ὅλική θερμότης ὑγροῦ ὑδρατμοῦ πιέσεως 10 kg/cm^2 ἀπολύτου καὶ βαθμοῦ ξηρότητος $x = 0,9$.

Λύσις:

Ἐκ τῆς ἰσότητος (73) ἔχομεν $i = \rho + x \cdot \lambda$.

Διὰ τῆς χρήσεως τοῦ Πίνακος 1 τοῦ Παραρτήματος λαμβάνομεν διὰ πίεσιν 10 kg/cm^2 τὸ $\rho = 181,1$ καὶ τὸ $\lambda = 481,9$ ἐνῶ τὸ $x = 0,9$ (δίδεται).

Ἐπομένως $i = 181,1 + 0,9 \times 481,9 = 614,81 \text{ kcal/kg}$.

Παράδειγμα 2^{ον}.

Ζητείται τὸ ἀπαιτούμενον ποσὸν θερμότητος διὰ τὴν μετατροπὴν 1 lb ὕδατος θερμοκρασίας 320° F εἰς ὕδρατμόν πίεσεως 585 lb/in² θλιβομετρικῆς καὶ θερμοκρασίας 786,4° F.

Λύσις:

Μετατρέπομεν κατὰ πρῶτον τὴν θλιβομετρικὴν πίεσιν εἰς ἀπόλυτον, ἥτοι $P = 585 + 15 = 600 \text{ lb/in}^2$. Ἀπὸ τὸν Πίνακα 2 τοῦ Παραρτήματος βλέπομεν ὅτι ἡ ἀντίστοιχος θερμοκρασία ξηροῦ ὕδρατμοῦ εἶναι 486,4° F· ἐπομένως ὁ ὕδρατμος τοῦ προβλήματος εἶναι ὑπέρθερμος.

Εὐρίσκομεν πρῶτον τὴν ὀλικὴν αὐτοῦ θερμότητα (ισότης 75) :

$$i = \rho + \lambda + C_p (t_2 - t_1).$$

Ἀπὸ τοὺς πίνακας λαμβάνομεν $\rho + \lambda = 1211$, $t_1 = 486,4^\circ \text{ F}$.

Ἐπίσης ἔχομεν $t_2 = 786,4^\circ \text{ F}$ (δίδεται) καὶ $C_p = 0,55$ · ἐπομένως :

$$i = 1211 + 0,55 (786,4 - 486,4) = 1376 \text{ BTU/lb}.$$

Τὸ ἀρχικὸν ποσὸν θερμότητος, ποὺ περιέχει τὸ ὕδωρ, θὰ εἶναι :

$$(t_{\text{υδ}} - 32) = 320 - 32 = 288 \text{ BTU/lb (παράγρ. 6·3)}.$$

Ἐπομένως τὸ ζητούμενον ποσὸν θερμότητος :

$$H = 1376 - 288 = 1088 \text{ BTU/lb}.$$

6·8 Ὑπέρθερμος ὕδρατμός.

Γνωρίζομεν ὅτι ὁ ὑπέρθερμος ὕδρατμος παράγεται διὰ περαιτέρω θερμάνσεως τοῦ ξηροῦ (ἐντὸς τοῦ ὑπερθερμαντήρος τοῦ λέβητος) καὶ ἡ θερμοκρασία του ἐπομένως εἶναι μεγαλύτερα τοῦ ξηροῦ ὕδρατμοῦ τῆς αὐτῆς πίεσεως (παράγρ. 6·2). Διὰ τὴν εὔρεσιν τῶν διαφόρων χαρακτηριστικῶν τοῦ ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ τῇ βοήθειᾳ πινάκων ἢ διαγραμμάτων εἶναι ἀπαραίτητος ἡ γνῶσις δύο στοιχείων του, τῆς πίεσεως καὶ τῆς θερμοκρασίας του.

Ἡ ὀλικὴ θερμότης i τοῦ ὑπερθέρμου δίδεται ἐκ τῆς ισότητος (76), ἥτοι $i = \rho + \lambda + C_p (t_2 - t_1)$.

Ἡ διαφορὰ $t_2 - t_1$ (δηλαδὴ τῆς θερμοκρασίας τοῦ ὑπερθέρμου καὶ ἐκείνης τοῦ ξηροῦ ἀτμοῦ τῆς αὐτῆς πίεσεως) ὀνομάζεται *θερμοκρασία ὑπερθερμάνσεως*. Τὸ δὲ ἐπὶ πλέον ποσὸν θερμότητος, ποὺ δίδεται εἰς τὸν ξηρὸν διὰ τὴν μεταβληθῆ εἰς ὑπέρθερμον ὕδρατμόν, δηλαδὴ τὸ γινόμενον $C_p (t_2 - t_1)$ λέγεται *θερμότης ὑπερθερμάνσεως*. Ἡ εἰδικὴ θερμότης C_p τοῦ ὑπερθέρμου ἐλαττοῦται μὲ τὴν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας καὶ αὐξάνεται μὲ τὴν αὔξησιν τῆς πίεσεως τοῦ ὕδρατμοῦ ὡς διαγραμματικῶς παρίσταται εἰς τὸ σχῆμα 6·8. Ἡ τιμὴ τοῦ C_p δι' ὑπέρθερμον

ύδρατμόν κυμαίνεται από 0,48 έως 0,65 με μία μέση τιμήν 0,55.

Εἰς τοὺς Πίνακας 3 καὶ 4 τοῦ Παραρτήματος δίδονται τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ ὑπερθέρμου, δηλαδή ἡ ὅλική θερμότης, ὁ εἰδικὸς ὄγκος καὶ ἡ ἐντροπία με βάσιν τὴν πίεσιν καὶ τὴν θερμοκρασίαν.

Με τὴν βοήθειαν τῶν Πινάκων 1 καὶ 3 ἢ 2 καὶ 4 τοῦ Παραρτήματος εὐρίσκεται τὸ C_p τοῦ ὑπερθέρμου ἀτμοῦ, διότι ἀπὸ τὴν ἰσότητα (75) ἔχομεν :

$$C_p = \frac{l_{\text{υπερ.}} - l_{\text{ξηροῦ}}}{t_2 - t_1} \quad (76)$$

Τὰς τιμὰς $l_{\text{ξηροῦ}}$, $l_{\text{υπερ.}}$ καὶ τὸ

t_1 τὸ λαμβάνομεν ἀπὸ τοὺς ἀντιστοιχοὺς πίνακας, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία t_2 τοῦ ὑπερθέρμου εἶναι γνωστή.

Οἱ νόμοι τῶν ἀερίων ἐφαρμόζονται καὶ εἰς τὸν ὑπερθερμον ὕδρατμόν με ἀρκετὴν προσέγγισιν, ἡ ὁποία καλύπτει τὰς ἀνάγκας τῶν πρακτικῶν ἐφαρμογῶν.

Παράδειγμα.

Ζητεῖται τὸ C_p ὑπερθέρμου ἀτμοῦ πίεσεως 30 kg/cm² ἀπολύτου καὶ θερμοκρασίας 450° C.

Λύσις :

Ἐκ τῆς ἰσότητος (76) ἔχομεν :

$$C_p = \frac{l_{\text{υπερ.}} - l_{\text{ξηροῦ}}}{t_2 - t_1}$$

Ἀπὸ τὸν Πίνακα 1 τοῦ Παραρτήματος λαμβάνομεν $l_{\text{ξηροῦ}} = 669,7$ καὶ $t_1 = 232,76$.

Ἀπὸ τὸν Πίνακα 3 τοῦ Παραρτήματος ἔχομεν $l_{\text{υπερ.}} = 797,7$, τὸ $t_2 = 450$ (δίδεται).

$$\text{Ἐπομένως} \quad C_p = \frac{797,7 - 669,7}{450 - 232,76} = 0,589.$$

6.9 Εἰδικὸς ὄγκος ὕδρατμοῦ.

α) Ξηρὸς ὕδρατμός.

Ὁ εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ ὕδρατμοῦ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν του καὶ ὑπολογίζεται πειραματικῶς. Ἐκφράζεται εἰς m³/kg ἢ ft³/lb καὶ

εύρεται εις ειδικήν στήλην εις τοὺς Πίνακας 1 καὶ 2 (Παράρτημα).

Ἐὰν u_α ὁ εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ ὑδρατμοῦ, τότε $\frac{1}{u_\alpha} =$ ἡ πυκνότης τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς kg/m^3 ἢ lb/ft^3 .

β) Ὑγρὸς ὑδρατμός.

Ἐὰν ὁ ὑδρατμὸς εἶναι ὑγρὸς βαθμοῦ ξηρότητος χ , τότε 1 kg ὑδρατμοῦ θὰ εἶναι μίγμα χ βάρους ξηροῦ ὑδρατμοῦ καὶ $1 - \chi$ σταγονιδίων ὕδατος ἐν αἰωρήσει, ὁπότε :

Ὅγκος 1 kg ὑγροῦ ὑδρατμοῦ = ὄγκος περιεχομένου ξηροῦ ἀτμοῦ + ὄγκος σταγονιδίων ὕδατος.

Ἐπομένως ὄγκος 1 kg ὑγροῦ ὑδρατμοῦ = $\chi \cdot u_\alpha + (1 - \chi)u_v$, ὅπου $u_v =$ ὄγκος 1 kg ὕδατος ἀντιστοίχου θερμοκρασίας καὶ πίεσεως.

Εἰς τὰς ἐν χρήσει πιέσεις τῶν λεβήτων τῶν πλοίων ὁ ὄγκος u_v 1 kg ὕδατος εἶναι πολὺ μικρὸς συγκρινόμενος μὲ τὸν ἀντίστοιχον ὄγκον u_α τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ (ιδεὲ Πίνακα 5 Παραρτήματος).

Ἐπομένως ἡ σχέση $(1 - \chi)u_v$ εἶναι ποσότης ἀμελητέα διὰ πρακτικὰς ἐφαρμογὰς καὶ δύναται νὰ παραλειφθῇ, ὁπότε :

Ὁ εἰδικὸς ὄγκος ὑγροῦ ὑδρατμοῦ εἶναι :

$$v_{\text{ύγροῦ}} = \chi \cdot v_\alpha \quad (77)$$

Ἡ πυκνότης τότε τοῦ ὑγροῦ ὑδρατμοῦ θὰ εἶναι ἴση μὲ τὸ κλάσμα $\frac{1}{\chi \cdot u_\alpha}$.

γ) Ὑπερθερμὸς ὑδρατμός.

Διὰ τὴν εὔρεσιν τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου ὑπερθέρμου ἀτμοῦ ἐφαρμόζομεν τὴν ἰσότητα :

$$\frac{v_\alpha}{T_1} = \frac{v}{T_2} \quad (78)$$

ὅπου u_α εἶναι εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ ὑδρατμοῦ πίεσεως P_1 καὶ ἀπολύτου θερμοκρασίας T_1 , v εἶναι ὁ ζητούμενος εἰδικὸς ὄγκος ὑπερθέρμου τῆς αὐτῆς πίεσεως P_1 καὶ ἀπολύτου θερμοκρασίας T_2 . Ἡ ἰσότης αὕτη (νόμος Gay - Lussac) ἐφαρμόζεται, διότι ὁ ξηρὸς ἀτμὸς θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ μετατρέπεται εἰς ὑπερθερμον, δεδομένου δὲ ὅτι εἰς ἀμφοτέρους οὐδὲν σταγονίδιον ὕδατος εὑρίσκεται ἐν αἰωρήσει, ἐφαρμόζονται οἱ νόμοι τῶν ἀερίων μὲ μεγάλην προσέγγισιν. Ἡ ἰσότης (78) δίδει περισσότερον ἀκριβῆ ἀποτέλεσμα διὰ μεγάλους βαθμοὺς ὑπερ-

θερμάνσεως και όχι λίαν υψηλές πιέσεις. Διὰ μικροῦς βαθμοὺς ὑπερθερμάνσεως και ὑψηλὰς πιέσεις τὰ λαμβανόμενα ἀποτελέσματα δὲν εἶναι ἀκριβῆ.

Ἀκριβέστερα ἀποτελέσματα δίδουν διάφοροι πειραματικά ἰσότητες, ὡς τοῦ Callendar :

$$U - 0,016 = \frac{0,1101 \cdot J \cdot T}{P} - 1,192 \left(\frac{273}{T} \right)^3$$

$$\eta \text{ τοῦ Dally : } U = \frac{2,244 (U_{\text{περ.}} - 464)}{P} + 0,123,$$

τὰς ὁποίας ἀπλῶς ἀναγράφομεν πρὸς πληροφορίαν.

Διὰ τοὺς σκοποὺς τοῦ παρόντος βιβλίου ὁ εἰδικὸς ὄγκος ὑπερθερμῶν ἀτμοῦ θὰ εὐρίσκεται ἢ διὰ τῆς χρησιμοποίησεως τῆς ἰσότητος (78) ἢ μὲ τὴν βοήθειαν τῶν Πινάκων 3 καὶ 4 τοῦ Παραρτήματος.

Παράδειγμα.

Ζητεῖται ὁ εἰδικὸς ὄγκος ὕδατος πίεσεως 10 kg/cm^2 ἀπολύτου: α) Ἐάν εἶναι ξηρὸς. β) Ἐάν εἶναι ὑγρὸς, $\chi = 0,9$ καὶ γ) Ἐάν εἶναι ὑπέρθερμος θερμοκρασίας 380°C .

Λύσις :

α) Ἀπὸ τὸν Πίνακα 1 (Παράρτημα) εὐρίσκομεν ὅτι εἰς πίεσιν 10 kg/cm^2 ὁ ξηρὸς ὕδρατμος ἔχει εἰδικὸν ὄγκον : $v_\alpha = 0,1981 \text{ m}^3/\text{kg}$.

β) Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὑγροῦ ὕδατος ἐκ τῆς ἰσότητος (77) θὰ εἶναι :

$$v_{\text{υγροῦ}} = \chi \cdot v_\alpha = 0,9 \times 0,1981 = 0,1782 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

γ) Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὑπερθερμῶν ἐκ τῆς ἰσότητος (78) θὰ εἶναι :

$$v = \frac{v_\alpha}{T_1} \cdot T_2 = \frac{0,1981}{452} \times 653 = 0,2883 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Ἐκ τοῦ Πίνακος 3 τοῦ Παραρτήματος εὐρίσκεται ὅτι ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὑπερθερμῶν ὡς ἄνω εἶναι $0,3028 \text{ m}^3/\text{kg}$, ἡ ὁποία εἶναι καὶ ἡ ἀκριβὴς τιμὴ.

Ἐκ τοῦ ὡς ἄνω παραδείγματος καταδεικνύεται ὅτι ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν ὁ ὑπέρθερμος ἔχει μεγαλύτερον εἰδικὸν ὄγκον τοῦ ξηροῦ καὶ ὁ ξηρὸς μεγαλύτερον εἰδικὸν ὄγκον τοῦ ὑγροῦ ὕδατος.

6.10 Ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως.

Εἰς τὴν παράγραφον 6.2 ἀνεφέρθη ὁ τρόπος σχηματισμοῦ ὕδατος ἐνὸς ἀτμολέβητος ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν P_1 .

Ἐστω ὅτι ὁ ὄγκος 1 kg ὕδατος θερμοκρασίας κορεσμοῦ t_1 (α τοῦ σχ. 6.2) θερμαίνεται. Παρατηροῦμεν ὅτι μὲ τὴν ἑνῶξιν τῆς ἀτμοποιήσεως ὁ ὄγκος τοῦ παραγομένου ἀτμοῦ αὐξάνει σημαντικῶς ἐν σχέ-

σει με τὸν ὄγκον τοῦ ὕδατος (φάσεις β, γ, δ, καὶ ε τοῦ σχ. 6·2). Μὲ τὴν αὐξησιν ὁμως αὐτὴν τοῦ ὄγκου τὸ ἔμβολον ἀνέρχεται καὶ ἡ δύναμις F μετακινεῖται πρὸς τὰ ἄνω. Τοῦτο ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου, ποῦ ὀνομάζεται *ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως*.

Ἐὰν u_v εἶναι ὁ ἀρχικὸς ὄγκος 1 kg ὕδατος εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ ὑπὸ πίεσιν P_1 (α, σχ. 6·2) καὶ u_α ὁ ὄγκος 1 kg παραχθέντος ξηροῦ ὑδρατμοῦ ὑπὸ πίεσιν ἐπίσης P_1 (δ, σχ. 6·2), τότε τὸ ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως θὰ ἰσοῦται μὲ τὸ γινόμενον $P_1 \cdot (u_\alpha - u_v)$ εἰς μονάδας ἔργου ἢ $\frac{P_1 (u_\alpha - u_v)}{J}$ εἰς μονάδας θερμότητος.

Εἰς τὰς ἐν χρήσει πιέσεις τῶν λεβήτων τῶν πλοίων ὁ ὄγκος u_v τοῦ ὕδατος εἶναι πολὺ μικρὸς συγκρινόμενος μὲ τὸν ὄγκον u_α τοῦ ὑδρατμοῦ καὶ δύναται νὰ παραλειφθῇ, ὁπότε :

Ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως :

$$\xi = \frac{P \cdot u_\alpha}{J} \quad (79)$$

εἰς μονάδας θερμότητος.

Ἡ ἰσότης (79) ἰσχύει καὶ δι' ὑγρὸν καὶ δι' ὑπέρθερμον ὑδρατμὸν καὶ θὰ εἶναι :

$$\xi = \frac{P \cdot \chi v_\alpha}{J} \quad (80)$$

δι' ὑγρὸν ὑδρατμὸν

$$\text{καὶ δι' ὑπέρθερμον ὑδρατμὸν} \quad \xi = \frac{Pv}{J} \quad (81)$$

Ἡ θερμότης, ποῦ μετατρέπεται εἰς ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως διὰ τὸν ὑγρὸν καὶ ξηρὸν ὑδρατμὸν, εἶναι μέρος τῆς λανθανούσης θερμότητος καὶ συχνὰ καλεῖται *ἐξωτερικὴ λανθάνουσα θερμότης*. Οὕτως ἡ λανθάνουσα θερμότης τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ λ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὴν ἐσωτερικὴν λανθάνουσαν θερμότητα λ_e , ἡ ὁποία παραμένει ἐντὸς τοῦ ὑδρατμοῦ ὡς θερμικὴ ἐνέργεια καὶ ἀπὸ τὴν ἐξωτερικὴν λανθάνουσαν θερμότητα ξ , ἡ ὁποία μετατρέπεται εἰς μηχανικὴν ἐνέργειαν ἢ $\lambda = \lambda_e + \xi$. Εἰς τὸν ὑπέρθερμον ὑδρατμὸν εἰς ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως μετατρέπεται καὶ ἔν μέρους τῆς θερμότητος ὑπερθερμάνσεως.

Παράδειγμα.

Νὰ εὑρεθῇ τὸ ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως καὶ ἡ ἐσωτερικὴ λανθάνουσα θερμότης ξηροῦ, ὑγροῦ καὶ ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ καταστάσεως μὲ τὰ δεδομένα τοῦ

παραδείγματος της παραγράφου 6·9. Πόσαι kcal ανά kg υπερθέρμουν μετατρέπονται εις εξωτερικόν ἔργον ἀτμοποιήσεως ἀπὸ τὴν θερμότητα ὑπερθερμάνσεως αὐτοῦ;

Λύσις :

α) Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (79) :

$$\xi = \frac{P \cdot v_{\alpha}}{J} = \frac{10 \times 10000 \times 0,1981}{427} = 46,15 \text{ kcal/kg.}$$

$\lambda_{\epsilon} = \lambda - \xi = 481,80 - 46,15 = 435,65 \text{ kcal/kg.}$ (Τὸ λ εὑρίσκεται ἀπὸ τὸν Πίνακα 1 τοῦ Παραρτήματος).

$$\beta) \xi = \frac{P \cdot \chi v_{\alpha}}{J} = \frac{10 \times 10000 \times 0,1782}{427} = 41,73 \text{ kcal/kg.}$$

$$\chi \lambda_{\epsilon} = \chi \cdot \lambda - \xi = 0,9 \times 481,8 - 41,73 = 391,89 \text{ kcal/kg.}$$

$$\gamma) \xi = \frac{P \cdot v}{J} = \frac{10 \times 10000 \times 0,3028}{427} = 70,9 \text{ kcal/kg}$$

$$\lambda_{\epsilon} = \omega \varsigma \text{ τοῦ } \alpha.$$

Ἐκ τῆς θερμότητος ὑπερθερμάνσεως μετατρέπεται εἰς ἐξωτερικόν ἔργον ἀτμοποιήσεως ἡ διαφορά $70,90 - 46,15 = 24,75 \text{ kcal/kg.}$

6·11 Ἑσωτερικὴ ἐνέργεια ὑδρατμοῦ.

Ἑσωτερικὴ ἐνέργεια ὑδρατμοῦ εἶναι ὡς καὶ διὰ τὰ ἀέρια ἡ θερμικὴ ἐνέργεια τοῦ ὑδρατμοῦ. Γνωρίζομεν ὅτι διὰ τὴν ἀτμοποίησιν 1 kg ἢ 1 lb ὕδατος ἀπὸ 0°C ἢ 32°F ἀπαιτεῖται ἐν ποσὸν θερμότητος ι , τὸ ὁποῖον καλεῖται καὶ *ὀλικὴ θερμότης τοῦ ὑδρατμοῦ*.

Κατὰ τὴν ἀτμοποίησιν ὁμως τοῦ ὕδατος ἐν μέρος τῆς θερμότητος αὐτῆς μετεβλήθη εἰς ἐξωτερικόν ἔργον ἀτμοποιήσεως ξ , ὡς ἀπεδείχθη εἰς τὴν παράγραφον 6·10. Ἐπομένως τὸ καθαρὸν ποσὸν τῆς θερμικῆς ἐνεργείας E , ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τῶν ὑδρατμῶν θὰ εἶναι :

$$E = \iota - \xi \quad (82)$$

$$\text{ὅπου } \iota = \rho + \lambda \text{ καὶ } \xi = \frac{P v_{\alpha}}{J} \text{ διὰ ξηρὸν ὑδρατμὸν}$$

$$\text{ἢ } \iota = \rho + \chi \lambda \text{ καὶ } \xi = \frac{P \cdot \chi v_{\alpha}}{J} \text{ δι' ὑγρὸν ὑδρατμὸν}$$

$$\text{καὶ } \iota = \rho + \lambda + C_p (t_2 - t_1) \text{ καὶ } \xi = \frac{P \cdot v}{J} \text{ δι' ὑπέρθερμον ὑδρατμὸν.}$$

Ἐὰν 1 kg ὑδρατμοῦ ἐσωτερικῆς ἐνεργείας E_1 θερμανθῇ καὶ ἐκτονωθῇ ἐντὸς κυλίνδρου μηχανῆς, μέχρις ὅτου ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργειά του

γίνη E_2 , τότε ἡ ἀλλαγὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας E θὰ ἰσοῦται μὲ $E = E_2 - E_1$. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν αἱ τιμαὶ E_1 καὶ E_2 δεόν νὰ εὔρεθοῦν ἐκάστη μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (82).

Ἐὰν ἐφαρμόσωμεν τὴν ἰσότητα (42) (διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας) εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν θὰ ἔχωμεν :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ἀπορροφηθεῖσα} \\ \text{θερμότης κατὰ} \\ \text{τὴν ἐκτόνωσιν} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Ἐξωτερικὸν ἔργον} \\ \text{ποὺ δίδεται ἐπὶ} \\ \text{τοῦ ἐμβόλου} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Μεταβολὴ τῆς ἐσω-} \\ \text{τερικῆς ἐνεργείας} \\ \text{τοῦ ὕδρατμοῦ.} \end{array} \right.$$

$$\eta \quad H = \frac{W}{J} + (E_2 - E_1) \quad (83)$$

Παράδειγμα.

Ζητεῖται ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια ὕδρατμοῦ καταστάσεως μὲ τὰ δεδομένα τοῦ παραδείγματος τῆς παραγράφου 6·9.

Λύσις :

*Ἐχομεν $E = 1 - \xi$ (ἰσότης 82).

α) $1 = p + \lambda = 663$ (ἐκ τῶν Πινάκων 1 τοῦ Παραρτήματος), τὸ $\xi = 46,15$ (παράδειγμα παραγρ. 6·10).

Ἐπομένως $E = 1 - \xi = 663 - 46,15 = 616,85$.

β) $1 = p + \chi \cdot \lambda = 181,2 + 0,9 \times 481,8 = 614,82$ τὸ $\xi = 41,73$ καὶ $E = 614,82 - 41,73 = 562,09 \text{ kcal/kg}$.

γ) $1 = p + \lambda + C_p (t_2 - t_1) = 663 + 0,5 (380 - 179) = 763,5$ τὸ $\xi = 70,9$. καὶ $E = 763,5 - 70,9 = 692,6 \text{ kcal/kg}$.

6·12 Θερμικὸν περιεχόμενον ἢ Ἐνθαλπία.

Γνωρίζομεν ὅτι διὰ μίαν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀλλαγὴν καταστάσεως τὸ παραγόμενον ἔργον εἶναι :

$$W = P(u_2 - u_1) \quad \eta \quad W = Pu_2 - Pu_1 = P_2u_2 - P_1u_1 \quad (\text{ὅπου } P_1 = P_2).$$

Ἀντικαθιστῶντες εἰς τὴν ἰσότητα (83) λαμβάνομεν :

$$H = \frac{P_2u_2 - P_1u_1}{J} + E_2 - E_1, \quad \eta$$

$$H = \left(E_2 + \frac{P_2u_2}{J} \right) - \left(E_1 + \frac{P_1u_1}{J} \right).$$

Ἀλλὰ διὰ 1 kg ἢ 1 lb ὕδρατμοῦ τὸ ἄθροισμα :

$$E_2 + \frac{P_2u_2}{J} = i_2 \quad \text{καὶ} \quad \text{τὸ} \quad E_1 + \frac{P_1u_1}{J} = i_1 \quad (\text{παραγρ. 6·11})$$

Ἐπομένως διὰ μίαν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν μεταβολὴν θὰ ἔχωμεν :

$$H = i_2 - i_1$$

ἀνὰ kg ἢ ἀνὰ lb ὕδρατμου.

Ἡ ἰσότης αὕτῃ μετρεῖ τὴν μεταβολὴν τοῦ θερμικοῦ περιεχομένου (ἢ τῆς ἐνθαλπίας) τοῦ ὕδρατμου.

Προκειμένου περὶ ἀερίου ἢ μεταβολὴ τοῦ θερμικοῦ περιεχομένου του δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (12), ἢ ὁποῖα ἀνὰ kg ἢ lb ἀερίου θὰ εἶναι :

$$H = C_p (t_2 - t_1).$$

Γενικῶς προκειμένου περὶ ὕδρατμου *θερμικὸν περιεχόμενον ἢ ἐνθαλπία ὕδρατμου εἶναι ἡ ὁλικὴ θερμότης του, ἢ ὁποῖα εἶναι ἄθροισμα τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας του καὶ τοῦ ἐξωτερικοῦ ἔργου ἀτμοποιήσεως.*

Παράδειγμα.

Δύο λέβητες τροφοδοτοῦν μὲ ὕδρατμον ἀτμαγωγὸν σωλῆνα εἰς πίεσιν 20 kg/cm² ἀπολύτου. Ὁ πρῶτος λέβης τροφοδοτεῖται μὲ ὕδωρ 15°C καὶ ὁ δεύτερος μὲ ὕδωρ 70°C. Ἀμφότεροι παράγουν 3000 kg ἀτμοῦ ἀνὰ ὥραν μὲ $\chi = 0,9$ ὁ πρῶτος καὶ $\chi = 0,8$ ὁ δεύτερος. Νὰ εὑρεθῇ : α) Τὸ ποσὸν θερμότητος εἰς kcal ἀνὰ ὥραν, ποὺ ἀπαιτεῖται δι' ἕκαστον λέβητα.

β) Ὁ βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὕδρατμου ἐντὸς τοῦ κοινοῦ ἀτμαγωγοῦ σωλῆνος, ἐὰν δὲν ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν θερμικαὶ ἀπώλειαι.

Λύσις :

α) Ἀπαιτούμενον ποσὸν θερμότητος διὰ τὸν πρῶτον λέβητα :

$$H_1 = (p + \chi l - 15) \times 3000 = (215,8 + 0,8 \times 452,7 - 15) \times 3000$$

καὶ $H_1 = 1\,688\,880 \text{ kcal/h.}$

Διὰ τὸν δεύτερον λέβητα :

$$H_2 = (p + \chi l - 70) \times 3000 = (215,8 + 0,9 \times 452,7 - 70) \times 3000$$

καὶ $H_2 = 1\,65\,990 \text{ kcal/h.}$

Παρατηροῦμεν ὅτι ὁ πρῶτος λέβης ἀπαιτεῖ περισσοτέραν θερμότητα, μολονότι ὁ ἀτμὸς ποὺ παράγει ἔχει μικρότερον βαθμὸν ξηρότητος. Τοῦτο, ὡς εἶναι εὐνόητον, ὀφείλεται εἰς τὴν μὴ προθέρμανσιν τοῦ ὕδατος τροφοδοτήσεως.

β) Εἰς τὸν ἀτμαγωγὸν σωλῆνα εἰσέρχονται 6000 kg ἀτμοῦ ἀνὰ ὥραν συνολικῶς ὁλικῆς θερμότητος :

$$H = (215,8 + 0,8 \times 452,7 + 215,8 + 0,9 \times 452,7) \times 3000 = 3\,603\,570 \text{ kcal/h.}$$

Ἐπομένως ἡ ὁλικὴ θερμότης τοῦ ἐντὸς τοῦ ἀτμαγωγοῦ ἀτμοῦ θὰ εἶναι :

$$i = \frac{3\,603\,570}{6000} = 600,6 \text{ kcal/kg} \quad \eta \quad 215,8 + \chi \cdot 452,7 = 600,6 \quad \text{καὶ} \quad \chi = 0,85.$$

6.13 Ἀσκήσεις.

1) Νὰ ὑπολογισθῇ τὸ ἀπαιτούμενον ποσὸν θερμότητος διὰ τὴν παραγωγὴν 12,712 m³ ξηροῦ ὕδρατμου πίεσεως 10 kg/cm² θλιβομετρικῆς ἀπὸ ὕδωρ θερμοκρασίας 103,8°C. (Ἀπ. 39 200 kcal)

2) Νά εύρεθοῦν ἡ ὅλική θερμότης ὑδρατμοῦ εἰς kcal/kg πίεσεως 40 kg/cm^2 θλιβομετρικῆς, ὅταν : α) Εἶναι ξηρός. β) Ὑγρὸς βαθμοῦ ξηρότητος 0,92. γ) Ὑπέρθερμος θερμοκρασίας 351°C . (Ἀπ. α) = 668,9 β) = 637,22 γ) = 718,9)

3) Ζητεῖται τὸ C_p ὑπερθέρμου ἀτμοῦ πίεσεως 300 lb/in^2 ἀπολύτου καὶ θερμοκρασίας 600°F . (Ἀπ. $C_p = 0,6$)

4) Ζητεῖται ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας ὑδρατμοῦ, ὁ ὅποιος ἀπὸ ὑπέρθερμος πίεσεως 18 kg/cm^2 καὶ θερμοκρασίας 400°C ἔγινε ξηρὸς πίεσεως 2 kg/cm^2 . (Ἀπ. $99,5 \text{ kcal/kg}$)

5) Νά εύρεθῇ τὸ ἀπαιτούμενον ποσὸν καυσίμου διὰ τὴν παραγωγὴν 1100 m^3 ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ πίεσεως 30 kg/cm^2 καὶ θερμοκρασίας 450°C , ὅταν τὸ ὕδωρ τροφοδοτήσεως τοῦ λέβητος ἔχῃ θερμοκρασίαν 60°C . Ποία ἡ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν οἰκονομία εἰς καύσιμον, ἐὰν διπλασιασθῇ ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος τροφοδοτήσεως ;

Δίδεται θερμαντικὴ ἱκανότης καυσίμου $10\,000 \text{ kcal/kg}$. Ἀπόδοσις λέβητος 85% . (Ἀπ. $867 \text{ kg} - 8\%$)

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 7

ΕΝΤΡΟΠΙΑ

7.1 Έννοια τῆς ἐντροπίας.

Ἐχει ἤδη ἀναφερθῇ ὅτι τὸ μηχανικὸν ἔργον εἰς μίαν ἄνευ ροῆς ἀλλαγὴν παρίσταται γραφικῶς διὰ μιᾶς ἐπιφανείας εἰς διάγραμμα μὲ ἄξονας P, U . Εἰς τὸ διάγραμμα αὐτὸ ὡς τεταγμένη λαμβάνεται ἡ ἀπόλυτος πίεσις, ἡ ὁποία εἶναι ἐν μηχανικὸν δυναμικόν, ποὺ προκαλεῖ τὴν παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου καὶ εἶναι ἀνεξάρτητος τοῦ βάρους δι' ἐν δεδομένον ἐργαζόμενον μέσον (π.χ. αἷριον ἢ ἀτμόν). Εἶναι ἐπομένως λογικὴ συνέπεια ὅτι καὶ ἡ θερμότης θὰ δύναται νὰ παρασταθῇ γραφικῶς ὡς ἐπιφάνεια εἰς ἐν ἄλλο διάγραμμα.

Εἰς τὸ διάγραμμα αὐτὸ ὡς τεταγμένη εἶναι λογικὸν νὰ ἐκλεγῇ ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία, ἡ ὁποία ἐπίσης εἶναι ἀνεξάρτητος τοῦ βάρους καὶ ἔχει τὸ χαρακτηριστικὸν ἑνὸς θερμικοῦ δυναμικοῦ, ποὺ προκαλεῖ ροὴν τῆς θερμότητος.

Ἡ ἐκλογὴ τοῦ δευτέρου παράγοντος διὰ τὸ διάγραμμα, τοῦ ὁποίου ἡ ἐπιφάνεια θὰ παριστᾷ θερμότητα, δὲν εἶναι τόσο εὐκόλος.

Συμπερασματικῶς ὁ δευτέρος αὐτὸς παράγων διὰ τὸν ἄξονα τῶν τετμημένων, θὰ πρέπει νὰ εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὸ βᾶρος καὶ θὰ πρέπει νὰ ἔχῃ εἰδικὰς καὶ ὀλικὰς τιμὰς, ὅπως ὁ ὄγκος εἰς τὸ διάγραμμα P, U .

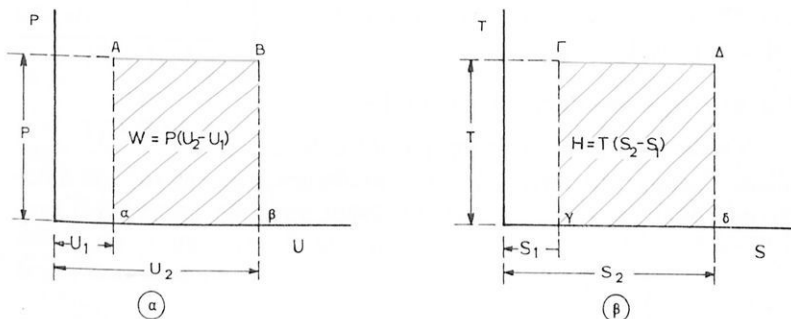
Ὁ παράγων αὐτός, ποὺ χρειαζόμεθα καὶ ποὺ θὰ πληροῖ τὰς προϋποθέσεις αὐτάς, εἶναι γνωστός ὡς ἐντροπία καὶ παρίσταται μὲ τὸ γράμμα S .

Βάσει τῶν ἀνωτέρω ἔχομεν τώρα ἐν διάγραμμα μὲ ἄξονας $T - S$ [σχ. 7.1 (β)], εἰς τὸ ὁποῖον μία ἀναστρέψιμος ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ παρίσταται ὑπὸ τῆς ὀριζοντίας εὐθείας $\Gamma\Delta$, ὅπως ὑπὸ τῆς ὀριζοντίας AB παρίσταται ἡ ἀλλαγὴ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν εἰς τὸ διάγραμμα P, U [σχ. 7.1(α)].

Παρατηροῦμεν ἀπὸ τὸ σχῆμα 7.1 ὅτι :

α) Εἰς τὸ διάγραμμα P, U τὸ γινόμενον σταθερὰ ἀπόλυτος πίεσις ἐπὶ μεταβολὴ τοῦ ὅγκου $= P (U_2 - U_1) = W = \text{Μηχανικὸν ἔργον} = \text{ἐπιφάνεια } AB\beta\alpha$.

- β) Εἰς τὸ διάγραμμα T-S τὸ γινόμενον
σταθερὰ ἀπόλυτος θερμοκρασία $\times$ μεταβολὴν τῆς ἔντροπίας =
 $T(S_2 - S_1) = \text{Θερμότης} = \text{Ἐπιφάνεια } \Gamma \Delta \delta \gamma.$
- γ) Ἐὰν ἡ ἀλλαγὴ πραγματοποιηθῇ ἀπὸ Γ εἰς Δ , τότε τὸ H θὰ



Σχ. 7.1.

παριστᾷ χορηγηθεῖσαν θερμότητα, ἐνῶ ἀπὸ Δ εἰς Γ θὰ παριστᾷ ἀφαιρεθεῖσαν θερμότητα.

δ) Ἐφ' ὅσον χορηγεῖται εἰς θερμοδυναμικὸν μέσον θερμότης, ἡ ἔντροπία του αὐξάνει, ἐνῶ, ὅταν ἀφαιρῇται θερμότης, ἡ ἔντροπία του ἔλαττωται.

ε) Εἰς τὴν ἰσοθερμοκρασιακὴν ἀλλαγὴν ἡ μεταβολὴ τῆς ἔντροπίας ἰσοῦται μέ :

$$S_2 - S_1 = \frac{H}{T} \quad (84)$$

Ἡ διάστασις, ἐπομένως, τῆς ἔντροπίας εἶναι θερμότης ἀνὰ βαθμὸν θερμοκρασίας ($^{\circ}K$ ἢ $^{\circ}R$) εἰς ὁλικὴν τιμὴν ἢ θερμότης ἀνὰ μονάδα βάρους ἀνὰ βαθμὸν θερμοκρασίας ($^{\circ}K$ ἢ $^{\circ}R$) εἰς εἰδικὴν τιμὴν.

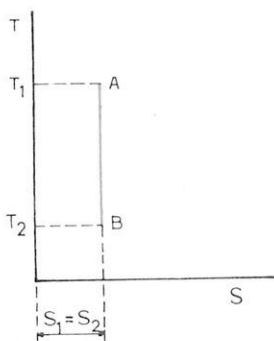
7.2 Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως εἰς διάγραμμα T-S.

Ἐκ τῆς ἰσότητος $S_2 - S_1 = \frac{H}{T}$ παρατηροῦμεν ὅτι, ἐὰν $H = 0$, τότε $S_2 - S_1 = 0$ ἢ $S_2 = S_1$, ὅπερ σημαίνει ὅτι δὲν ὑπάρχει μεταβολὴ τῆς ἔντροπίας.

Τοιαύτη ὁμως περίπτωσις ἀλλαγῆς καταστάσεως, κατὰ τὴν ὁποίαν θερμότης οὔτε δίδεται οὔτε ἀφαιρεῖται ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν, εἶναι ἡ ἀναστρέψιμος (ἄνευ τριβῶν) ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως.

έπομένως κατά την αλλαγήν αὐτήν ἡ ἔντροπία παραμένει σταθερά καὶ ἡ ἀδιαβατικὴ καλεῖται καὶ *ισοτροπικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως* (παράγρ. 4·9).

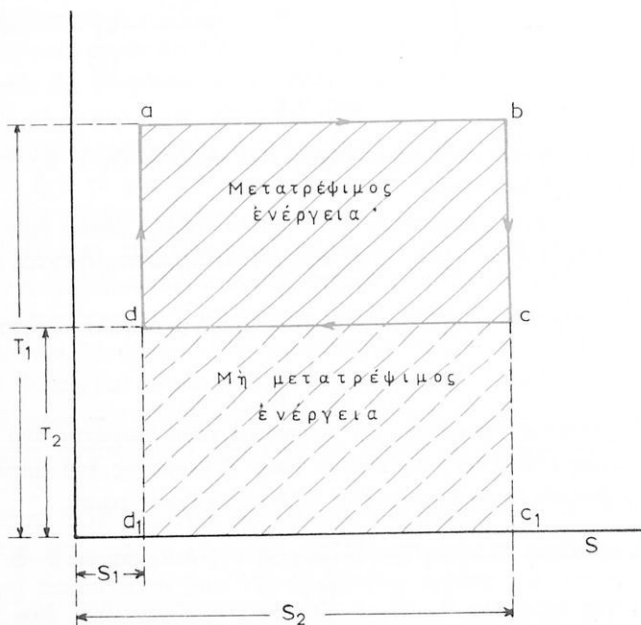
Ὡς εἶναι φανερόν, εἰς τὸ διάγραμμα $T-S$ (σχ. 7·2) ἡ κάθετος AB εἰς τὸν ἄξονα τῆς ἔντροπίας θὰ παριστᾷ τὴν ἀδιαβατικὴν ἀλλαγὴν, ἀπὸ A εἰς B τὴν ἐκτόνωσιν καὶ ἀπὸ B εἰς A τὴν συμπίεσιν.



Σχ. 7·2.

7·3 Κύκλος Carnot εἰς διάγραμμα $T-S$.

Ὅπως ἤδη ἀνεφέρθη (παράγρ. 5·5), ὁ κύκλος Carnot ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο ἰσοθερμοκρασιακὰς καὶ δύο ἀδιαβατικὰς ἀλλαγὰς καταστάσεως. Ὁ κύκλος αὐτὸς θὰ παρίσταται ἔπο-



Σχ. 7·3.

μένως εἰς ἄξονας $T-S$, ὡς δεικνύεται εἰς τὸ σχῆμα 7·3.

Εἰς τὸ σχῆμα: ab εἶναι ἡ χορήγησις θερμότητος ὑπὸ σταθερὰν

θερμοκρασίαν T_1 , bc ἡ ἀδιαβατική ἐκτόνωσις, cd ἡ ἀφαίρεσις θερμότητος ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν T_2 καὶ da ἡ ἀδιαβατική συμπίεσις.

Τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος ἀνὰ κύκλον δίδεται ἐκ τῆς ἐπιφανείας abc_1d_1 ἢ $H_1 = T_1 (S_2 - S_1)$. Τὸ ποσὸν θερμότητος, ποὺ ἀποβάλλεται ἀνὰ κύκλον, δίδεται ὑπὸ τῆς ἐπιφανείας edd_1c_1 ἢ $H_2 = T_2 (S_2 - S_1)$.

Γνωρίζομεν ὅτι ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις ἑνὸς θερμικοῦ κύκλου γενικῶς εἶναι :

$$\eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}, \quad \text{ἐπομένως} \quad \eta_{\theta} = \frac{T_1 (S_2 - S_1) - T_2 (S_2 - S_1)}{T_1 (S_2 - S_1)} \quad \text{ἢ}$$

$$\eta_{\theta} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad \text{ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (66) (παράγρ. 5.5).}$$

Ἡ ἐπιφάνεια $abcd = \text{ἐπιφ. } abc_1d_1 - \text{ἐπιφ. } edd_1c_1 = H_1 - H_2$ παριστᾷ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον ἀνὰ κύκλον.

7.4 Μετατρέψιμος καὶ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια.

Ἡ κυριώτερα προσπάθεια ἑνὸς μηχανικοῦ, ποὺ ἀσχολεῖται μὲ θερμικὰς μηχανάς, εἶναι νὰ ἀποκτήσῃ τὸ μέγιστον δυνατὸν μηχανικὸν ἔργον ἀπὸ τὴν χορηγουμένην θερμικὴν ἐνέργειαν εἰς μίαν μηχανὴν ἢ νὰ δαπανήσῃ τὸ ἐλάχιστον δυνατὸν μηχανικὸν ἔργον διὰ τὴν ἐπίτευξιν ἑνὸς ἀντικειμενικοῦ σκοποῦ του (ὡς π.χ. ἡ συμπίεσις ἀέρος ἐντὸς ἀεροσυμπιεστῶν).

Ἦδη γνωρίζομεν ὅτι ἡ μηχανὴ Carnot μὲ ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως ἔχει τὴν μεγαλυτέραν δυνατὴν θερμικὴν ἀπόδοσιν, διότι χορηγεῖται εἰς αὐτὴν θερμότης ὑπὸ σταθερὰν ὑψηλὴν θερμοκρασίαν T_1 (ἴσην μὲ τὴν θερμαίνουσαν πηγὴν) καὶ ἀποβάλλει θερμότητα ὑπὸ σταθερὰν χαμηλὴν θερμοκρασίαν T_2 (ἴσην μὲ ἐκείνην τοῦ συλλέκτου). Γενικῶς οὐδεὶς ἀπὸ τοὺς γνωστοὺς ἐν λειτουργίᾳ κύκλους μηχανῶν δύναται νὰ λειτουργήσῃ μὲ τὴν ἀρχὴν τοῦ Carnot, καταβάλλεται ὁμως προσπάθεια ὅπως τὸ ἐργαζόμενον μέσον εἶναι εἰς ὅσον τὸ δυνατόν ὑψηλοτέραν θερμοκρασίαν, ὅταν τοῦτο δέχεται θερμότητα, καὶ εἰς ὅσον τὸ δυνατόν χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν, ὅταν τοῦτο ἀποβάλλῃ θερμότητα. Αἱ ἀρχαὶ δηλαδὴ τοῦ κύκλου Carnot ἀναγνωρίζονται καὶ δίδουν τὴν κατεύθυνσιν εἰς τὸν ὑπολογισμὸν τῶν κύκλων ἐν τῇ πράξει.

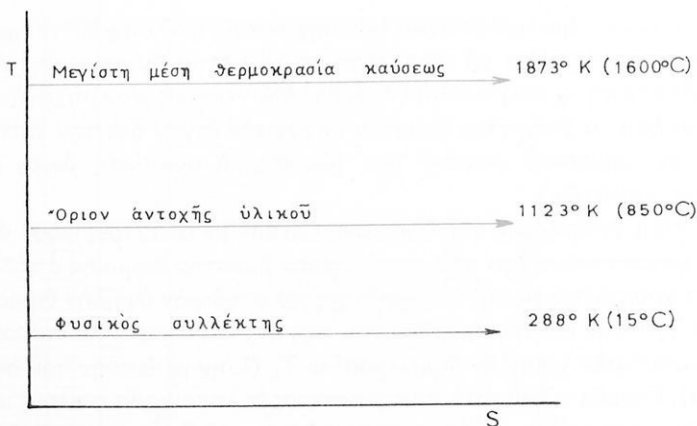
Εἰς τοὺς περισσοτέρους ἐκ τῶν θεωρητικῶν κύκλων τῶν ἐν λειτουργίᾳ

γία μηχανῶν αἱ φάσεις συμπίεσεως καὶ ἐκτονώσεως εἶναι ἀδιαβατικά (ὥς καὶ εἰς Carnot, διότι τοῦτο εἶναι συμφερότερον - βλ. παράδειγμα παραγρ. 4.14).

Ὁ συλλέκτης τῆς ἀποβαλλομένης θερμότητος εἶναι εἰς τὴν πρᾶξιν ὁ ἄηρ τῆς ἀτμοσφαίρας, οἱ ὠκεανοὶ, ποταμοί, λίμναι κ.λπ. Τοῦτο σημαίνει ὅτι εἰς τὴν πρᾶξιν διαθέτομεν τὴν σταθερὰν (περίπου) θερμοκρασίαν T_2 , πού ἀπαιτεῖ ὁ Carnot εἰς τὸν συλλέκτην τῆς ἀποβαλλομένης θερμότητος.

Ἡ θερμοκρασία ὅμως αὕτῃ εἶναι κατὰ μέσον ὅρον τῆς τάξεως 288°K ἢ 520°R (15°C ἢ 60°F), ἀλλὰ αἱ πλεῖσται ἐν λειτουργίᾳ μηχαναὶ διὰ μηχανικοὺς λόγους ἔχουν θερμοκρασίαν ἐξαγωγῆς πολὺ ὑψηλοτέραν ἀπὸ τὴν τιμὴν αὕτην.

Ἡ ἀπαιτούμενη θερμικὴ ἐνέργεια διὰ πολλοὺς τῶν συνήθων κύκλων τῶν μηχανῶν λαμβάνεται ἀπὸ τὴν καύσιν καυσίμων μὲ ὕδρογονάνθρακας. Μέγισται ὑψηλαὶ θερμοκρασίαι 1600°C ἢ 3000°F δύνανται νὰ ἀποκτηθοῦν, ἀλλὰ ὅχι νὰ διατηρηθοῦν, ὅπως ἀπαιτεῖ ὁ Carnot,



Σχ. 7.4.

ἐπὶ σταθερᾷ βάσει, λόγῳ τεχνικῶν προβλημάτων, ὅπως π.χ. ἡ ἀντοχὴ τοῦ ὑλικοῦ τῶν μηχανῶν. Μολονότι θερμοκρασίαι μεγίστης καύσεως τοῦ εἶδους αὐτοῦ εἶναι κοιναί, τὰ καλύτερα εἰδικὰ κράματα ἀντοχῆς εἰς ὑψηλὰς θερμοκρασίας δὲν ἀντέχουν εἰς λειτουργίαν ὑπὸ συνεχῆ ὑψηλὴν θερμοκρασίαν μεγαλυτέραν τῶν 800° ἕως 850°C (ἢ 1500°F).

Ὡς ἐκ τούτου, εἰς τὴν πρᾶξιν ἡ μεγίστη ἐν χρήσει ὑψηλὴ θερμοκρασία τοῦ ἐργαζομένου μέσου κυμαίνεται περὶ τοὺς 850° C περίπου.

Εἰς τὸ σχῆμα 7·4 ἐμφαίνονται τὰ ὅρια θερμοκρασιῶν ἐνὸς κύκλου μηχανῆς. Βάσει τῶν ἀνωτέρω ὁρίων θερμοκρασιῶν ἔχομεν ἐν ἀκόμῃ μέτρον συγκρίσεως τῶν διαφόρων κύκλων. Τὸ μέτρον αὐτὸ δεικνύει τὴν θεωρητικὴν ἱκανότητα ἐνὸς κύκλου εἰς τὸ νὰ μετατρέπη τὴν χορηγούμενην εἰς αὐτὸ θερμότητα εἰς μηχανικὸν ἔργον. Ἡ ποσότης αὐτὴ ὀνομάζεται *μετατρέψιμος ἐνέργεια*.

Μετατρέψιμος ἐνέργεια ἐνὸς θερμοδυναμικοῦ κύκλου εἶναι τὸ τμήμα ἐκεῖνο ἐκ τῆς χορηγούμενης εἰς αὐτὸν θερμικῆς ἐνεργείας, τὸ ὁποῖον θεωρητικῶς δύναται νὰ μετατραπῇ εἰς μηχανικὸν ἔργον.

Κατ' ἀκολουθίαν *μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια* ἐνὸς θερμοδυναμικοῦ κύκλου εἶναι τὸ τμήμα ἐκεῖνο τῆς θερμικῆς ἐνεργείας, ποὺ ὑποχρεωτικῶς θὰ ἀποβάλλεται εἰς τὸν συλλέκτην χαμηλῆς θερμοκρασίας (ἀτμόσφαιρα κ.λπ.), ὑπὸ τὴν ἐπικρατοῦσαν μέσσην θερμοκρασίαν τοῦ περιβάλλοντος, καὶ ἐκ τοῦ ὁποίου οὔτε ἐλάχιστον ποσοστὸν δύναται νὰ μετατραπῇ εἰς μηχανικὸν ἔργον, ἐκτὸς ἐὰν ἐξευρεθῇ συλλέκτης μὲ μικροτέραν θερμοκρασίαν.

Εἰς τὸν κύκλον Carnot (σχ. 7·3) ἡ μετατρέψιμος ἐνέργεια παρίσταται διὰ τῆς ἐπιφανείας $abcd$ καὶ ἡ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια διὰ τῆς ἐπιφανείας dec_1d_1 . Εἰς τὴν πρᾶξιν ὅμως τὸ ποσὸν τοῦ πραγματικῶς λαμβανομένου μηχανικοῦ ἔργου ἀπὸ ποσὸν θερμότητος H_1 εἶναι πάντοτε μικρότερον τῆς μετατρεψίμου ἐνεργείας.

7·5 Ἡ ἐντροπία ὡς δείκτης τῆς μὴ μετατρεψίμου ἐνεργείας.

Ἐκ τοῦ κύκλου Carnot ἔχομεν τὴν σχέσιν :

$$\frac{H_1}{T_1} = \frac{H_2}{T_2} \quad (85)$$

$$\text{ἢ} \quad H_2 = T_2 \left(\frac{H_1}{T_1} \right) \quad (86)$$

Ἀλλὰ εἰς τὴν ἰσότητα (86) τὸ $H_2 = \text{ἐπιφ. } dec_1d_1 = \text{Μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια}$ (σχ. 7·3) καὶ τὸ $\frac{H_1}{T_1} = S_2 - S_1 = \text{μεταβολὴ τῆς ἐντροπίας τοῦ συστήματος κατὰ τὴν χορήγησιν θερμότητος.}$

Ἐπεὶ δὲ ὅμως ἡ θερμοκρασία T_2 τῆς θερμικῆς δεξαμενῆς συλλέκτου κατωτέρας θερμοκρασίας εἶναι ἡ προκαθωρισμένη τοῦ περιβάλλοντος (σχ. 7·4), ἔπεται ὅτι τὸ ποσὸν τῆς μὴ μετατρεψίμου ἐνεργείας ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ μέγεθος $S_2 - S_1$. Ὅσον δηλαδὴ αὐξάνει ἡ ἐντροπία κατὰ

τὴν χορήγησιν θερμότητος εἰς τὸ ἐργαζόμενον μέσον, τόσον αὐξάνει ἢ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια καὶ ἐπομένως ἐλαττοῦται ἀναλόγως ἢ μετατρέψιμος, ἢ ὅποια εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποῦ θὰ δύναται νὰ μετατραπῇ εἰς μηχανικὸν ἔργον.

Ἡ ἐντροπία, ἐπομένως, εἶναι μία ιδιότης, ποῦ χαρακτηρίζει τὴν μὴ μετατρέψιμον εἰς μηχανικὸν ἔργον, τὴν ἄχρηστον δηλαδὴ ἐνέργειαν. Πολλαπλασιάζοντες τὴν μεταβολὴν τῆς ἐντροπίας κατὰ τὴν χορήγησιν θερμότητος ἐπὶ τὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν τοῦ συλλέκτου χαμηλῆς θερμοκρασίας εὐρίσκομεν τὴν μὴ μετατρέψιμον ἐνέργειαν (ιδὲ καὶ ἰσότητα 86).

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (85) παρατηροῦμεν ὅτι ἡ αὐξησης τῆς ἐντροπίας $\frac{H_1}{T_1}$ κατὰ τὴν χορήγησιν τῆς θερμότητος, δηλαδὴ τῆς ἐντροπίας, ποῦ λαμβάνεται ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον ἐκ τοῦ περιβάλλοντος, ἰσοῦται μὲ τὴν ἐλάττωσιν $\frac{H_2}{T_2}$, ἐκείνην δηλαδὴ, ποῦ τὸ ἐργαζόμενον μέσον ἐπιστρέφει εἰς τὸ περιβάλλον. Τοῦτο ὅμως ἰσχύει μόνον εἰς τὸν κύκλον Carnot καὶ γενικῶς εἰς ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως. Εἰς τὴν πρᾶξιν μὲ μὴ ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεως (λόγω τριβῶν κ.λπ.) ἡ αὐξησης τῆς ἐντροπίας τοῦ περιβάλλοντος κατὰ τὴν ἀποβολὴν θερμότητος εἶναι μεγαλυτέρα τῆς αὐξήσεως, ἢ ὅποια παρατηρεῖται εἰς τὸ ἐργαζόμενον μέσον κατὰ τὴν χορήγησιν. Ἐπομένως ἐν σύστημα δίδει εἰς τὸ περιβάλλον περισσοτέραν ἐντροπίαν ἀπὸ ὅ,τι λαμβάνει. Ἡ ἐντροπία ἐπομένως γενικῶς, ὅπως ὁ χρόνος, εἶναι μιᾶς διευθύνσεως καὶ πάντοτε αὐξάνει. Αὐξησης τῆς ἐντροπίας σημαίνει ἐλάττωσιν τῆς μετατρεψίμου θερμικῆς ἐνεργείας καὶ αὐτὸ εἶναι ἡ τάσις τῆς φύσεως: *νόμος τῆς ὑποβαθμίσεως τῆς ἐνεργείας*.

Ἐνέργειαι ὡς ἡ κινητικὴ, δυναμικὴ καὶ ἠλεκτρικὴ ἀνήκουν εἰς τὰς μετατρεψίμους ἐνεργείας, διότι μὲ τελείαν μηχανὴν ὅλαι αὐταὶ αἱ ἐνέργειαι μετατρέπονται 100% εἰς μηχανικὸν ἔργον.

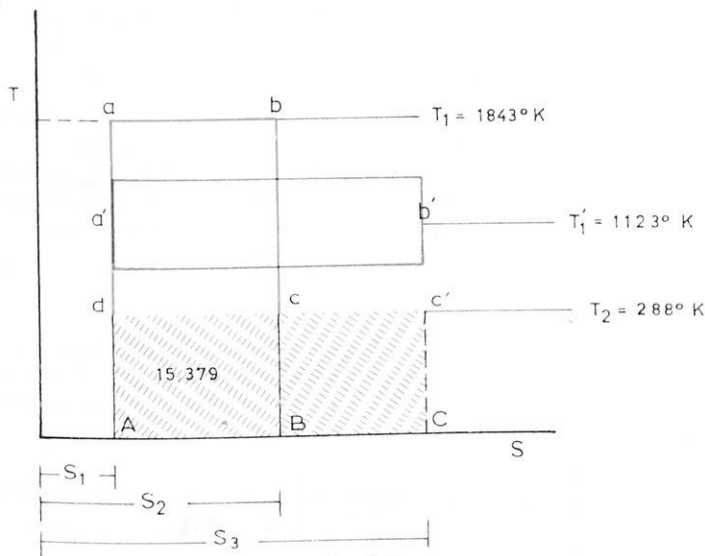
Τελικῶς ὅμως ὅλη ἡ ἀναπτυσσομένη μετατρέψιμος ἐνέργεια καταλήγει εἰς μὴ μετατρέψιμον. Ὅλον τὸ πραγματικῶς παραγόμενον ἔργον διασκορπίζεται λόγω τριβῶν καὶ μετατρέπεται εἰς μὴ μετατρέψιμον ἐνέργειαν ἐντὸς τοῦ περιβάλλοντος.

Τὰ ἑκατομμύρια ἵπποδυνάμεις, ποῦ παράγονται ἀπὸ αὐτοκινήτους μηχανάς, καταλήγουν εἰς τὴν δεξαμενὴν τοῦ περιβάλλοντος μέσω τριβῶν μεταξὺ τῶν ὀχημάτων καὶ τοῦ ἀέρος καὶ τριβῶν ἐντὸς τῶν

μηχανών, ενώ το υπόλοιπον της προσδιορισμένης ενέργειας από το καύσιμον καταλήγει εις το περιβάλλον μέσω της εξαγωγής. Η ενέργεια έπομένως υψηλής στάθμης συνεχώς υποβαθμίζεται.

Παράδειγμα.

Νά εύρεθῇ : α) 'Η μετατρέψιμος ενέργεια εις kcal/kg δι' ένα κύκλον Carnot, όταν $T_1 = 1873^\circ \text{K}$, $T_2 = 288^\circ \text{K}$ καὶ χορηγούμενη θερμότης $H_1 = 100 \text{ kcal/kg}$.



Σχ. 7.5.

β) Νά υπολογισθῇ ἡ ἐλάττωσις τῆς μετατρεψίμου ἐνεργείας εις kcal/kg, ἐὰν τὸ T_1 ἐλαττωθῇ εις 1123°K , ἐνῶ οἱ λοιποὶ ὅροι παραμένουν οἱ αὐτοί.

Λύσις :

Ἐκ τοῦ σχήματος 7.5 ἔχομεν : $T_1 = 1873^\circ \text{K}$, $T'_1 = 1123^\circ \text{K}$, $T_2 = 288^\circ \text{K}$.

$H_1 = 100 \text{ kcal/kg} = \text{ἐπιφ.} \Lambda \alpha \beta \text{B}$ καὶ $H_1 = \text{ἐπιφ.} \Lambda \alpha' \beta' \text{c}$.

α) "Όταν χορηγῆται θερμότης ἀπὸ α ἕως θ, θὰ ἔχωμεν :

$$S_2 - S_1 = \frac{H_1}{T_1} = \frac{100}{1873} = 0,0534 \text{ kcal/kg } ^\circ \text{K}.$$

Ἡ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια θὰ εἶναι ἡ ἐπιφάνεια :

$$dcAB = H_2 = T_2 (S_2 - S_1) \quad \text{καὶ} \quad H_2 = 288 \times 0,0534 = 15,379 \text{ kcal/kg}.$$

Ἡ μετατρέψιμος ἐνέργεια εἶναι ἡ ἐπιφάνεια :

$$abcd = 100 - 15,379 = 84,621 \text{ kcal/kg}.$$

β) Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ μεταβολὴ τῆς ἔντροπίας θὰ εἶναι :

$$S_3 - S_1 = \frac{H_1}{T_1} \quad \text{καὶ} \quad S_3 - S_1 = \frac{100}{1123} = 0,0891 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{K}.$$

Ἡ θερμότης χορηγεῖται τῶρα ἀπὸ α' εἰς β' καὶ ἡ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια εἶναι ἡ ἐπιφάνεια :

$$dc'cA = (S_3 - S_1) \cdot T_2 = 288 \times 0,0891 = 25,66 \text{ kcal/kg}.$$

Ἡ μετατρέψιμος ἐνέργεια εἶναι ἡ ἐπιφάνεια :

$$\alpha'b'c'd = 100 - 25,66 = 74,34 \text{ kcal/kg}.$$

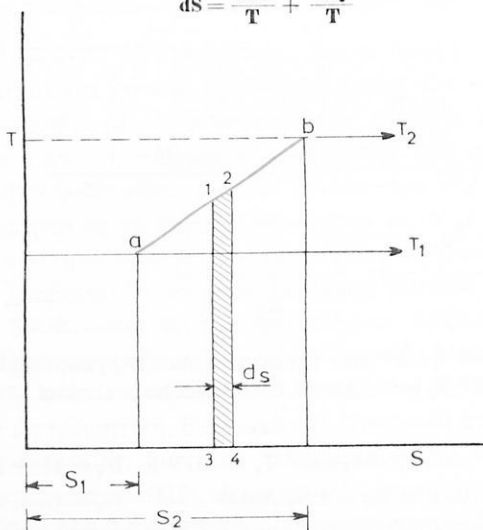
Ἐπομένως λόγῳ μεγαλύτερας τιμῆς τῆς ἔντροπίας εἰς τὴν β) περίπτωσιν ἔναντι τῆς α) ἡ μετατρέψιμος ἐνέργεια ἐλαττοῦται κατὰ $84,621 - 74,34 = 10,281 \text{ kcal/kg}$ τοῦ ἐργαζομένου μέσου.

7.6 Μαθηματικὴ ἔκφρασις τῆς ἔντροπίας.

Εἰς τὰς προηγούμενας παραγράφους ἐξητάσθη ἡ μεταβολὴ τῆς ἔντροπίας ὑπὸ ἰσοθερμοκρασιακὰς ἀλλαγὰς καταστάσεως (ἰσότης 84).

Γενικῶς διὰ μίαν ἀλλαγὴν καταστάσεως, εἰς τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ποσὸν θερμότητος dH καὶ λόγω τριβῶν τὸ ἐργαζόμενον μέσον ἀπορροφεῖ θερμότητα dQ , ἡ μεταβολὴ τῆς ἔντροπίας dS δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως :

$$dS = \frac{dH}{T} + \frac{dQ}{T} \quad (87)$$



Σχ. 7.6.

Ἐὰν δεχθῶμεν ἰδανικὰς ἄνευ τριβῶν μεταβολάς, τότε $dQ = 0$ καὶ ἡ ἰσότης (87) λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$dS = \frac{dH}{T} \quad (88)$$

Εἰς τὸ σχῆμα 7.6 ἐμφαίνεται μία ἀλλαγὴ καταστάσεως ab , εἰς τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ποσὸν θερμότητος H μὲ ἀποτέλεσμα τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας ἀπὸ T_1 εἰς T_2 .

Δι' ἐλαχίστην πρόσδοσιν θερμότητος dH κατὰ τὴν 1-2 ἡ θερμοκρασία θεωρεῖται σταθερὰ T , ὁπότε :

$$dH = \text{ἐπιφ. 1-2-3-4} = TdS \quad \eta \quad dS = \frac{dH}{T} \quad \text{καὶ} \quad \int_{S_1}^{S_2} dS = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dH}{T}$$

$$\eta \quad S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dH}{T} \quad (89)$$

Μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (89) εὐρίσκονται αἱ σχέσεις τῆς μεταβολῆς ἐντροπίας μὲ τὴν θερμοκρασίαν εἰς τὰς διαφόρους ἀλλαγὰς καταστάσεως, ὡς θὰ ἐξετάσωμεν κατωτέρω ἀπὸ παράγραφον 7.7 ἕως καὶ 7.10.

7.7 Ἀλλαγὴ ἀερίου ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον καὶ σταθερὰν πίεσιν.

Ἐχομεν : $H = C_v(T_2 - T_1)$ διὰ μονάδα βάρους ἀερίου καὶ $dH = C_v \cdot dT$.

Ἀντικαθιστῶμεν τὴν τιμὴν εἰς τὴν ἰσότητα (89) καὶ ἔχομεν :

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_v \cdot \frac{dT}{T} = C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\text{καί :} \quad S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (90)$$

Δεδομένου ὅτι εἰς τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀλλαγὴν καταστάσεως ἔχομεν ὅτι $H = C_p(T_2 - T_1)$ μὲ τὰς αὐτὰς ὡς προηγουμένως πράξεις καταλήγομεν ὅτι :

$$S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (91)$$

7.8 Ἰσοθερμοκρασιακὴ καὶ ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ ἀερίου.

Ὅταν τὸ T εἶναι σταθερόν, τότε ἡ ἰσότης (89) λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$S_2 - S_1 = \frac{1}{T} \int dH \quad \eta \quad S_2 - S_1 = \frac{H}{T},$$

ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (84) (παράγρ. 7.1).

Κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἀλλαγὴν τὸ $dH = 0$, ἐπομένως ἡ ἰσότης (89) λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{0}{T} \quad \eta \quad S_2 - S_1 = 0 \quad \text{καὶ} \quad S_2 = S_1.$$

Ἐπομένως ἡ ἀδιαβατικὴ, ἐφ' ὅσον δὲν ὑπάρχουν τριβαί, εἶναι καὶ ἰσοτροπική.

7.9 Πολυτροπικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ἀερίου.

Κατὰ τὴν πολυτροπικὴν ἀλλαγὴν καταστάσεως ἔχομεν :

$$H = \frac{W}{J} + E \quad \eta \quad dH = \frac{dW}{J} + dE$$

Ἀλλὰ $dW = Pdν$ καὶ $dE = C_v dT$ (ἀνὰ μονάδα βάρους)

$$dH = \frac{Pdν}{J} + C_v \cdot dT \quad \eta \quad dH = \frac{P \cdot ν}{J} \cdot \frac{dν}{ν} + C_v \cdot T \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\eta \quad \frac{dH}{T} = \frac{P \cdot ν}{J \cdot T} \cdot \frac{dν}{ν} + C_v \cdot \frac{dT}{T} \quad \text{ἀλλὰ} \quad \frac{P \cdot ν}{T} = R$$

$$\text{καὶ} \quad \frac{dH}{T} = dS, \quad \text{ἐπομένως} \quad dS = \frac{R}{J} \cdot \frac{dν}{ν} + C_v \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\text{καὶ} \quad \int_{S_1}^{S_2} dS = \frac{R}{J} \int_{ν_1}^{ν_2} \frac{dν}{ν} + C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} \quad \eta$$

$$S_2 - S_1 = \frac{R}{J} \ln \frac{ν_2}{ν_1} + C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (92)$$

7.10 Μεταβολὴ τῆς ἐντροπίας ἀερίου κατὰ τὰς διαφόρους ἀλλαγὰς καταστάσεως (Ἀνακεφαλαίωσις).

Ὡς ἀπεδείχθη εἰς τὰς προηγουμένας παραγράφους, αἱ κάτωθι ἰσότητες δίδουν τὰς μεταβολὰς τῆς ἐντροπίας ἑνὸς ἀερίου :

$$\alpha) \text{ Ἀλλαγὴ ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον: } S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (90)$$

$$\beta) \text{ Ἀλλαγὴ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν: } S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (91)$$

$$\gamma) \text{ Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ: } S_2 - S_1 = \frac{H}{T} \quad (84)$$

$$\delta) \text{ Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ: } S_2 - S_1 = 0 \quad \eta \quad S_2 = S_1$$

$$\epsilon) \text{ Πολυτροπικὴ ἀλλαγὴ: } S_2 - S_1 = \frac{R}{J} \ln \frac{ν_2}{ν_1} + C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (92)$$

7.11 Ἐντροπία ὕδατος.

Διὰ τὸ ὕδωρ, ὡς ἐξητάσαμεν καὶ εἰς παράγραφον 6.3, γίνεται παραδεκτὸν ὅτι εἰς θερμοκρασίαν 273°K ἢ 492°R δὲν περιέχει καθόλου θερμότητα. Μὲ τὴν βάσιν αὐτὴν μετρεῖται καὶ ἡ ἐντροπία τοῦ ὕδατος καὶ θεωρεῖται ὅτι ἡ τιμὴ τῆς εἶναι μηδὲν εἰς τὴν ἀνωτέρω θερμοκρασίαν. Προκειμένου ἐπομένως δι' ὕδωρ καὶ ὑδρατμὸν δὲν μετροῦμεν μεταβολὴν ἐντροπίας, ἀλλὰ ἐντροπίαν συνολικῶς ἄνω πᾶν θερμοκρασιῶν 273°K ἢ 492°R . Οὕτως, ἐὰν S_u = ἐντροπία ὕδατος καὶ $T_1 = 273^\circ \text{K}$ ἢ 492°R καὶ δεδομένου ὅτι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος λαμβάνεται ἴση μὲ τὴν μονάδα, τότε μὲ βάσιν τὰς ἰσότητας (90) ἢ (91) θὰ εἶναι:

$$S_v = l_n \frac{T}{273} \quad (93)$$

$$\eta \quad S_v = l_n \frac{T}{492} \quad (94)$$

7.12 Ἐντροπία ἀτμοποιήσεως. Ἐντροπία ξηροῦ καὶ ὑγροῦ ὕδρατμοῦ.

Κατὰ τὴν ἀτμοποίησιν τοῦ ὕδατος ἡ θερμότης χορηγεῖται ὑπὸ ἀπόλυτον σταθερὰν θερμοκρασίαν, ἔστω T_1 . Ἀπὸ τὴν ἑναρξιν ὅμως τῆς ἀτμοποιήσεως καὶ ἕως ὅτου ὁ ἀτμός γίνῃ ξηρός, χορηγεῖται ἡ λανθάνουσα θερμότης λ_1 (παράγρ. 6.5).

Ἐπομένως ἂν S_α = ἐντροπία ἀτμοποιήσεως, τότε μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (84) θὰ ἔχωμεν :

$$S_\alpha = \frac{\lambda_1}{T_1} \quad (95)$$

Φανερόν συμπέρασμα τῶν ἀνωτέρω εἶναι ὅτι ἂν S_ξ εἶναι ἡ ἐντροπία ξηροῦ ὕδρατμοῦ καὶ S_α ἡ ἐντροπία ὑγροῦ ὕδρατμοῦ, θὰ ἰσχύουν αἱ σχέσεις :

$$S_\xi = l_n \frac{T_1}{273} + \frac{\lambda_1}{T_1} \quad (96)$$

$$\text{καὶ} \quad S_\alpha = l_n \frac{T_1}{273} + \frac{\chi_1 \lambda_1}{T_1} \quad (97)$$

ὅπου χ_1 εἶναι ὁ βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ καὶ T_1 ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως.

7.13 Ἐντροπία ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ.

Ἀπὸ τὴν κατάστασιν τοῦ ξηροῦ καὶ περαιτέρω γίνεται παραδεκτόν μὲ μεγάλην προσέγγισιν ὅτι ὁ ὑπέρθερμος ἀτμός συμπεριφέρεται ὡς ἀέριον, ἐνῶ ἡ μεταβολὴ λαμβάνει χώραν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Ἐπομένως ἡ περαιτέρω αὐξησης τῆς ἐντροπίας τοῦ ὕδρατμοῦ ἀπὸ ξηρὸν εἰς ὑπέρθερμον θὰ δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (91) ἥτοι $C_p l_n \frac{T_2}{T_1}$, ὅπου C_p εἶναι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, T_2 ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία τοῦ ὑπερθέρμου καὶ T_1 ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία τοῦ ξηροῦ ὕδρατμοῦ τῆς αὐτῆς πίεσεως.

Ἐπομένως, ἂν S εἶναι ἡ ἐντροπία τοῦ ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ, τότε:

$$S = l_n \frac{T_1}{273} + \frac{\lambda_1}{T_1} + C_p l_n \frac{T_2}{T_1} \quad (98)$$

ται. Έπομένως θερμότης δέον να χορηγῆται εἰς τὸ σύστημα μετὴν μεγίστην δυνατὴν θερμοκρασίαν καὶ να ἀποβάλλεται ἀπὸ αὐτὸ μετὴν ἐλαχίστην δυνατὴν.

Παράδειγμα 2^{ον}.

Τροφοδοτικὸν ὕδωρ λεβήτων (εἰδικὴ θερμότης $C = 1$) εἰς ποσότητα 100 kg ἀνὰ λεπτὸν προθερμαίνεται ἐντὸς προθερμαντήρος ἀπὸ 60° C εἰς 115° C μέσω καυσασερίων ($C_p = 0,25$), τὰ ὁποῖα εἰσέρχονται εἰς τὸν προθερμαντήρα μετὴν θερμοκρασίαν 250° C. Βάρος εἰσερχομένων καυσασερίων 200 kg/min.

Νὰ εὐρεθῇ: α) Ἡ μεταβολὴ τῆς ἐντροπίας καὶ β) ἡ ἀπώλεια μετατρεψίμου ἐνεργείας ἐκάστου ρευστοῦ, ὅταν ἡ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος (συλλέκτης θερμότητος κατωτέρας θερμοκρασίας) εἶναι 20° C. (Ὁ προθερμαντὴρ θεωρεῖται ὅτι ἔχει καλὴν μόνωσιν καὶ δὲν ἐξέρχεται ἢ εἰσέρχεται μέσω αὐτοῦ θερμότης ἀπὸ τὸ περιβάλλον κατὰ τὴν ροὴν τοῦ ρευστοῦ).

Λύσις :

Τὸ ὕδωρ ἀπορροφεῖ θερμότητα $H_u = 100 (115 - 60)$ ἢ $H_u = 5500$ kcal/min. Ἡ θερμότης αὕτη δίδεται εἰς τὸ ὕδωρ ἀπὸ τὰ καυσασέρια, ἑπομένως :

$$- 5500 = 200 \times 0,25 (t_2 - 230)$$

καὶ $t_2 = 120^\circ \text{C}$ (θερμοκρασία ἐξερχομένων καυσασερίων).

Ἡ μεταβολὴ τῆς ἐντροπίας ΔS θὰ εἶναι :

$$\text{Διὰ τὸ ὕδωρ: } \Delta S_u = 100 \times l_n \frac{388}{333} = + 14,84 \text{ kcal/}^\circ\text{K (αὐξησης)}.$$

$$\text{Διὰ τὰ καυσασέρια: } \Delta S_a = 200 \times 0,25 l_n \frac{393}{503} \quad \eta$$

$$\Delta S_a = - 200 \times 0,25 l_n \frac{503}{393} = - 12,72 \text{ kcal/}^\circ\text{K (ἐλάττωσις)}.$$

Παρατηροῦμεν ὅτι ὑπάρχει μία αὐξησης τῆς ἐντροπίας ΔS εἰς τὸ σύστημα (ὕδωρ + καυσασέρια): $\Delta S = 14,840 - 12,72 = 2,12 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$. Ἀποτέλεσμα τῆς αὐξήσεως αὐτῆς τῆς ἐντροπίας τοῦ συστήματος εἶναι ἡ ἐλάττωσις τῆς μετατρεψίμου ἐνεργείας. Οὕτως ἐκ τῶν 5500 kcal/min, πού ἀφαιροῦνται ἀπὸ τὰ καυσασέρια, ἀφαιρεῖται μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια $293 \times (-12,72) = -3724,96$ καὶ μετατρέψιμος $-5500 + 3151,2 = -1775,04 \text{ kcal/min}$.

Ἐκ τῶν 5500 kcal, πού ἀπορροφεῖ τὸ ὕδωρ, εἶναι μὴ μετατρέψιμος: $293 \times 14,85 = 4353$ καὶ μετατρέψιμος: $5500 - 4353 = 1147 \text{ kcal/min}$.

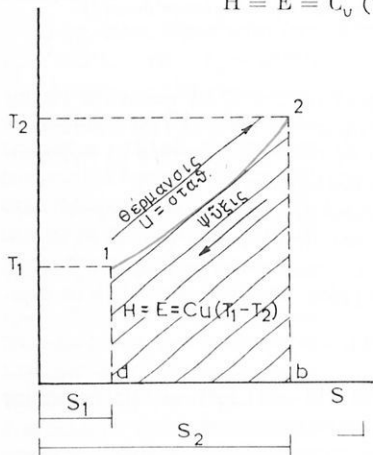
Ἐπομένως, ἐνῶ τὰ καυσασέρια δίδουν 1775,04 kcal/min μετατρεψίμου ἐνεργείας, ἡ αὐξησης τῆς μετατρεψίμου ἐνεργείας εἰς τὸ ὕδωρ εἶναι μόνον 1147 kcal/min. Ἡ ἐλάττωσις αὕτη εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς αὐξήσεως τῆς ἐντροπίας τοῦ συστήματος.

7.14 Γραφικὴ παράστασις τῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως ἀερίων εἰς ἄξονας T - S.

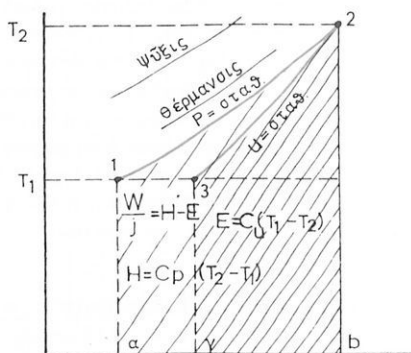
α) Ἀλλαγὴ ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον. Χαράσσεται ἡ καμπύλη 1-2 (σχ. 7.14α) βάσει τῆς σχέσεως τῆς ἰσότητος (90).

Ἡ ἐπιφάνεια 1-2-α-b παριστᾷ τὸ χορηγούμενον (θέρμανσις) ἢ τὸ ἀφαιρούμενον (ψύξις) ποσὸν θερμότητος κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν καὶ εἶναι:

$$H = E = C_v (T_2 - T_1) \text{ ἀνὰ kg ἢ lb ἀερίου.}$$



Σχ. 7.14 α.



Σχ. 7.14 β.

β) Ἀλλαγὴ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Χαράσσεται ἡ καμπύλη 1-2 (σχ. 7.14 β) βάσει τῆς σχέσεως τῆς ισότητος (91).

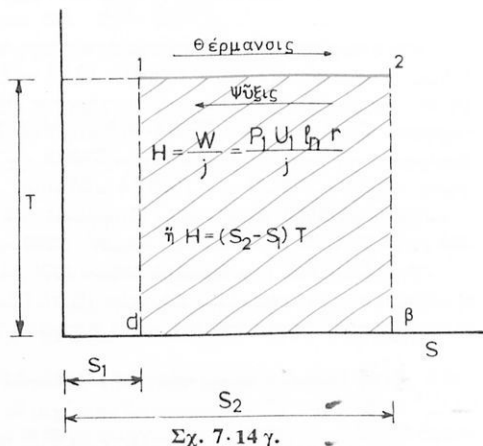
Ἡ ἐπιφάνεια 1-2-α-b παριστᾷ τὸ ἀνὰ μονάδα βάρους χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος $H = C_p (T_2 - T_1)$.

Ἡ ἐπιφάνεια 2-3-γ-b παριστᾷ τὴν μεταβολὴν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου $E = C_v (T_2 - T_1)$ καὶ ἡ ἐπιφάνεια 1-2-3-γ-α παριστᾷ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον:

$$\frac{W}{J} = H - E.$$

γ) Ἰσοθερμοκρασική ἢ ὑπερβολικὴ ἀλλαγὴ. Εἶναι ἡ ὀριζοντία 1-2, μὲ $T = \text{σταθ.}$

Ἡ ἐπιφάνεια 1-2-α-b (σχ. 7.14 γ) παριστᾷ τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος (θέρμανσις) ἢ τὸ ἀφαιρούμενον (ψύξις) ἀπὸ τοῦ ἀερίου καὶ εἶναι:

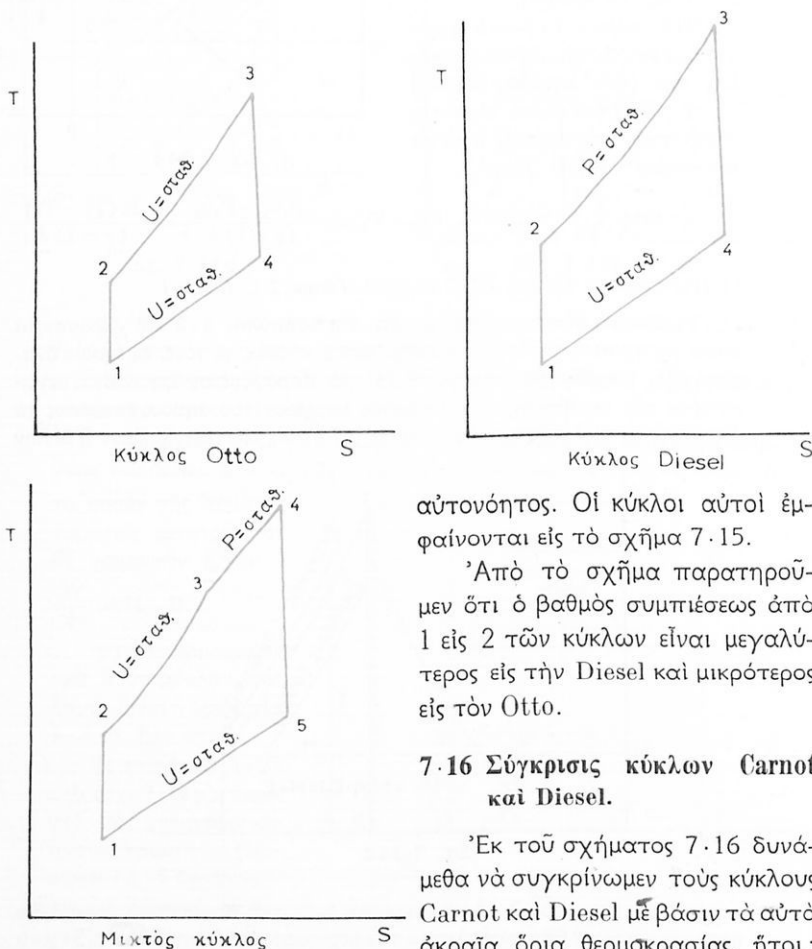


Σχ. 7.14 γ.

τὴν μεταβολὴν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ αἰρίου, ἡ ὁποία εἶναι ἀρνητική, διότι $T_2 < T_1$: τὸ ἔργον $\frac{W}{J} = H - (-E) = H + E = \text{ἐπιφ. 1-2-α-γ.}$

7.15 Κύκλος Otto - Diesel καὶ Μικτὸς εἰς ἄξονας T - S.

Κατόπιν τῶν ἐκτεθέντων εἰς προηγουμένην παράγραφον, ἡ παράστασις τῶν κύκλων Otto - Diesel καὶ Μικτοῦ εἰς ἄξονας T - S εἶναι



Σχ. 7.15.

αὐτονόητος. Οἱ κύκλοι αὐτοὶ ἐμφαίνονται εἰς τὸ σχῆμα 7.15.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα παρατηροῦμεν ὅτι ὁ βαθμὸς συμπίεσεως ἀπὸ 1 εἰς 2 τῶν κύκλων εἶναι μεγαλύτερος εἰς τὴν Diesel καὶ μικρότερος εἰς τὸν Otto.

7.16 Σύγκρισις κύκλων Carnot καὶ Diesel.

Ἐκ τοῦ σχήματος 7.16 δυνάμεθα νὰ συγκρίνωμεν τοὺς κύκλους Carnot καὶ Diesel μεβάσιν τὰ αὐτὰ ἄκρᾳ ὅρια θερμοκρασίας, ἥτοι: T_3 (ὕψηλῃ) καὶ T_1 (χαμηλῇ) οὕτω:

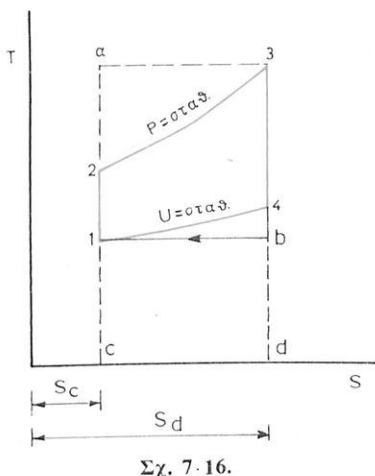
ΚΥΚΛΟΣ	Diesel (έπιφάνειαι)	Carnot (έπιφάνειαι)
Χορηγούμενη θερμότης	2, 3, d, c	α, 3, d, c
Μετατρέψιμος ένεργεια	2, 3, b, 1	α, 3, b, 1
Μέγιστον έργον	2, 3, b, 1	α, 3, b, 1
Μή μετατρέψιμος ένεργεια	1, b, d, c	1, b, d, c

Με την σύγκρισιν αὐτὴν βλέπομεν ὅτι μετατρέψιμος ένεργεια, καὶ ὡς ἐκ τούτου λαμβανόμενον έργον, θυσιάζεται εἰς οἷονδήποτε κύκλον, εἰς τὸν ὁποῖον ἡ χορήγησις θερμότητος δέν γίνεται ὑπὸ σταθερὰν τιμὴν τῆς ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας (ἀπώλεια έπιφ. 2, α, 3 μετατρεψίμου ένεργείας). Ἐπίσης αἱ μηχαναὶ έσωτερικῆς καύσεως ὅχι μόνον δέν εἶναι ἱκαναὶ νὰ δέχωνται θερμότητα ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν, ἀλλὰ οὔτε νὰ ἀποβάλλουν θερμότητα ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν.

Οὕτως, ἐνῶ ἡ μή μετατρέψιμος ένεργεια εἶναι ἡ αὐτὴ διὰ τοὺς κύκλους Carnot καὶ Diesel, εἰς τὸν Diesel ἔχομεν ἓνα ποσὸν μετατρεψίμου ένεργείας, τὴν έπιφάνειαν 4 b 1, τὴν ὁποίαν ὁ κύκλος δέν δύναται νὰ χρησιμοποιήσῃ λόγω τῆς ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἀποβολῆς θερμότητος.

Παράδειγμα.

1 kg αέρος ($C_p = 0,24$) χρησιμοποιεῖται ὡς έργαζόμενον μέσον εἰς μηχανὴν έργαζομένην με κύκλους α, 3, b, 1 (σχ. 7·16) ἢ 1, 2, 3, 4 ἢ 1, 2, 3, b ἐὰν $T_2 = 800^\circ \text{K}$, $T_3 = 1500^\circ \text{K}$, $T_4 = 623^\circ \text{K}$ καὶ $T_1 = 293^\circ \text{K}$ (θερμοκρασία περιβάλλοντος). Νὰ συγκριθοῦν οἱ τρεῖς κύκλοι, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὴν χορηγούμενην θερμότητα, ἀποβαλλομένην θερμότητα, παραγόμενον έργον, μετατρέψιμον ένεργειαν, μή μετατρέψιμον ένεργειαν καὶ θερμικὴν ἀπόδοσιν.



Σχ. 7·16.

Λύσεις :

$$\text{Ἡ αὐξησις τῆς ἔντροπίας } S_d - S_c = C_p \ln \frac{T_3}{T_2} = 0,24 \ln \frac{1500}{800} \quad \eta$$

$$S_d - S_c = 0,1602 \text{ kcal ἀνὰ kg ἀνὰ } ^\circ\text{K}$$

	Κύκλος α,β,γ,δ Carnot		Κύκλος 1,2,3,4 Diesel		Κύκλος 1,2,3,β Diesel	
	kcal/kg	ἐπι- φάνεια	kcal/kg	ἐπι- φάνεια	kcal/kg	ἐπι- φάνεια
Χορηγούμενη θερμότης	240,3	αβγδ	168	23δε	168	23δε
Ἀποβαλλομένη θερμότης	46,9	1βδε	56	41εδ	46,9	1βδε
Μηχανικὸν ἔργον $\frac{W}{J}$	193,4	1αβγ	112	1234	121,1	123β
Μετατρέψιμος ἐνέργεια	193,4	1αβγ	121,1	123β	121,1	123β
Μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια	46,9	1βδε	46,9	1βδε	46,9	1βδε
Θερμικὴ ἀπόδοσις %	80,5	—	66,6	—	72,3	—

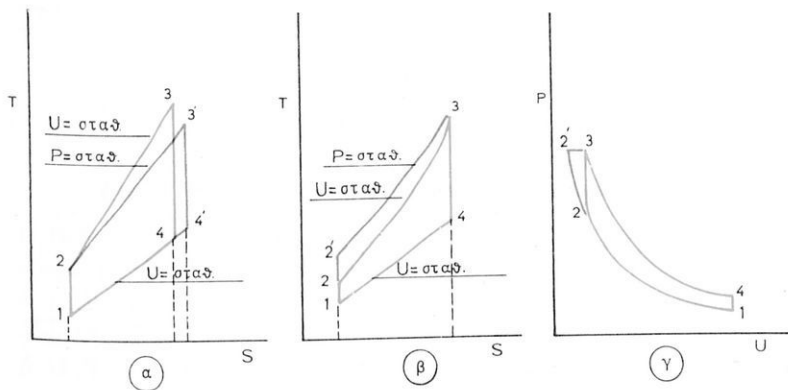
Ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα τοῦ ἀνωτέρω πίνακος τὰ συμπεράσματα εἶναι εὐκόλως νοητά.

7.17 Σύγκρισις κύκλων Otto καὶ Diesel.

Ἡ χάραξις τῶν κύκλων Otto καὶ Diesel εἰς κοινούς ἄξονας T-S δίδει μίαν εἰκόνα συγκρίσεως τῶν δύο κύκλων. Παρατηροῦμεν ὅτι εἰς τὸ σχῆμα 7.17(α) οἱ δύο κύκλοι ἔχουν γραφῇ μὲ τὸν αὐτὸν βαθμὸν συμπίεσεως ἀπὸ 1 εἰς 2 καὶ τὸ αὐτὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος. Δηλαδή ἡ ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ἀλλαγῆς 2-3 (κύκλος Otto) εἶναι ἴση μὲ τὴν ἐπιφάνειαν κάτωθεν τῆς ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀλλαγῆς 2-3' (κύκλος Diesel). Ἀπὸ τὸ σχῆμα βλέπομεν ὅτι ὁ Diesel ἀποβάλλει περισσοτέραν θερμότητα (ἐπιφάνεια κάτωθεν τοῦ 1-4') ἀπὸ τοῦ κύκλου Otto (ἐπιφάνεια κάτωθεν τοῦ 1-4). Μία ἀπόδειξις ὅτι ὁ κύκλος Otto ἔχει μεγαλυτέραν ἀπόδοσιν διὰ τὸν αὐτὸν βαθμὸν συμπίεσεως.

Εἰς τὴν πρᾶξιν ὅμως, ὡς γνωστόν, ὁ κύκλος Diesel ἔχει μεγαλύτερον βαθμὸν συμπίεσεως. Οὕτως, εἰς τὸ σχῆμα 7.17(β) καὶ 7.17(γ) ἔχουν χαραχθῇ διὰ τὴν αὐτὴν τελικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν (σημεῖον 3) μετὰ τὴν χορήγησιν θερμότητος καὶ μὲ τὸν Diesel νὰ ἔχη μεγαλύτερον βαθμὸν συμπίεσεως τοῦ Otto. Παρατηροῦμεν ὅτι εἰς τὴν

περίπτωσιν αὐτὴν ὁ Diesel δίδει μεγαλύτερον ἔργον τοῦ Otto κατὰ τὴν ἐπιφάνειαν 2, 2', 3, ἐνῶ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀποβάλλε-



Σχ. 7.17.

ται εἰς ἀμφοτέρους τοὺς κύκλους, εἶναι τὸ ἴδιον [ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς 1, 4, σχ. 7.17(β)].

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΔΡΑΤΜΟΥ ΑΛΛΑΓΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΥΔΡΑΤΜΟΥ

8.1 Διάγραμμα ύδρατμοῦ - Ἐντροπίας - Θερμοκρασίας (T-S).

Κύριον χαρακτηριστικὸν εἰς ἓν διάγραμμα ύδρατμοῦ εἶναι ἡ παράστασις εἰς αὐτὸ ὡς βασικῶν τῶν γραμμῶν ὕδατος εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ $\chi = 0$ καὶ ξηροῦ κεκορεσμένου ύδρατμοῦ $\chi = 1$.

Διαγράμματα τοῦ εἶδους αὐτοῦ χρήσιμα δι' ἐπίλυσιν προβλημάτων σχετικῶν μὲ ύδρατμὸν χαράσσονται μὲ ἄξονας T-S ἢ P, U ἢ i-S ἢ i-T κ.λπ.

Αἱ βασικαὶ γραμμαὶ $\chi = 0$ καὶ $\chi = 1$ χαράσσονται μὲ βάσιν τὰς γνωστὰς ιδιότητας ύδρατμοῦ, ὡς ἐξητάσθησαν εἰς τὸ Κεφάλαιον 6 ἢ τὰς τιμὰς, ποὺ λαμβάνονται ἀπὸ τοὺς πίνακας ύδρατμοῦ (βλ. Παράρτημα).

Ἐὰν ἐξετάσωμεν τὴν χάραξιν ἑνὸς διαγράμματος, ἔστω τοῦ T-S (Ἀπόλυτος θερμοκρασία - Ἐντροπία).

Ἐστω 1 kg ὕδατος πίεσεως P_1 καὶ ἀπολύτου θερμοκρασίας κορεσμοῦ T_1 . Μὲ βάσιν ὅτι εἰς τοὺς 273° C ἡ ἐντροπία ὕδατος εἶναι μηδέν, θὰ εἶναι $S_{v1} = l_n \frac{T_1}{273}$ (ισότης 93).

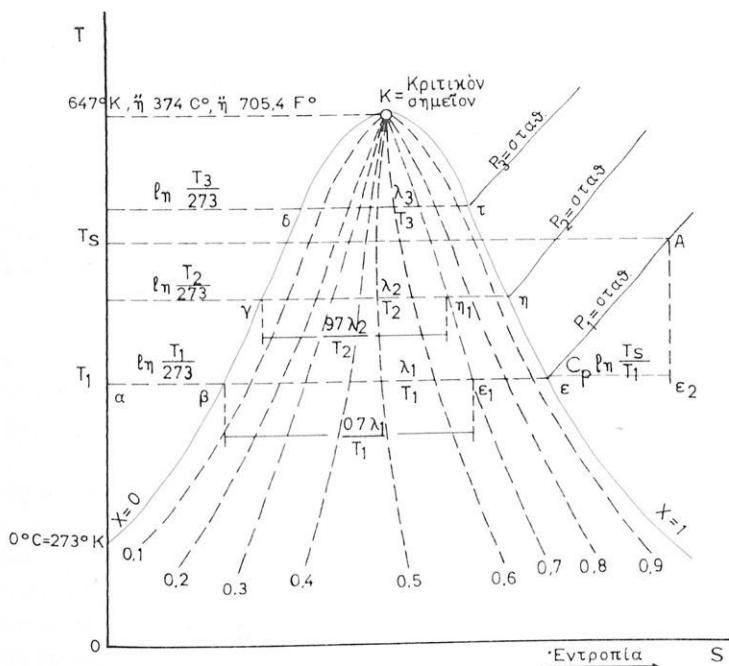
Ἐστω ὅτι ἡ τιμὴ αὐτὴ τοῦ S_{v1} παρίσταται (μὲ κατάλληλον κλίμακα) ὑπὸ τῆς εὐθείας αβ (σχ. 8.1). Φανερόν εἶναι ὅτι τὸ σημεῖον β θὰ κεῖται ἐπὶ τῆς γραμμῆς ὕδατος $\chi = 0$.

Ἐὰν κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον θεωρήσωμεν ὅτι τὸ ὕδωρ εἰς πιέσεις P_2, P_3 κ.λπ. ἔχει ἀντιστοίχως θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως T_2, T_3 κ.λπ., εὐρίσκομεν διαφόρους τιμὰς S_v , αἱ ὁποῖαι δίδουν σημεῖα γ, δ κ.λπ., τὰ ὁποῖα κεῖνται ἐπὶ τῆς γραμμῆς ὕδατος $\chi = 0$.

Ἐξετάζομεν ἓν συνεχεῖα ξηρὸν ύδρατμὸν πίεσεως P_1 . Κατὰ τὴν ἐξάτμισιν ἡ ἀλλαγὴ τῆς ἐντροπίας τοῦ ύδρατμοῦ θὰ εἶναι $\frac{\lambda_1}{T_1}$ μονάδες ἐντροπίας (ισότης 95).

Ἐὰν ἡ μεταβολὴ αὐτὴ παρασταθῇ ὑπὸ κλίμακα δι' εὐθείας μή-

κους β-ε ἐπὶ τοῦ διαγράμματος, τότε τὸ σημεῖον ε θα παριστᾷ ξηρὸν ὑδρατμὸν πίεσεως P_1 . Καθ' ὅμοιον τρόπον τὰ σημεία η καὶ τ θα παριστοῦν ξηρὸν ὑδρατμὸν πίεσεως ἀντιστοίχως P_2 καὶ P_3 .



Σχ. 8.1.

Οὕτω χαράσσεται ἡ γραμμὴ ξηροῦ ὑδρατμοῦ $\chi=1$. Ἡ ὀριζοντία ἀπόστασις τῆς καμπύλης ταύτης ἀπὸ τὸν ἄξονα T θα παριστᾷ τὴν ἐντροπίαν ξηροῦ ὑδρατμοῦ: $S_x = l_n \frac{T_1}{273} + \frac{\lambda_1}{T_1}$ (ισότης 96).

Ἐὰν ὁ ὑδρατμὸς εἰς πίεσιν P_1 εἶναι ὑγρὸς βαθμοῦ ξηρότητος ἔστω $\chi=0,7$, τότε ἡ ἐντροπία ἐξατμίσεως θα εἶναι $\frac{0,7 \cdot \lambda_1}{T_1}$. Ἐὰν ἡ τιμὴ αὕτη παρίσταται ὑπὸ τῆς εὐθείας β-ε₁ ἐπὶ τοῦ διαγράμματος, τότε τὸ σημεῖον ε₁ εὑρίσκεται ἐπὶ τῆς γραμμῆς $\chi=0,7$.

Κατὰ τὸν ἴδιον τρόπον εὑρίσκομεν τὸ σημεῖον η₁, τὸ ὁποῖον εἶναι καὶ αὐτὸ σημεῖον τῆς γραμμῆς $\chi=0,7$ καὶ οὕτω συνεχίζοντες χαράσ-

σομεν όλόκληρον τήν γραμμήν, ἡ ὁποία θὰ παριστᾷ ὑγρὸν ὕδρα-
τμὸν $\chi = 0,7$.

Καθ' ὅμοιον τρόπον χαράσσονται ὅλαι αἱ γραμμαὶ εἰς τήν περιοχὴν
τοῦ ὑγροῦ ὕδρατμοῦ ἀπὸ $\chi = 0,1$ ἕως $\chi = 0,9$, ὅπως ἐμφαίνεται εἰς
τὸ σχῆμα 8·1.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα εἶναι φανερόν ὅτι ὁ βαθμὸς ξηρότητος χ ἰσοῦται
ἐπίσης μετὰ τὸν λόγον: $\chi = \frac{\beta_{\epsilon_1}}{\beta_{\epsilon}} = 0,7$.

Ἐστω τώρα 1 kg ξηροῦ ὕδρατμοῦ καταστάσεως ὡς σημείον ε
τοῦ διαγράμματος θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν P_1 καὶ μετατρέ-
πεται ἀπὸ ξηρὸς θερμοκρασίας T_1 εἰς ὑπερθερμον ἀπολύτου θερμοκρα-
σίας T_s . τότε ἡ αὐξησης τῆς ἐντροπίας του λόγῳ ὑπερθερμάνσεως θὰ
εἶναι: $C_p l_n \frac{T_s}{T_1}$ (ισότης 91).

Ἐὰν παρασταθῇ ἡ αὐξησης αὕτη τῆς ἐντροπίας ἐπὶ τοῦ διαγράμ-
ματος ὑπὸ τῆς εὐθείας $\epsilon - \epsilon_2$ καὶ φέρωμεν ἀπὸ τοῦ σημείου T_s (ἐπὶ τοῦ
ἄξονος T) μίαν ὀριζοντίαν καὶ ἀπὸ τὸ σημεῖον ϵ_2 μίαν κάθετον γραμ-
μὴν, αὗται τέμνονται εἰς τὸ σημεῖον A .

Τὸ σημεῖον A θὰ παριστᾷ ὑπερθερμον ἀτμὸν πίεσεως P_1 καὶ θερ-
μοκρασίας T_s . Ἐὰν ἐπαναλάβωμεν τὸ αὐτὸ δι' ἄλλας τιμὰς τῆς T_s με-
τὴν αὐτὴν σταθερὰν πίεσιν P_1 καὶ θερμοκρασίαν T_1 , θὰ λάβωμεν διά-
φορα σημεῖα τῆς γραμμῆς ϵA , ἡ ὁποία θὰ εἶναι ἡ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν
ἀλλαγὴ τοῦ ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ. Παρόμοιαι γραμμαὶ σταθερᾶς πίε-
σεως ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ δύνανται νὰ χαραχθοῦν καθ' ὅμοιον τρόπον
εἰς διάφορα σημεῖα τῆς γραμμῆς $\chi = 1$, ὅπως π.χ. εἰς τὸ η , τ κ.λπ.

Παρατηροῦμεν ὅτι τὰ σημεῖα, ποὺ εὐρίσκονται μεταξὺ τῶν καμ-
πυλῶν $\chi = 0$ καὶ $\chi = 1$, εἶναι ἡ περιοχὴ τοῦ ὑγροῦ ὕδρατμοῦ, ἐνῶ
δεξιὰ τῆς γραμμῆς $\chi = 1$ εἶναι ἡ περιοχὴ τοῦ ὑπερθέρμου.

Αἱ δύο γραμμαὶ $\chi = 0$ καὶ $\chi = 1$ πλησιάζουν ἡ μία τὴν ἄλλην καὶ
τελικῶς ἐνοῦνται ὁμαλῶς εἰς τὸ σημεῖον K , ὅπερ ὀνομάζεται *κριτικὸν*
σημεῖον.

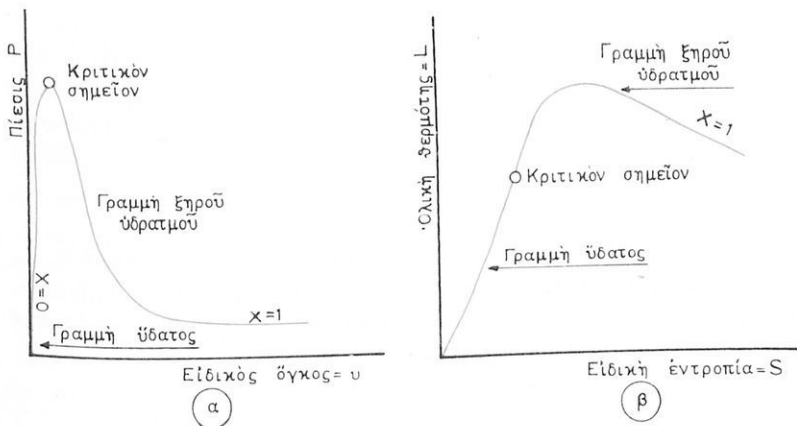
Εἰς τὸ σημεῖον αὐτὸ αἱ θερμοδυναμικαὶ ἰδιότητες (ὡς P , t , v , S , i)
ὕδατος εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ καὶ ξηροῦ ὕδρατμοῦ εἶναι αἱ αὗται
(παράγρ. 6·1).

Ἄλλο χαρακτηριστικὸν τοῦ κριτικοῦ σημείου εἶναι ὅτι οὐδέ-
ποτε ἀέριον δύναται νὰ ὑγροποιηθῇ ὅσον καὶ ἐὰν αὐξηθῇ ἡ πίεσις του,
ἐὰν ἡ θερμοκρασία του δὲν κατέλθῃ κάτω τῆς κριτικῆς. Διὰ τὸν ὕδρα-

τμόν ή κριτική πίεσις είναι 225 kg/cm^2 (3206 lb/in^2) και ή κριτική θερμοκρασία 374° C ($705,4^\circ \text{ F}$).

8.2 Διάγραμμα $P-v$ — Διάγραμμα $i-S$.

Είς τὸ σχῆμα 8.2 (α καὶ β) ἐμφαίνονται αἱ χαρακτηριστικαὶ γραμμαὶ ὕδατος εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ $x = 0$ καὶ ξηροῦ ὕδρατμοῦ $x = 1$ εἰς ἄξονας $P-v$ (Πίεσεως - Εἰδικοῦ ὄγκου) καὶ $i-S$ (Ὀλικῆς θερμότητος καὶ Εἰδικῆς ἐντροπίας). Τὰ διαγράμματα αὐτὰ χαράσσονται εὐκόλως



Σχ. 8.2.

τῇ βοήθειᾳ τῶν πινάκων ὕδατος καὶ ξηροῦ ὕδρατμοῦ, ἀπὸ τοὺς ὁποίους λαμβάνομεν τὰς τιμὰς τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου ὕδατος καὶ ξηροῦ ὕδρατμοῦ συναρτήσῃ τῆς πίεσεως [σχ. 8.2(α)] ἢ τιμὰς εἰδικῆς ἐντροπίας συναρτήσῃ τῆς ὀλικῆς θερμότητος [(σχ. 8.2(β))].

Γενικῶς οὐδὲν διάγραμμα οἰοῦνδὲποτε ἀτμοῦ ἔχει πραγματικὴν σημασίαν, ἐὰν δὲν ἔχουν χαραχθῇ εἰς αὐτὸ αἱ γραμμαὶ κορεσμοῦ. Εἶναι βασικὸν διὰ τὸν σπουδαστὴν νὰ γνωρίζῃ τὸ πῶς ἐμφανίζονται αἱ γραμμαὶ αὐταὶ εἰς ἕκαστον διάγραμμα.

Παρατηροῦμεν ὅτι εἰς τὸ διάγραμμα $i-S$ τὸ κριτικὸν σημεῖον δὲν εὐρίσκεται εἰς τὴν κορυφὴν τοῦ θόλου τοῦ ὕδρατμοῦ, ὅπως εἰς τὰ ἄλλα διαγράμματα.

Τὸ διάγραμμα αὐτὸ εἶναι γνωστὸν ὡς διάγραμμα Mollier, εἶναι πολὺ χρήσιμον ἰδίᾳ διὰ προβλήματα μὲ ροὴν ἀτμοῦ καὶ θὰ ἐξετασθῇ λεπτομερῶς βραδύτερον (παράγρ. 8.10).

8.3 Άλλαγή καταστάσεως υδρατμών υπό σταθερόν ὄγκον.

Ἐστω 1 kg υδρατμοῦ πίεσεως P_1 καὶ βαθμοῦ ξηρότητος χ_1 , ὁ ὁποῖος θερμαίνεται ὑπὸ σταθερόν ὄγκον μέχρι πίεσεως P_2 .

Ἐστω ὅτι μετὰ τὴν θέρμανσιν αὐτὴν ὁ υδρατμὸς παραμένει ὑγρὸς ἀγνώστου βαθμοῦ ξηρότητος χ_2 . Τότε ἰσχύει ἡ σχέσηις :

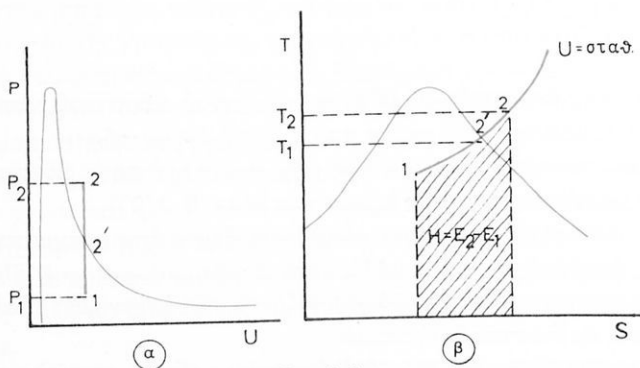
$$\chi_1 v_1 = \chi_2 v_2 \quad \eta \quad \chi_2 = \frac{\chi_1 \cdot v_1}{v_2} \quad (99)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (99) τό : v_1 εἶναι ὁ εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ υδρατμοῦ πίεσεως P_1 καὶ v_2 ὁ εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ υδρατμοῦ πίεσεως P_2 .

Αἱ τιμαὶ v_1 καὶ v_2 λαμβάνονται ἀπὸ τοὺς πίνακας υδρατμοῦ. Ἐὰν τὸ χ_2 εὑρεθῇ ἴσον μὲ τὴν μονάδα, τότε ὁ ἀτμὸς μετὰ τὴν θέρμανσιν θὰ εἶναι ξηρός· ἐὰν εὑρεθῇ $\chi_2 > 1$, τότε ὁ υδρατμὸς μετὰ τὴν θέρμανσιν θὰ εἶναι ὑπερθερμός, ὁπότε ἡ θερμοκρασία του μὲ ὄχι μεγάλην ἀκρίβειαν

εὐρίσκεται ἐκ τῆς σχέσεως : $\frac{v_2}{T_2} = \frac{v_s}{T_s}$

ὅπου v_2 εἶναι ὁ εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ υδρατμοῦ τελικῆς πίεσεως P_2 . v_s ὁ εἰδικὸς ὄγκος ὑπερθερμοῦ ἀτμοῦ τῆς αὐτῆς πίεσεως P_2 . T_2 ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία ξηροῦ υδρατμοῦ πίεσεως P_2 καὶ T_s ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία ὑπερθερμοῦ ἀτμοῦ πίεσεως P_2 .



Σχ. 8.3.

Αἱ τιμαὶ v_2 καὶ T_2 λαμβάνονται ἀπὸ τοὺς πίνακας υδρατμοῦ. Τὸ v_s εἶναι ἴσον μὲ τὸν ἀρχικὸν ὄγκον $\chi_1 v_1$ καὶ οὕτως εὐρίσκεται τὸ T_s .

Ἀκριβεστέρα τιμὴ τοῦ T_s εὐρίσκεται ἀπὸ τοὺς πίνακας ὑπερθερμοῦ υδρατμοῦ μὲ γνωστὴν πίεσιν καὶ εἰδικὸν ὄγκον.

Ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ παρίσταται ὑπὸ τῆς γραμμῆς 1, 2', 2 εἰς τὸ διάγραμμα P-u ἢ T-S [σχ. 8.3 (α) καὶ 8.3(β)].

Διὰ τὴν εὔρεσιν τοῦ χορηγουμένου ποσοῦ θερμότητος κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (83) διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας ἄνευ ροῆς, δηλαδή: $H = \frac{W}{J} + (E_2 - E_1)$.

Δεδομένου ὅμως ὅτι κατὰ τὴν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον θέρμανσιν θὰ εἶναι $W = 0$ θὰ ἔχωμεν:

$$H = E_2 - E_1 \quad (100)$$

Ἡ θερμότης αὐτὴ παρίσταται ὑπὸ τῆς γραμμοσκιασμένης ἐπιφανείας κάτωθεν τῆς γραμμῆς 1, 2', 2 εἰς τοὺς ἄξονας T-S [σχ. 8.3(β)].

Ἐὰν ἀντὶ θερμάνσεως εἴχαμεν ψῦξιν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον, ἡ μεταβολὴ θὰ ἦτο ἡ 2, 2', 1 τοῦ σχήματος 8.3.

Παράδειγμα.

1 kg ὑγροῦ ὕδρατμου πίεσεως 2 kg/cm² καὶ $\chi = 0,4$ θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον εἰς πίεσιν 10 kg/cm².

Ζητεῖται: α) Ἡ τελικὴ κατάσταση τοῦ ὕδρατμου καὶ β) τὸ χορηγηθὲν ποσὸν θερμότητος εἰς kcal ἀνὰ kg ὕδρατμου.

Λύσις:

$$\alpha) \text{ Ἐχομεν } \chi_1 v_1 = \chi_2 v_2 \text{ (ἰσότης 99)} \quad \eta \quad 0,4 \times 0,9016 = \chi_2 \cdot 0,198$$

$$\eta \quad \chi_2 = \frac{0,3606}{0,198}, \text{ ὅπερ εἶναι μεγαλύτερον τῆς μονάδος, ἐπομένως ὁ ἀτμὸς θὰ εἶναι ὑπέρθερμος.}$$

Διὰ νὰ εὑρωμεν τὴν θερμοκρασίαν του χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (78):

$$\frac{v_\alpha}{T_1} = \frac{v}{T_2} \quad \eta \quad \frac{0,198}{452} = \frac{0,3606}{T_2} \quad \text{καὶ} \quad T_2 = 823^\circ \text{K} \quad \eta \quad t_2 = 550^\circ \text{C.}$$

(Ἀπὸ τὸν Πίνακα 3 ὑπερθερμὸν παρατηροῦμεν ὅτι διὰ πίεσιν 10 kg/cm² ἀπόλυτον καὶ δι' εἰδικὸν ὄγκον 0,3610 m³/kg, τιμὴ ἡ ὁποία πλησιάζει τὴν 0,3606, ὁ ἀτμὸς ἔχει θερμοκρασίαν 500°C).

β) Διὰ τὴν εὔρεσιν τοῦ χορηγουμένου ποσοῦ θερμότητος χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (100), ἥτοι: $H = E_2 - E_1$

$$\text{καὶ} \quad E_2 = u_2 - \frac{P_2 v}{J} = 829 - \frac{100\,000 \times 0,3606}{427} = 744,6 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{καὶ} \quad E_1 = u_1 - \frac{P_1 v}{J} = p_1 + \chi_1 \lambda_1 - \frac{P v}{J}$$

$$\eta \quad E_1 = 119,87 + 0,4 \times 525,9 - \frac{20\,000 \times 0,3606}{427} = 313,4 \text{ kcal/kg}$$

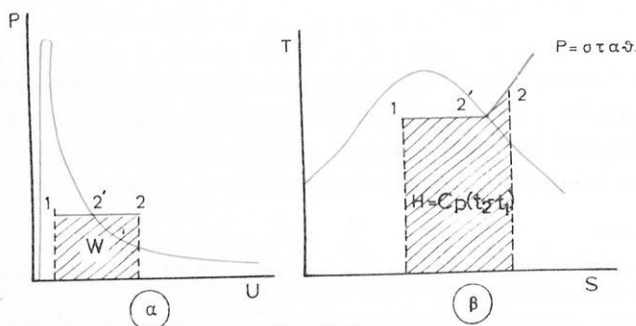
$$\text{καὶ} \quad H = 744,6 - 313,4 = 431,2 \text{ kcal/kg.}$$

(Τὸ u_2 λαμβάνεται ἀπὸ τὸν Πίνακα 3 διὰ $P = 10 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t = 500$).

8.4 Ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑδρατμοῦ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Ἐστω ὅτι 1 kg ὑγροῦ ἀτμοῦ πίεσεως P_1 καὶ βαθμοῦ ξηρότητος χ_1 θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Κατ' ἀρχὰς ὁ ὑδρατμὸς αὐτὸς θερμαίνόμενος καθίσταται ξηρότερος, ἐν συνεχείᾳ ξηρὸς καὶ τέλος ὑπέρθερμος. Ἡ μεταβολὴ αὐτὴ παρίσταται διὰ τῆς γραμμῆς 1, 2', 2 εἰς τοὺς ἄξονας P-u καὶ τοὺς ἄξονας T-S τῶν σχημάτων 8.4(α) καὶ 8.4(β).



Σχ. 8.4.

Παρατηροῦμεν ὅτι μέχρις ὅτου ὁ ὑδρατμὸς μεταβληθῇ εἰς ξηρόν, ἡ σταθερὰ πίεσις εἶναι καὶ σταθερὰ θερμοκρασία (τμήμα 1-2' τῆς γραμμῆς).

Ἡ ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς 1, 2', 2 εἰς τοὺς ἄξονας P-u παριστᾷ τὸ μηχανικὸν ἔργον W, τὸ ὁποῖον, ὅπως καὶ εἰς τὰ ἀέρια, ἰσοῦται μὲ $W = P(u_2 - u_1)$.

Τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος H, παρίσταται ὑπὸ τῆς ἐπιφανείας κάτωθεν τῆς γραμμῆς 1, 2', 2 εἰς τοὺς ἄξονας T-S καὶ εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος $H = i_2 - i_1$ ὅπου: i_2 εἶναι ἡ ὁλικὴ θερμότης τοῦ ὑδρατμοῦ μετὰ τὴν θέρμανσιν καὶ i_1 ἡ ὁλικὴ θερμότης τοῦ ἀτμοῦ πρὸ τῆς θερμάνσεως.

8.5 Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑδρατμοῦ.

Ἡ ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑδρατμοῦ ἀκολουθεῖ τὴν αὐτὴν ἀρχὴν τῶν ἀερίων ἥτοι, θερμότης οὔτε δίδεται οὔτε ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὸν ὑδρατμὸν, κατὰ τὴν ἀλλαγὴν καὶ κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν παράγεται μηχανικὸν ἔργον εἰς βάρος τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ὑδρατμοῦ. Τὸ παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον εἰς τοὺς ἄξο-

νας P-u δίδεται υπό τῆς ἐπιφανείας κάτωθεν τῆς καμπύλης 1, 2', 2 [σχ. 8.5(γ)] καὶ ἐπομένως ἰσχύει ἡ αὐτὴ ἰσότης (53) ὥς καὶ εἰς τὰ ἀέρια, ἥτοι $W = \frac{P_1 v_1 - P_2 v_2}{\gamma - 1}$. (Ἀνὰ μονάδα βάρους ὑδρατμοῦ).

Διὰ τὸν ὑπέρθερμον ὑδρατμὸν $\gamma = 1,3$ (καμπύλη 1-2'). Ἡ δὲ ἀκριβὴς τιμὴ τοῦ γ δι' ὑγρὸν ὑδρατμὸν δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως $\gamma = 1,035 + 0,1 \cdot \chi$. ἐπομένως διὰ $\chi = 1$ (ξηρὸς ὑδρατμός) θὰ εἶναι $\gamma = 1,135$, ἡ ὁποία μὲ ἀρκετὴν προσέγγισιν λαμβάνεται καὶ διὰ τὸν ὑγρὸν [καμπύλη 2'-2, σχ. 8.5(α)].

Ἡ ὀριακὴ γραμμὴ $\chi = 1$ ξηροῦ ἀτμοῦ εἰς τοὺς ἄξονας P-u κατὰ τὸν Zeuner ἀκολουθεῖ τὴν σχέσιν $Pv^{\frac{16}{15}} = Pv^{1,067} = \text{σταθ.}$

Ἐφαρμόζοντες τὴν ἰσότητα (83) διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας ἄνευ ροῆς ἥτοι: $H = \frac{W}{J} + (E_2 - E_1)$ καὶ δεδομένου ὅτι ἐνταῦθα $H = 0$ θὰ εἶναι καί:

$$W = (E_1 - E_2) J \quad (101)$$

Εἰς τὸ διάγραμμα T-S ἡ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις ἄνευ τριβῶν θὰ παρίσταται ἀπὸ τὴν κάθετον εἰς τὸν ἄξονα ἐντροπίας, τὴν 1, 2', 2.

Καὶ ἀπὸ τὰ δύο διαγράμματα βλέπομεν ὅτι ὁ ὑπέρθερμος ὑδρατμός ἐκτονούμενος ἀδιαβατικῶς γίνεται πρῶτον ξηρὸς καὶ ἐν συνεχείᾳ ὑγρός.

Ἡ τελικὴ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ εὐρίσκεται εἴτε τῇ βοηθείᾳ διαγράμματος T-S ἢ i-S ἢ δι' ὑπολογισμοῦ ἐξισώσεως τῆς ἐντροπίας ἥτοι:

Ἐντροπία ὑπερθέρμου εἰς σημεῖον 1 = Ἐντροπία ὑγροῦ ὑδρατμοῦ εἰς σημεῖον 2

$$\eta \quad l_n \frac{T_1}{273} + \frac{\lambda_1}{T_1} + c_p l_n \frac{T_s}{T_1} = l_n \frac{T_2}{273} + \frac{\chi_2 \lambda_2}{T_2} \quad (102)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα αὐτὴν θὰ εἶναι:

T_1 ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία ξηροῦ ὑδρατμοῦ πιέσεως P_1

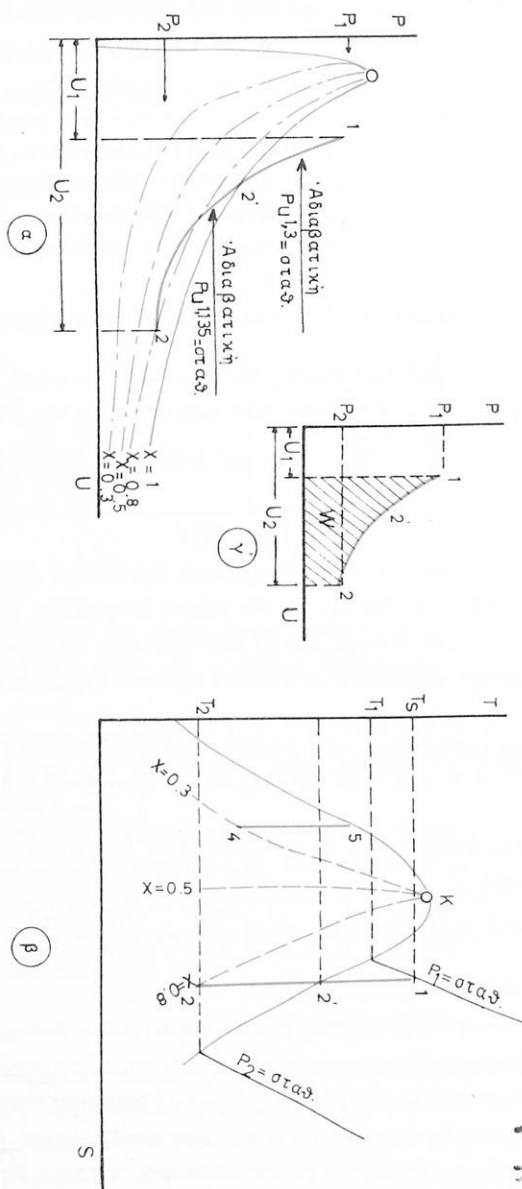
λ_1 ἡ λανθάνουσα θερμοκρασία ξηροῦ ὑδρατμοῦ πιέσεως P_1

T_s ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ πιέσεως P_1

T_2 ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία ὑγροῦ ὑδρατμοῦ πιέσεως P_2

λ_2 ἡ λανθάνουσα θερμότης ξηροῦ ὑδρατμοῦ πιέσεως P_2

χ_2 ὁ βαθμὸς ξηρότητος ὑγροῦ ὑδρατμοῦ πιέσεως P_2 .



Σχ. 8.5.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω ἢ T_s εἶναι γνωστή, τὰ λοιπὰ στοιχεῖα εὐρίσκονται ἐκ τῶν πινάκων ὑδρατμοῦ καὶ οὕτω ὑπολογίζεται τὸ χ_2 .

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα $T - S$ παρατηροῦμεν ἐπίσης ὅτι, ἐὰν συμπίεσθῃ ὑγρὸς ὑδρατμὸς ἀδιαβατικῶς, τότε, ἐὰν τὸ $\chi > 0,5$, ὁ ἀτμὸς συμπιεζόμενος γίνεται ξηρὸς ἢ ὑπέρθερμος (γραμμὴ 2, 2', 1).

Ἐὰν ὁμως $\chi < 0,5$, τότε ὁ ὑδρατμὸς ὑγροποιεῖται (γραμμὴ 4 - 5).

Παράδειγμα.

Ἀτμὸς ὑπέρθερμος ($C_p = 0,58$) πίεσεως 27 kg/cm^2 ἀπόλ. καὶ θερμοκρασίας 400°C ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς εἰς πίεσιν 1 kg/cm^2 .

Ζητεῖται: α) Ἡ τελικὴ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ μετὰ τὴν ἐκτόνωσιν. β) Τὸ παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον εἰς kcal ἀνὰ kg ὑδρατμοῦ.

Λύσις:

Μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (102) καὶ τὴν βοήθειαν τῶν πινάκων ὑδρατμοῦ ἔχομεν:

$$\alpha) l_n \frac{500}{273} + \frac{436,6}{500} + 0,58 \cdot l_n \frac{673}{500} = l_n \frac{372}{273} + \frac{\chi_2 \cdot 539,4}{372}$$

$$l_n 1,84 + 0,873 + 0,58 \cdot l_n 1,34 = l_n 1,36 + 1,46 \cdot \chi_2$$

$$0,6098 + 0,873 + 0,58 \times 0,2927 = 0,3075 + 1,46 \cdot \chi_2 \quad \text{καὶ} \quad \chi_2 = 0,923$$

β) Ἐχομεν ἐκ τῆς ἰσότητος (101): $W = (E_1 - E_2) J$

$$\text{τὸ} \quad E_1 = 772 - \frac{270\,000 \times 0,1131}{427} = 700,5 \text{ kcal/kg}$$

$$E_2 = 99,09 + 0,92 \times 539,4 - \frac{10\,000 \times 0,92 \times 1,725}{427}$$

$$E_2 = 595,33 - 37,10 = 558,23 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{καὶ} \quad \frac{W}{J} = 700,5 - 558,23 = 242,27 \text{ kcal/kg.}$$

8.6 Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑδρατμοῦ.

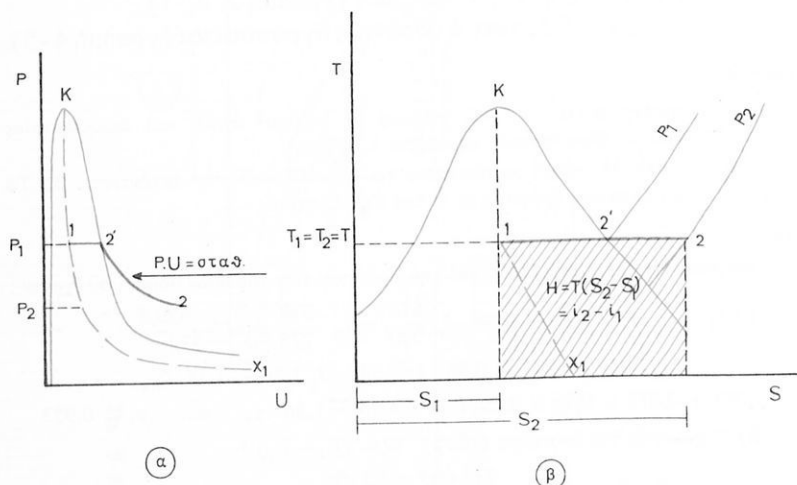
Ἐστω ὅτι ἀτμὸς πίεσεως P_1 καὶ βαθμοῦ ξηρότητας χ_1 (σχ. 8.6) θερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν. Ἡ μεταβολὴ αὐτή, ἕως ὅτου ὁ ὑδρατμὸς γίνῃ ξηρὸς (γραμμὴ 1 - 2'), εἶναι καὶ σταθερᾶς πίεσεως.

Ὅταν ὁ ἀτμὸς ὑπέρθερμανθῇ, θὰ συμπεριφέρεται περίπου ὡς ἄεριον καὶ θὰ ἀκολουθῇ τὸν νόμον Boyle, δηλαδὴ τὸ τμήμα τῆς καμπύλης 2' - 2 (εἰς τοὺς ἄξονας P, v) θὰ εἶναι ὑπερβολή, ἥτοι τὸ γινόμενον $P \cdot v = \text{σταθ.}$

Εἰς τοὺς ἄξονας $T - S$ ἡ ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς εὐθείας 1 - 2 παριστᾷ τὸ χορηγηθὲν ποσὸν θερμότητος, δηλαδὴ $H = T (S_2 - S_1) = i_2 - i_1$.

Τὸ παραγόμενον ἔργον εἰς τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν τοῦ ὑδρατμοῦ δὲν

ισοϋται με τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος, ὅπως συμβαίνει μετὰ τὰ ἀέρια, διότι λόγω τῆς ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν μεταβολῆς 1, 2' ἢ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ὑδρατμοῦ μεταβάλλεται (ἐνῶ εἰς τὰ ἀέρια κατὰ τὴν



Σχ. 8.6.

ισοθερμοκρασιακὴν ἀλλαγὴν παραμένει σταθερά), ἐπομένως τὸ ἔργον εὑρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (83) διατηρήσεως τῆς ἐνέργειας, ἥτοι :

$$H = \frac{W}{J} + (E_2 - E_1) \quad \eta$$

$$\frac{W}{J} = H - (E_2 - E_1).$$

Παράδειγμα.

Ἀτμὸς ἀρχικῶς ὑγρὸς πίεσεως 10 kg/cm² ἀπολύτου καὶ $\chi = 0,8$ ἐκτονοῦται ἰσοθερμοκρασιακῶς μέχρι πίεσεως 2 kg/cm² ἀπολύτου, καὶ μεταβάλλεται εἰς ὑπέρθερμον.

Ζητεῖται : Τὸ παραγόμενον ἔργον ὑπὸ τοῦ ὑδρατμοῦ κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν εἰς kcal ἀνὰ kg.

Λύσις :

$$\text{Ἐχομεν : } \frac{W}{J} = H - (E_2 - E_1).$$

$$\text{Ἀλλὰ } H = i_2 - i_1$$

Τὸ $i_2 = 685,4$ (ἀπὸ τοὺς πίνακας ὑπερθέρμου διὰ $P = 2 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t = 200^\circ \text{C}$).

Τὸ $i_1 = 181,2 + 0,8 \times 481,8 = 566,5$ καὶ $H = 685,4 - 566,6 = 118,8 \text{ kcal/kg}$.

$$\text{Τὸ } E_2 = 685,4 - \frac{20\,000 \times 1,102}{427} = 685,4 - 51,6 = 633,8.$$

$$\text{Τὸ } E_1 = 566,6 - \frac{100\,000 \times 0,8 \times 0,1981}{427} = 566,6 - 37 = 529,6$$

$$\text{καὶ } \frac{W}{J} = 118,8 - (633,8 - 562,9) = 14,6 \text{ kcal/kg}.$$

Παρατηροῦμεν τὴν διαφορὰν τῆς ἀλλαγῆς αὐτῆς, συγκρινομένην μὲ τὰ ἀέρια, εἰς τὰ ὁποῖα, ὡς γνωστὸν, ὁλόκληρον τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον.

8.7 Στραγγαλισμὸς ὑδρατμοῦ.

Στραγγαλισμὸς εἶναι μία ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑδρατμοῦ μὲ δύο χαρακτηριστικά :

α) Θερμότης οὔτε δίδεται οὔτε ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὸν ὑδρατμὸν (ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν) κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν.

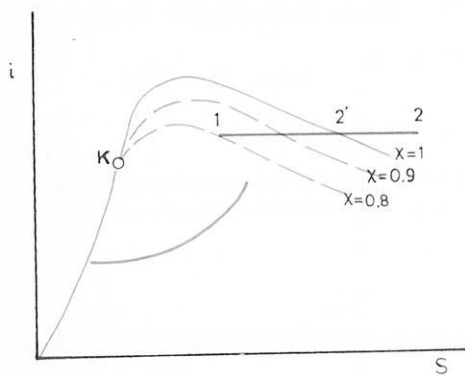
β) Οὐδὲν μηχανικὸν ἔργον παράγεται κατὰ τὸν στραγγαλισμὸν. Ἀποτέλεσμα τῶν ἀνωτέρω εἶναι ἡ ὀλικὴ θερμότης (ἢ ἐνθαλπία) τοῦ ὑδρατμοῦ νὰ παραμένῃ σταθερὰ κατὰ τὴν μεταβολὴν αὐτὴν, ἐπομένως ὁ στραγγαλισμὸς εἰς τὸ διάγραμμα $i - S$ (ἐνθαλπίας - ἐντροπίας, ἰδὲ παράγρ. 8.10) θὰ παρίσταται ὑπὸ τῆς εὐθείας 1, 2', 2 καθέτου εἰς τὸν ἄξονα τῆς ἐνθαλπίας [σχ. 8.7 (α)].

Κατὰ τὸν στραγγαλισμὸν ἡ πίεσις τοῦ ἀτμοῦ πίπτει, ἡ αἰσθητὴ θερμότης καὶ ἡ θερμοκρασία αὐτοῦ ἐλαττοῦται καὶ αὐξάνεται ἀναλόγως ἢ λανθάνουσα θερμότης μὲ ἀποτέλεσμα περαιτέρω ἐξάτμισιν τῶν ἐν αἰωρῇσει σταγονιδίων. Τοῦτο σημαίνει ὅτι ὁ ὑδρατμὸς καθίσταται ὁλοκλήρως ξηρότερος, καθὼς στραγγαλίζεται. Ὅταν ὁ ὑδρατμὸς γίνῃ ξηρὸς (σημεῖον 2'), διὰ περαιτέρω στραγγαλισμοῦ καθίσταται ὑπέρθερμος (σημεῖον 2) εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν.

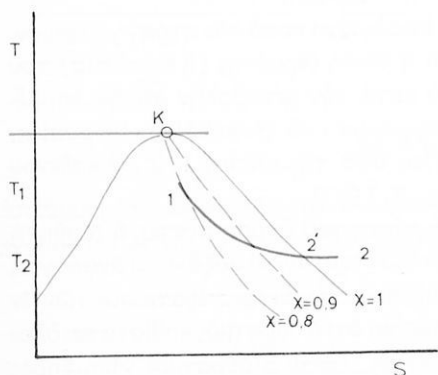
Εἰς τὸ διάγραμμα $T - S$ [σχ. 8.7 (β)] ὁ στραγγαλισμὸς παρίσταται ὑπὸ τῆς ἐστιγμένης γραμμῆς 1, 2', 2, διότι ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ ὡς μὴ ἀναστρέψιμος δὲν δύναται νὰ παρασταθῇ εἰς τὸ διάγραμμα.

Ἡ ἐπιφάνεια κάτωθεν τῆς 1, 2', 2 εἰς τὸ $T - S$ δὲν παριστᾷ θερμότητα χορηγηθεῖσαν εἰς τὸν ὑδρατμὸν ἀπὸ ἐξωτερικὴν τινα πηγὴν, ἀλλὰ παριστᾷ ἐσωτερικὴν ὑπερθέρμανσιν τοῦ ὑδρατμοῦ λόγω τριβῶν. Ἀκριβῶς δὲ λόγω τῶν τριβῶν ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ εἶναι ἀναστρέψιμος. Στραγγαλισμὸς ὑδρατμοῦ εἰς τὴν πρᾶξιν παρατη-

ρεϊται εἰς μειωτῆρας πιέσεως, βαλβίδας, θυρίδας κυλίνδρων καὶ λοιπὰς στενὰς διόδους, ποὺ προκαλοῦν τριβὰς εἰς αὐτόν. Ὁ στραγγαλισμὸς εἶναι μία βασικὴ μεταβολὴ εἰς τὸν κύκλον λειτουργίας τῶν ψυκτικῶν μηχανῶν (Κεφάλ. 16). Εἰς ὅλας ὁμως τὰς λοιπὰς περιπτώσεις πρέπει νὰ ἀποφεύγεται, διότι στραγγαλισμὸς ὑδρατμοῦ σημαίνει καὶ ἐλάττωσιν τοῦ μέσω αὐτοῦ λαμβανομένου μηχανικοῦ ἔργου, ὡς θὰ ἐξηγηθῇ βραδύτερον (παράγρ. 8·10, παράδειγμα 3ον).



(α)



(β)

Σχ. 8·7.

Ἡ τελικὴ κατάσταση τοῦ ὑδρατμοῦ λόγω στραγγαλισμοῦ εὐρίσκεται κυρίως μετὰ τὴν βοήθειαν τοῦ διαγράμματος $i-S$ καὶ ἀναλυτικῶς ὡς κάτωθι :

Ἐστω P_1, χ_1 ἡ ἀρχικὴ γνωστὴ κατάσταση ἐνὸς ὑδρατμοῦ, ὁ ὁποῖος διερχόμενος μέσω μειωτῆρος ὑφίσταται πτώσιν πιέσεως εἰς P_2 . Ἐὰν ὑποθέσωμεν ὅτι μετὰ τὸν στραγγαλισμὸν ὁ ὑδρατμὸς θὰ παραμείνῃ ὑγρὸς ἀγνώστου τιμῆς τοῦ χ_2 , τότε ἔχομεν :

$$i_1 = i_2 \quad \eta \quad \rho_1 + \chi_1 \lambda_1 = \rho_2 + \chi_2 \lambda_2 \quad (103)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα αὐτὴν τὰ $\rho_1, \lambda_1, \rho_2$ καὶ λ_2 λαμβάνονται ἀπὸ τοὺς πίνακας ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς πιέσεις P_1 καὶ P_2 ἀντιστοίχως, τὸ χ_1 εἶναι δεδομένον καὶ οὕτω παραμένει μόνος ἄγνωστος τὸ χ_2

$$\eta \quad \chi_2 = \frac{\rho_1 + \chi_1 \lambda_1 - \rho_2}{\lambda_2}.$$

Ἐὰν εὐρεθῇ χ_2 μεγαλύτερον τῆς μονάδος, τότε ὁ ὑδρατμὸς μετεβλήθη εἰς ὑπέρθερμον, ὅποτε ἡ ἰσότης (103) λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$\rho_1 + \chi_1 \lambda_1 = \rho_2 + \lambda_2 + C_p (t_s - t_2) \quad (104)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (104) τὸ t_s εἶναι ἡ ζητούμενη θερμοκρασία τοῦ ὑπερθέρμου καὶ t_2 ἡ θερμοκρασία τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ πίεσεως P_2 , ἡ ὁποία λαμβάνεται ἀπὸ τοὺς πίνακας ὁμοῦ μὲ τὰς τιμὰς $\rho_1, \lambda_1, \rho_2, \lambda_2$. Τὸ χ_1 εἶναι δεδομένον καὶ τὸ $C_p = 0,48$ (κατὰ προσέγγισιν).

Παράδειγμα.

Ἄτμος ὑγροῦ πίεσεως 30 kg/cm^2 ἀπολ. καὶ βαθμοῦ ξηρότητας $0,96$ διέρχεται μέσω μειωτῆρος καὶ ἡ πίεσις του ἐλαττοῦται εἰς 5 kg/cm^2 ἀπολ.

Ζητεῖται : α) Ἡ τελικὴ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ καὶ β) ποία θὰ ᾔητο ἡ τελικὴ κατάσταση τοῦ ἀτμοῦ, ἐὰν οὗτος ἐξήρχετο τοῦ μειωτῆρος μὲ πίεσιν 1 kg/cm^2 ἀπολ.

Λύσις :

α) Ἐκ τῆς ἰσότητος (103) τῇ βοήθειᾳ τοῦ Πίνακος 1 ὑδρατμοῦ ἔχομεν :

$$239,5 + 0,96 \times 430,2 = 152,1 + \chi_2 \cdot 503,7$$

$$\text{καὶ } \chi_2 = \frac{239,5 + 412,9 - 152,1}{503,7} = \frac{500,3}{503,7} \quad \eta \quad \chi_2 = 0,993.$$

β) Μὲ τὴν αὐτὴν ἰσότητα ἔχομεν :

$$239,5 + 0,96 \times 430,2 = 99,12 + \chi_2 \cdot 539,4$$

$$\chi_2 = \frac{239,5 + 412,9 - 99,12}{539,4} = \frac{553,3}{539,4} \quad \eta \quad \chi_2 = 1,025$$

Ἐφ' ὅσον τὸ χ_2 εὐρέθη μεγαλύτερον τῆς μονάδος, ὁ ὑδρατμὸς κατέστη ὑπέρθερμος μετὰ τὸν στραγγαλισμὸν καὶ χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (104),

$$\eta \text{τοι } 239,5 + 0,96 \times 430,2 = 638,5 + 0,5 (t_s - 99)$$

$$t_s = \frac{239,5 + 412,9 - 638,5 + 47,5}{0,5} = \frac{61,48}{0,5} \quad \eta \quad t_s = 122,9^\circ \text{ C.}$$

8·8 Παράστασις θερμότητος ὕδατος, λανθανούσης θερμότητος, ὀλικῆς θερμότητος καὶ θερμότητος ὑπερθερμάνσεως ὑδρατμοῦ εἰς διάγραμμα T - S.

Ὅπως ἤδη γνωρίζομεν, ἡ σημασία τοῦ διαγράμματος T-S ἔγκειται εἰς τὸ ὅτι τὰ ποσὰ θερμότητος, τὰ ὁποῖα χορηγοῦνται ἢ ἀφαιροῦνται κατὰ τὰς ἀναστρεψίμους ἀλλαγάς, εἶναι ἴσα μὲ τὰς ἐπιφανείας κάτωθεν τῶν ἀντιστοίχων καμπυλῶν. Κατόπιν τούτου εἶναι φανερόν ὅτι τὸ διάγραμμα αὐτὸ δὲν πρέπει νὰ περικόπτεται, δηλαδή ἡ κλίμαξ τῶν θερμοκρασιῶν πρέπει νὰ ἀρχίζει ἀπὸ τὸ ἀπόλυτον μηδέν.

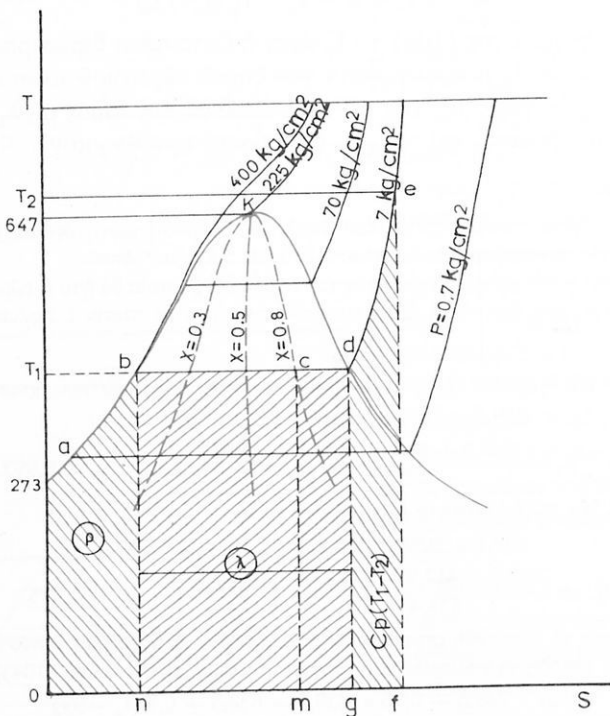
Εἰς τὸ σχῆμα 8·8 ἔχομεν :

Ἐπιφάνεια oabn = ρ

Ἐπιφάνεια bdgn = λ

Ἐπιφάνεια defg = $C_p (T_2 - T_1)$.

- Έπιφάνεια οαbdef = Όλική θερμότης υπερθέρμου ύδρατμου σημείου e.
 Έπιφάνεια οαbdg = Όλική θερμότης ξηροῦ ύδρατμου σημείου d.
 Έπιφάνεια οαbecm = Όλική θερμότης ὑγροῦ ύδρατμου σημείου c.



Σχ. 8.8.

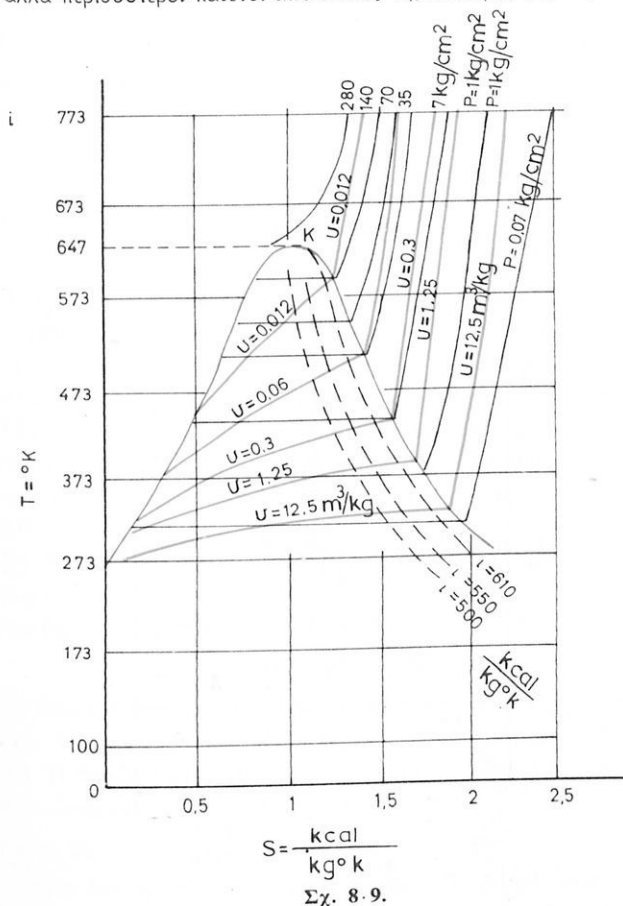
Από το άνωτέρω διάγραμμα βλέπομεν επίσης ότι ή έπιφάνεια, πού παριστά την λανθάνουσαν θερμότητα άτμοποιήσεως λ, έλαττούται συνεχώς, καθώς πλησιάζομεν εις τό κριτικόν σημείο K, και τέλος μηδενίζεται, όταν φθάσωμεν εις αυτό, δηλαδή εις θερμοκρασίαν 374° C (647° K) και πίεσιν 225 kg/cm².

8.9 Γραμμαι σταθεράς πιέσεως, σταθεροῦ όγκου, σταθεράς όλικής θερμότητος εις διάγραμμα T - S.

Εις τό σχήμα 8.9 έχομεν διάγραμμα T - S, εις τό όποιον είναι χαραγμέναι αι γραμμαι σταθεράς πιέσεως (πλήρεις γραμμαι), σταθεροῦ όγκου (μυλές) και σταθεράς όλικής θερμότητος (διακεκομμέναι).

Παρατηρούμεν ότι εις την περιοχην τοῦ ὑγροῦ ύδρατμου αι γραμμαι σταθεράς πιέσεως είναι ευθείαι όριζόντιαι και εις περιοχην τοῦ υπερθέρμου

καμπύλαιο. Αί γραμμάι σταθερού όγκου είναί καμπύλαιο είς τήν περιοχήν του ύγρου ύδρατμου, ώς έπίσης καμπύλαιο καί είς τήν περιοχήν του ύπερθέρμου, άλλα περισσότερον κάθειοι άπό εκείνας τής σταθεράς πίεσεωσ. Αί καμπύλαιο



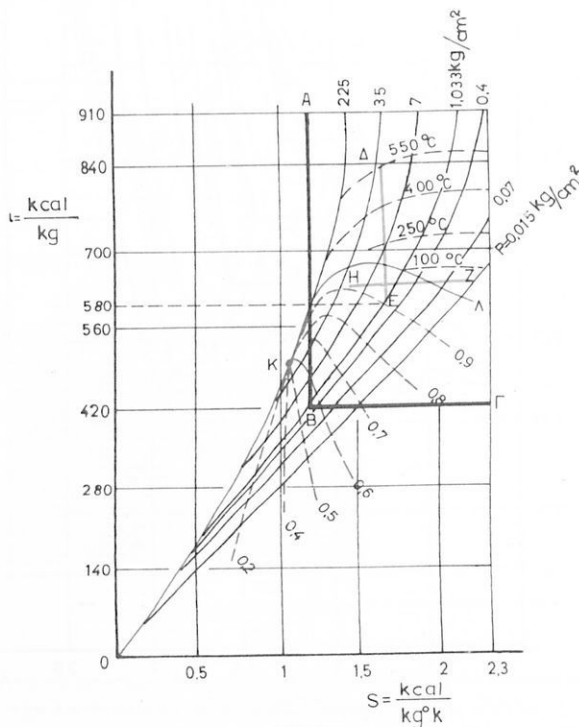
σταθεράς όλικής θερμότητος $i = 500 \text{ kcal/kg}$ ή $i = 550$ ή $i = 610$ έμφαίνονται έπίσης είς τό διάγραμμα.

8.10 Διάγραμμα Mollier (i - S) ύδρατμου - Περιγραφή - Χρήσις.

Τό διάγραμμα i - S (όλικής θερμότητος - έντροπίας) ή διάγραμμα Mollier έχει εύρυτάτην χρήσιν είς προβλήματα ύδρατμου ιδίως είς άδιαβατικάς αλλαγάς καί στραγγαλισμόν.

Ο κάθετος άξων (σχ. 8·10α) μετρεΐ την όλικήν θερμότητα ή ένθαλπίαν τοϋ ύδρατμοϋ εις kcal ανά kg και ό όριζόντιος την έντροπίαν εις kcal /kg °K.

Ἐπὶ τῆς ὀριακῆς γραμμῆς ΟΚΛ (ἐρυθρά) τὸ σημεῖον Κ εἶναι τὸ κριτικὸν σημεῖον ὕδατος ὑδρατμοῦ, τὸ τμήμα ΟΚ παριστᾷ ὕδωρ εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ ($\chi = 0$) καὶ τὸ τμήμα ΚΛ ξηροῦ ὑδρατμοῦ ($\chi = 1$).

 $\Sigma\chi. 8 \cdot 10\alpha.$

Κάτωθεν τῆς ΚΛ εἶναι ἡ περιοχή τοῦ ὑγροῦ ὑδρατμοῦ, εἰς τὴν ὁποίαν χαράσσονται αἱ γραμμαὶ σταθεροῦ χ , ὅπως $\chi = 0,9$, $\chi = 0,8$, $\chi = 0,7$ κ.λπ.

Ἄνωθεν τῆς ΚΛ εἶναι ἡ περιοχή ὑπερθερμον ὕδρατμου, εἰς τὴν ὁποίαν χαράσσονται αἱ καμπύλαι σταθερᾶς θερμοκρασίας, ὅπως 100° C, 250° C, 400° C κ.λπ.

Αί γραμμαὶ σταθερᾶς θερμοκρασίας εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ ὑγροῦ

ύδρατμοῦ εἶναι αἱ αὐταὶ μὲ τὰς γραμμὰς σταθερᾶς πιέσεως. Αἱ γραμμαὶ σταθερᾶς πιέσεως $P = 0,015 \text{ kg/cm}^2$ ἢ $P = 1,033 \text{ kg/cm}^2$ ἢ $P = 7 \text{ kg/cm}^2$ κ.λπ. εἶναι εὐθεῖαι γραμμαὶ εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ ὑγροῦ καὶ ἐλαφρῶς καμπύλαι εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ. Ἡ χρῆσις τοῦ διαγράμματος εἶναι ἀπλῆ.

Κατωτέρω θὰ δώσωμεν δύο παραδείγματα ἀδιαβατικῆς ἀλλαγῆς καὶ στραγγαλισμοῦ ὑδρατμοῦ ἐπὶ τοῦ σχήματος 8·10α.

Περίπτωσης 1η.

Ἔστω ὅτι ἔχομεν ὑδρατμὸν πιέσεως 35 kg/cm^2 καὶ θερμοκρασίας 550°C .

Ὁ ὑδρατμὸς αὐτὸς εἰς τὸ διάγραμμα θὰ παρίσταται ὑπὸ τοῦ σημείου τομῆς τῆς γραμμῆς σταθερᾶς πιέσεως $P = 35 \text{ kg/cm}^2$ καὶ σταθερᾶς θερμοκρασίας $t = 550^\circ \text{C}$ (σημεῖον Δ). Ἔστω ὅτι ὁ ὑδρατμὸς ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς (ἀνευ τριβῶν) μέχρις ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως $1,033 \text{ kg/cm}^2$. Ἡ ἀδιαβατικὴ αὐτὴ ἀλλαγὴ θὰ παρίσταται ὑπὸ τῆς καθέτου ΔΕ εἰς τὸ διάγραμμα, εἰς τὸ ὁποῖον καὶ ἀναγινώσκομεν ὅτι :

α) Ὁ ὑδρατμὸς εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως ἔγινεν ὑγρὸς μὲ $\chi = 0,9$.

β) Ἡ ἐνθαλπία τοῦ ὑδρατμοῦ πρὸ τῆς ἐκτονώσεως ἦτο 840 kcal/kg καὶ εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως 580 kcal/kg . Ἐπομένως ἔχομεν μίαν θερμικὴν πτώσιν :

$$i_1 - i_2 = 840 - 580 = 260 \text{ kcal/kg.}$$

Ἡ θερμικὴ αὐτὴ πτώσις μετρεῖ τὸ θεωρητικὸν ἔργον τοῦ κύκλου Rankine τῶν ἀτμομηχανῶν, ὡς θὰ ἐξηγηθῇ βραδύτερον (Κεφάλ. 11).

γ) Ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑδρατμοῦ ἀπὸ 550°C εἶναι μετὰ τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως 100°C .

Περίπτωσης 2α.

Ἔστω ὅτι ἔχομεν ὑδρατμὸν πιέσεως 7 kg/cm^2 καὶ $\chi = 0,9$. Ὁ ὑδρατμὸς αὐτὸς εἰς τὸ διάγραμμα θὰ παρίσταται ὑπὸ τοῦ σημείου τομῆς τῆς γραμμῆς σταθερᾶς πιέσεως $P = 7 \text{ kg/cm}^2$ καὶ τῆς γραμμῆς σταθεροῦ βαθμοῦ ξηρότητος $\chi = 0,9$ (σημεῖον Η). Ἔστω ὅτι ὁ ὑδρατμὸς αὐτὸς διέρχεται μέσω μειωτῆρος πιέσεως καὶ ὑφίσταται στραγγαλισμὸν.

Ὁ στραγγαλισμὸς (παράγρ. 8·7), ἐπειδὴ ἔχει σταθερὰν ἐνθαλπίαν, θὰ παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα ἀπὸ μίαν ὀριζοντίαν γραμμὴν κάθετον εἰς τὸν ἄξονα τῆς ἐνθαλπίας, ὅπως ἡ HZ. Παρατηροῦμεν ἀπὸ

τὸ διάγραμμα ὅτι ὅσον ὁ ἀτμὸς στραγγαλίζεται κατὰ μῆκος τῆς HZ, τόσο :

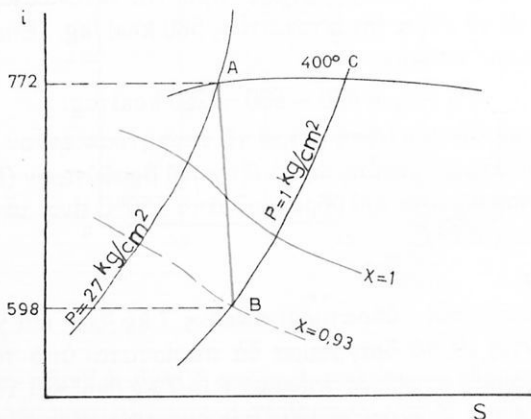
α) Ἐλαττοῦται ἡ πίεσίς του, β) ἐλαττοῦται ἡ θερμοκρασία του, γ) γίνεται ὁλονὲν ξηρότερος ἢ τέλος καὶ ὑπέρθερμος εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν, ὡς ἐμφαίνεται ἀπὸ τὸ σημεῖον Z. Συνήθως τὸ διάγραμμα Mollier δίδεται ἐν μεγεθύνσει μόνον κατὰ τὸ τμήμα, ποῦ περικλείεται ἀπὸ τὰς καθέτους γραμμὰς AB καὶ BΓ (σχ. 8·10α), δεδομένου ὅτι τὸ τμήμα αὐτὸ εἶναι τὸ κυρίως ἐνδιαφέρον τοὺς μηχανικοὺς διὰ προβλήματα σχέσιν ἔχοντα μὲ παλινδρομικὰς ἀτμομηχανὰς καὶ ἀτμοστροβίλους. Τοιαῦτα διαγράμματα δι' ἀσκήσεις ὑπάρχουν (καὶ εἰς μετρικὸν καὶ εἰς ἀγγλικὸν σύστημα μονάδων) εἰς τὸ Παράρτημα Θερμοδυναμικῆς «Πίνακες καὶ Διαγράμματα».

Παράδειγμα 1ον.

Νὰ λυθῇ τὸ παράδειγμα τῆς παραγράφου 8·5 μὲ χρῆσιν τοῦ διαγράμματος Mollier ὡς πρὸς τὴν ἐρώτησιν α) καὶ νὰ εὑρεθῇ ἡ θερμικὴ πτώσις τοῦ ἀτμοῦ.

Λύσις :

Χρησιμοποιοῦμεν τὸ πλῆρες διάγραμμα Mollier, ποῦ ὑπάρχει εἰς τὸ Παράρτημα καὶ ἡ λύσις ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 8·10β.



Σχ. 8·10β.

Ἡ ἀρχικὴ κατάσταση τοῦ ἀτμοῦ δίδεται διὰ τοῦ σημείου A, σημείου τομῆς τῶν γραμμῶν $P = 27 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t = 400^\circ \text{ C}$.

Ἡ τελικὴ κατάσταση δίδεται διὰ τοῦ σημείου B, εἰς τὸ ὁποῖον ἡ κάθετος ἀπὸ τὸ A εἰς τὸν ἄξονα S τέμνει τὴν γραμμὴν πίεσεως 1 kg/cm^2 .

Από το διάγραμμα λαμβάνομεν: $\chi = 0,93$ μετά την έκτόνωσιν καὶ θερμικὴν πτώσιν $= i_1 - i_2 = 772 - 598 = 274 \text{ kcal/kg}$.

Συγκρίνοντας τὴν θερμικὴν πτώσιν ἢ μεταβολὴν τῆς ἐνθαλπίας μετὰ τὴν μεταβολὴν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀτμοῦ, ποὺ εἶναι $242,27 \text{ kcal/kg}$ (ὡς παράδειγμα παραγ. 8.5), βλέπομεν ὅτι ἡ θερμικὴ πτώσις εἶναι μεγαλυτέρα.

Ἡ θερμικὴ πτώσις εἶναι τὸ ἔργον τοῦ κύκλου Rankine, ὡς θὰ ἐξηγηθῇ βραδύτερον, ἐνῶ, ὡς προανεφέραμεν, ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας δίδει τὸ ἔργον τῆς ἀδιαβατικῆς ἐκτονώσεως.

Παράδειγμα 2ον.

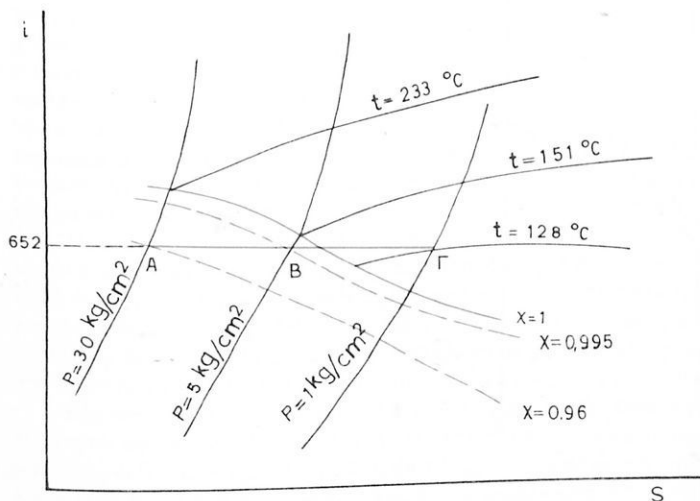
Νὰ λυθῇ τὸ παράδειγμα τῆς παραγράφου 8.7 μετὰ χρῆσιν τοῦ διαγράμματος Mollier.

Λύσις :

Ἡ λύσις ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 8.10 γ.

Τὸ σημεῖον Α εἶναι ἡ ἀρχικὴ κατάσταση τοῦ ἀτμοῦ σημεῖον τομῆς τῶν γραμμῶν $p = 30 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $\chi = 0,96$.

Ὁ ἀτμός στραγγαλιζόμενος ἔχει σταθερὸν i . Φέρεται ἡ ὀριζοντία γραμμὴ ΑΒΓ καὶ τὸ σημεῖον Β παριστᾷ τὸν ἀτμόν, ὁ ὁποῖος, ὅταν ἐξέρχεται τοῦ μειω-

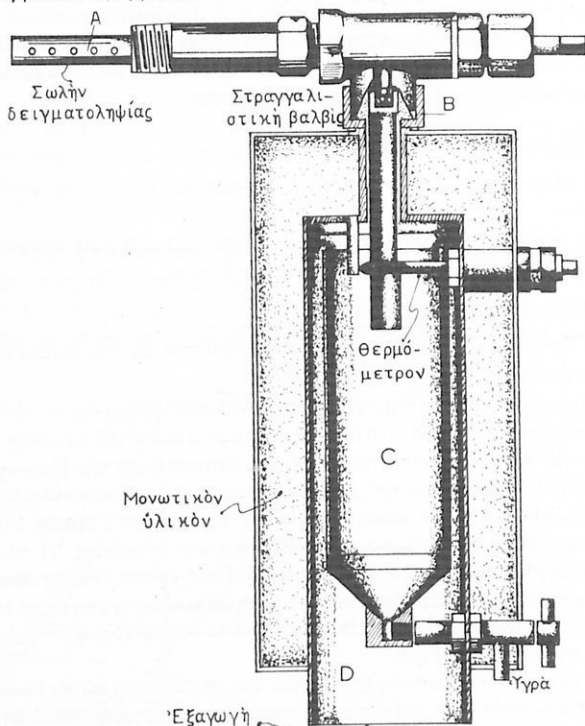


Σχ. 8.10 γ.

τήρος, ἔχει πίεσιν 5 kg/cm^2 , ὁπότε εἶναι ὑγρὸς μετὰ $\chi = 0,993$ καὶ τὸ σημεῖον Γ τὸν ἀτμόν μετὰ τελικὴν πίεσιν 1 kg/cm^2 , ὁπότε ὑπερθερμαίνεται μετὰ $t = 128^\circ \text{C}$.

Παρατηροῦμεν ἐπίσης ἀπὸ τὸ διάγραμμα ὅτι τὸ σταθερὸν i ἰσοῦται μετὰ 652 kcal/kg καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀτμοῦ εἶναι 233°C εἰς τὸ Α, 151°C εἰς τὸ Β καὶ 128°C εἰς τὸ Γ.

δίδη τὴν κατάστασιν τοῦ ὑδρατμοῦ μετὰ τὸν στραγγαλισμόν. Φέρομεν κατό-
πιν ὀριζοντίαν γραμμὴν πρὸς τὰ ἄριστερά, ἕως ὅτου συναντήσωμεν εἰς τὸ
διάγραμμα τὴν γραμμὴν πιέσεως τοῦ λέβητος (ἔστω σημεῖον Α, σχ. 8·10γ),



Σχ. 8·11α.

ὁπότε ἀναγινώσκεται ἐπὶ τοῦ διαγράμματος ὁ βαθμὸς ξηρότητος τοῦ
ὑδρατμοῦ.

β) Ἀποχωριστικὸν θερμιδομέτρον.

Ἐὰν ὁ ὑδρατμὸς εἶναι ἀρκετὰ ὑγρὸς, ὥστε νὰ μὴ εἶναι δυνατὴ ἡ χρησι-
μοποίησις τῆς μεθόδου α, τότε ὁ βαθμὸς ξηρότητος δύναται νὰ εὑρεθῇ διὰ τῆς
χρήσεως τοῦ ἀποχωριστικοῦ θερμιδομέτρου (σχ. 8·11β).

Τοῦτο ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓνα ἄγωγόν διπλοῦ τοιχώματος, ἐσωτερικῶς
τοῦ ὁποίου τοποθετεῖται μεταλλικὸς διάτρητος κώδων.

Ὁ ὑδρατμὸς μέσω τῆς βαλβίδος Β εἰσέρχεται εἰς τὸ θερμιδομέτρον, προσ-
κρούει εἰς τὸν κώδωνα Α καὶ κατέρχεται πρὸς τὰ κάτω. Ἐν συνεχείᾳ ἀνερχό-
μενος εἰσέρχεται εἰς τὸ ἐξωτερικὸν τοίχωμα C καὶ ἀκολουθῶνς ἐξέρχεται ἀπὸ
τὴν ἐξαγωγὴν D.

Με τὴν κίνησιν αὐτὴν τοῦ ὑδρατμοῦ τὰ ἐν αἰωρήσει οταγονίδια τοῦ ὕδατος ἀποχωρίζονται ἀπὸ αὐτὸν καὶ συλλέγονται εἰς τὸν πυθμένα τοῦ ἐσωτερικοῦ τοιχώματος, τὸ ὁποῖον συνδέεται μετὴν ὑδροδείκτην Ε, ἐπὶ τοῦ ὁποίου καὶ ἀναγινώσκεται τὸ βάρος αὐτῶν.

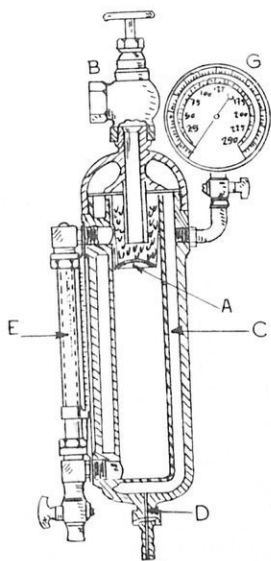
Τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ, ποὺ ἐξῆλθεν ἀπὸ τὴν ἐξαγωγὴν D, καθορίζεται διὰ τῆς συμπυκνώσεώς του ἐντὸς ὕδατος προκαθοριζομένου βάρους.

Διὰ ταχεῖαν ἀνάγνωσιν (ὄχι τόσο ἀκριβῆ) ἡ ροὴ τοῦ ἀτμοῦ δύναται νὰ καθορισθῇ ἀπὸ ἐν θλιβόμετρον G, τὸ ὁποῖον φέρει καὶ δευτέραν κλίμακα, δεικνύουσαν ἀπ' εὐθείας τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ, ποὺ ρεεῖ εἰς ὠρισμένον χρόνον.

Ἐὰν τώρα B_v εἴναι τὸ βάρος ὕδατος, ποὺ ἀφῆρθη ἀπὸ τὸν ὑδρατμὸν εἰς ὠρισμένον χρόνον, B_a τὸ βάρος ὑδρατμοῦ, τὸ ὁποῖον διῆλθεν εἰς ὠρισμένον χρόνον καὶ χ ὁ ζητούμενος βαθμὸς ξηρότητος, τότε :

$$\chi = \frac{B_a}{B_a + B_v}.$$

Ἡ μέθοδος αὕτῃ προϋποθέτει βεβαίως ὅτι ὁ ἐξερχόμενος τοῦ θερμιδομέτρου ἀτμὸς εἶναι ξηρός. Ἐὰν ὁ ἀτμὸς εἶναι ὑγρὸς κάτω ἀπὸ $\chi = 0,95$, ἡ ἀκριβὴς εὔρεσις τοῦ χ γίνεται διὰ συνδυασμοῦ ἀποχωριστικοῦ καὶ στραγγαλιστικοῦ θερμιδομέτρου (Ἰδὲ κατωτέρω παράδειγμα).



Σχ. 8-11 β.

γ) Θερμιδοόμετρον - Βυτίον.

Κατὰ τὴν μέθοδον αὐτὴν ὁ ὑδρατμὸς συμπυκνοῦται ἐντὸς ψυχροῦ ὕδατος γνωστοῦ βάρους περικλειομένου ἐντὸς ξυλίνου βυτίου εὑρισκομένου ἐπὶ πλάστιγγος.

Ὁ βαθμὸς ξηρότητος τότε ὑπολογίζεται διὰ μετρήσεως τῆς θερμοκρασίας τοῦ ὕδατος πρὸ καὶ μετὰ τὴν συμπύκνωσιν τοῦ ὑδρατμοῦ καὶ διὰ μετρήσεως τοῦ βάρους τοῦ συμπυκνωθέντος ἀτμοῦ. Οὕτως, ἐάν :

B_a εἴναι τὸ βάρος συμπυκνωθέντος ὑδρατμοῦ, χ ὁ ζητούμενος βαθμὸς ξηρότητος, B_v τὸ βάρος τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ βυτίου ἀρχικῶς, t_1 ἡ ἀρχικὴ θερμοκρασία τοῦ ψυχροῦ ὕδατος εἰς $^{\circ}\text{C}$, t_2 ἡ τελικὴ θερμοκρασία ὕδατος καὶ συμπυκνωθέντος ἀτμοῦ εἰς $^{\circ}\text{C}$, θὰ εἶναι :

Θερμότης ἀπορροφηθεῖσα ἀπὸ τὸ ὕδωρ = Θερμότης ἀπολεσθεῖσα ἀπὸ τὸν ὑδρατμὸν ἢ : $B_v (t_2 - t_1) = B_a (\rho + \chi \cdot \lambda - t_2)$.

Εἰς τὴν ἰσότητα αὐτὴν τὰ πάντα εἶναι γνωστὰ πλὴν τοῦ χ . Ἡ μέθοδος αὕτῃ εἶναι τόσο ἀκριβεστέρη, ὅσον μεγαλυτέρας ποσότητος ὑδρατμοῦ καὶ

ψυχρού ὕδατος χρησιμοποιοῦμεν. Ἐπίσης ἡ τελικὴ θερμοκρασία t_2 δὲν πρέπει νὰ εἶναι πολὺ ὑψηλή.

Ἀπὸ τὰς τρεῖς μεθόδους ἀκριβεστέρα εἶναι ἡ τοῦ στραγγαλιστικοῦ θερμιδομέτρου.

Παρόδειγμα.

Ὑγρὸς ὕδρατμος διέρχεται πρῶτον ἀπὸ ἀποχωριστικὸν θερμιδόμετρον καὶ ἐν συνεχείᾳ ἀπὸ στραγγαλιστικὸν θερμιδόμετρον. Ἐγίνοντο αἱ κάτωθι μετρήσεις :

α) Θερμοκρασία ὕδρατμου εἰς τὸν ἀτμαγωγὸν 170°C .

β) Θερμοκρασία ὕδρατμου μετὰ τὸν στραγγαλισμὸν τοῦ εἰς ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν 108°C .

γ) Βάρος σταγονιδίων ὕδατος, ποὺ παρέμειναν εἰς τὸ ἀποχωριστικὸν θερμιδόμετρον $0,035 \text{ kg/min}$.

δ) Βάρος ὕδρατμου, ποὺ εἰσέρχεται εἰς τὸ στραγγαλιστικὸν θερμιδόμετρον $0,81 \text{ kg/min}$.

Ζητεῖται : Ὁ ἀρχικὸς βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὕδρατμου.

Λύσις :

Ἡ πίεσις κορεσμοῦ, ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τοὺς 170°C , εἶναι 8 kg/cm^2 (πολὺ πλησίον).

Ἐστω χ ὁ βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὕδρατμου, ὅταν ἐξερχόμενος τοῦ ἀποχωριστικοῦ ποὺ εἰσέρχεται εἰς τὸ στραγγαλιστικὸν θερμιδόμετρον, ὁπότε θὰ ἰσχύη ἡ σχέσηις :

$$171,3 + \chi \cdot 489,5 = 639 + 0,48 \times (108 - 100) \quad \eta \quad \chi = 0,96.$$

Ἐπομένως τὸ βάρος τοῦ ξηροῦ ὕδρατμου ἄνευ σταγονιδίων ὕδατος, ποὺ θὰ ἐξέρχεται ἀπὸ τὸ ἀποχωριστικὸν θερμιδόμετρον, θὰ εἶναι :

$$0,81 \times 0,96 = 0,778 \text{ kg/min}.$$

Τὸ σύνολον τοῦ ὑγροῦ ὕδρατμου, ποὺ εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ ἀποχωριστικοῦ θερμιδομέτρου, θὰ εἶναι ἴσον μὲ $0,035 + 0,81 = 0,845 \text{ kg/min}$.

Ἀπὸ τὴν ποσότητα αὐτὴν τὰ $0,778$ εἶναι ξηρὸς ὕδρατμος καὶ τὰ ὑπόλοιπα σταγονίδια ὕδατος.

Ἐπομένως ὁ ζητούμενος ἀρχικὸς βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὕδρατμου εἶναι :

$$\frac{0,778}{0,845} = 0,92.$$

Ἀσκήσις.

Ἀτμολέβης πλοίου παράγει ἀτμὸν πίεσεως 30 kg/cm^2 . Αὐτὸς ἐρχόμενος μέσω τοῦ στραγγαλιστικοῦ θερμιδομέτρου (σχ. 8·11 α) στραγγαλίζεται εἰς ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ θερμιδομέτρου τοῦ θερμιδομέτρου ἀνέρχεται εἰς 128°C .

Ζητεῖται : ὁ βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὑπὸ τοῦ λέβητος παραγομένου ἀτμοῦ. α) Δι' ὑπολογισμοῦ. β) Διὰ χρήσεως τοῦ διαγράμματος Mollier.

(Ἰσχύει : $\chi = 0,96$.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 9

ΜΙΓΜΑ ΑΕΡΟΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΤΜΟΥ

9.1 Γενικά.

Υπάρχουν περιπτώσεις, κατὰ τὰς ὁποίας ὁ μηχανικὸς πρέπει νὰ ἀσχοληθῇ μὲ μίγμα ἀερίου καὶ ἀτμοῦ.

Παράδειγμα τὸ μίγμα ἀέρος καὶ ἀτμῶν βενζίνης, ποὺ παρασκευάζεται εἰς τὸ καρμπυρατέρ μιᾶς βενζινομηχανῆς. Ἐπίσης εἰς τὰ καυσάε-ρια τὰ δημιουργούμενα ἐκ τῆς καύσεως τῶν καυσίμων μὲ ὑδρογονάν-θρακας ὑπάρχει σχετικῶς μέγα ποσοστὸν ὑδρατμῶν, οἱ ὅποιοι συμπυ-κνοῦνται κατὰ μέγα μέρος, ὅταν τὰ καυσάερια ψυχθοῦν εἰς ἀτμοσφαι-ρικὰς θερμοκρασίας.

Γενικῶς εἰς μίγμα ἀερίου - ἀτμοῦ ἡ ποσότης τοῦ περιεχομένου ἀτμοῦ δύναται νὰ μεταβάλλεται εἴτε διὰ μερικῆς ἀποβολῆς τοῦ ἀτμοῦ λόγῳ συμπυκνώσεως εἴτε διὰ προσθήκης ἐπὶ πλεόν ἀτμοῦ λόγῳ πε-ραιτέρῳ ἐξατμίσεως τοῦ ὑγροῦ, ἀπὸ τὸ ὁποῖον αὐτὸς προέρχεται.

Ὁ ἀτμοσφαιρικὸς ἀήρ εἶναι, ὡς γνωστόν, μίγμα ἀερίων καὶ ὑδρατμῶν. Εἰς τὸ μίγμα αὐτὸ τὸ ὀξυγόνον καὶ τὸ ἄζωτον ἀπαντῶνται εἰς ἀναλογίαν τόσον μεγάλην, ὥστε τὰ ἄλλα ἀέρια (ὅπως CO_2 , H_2 κ.λπ.) δὲν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν.

Συνήθως ἡ παρουσία τῶν ὑδρατμῶν εἰς τὸν ἀέρα δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν κατὰ τοὺς ὑπολογισμοὺς μὲ βάσιν τοὺς νόμους τῶν ἀερίων (Boyle καὶ Gay-Lussac). Εἰς πολλὰς ὁμως περιπτώσεις, ὅπως π.χ. εἰς τὸν κλιματισμὸν, εἰς τὰς ψυκτικὰς ἐγκαταστάσεις καὶ εἰς τοὺς συμπυ-κνωτὰς ὑδρατμοῦ ἀτμομηχανῶν, ἡ παρουσία ὑδρατμοῦ εἰς τὸν ἀέρα (ἢ ἡ παρουσία ἀέρος εἰς τὸν ὑδρατμὸν) ἔχει σημασίαν. Ὡς ἐκ τούτου πρέπει νὰ ἐξετάζωνται καὶ ἐρευνῶνται αἱ κατάλληλοι ἰσότητες, αἱ ὁποῖαι θὰ ἐπιλύουν τὰ σχετικὰ προβλήματα.

Βασικῶς, ἐπειδὴ αἱ ἀναλογίαι τοῦ ἄζωτου καὶ τοῦ ὀξυγόνου εἰς τὸν ἀέρα εἶναι σταθεραί, ὁ ἀήρ ὡς μίγμα ἀερίου - ἀτμοῦ θεωρεῖται ὅτι ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο συστατικὰ μόνον : τὸν *ξηρὸν ἀέρα* καὶ τὸν *ὑδρατμόν*, τὸν ὁποῖον περιέχει.

9.2 Μερικαὶ πιέσεις αέρος - ὑδρατμοῦ.

Εἰς μίγμα αέρος καὶ ὑδρατμοῦ ὑπὸ χαμηλὰς πιέσεις ἐφαρμόζεται ἐπίσης καὶ ὁ Νόμος τοῦ Dalton (παράγρ. 3.10). Οὕτω διὰ τὴν ἀτμόσφαιραν ἰσχύει ἡ σχέσις :

$$\begin{aligned} & \text{Ἀτμοσφαιρική ἢ βαρομετρική πίεσις} = \\ & \text{Μερικὴ πίεσις ξηροῦ αέρος} + \text{Μερικὴ πίεσις ὑδρατμοῦ} \quad \eta \\ & P_B = P_\alpha + P_v \dots \end{aligned} \quad (105)$$

Ἡ μερική πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ P_v δὲν δύναται νὰ εἶναι μεγαλυτέρα, ἀπὸ ἐκείνην ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ περιβάλλοντος. Εἰς τὴν πραγματικότητα ἡ πίεσις θὰ εἶναι κατὰ τι μικροτέρα, ὥστε ἡ ἐξάτμισις τῶν ὑδάτων νὰ συνεχίζεται καί, ἐφ' ὅσον δὲν πίπτει ἡ θερμοκρασία, ὁ ὑδρατμὸς θὰ χρειασθῇ ἐν ἀόριστον χρονικὸν διάστημα διὰ νὰ κορέσῃ τὸν αέρα ἢ ἐπὶ τὸ ἀκριβέστερον τὸν χῶρον. Οἱ ὑδρατμοὶ εἰς τὸν ἀτμοσφαιρικὸν αέρα εὐρίσκονται ὑπὸ πολὺ χαμηλὰς πιέσεις. Τὰ χαρακτηριστικὰ των καὶ αἱ ιδιότητές των δίδονται ἀπὸ πίνακας ὑδρατμοῦ ἢ κατάλληλα διαγράμματα (ιδεὲ Παράρτημα).

9.3 Ἀπόλυτος ὑγρασία - Σχετικὴ ὑγρασία.

Ὑπὸ τὰς ἐπικρατοῦσας ἀτμοσφαιρικὰς θερμοκρασίας συνήθως ὁ ὑδρατμὸς εἰς τὸ μίγμα αέρος - ὑδρατμοῦ εὐρίσκεται εἰς κατάστασιν ὑπερθέρμου.

Οἱ νόμοι τῶν αερίων δύνανται νὰ ἐφαρμοσθοῦν εἰς τὸν ὑδρατμόν, ὅταν αὐτὸς εὐρίσκεται εἰς κατάστασιν ξηροῦ ἢ ὑπερθέρμου καὶ μὲ ἀρκετὴν ἀκρίβειαν μέχρις ἀπολύτου πίεσεως 5 lb/in^2 ($0,35 \text{ kg/cm}^2$).

Ἐστω B_v τὸ βάρος ὑδρατμοῦ εἰς τὸ μίγμα, P_v ἡ μερική πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ, R_v ἡ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ τοῦ ὑδρατμοῦ, U_v ὁ ὅλικος ὄγκος μίγματος αέρος - ὑδρατμοῦ, T_v ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία τοῦ μίγματος.

Τότε βάσει τοῦ Νόμου τοῦ Dalton καὶ τῆς χαρακτηριστικῆς ἰσότητος τῶν αερίων θὰ ἰσχύῃ ἡ σχέσις : $P_v U_v = B_v R_v \cdot T_v$ καί :

$$B_v = \frac{P_v U_v}{R_v \cdot T_v} \quad (106)$$

Ἡ ἰσότης (106) διὰ τὸν ξηρὸν αέρα θὰ ἔχῃ τὴν μορφήν :

$$B_\alpha = \frac{P_\alpha U_\alpha}{R_\alpha \cdot T_\alpha} \quad (107)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (107) B_α εἶναι τὸ βάρος ξηροῦ ἀέρος τοῦ μίγματος, P_α ἡ μερική πίεσις τοῦ ἀέρος εἰς τὸ μίγμα, R_α ἡ χαρακτηριστικὴ σταθερὰ τοῦ ἀέρος.

Διαιροῦμεν κατὰ μέλη τὰς ἰσότητας (106) καὶ (107), ὁπότε

$$\frac{B_v}{B_\alpha} = \frac{R_\alpha}{R_v} \cdot \frac{P_v}{P_\alpha}.$$

Ἀλλὰ τὸ $R_\alpha = 29,27$ καὶ τὸ $R_v = 47$ εἰς $\text{kgm/kg}^\circ\text{C}$, ὁπότε :

$$\frac{B_v}{B_\alpha} = \frac{29,27}{47} \cdot \frac{P_v}{P_\alpha} \quad \eta \quad \frac{B_v}{B_\alpha} = \frac{0,622 P_v}{P_\alpha}.$$

Ἀλλὰ ἐκ τῆς ἰσότητος (105) ἔχομεν $P_\alpha = P_B - P_v$, ὁπότε :

$$\frac{B_v}{B_\alpha} = \frac{0,622 \cdot P_v}{P_B - P_v}$$

καὶ ἐὰν $B_\alpha = 1 \text{ kg}$ (ἢ 1 lb), τότε :

$$B_v = \frac{0,622 \cdot P_v}{P_B - P_v} \quad (108)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (108) τὸ B_v παριστᾷ τὸ βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς kg (ἢ λίβρας), πού περιέχεται ἀνὰ kg (ἢ lb) ξηροῦ ἀέρος. Τοῦτο ὀνομάζεται *ἀπόλυτος ὑγρασία τοῦ ἀέρος*, τὴν ὁποίαν θὰ παριστῶμεν μὲ τὰ γράμματα $A.Y$.

Ἐπειδή, ὡς γνωστόν, 1 kg ἰσοῦται μὲ 1000 g καὶ 1 lb ἰσοῦται μὲ 7000 κόκκους, πολλαπλασιάζοντες τὴν ἰσότητα (108) ἐπὶ 1000 ἔχομεν :

$$A.Y = B_v = \frac{622 \cdot P_v}{P_B - P_v} \quad (109)$$

καὶ πολλαπλασιάζοντες τὴν ἰσότητα (108) ἐπὶ 7000 ἔχομεν :

$$A.Y = B_v = \frac{4354 \cdot P_v}{P_B - P_v} \quad (110)$$

Μὲ τὴν ἰσότητα (109) εὐρίσκομεν τὴν ἀπόλυτον ὑγρασίαν εἰς γραμμάρια ὑγρασίας ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος καὶ μὲ τὴν ἰσότητα (110) τὴν ἀπόλυτον ὑγρασίαν εἰς κόκκους ὑγρασίας ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος.

Αἱ πιέσεις λαμβάνονται εἰς kg/cm^2 ἀπολ. ἢ mm Hg εἰς τὴν ἰσότητα (109) καὶ lb/in^2 ἀπολ. ἢ in Hg εἰς τὴν ἰσότητα (110).

Μὲ τὸν ὅρον *σχετικὴ ὑγρασία* ($\Sigma.Y$.) καθορίζομεν τὸ πηλίκον :

$$\Sigma.Y. = \frac{\text{Βάρος ὑδρατμοῦ, ὁ ὅποιος πράγματι περιέχεται ἀνὰ μονάδα ὄγκου ἀέρος εἰς θερμοκρασίαν } t}{\text{Βάρος ὑδρατμοῦ ἀνὰ μονάδα ὄγκου εἰς κορεσμόν εἰς θερμοκρασίαν } t}$$

Ὁ παρονομαστής εἶναι δηλαδή τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς θερμοκρασίαν t .

Ἐστω P_s ἡ μερική πίεσις ὑδρατμοῦ εἰς κατάστασιν ξηροῦ κεκορεσμένου εἰς θερμοκρασίαν T_μ

v_s ὁ εἰδικὸς ὄγκος ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς πίεσιν P_s

ρ_s τὸ εἰδικὸν βάρος ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς πίεσιν P_s

P_v ἡ μερική πίεσις εἰς τὰς ἐπικρατούσας συνθήκας καὶ θερμοκρασίαν T_μ

v_v ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς πίεσιν P_v

ρ_v τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς πίεσιν P_v .

Τότε δεδομένου ὅτι ἡ θερμοκρασία T_μ εἶναι ἡ αὐτή, θὰ ἰσχύη ἡ σχέσις $P_s \cdot v_s = P_v \cdot v_v$ ἢ

$$\frac{P_v}{P_s} = \frac{v_s}{v_v}, \quad \text{ἀλλὰ} \quad v_s = \frac{1}{\rho_s} \quad \text{καὶ} \quad v_v = \frac{1}{\rho_v}, \quad \text{ὁπότε} \quad \frac{P_v}{P_s} = \frac{\rho_v}{\rho_s}.$$

Ὁ λόγος ὁμῶς $\frac{P_v}{P_s}$ μᾶς δίδει τὴν Σ.Υ. κατὰ τὸν ὁρισμὸν ὡς ἀνωτέρω, ἐπομένως:

$$\Sigma.Y = \frac{P_v}{P_s} \quad (111)$$

Ἐκ τῆς ἰσότητος (111) ἐξάγεται τὸ συμπέρασμα ὅτι: ἡ σχετική ὑγρασία τοῦ ἀέρος εὐρίσκεται, ἐὰν διαιρεθῇ ἡ μερική πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ ἐντὸς μίγματος ἀέρος - ὑδρατμοῦ καὶ εἰς θερμοκρασίαν T_μ διὰ τῆς πίεσεως τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ὑδρατμοῦ, ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν θερμοκρασίαν T_μ τοῦ μίγματος.

9.4 Σημεῖον δρόσου (Dew point).

Ἐστω ὅτι ἐντὸς δοχείου [σχ. 9.4 (β)] ὑπάρχει ὑπερθερμὸς ὑδρατμὸς θερμοκρασίας T_μ . Αὐτὸς παρίσταται διὰ τοῦ σημείου Α εἰς τὸ διάγραμμα T - S [σχ. 9.4 (α)].

Ἐστω ὅτι ὁ ὑδρατμὸς αὐτὸς ψύχεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν κατὰ τὸ ἴχνος Αα, ὁπότε εἰς τὸ σημεῖον α θὰ μετατραπῇ εἰς ξηρόν. Ἐὰν ἀφαιρεθῇ περαιτέρω θερμότης, τότε μέρος τοῦ ὑδρατμοῦ θὰ συμπυκνωθῇ.

Τὸ σημεῖον α εἶναι τὸ *ὄριακὸν σημεῖον* συμπυκνώσεως καὶ καλεῖται *σημεῖον δρόσου* (dew point). Ἐπομένως κάθε ὑπερθερμὸς ἀτμὸς ἔχει ἓν σημεῖον δρόσου, τὸ ὁποῖον ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν κατά-

σία του αέρος συνεχώς αυξάνει (διότι ελαττούται ή τιμή του P_s εις την ισότητα 111), ενώ ή απόλυτος υγρασία παραμένει σταθερά, διότι τὸ βάρος τοῦ υδρατμοῦ ἀνὰ kg ἢ lb αέρος δὲν μετεβλήθη. Μόλις ὅμως ἀποκτηθῇ τὸ σημεῖον δρόσου εἰς σημεῖον α καὶ θερμοκρασίαν T_α , ὁπότε ή Σ.Υ. = 100% (διότι $P_u = P_s$), κάθε περαιτέρω μείωσις τῆς θερμοκρασίας, ἔστω εἰς T_γ , θὰ προκαλέσῃ μερικὴν συμπίκνωσιν τοῦ υδρατμοῦ καὶ ἐπομένως ἐλάττωσιν τῆς ἀπολύτου υγρασίας του, ἐνῶ ή Σ.Υ. θὰ παραμείνῃ εἰς τὸ 100% (σημεῖον γ).

Διὰ νὰ ἐλαττωθῇ ή Σ.Υ. θὰ πρέπει νὰ θερμανθῇ τὸ μίγμα καὶ νὰ ἀνέλθῃ ή θερμοκρασία του (ιδε παραδειγμα παραγρ. 9·8).

Παράδειγμα.

Ἀτμοσφαιρικός ἀήρ ἔχει θερμοκρασίαν 30°C με βαρομετρικὴν πίεσιν 760 mm Hg.

Ζητεῖται : α) Τὸ βάρος τοῦ υδρατμοῦ, ποῦ περιέχεται εἰς 120 m^3 τοῦ αέρος αὐτοῦ, με Σ.Υ. 100% (κορεσμός) καὶ με Σ.Υ. 60%. β) Τὸ σημεῖον δρόσου καὶ ή ἀπόλυτος υγρασία με Σ.Υ. 60%.

Λύσις :

Δεδομένα : $P_B = 760 \text{ mm Hg}$, $t = 30^\circ \text{C}$, $U = 120 \text{ m}^3$.

α) Ἀπὸ τὸν Πίνακα 5 τοῦ Παραρτήματος ἔχομεν ὅτι διὰ $t = 30^\circ \text{C}$ ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ξηροῦ υδρατμοῦ εἶναι $v_\alpha = 32,93 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Ἐπομένως διὰ Σ.Υ. = 100% τὸ $B_u = \frac{120}{32,93} = 3,3 \text{ kg}$ υδρατμοῦ.

Εἰς τὴν θερμοκρασίαν τῶν 30°C ή πίεσις κορεσμοῦ τοῦ υδρατμοῦ εἶναι $P_s = 0,04325 \text{ kg/cm}^2$ ἀπολ. (Πίναξ 5 Παραρτήματος).

Ἐπομένως $\frac{P_u}{P_s} = 0,6$ (ισότης 111).

$P_u = 0,6 \times 0,04325$ καὶ $P_u = 0,02595 \text{ kg/cm}^2$ ἀπολ.

Ἀλλὰ ἐκ τῆς ἰσότητος (106) ἔχομεν :

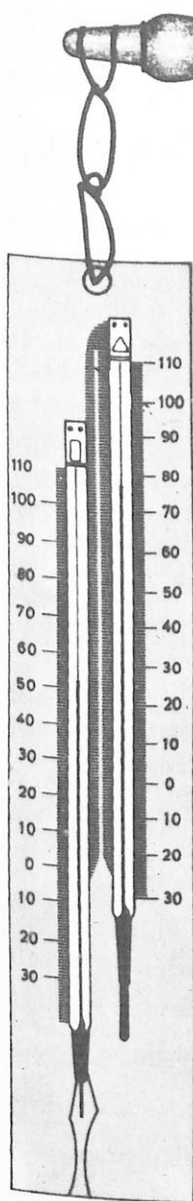
$B_u = \frac{0,02595 \times 10\,000 \times 120}{47 \times 303}$ καὶ $B_u = 2,189 \text{ kg}$ υδρατμοῦ με Σ.Υ. 60%.

β) Τὸ σημεῖον δρόσου διὰ $P_u = 0,02595 \text{ kg/cm}^2$ εἶναι $21,2^\circ \text{C}$ (ἀπὸ τοὺς πίνακας). Ἡ ἀπόλυτος υγρασία εὑρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (109) καὶ εἶναι :

$A.Y. = \frac{622 \times 0,02595}{1,033 - 0,02595} = 2,87 \text{ g}$ ἀνὰ kg ξηροῦ αέρος.

9·5 Εὕρεσις υγρασίας αέρος (ψυχομετρία).

Διὰ προβλήματα ἀναφερόμενα εἰς μίγμα ἀτμοσφαιρικοῦ αέρος - υδρατμοῦ ἔχει καθιερωθῇ ὅπως κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν ὠρισμένων στοιχείων, ὡς ή ἀπόλυτος υγρασία, ή ἐνθαλπία κ.λπ. λαμβάνεται



Σχ. 9.5.

ὡς βάσις μονὰς βάρους (kg ἢ lb) ξηροῦ ἀέρος, εἰς τὴν ὁποίαν προστίθεται ἡ περιεχομένη ποσότης ὑδρατμοῦ

καὶ ὄχι ἐν κιλὸν ἢ μία λίβρα μίγματος.

Διὰ τὸν καθορισμὸν τῆς μερικῆς πιέσεως τοῦ ὑδρατμοῦ ἐντὸς μίγματος ἀέρος - ὑδρατμοῦ χρησιμοποιοῦνται ὄργανα γνωστὰ ὡς *ψυχρόμετρα*.

Ἐν ψυχρόμετρον ἀποτελεῖται βασικῶς ἀπὸ δύο ὅμοια θερμόμετρα στερεωμένα ἐπὶ ξυλίνης βάσεως (σχ. 9.5). Ὁ βολβὸς τοῦ ἐνὸς περιτυλίσσεται εἰς τεμάχιον ὑφάσματος, τὸ ὁποῖον ἔχει διαβραχῇ εἰς ὕδωρ. Τὰ δύο θερμόμετρα περιστρέφονται ἐπὶ τινὰ χρόνον διὰ τῆς χειρὸς ἐν εἶδει σφενδόνης καὶ ἀκολουθῶς ἀναγινώσκονται αἱ ἐνδείξεις τῶν θερμοκρασιῶν τῶν δύο θερμομέτρων.

Ἡ διαφορὰ τῶν δύο θερμοκρασιῶν χρησιμεύει διὰ τὸν καθορισμὸν τῶν μερικῶν πιέσεων ἀέρος καὶ ὑδρατμοῦ καὶ τῆς ὑγρασίας τοῦ ἀέρος.

Ἡ παρατηρουμένη διαφορὰ ἀναγνώσεως προέρχεται ἐκ τῆς ἐξατμίσεως τοῦ ὕδατος τοῦ ὑφάσματος τοῦ ἐνὸς θερμομέτρου κατὰ τὴν περιστροφήν. Ἡ ἐξατμῖσις προκαλεῖ σχετικὴν ψύξιν μὲ ἀποτέλεσμα τὴν πτώσιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ θερμομέτρου μὲ ὑγρὸν βολβόν, κάτω ἐκείνης τοῦ μὲ ξηρὸν βολβόν. Εἶναι φανερόν ὅτι ὅσον μικρότερον ὕδατος περιέχει ὁ ἀήρ, τόσον περισσότερο ὕδωρ ἀπὸ τὸ ὑφάσμα τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ θὰ ἐξατμισθῇ καὶ ἐπομένως θὰ ἐλαττωθῇ ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ ἀναλόγως.

Ἐὰν ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ εὑρίσκεται εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ (Σ.Υ. 100 %), τότε δὲν δύναται νὰ ἀπορροφήσῃ περαιτέρω ὑγρασίαν καὶ ἐπομένως οὐδεμία ἐξατμῖσις τοῦ ὕδατος τοῦ ὑφάσματος θὰ πραγματοποιηθῇ. Ἀποτέλεσμα τούτου θὰ εἶναι ἡ αὐτὴ ἐνδείξις τῶν δύο θερμομέτρων.

Ἡ ἀκρίβεια τοῦ ψυχρομέτρου ἐξαρτᾶται ἀπὸ

τήν ταχύτητα του αέρος, καθώς αυτός διέρχεται διὰ τοῦ ὑγροῦ ὑφάσματος. Ἡ μεγίστη παραδεκτὴ εἶναι 360 m/min (1200 ft/min). Ἐπίσης τὸ ὑγρὸν ὑφάσμα πρέπει νὰ εἶναι καθαρὸν καὶ ἀπηλλαγμένον ἀπὸ κόνιν ἢ ἄλλας ἀκαθαρσίας.

Ἐστω τώρα ὅτι P_B εἶναι ἡ βαρομετρικὴ πίεσις τῆς ἀτμοσφαίρας, t_u ἡ θερμοκρασία ὑγροῦ βολβοῦ, t_ξ ἡ θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ, P_K ἡ πίεσις ὑδρατμοῦ εἰς κορεσμόν, ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν θερμοκρασίαν t_u τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ (λαμβάνεται ἀπὸ τοὺς πίνακας).

Τότε ἡ μερική πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν P_u εὐρίσκεται ἐκ τῆς σχέσεως :

$$P_u = P_K - \frac{P_B (t_\xi - t_u)}{1500} \quad (112)$$

Ἡ ἰσότης (112) μὲ μονάδας ἀγγλοσαξωνικὰς λαμβάνει τὴν μορ-

$$\text{φήν:} \quad P_u = P_K - \frac{P_B (t_\xi - t_u)}{2700} \quad (113)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (112) αἱ πιέσεις καὶ θερμοκρασίαι λαμβάνονται εἰς kg/cm² ἢ mm Hg καὶ Κελσίου, εἰς τὴν ἰσότητα (113) λαμβάνονται εἰς lb/in² ἢ in Hg καὶ Φαρενάιτ.

Παράδειγμα.

Μὲ βαρομετρικὴν πίεσιν 760 mm Hg καὶ ἀτμοσφαιρικὸν ἀέρα μὲ θερμοκρασίαν ξηροῦ βολβοῦ 25° C καὶ ὑγροῦ βολβοῦ 19° C νὰ καθορισθῇ: α) Ἡ μερική πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὸν ἀέρα. β) Ἡ σχετικὴ ὑγρασία. γ) Ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία εἰς γραμμάρια ἀνὰ kg ξηροῦ αέρος. δ) Τὸ σημεῖον δρόσου.

Λύσις :

α) Ἐκ τῆς ἰσότητος (112) ἔχομεν :

$$P_u = P_K - \frac{P_B (t_\xi - t_u)}{1500}$$

ὅπου $P_B = 760$ mm Hg, $t_\xi = 25^\circ$ C καὶ $t_u = 19^\circ$ C.

Ἀπὸ τοὺς πίνακας τοῦ Παραρτήματος λαμβάνομεν διὰ $t = 19^\circ$ C τὸ $P_K = 16,5$ mm Hg, ὁπότε $P_u = 16,5 - \frac{760(25 - 19)}{1500}$ καὶ $P_u = 13,5$ mm Hg.

β) Ἐκ τῆς ἰσότητος (111) ἔχομεν $\Sigma.Υ. = \frac{P_u}{P_s}$. Τὸ P_u εὐρέθη ἀνωτέρω καὶ εἶναι

$P_u = 13,5$ mm Hg. Τὸ P_s λαμβάνεται ἀπὸ τὸν Πίνακα 5 εἰς θερμοκρασίαν $t = 25^\circ$ C καὶ εἶναι $P_s = 23,7$ mm Hg, ὁπότε:

$$\Sigma.Υ. = \frac{13,5}{23,7} = 0,57 \text{ ἢ } 57\%.$$

γ) Ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (109) καὶ εἶναι :

$$A.Y. = \frac{622 \cdot P_v}{P_B - P_v} = \frac{622 \times 13,5}{760 - 13,5} = 11,24 \text{ g ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.}$$

δ) Τὸ σημεῖον δρόσου, δηλαδὴ ἡ θερμοκρασία κορεσμοῦ εἰς τὴν μερικήν πίεσιν τοῦ ὑδρατμοῦ $P_v = 13,5 \text{ mm Hg}$, εὐρίσκεται ἀπὸ τοὺς πίνακας καὶ εἶναι $t = 16^\circ \text{ C}$.

9.6 Ὀλικὴ θερμότης ἢ ἐνθαλπία μίγματος ἀέρος - ὑδρατμοῦ.

Ἡ ὀλικὴ θερμότης ἢ ἐνθαλπία τοῦ μίγματος ἀέρος - ὑδρατμοῦ λαμβάνεται ἀνὰ kg (ἢ lb) ξηροῦ ἀέρος συνυπολογιζομένης τῆς εἰς αὐτὴν περιεχομένης ποσότητος ὑδρατμοῦ, ἡ ὁποία συνήθως αὐξομειώνεται δι' ἐξατμίσεως ἢ συμπυκνώσεως. Ἐνταῦθα ὡς μηδὲν τῆς ὀλικῆς θερμότητος λαμβάνεται καὶ διὰ τὸν ἀέρα ὅπως καὶ διὰ τὸν ὑδρατμὸν ἡ θερμοκρασία τοῦ μηδενὸς Κελσίου (εἰς τὸ ἀγγλοσαξωνικὸν σύστημα λαμβάνεται τὸ μηδὲν Φαρεναίτ). Διὰ τὸν ὑδρατμὸν ἡ ὀλικὴ θερμότης λαμβάνεται ἐκ τῶν σχετικῶν πινάκων τοῦ Παραρτήματος.

Οὕτως, ἔαν

B_v εἶναι τὸ βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ ἀνὰ kg (ἢ lb) ξηροῦ ἀέρος,

i ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ καὶ εἰς ἀτμοσφαιρικὴν θερμοκρασίαν t_g (εἰς kcal ἀνὰ kg ἢ BTU ἀνὰ lb),

t_g ἡ θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ (εἰς $^\circ\text{C}$ ἢ $^\circ\text{F}$),

i_μ ἡ ἐνθαλπία τοῦ μίγματος ἀέρος καὶ ὑδρατμοῦ (εἰς kcal/kg ἢ BTU/lb),

C_p ἡ εἰδικὴ θερμότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν τοῦ ἀέρος (συνήθως 0,24), τότε κατὰ τὰ ἀνωτέρω θὰ ἰσχύη ἡ σχέσις :

$$i_\mu = C_p \cdot t_g + B_v \cdot i \quad (114)$$

Παράδειγμα.

Νὰ εὐρεθῇ ἡ ἐνθαλπία μίγματος ἀέρος ὑδρατμοῦ εἰς kcal ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος, ἔαν ἡ θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ $t_g = 18^\circ \text{ C}$ καὶ ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία $A.Y. = 13\text{g}$ ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.

Λύσις :

Ἐκ τῆς ἰσότητος (114) ἔχομεν $i_\mu = 0,24 \cdot t_g + B_v \cdot i$.

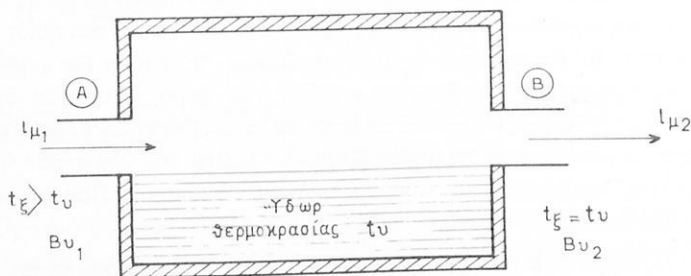
Ἐνταῦθα $t_g = 18^\circ \text{ C}$, $B_v = 0,013 \text{ kg}$ καὶ $i = 605,1$ (ἀπὸ τὸν Πίνακα 5).

Ἐπομένως :

$$i_\mu = 0,24 \times 18 + 0,013 \times 605,1 = 12,1 \text{ kcal ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.}$$

9.7 Κορεσμός υπό σταθεράν ένθαλπیان.

Ἐστω μία συσκευή ὡς τοῦ σχήματος 9.7 ἀποτελουμένη ἀπὸ ἕνα θερμικῶς μεμονωμένον χῶρον, πού περιέχει ὕδωρ θερμοκρασίας t_v ἴσης μὲ τὴν θερμοκρασίαν t_v τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ τοῦ εἰσερχομένου ἀπὸ τὸ σημεῖον A εἰς τὸν χῶρον ἀέρος. Ἐὰν ὁ εἰσερχόμενος ἀήρ δὲν εἶναι εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ, ὁπότε ἡ θερμοκρασία t_x θὰ εἶναι μεγαλυτέρα τῆς t_v , καὶ ἐὰν ὑπάρχῃ ἄρκετον ὕδωρ εἰς τὸν χῶρον, τότε ὁ ἀήρ κατὰ τὴν ἐξοδὸν τοῦ ἀπὸ τὸ σημεῖον B θὰ εἶναι εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ.



Σχ. 9.7.

Δηλαδή ἡ θερμοκρασία τοῦ ξηροῦ βολβοῦ t_x θὰ κατέλθῃ εἰς ἐκείνην τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ t_v καὶ θὰ εἶναι $t_x = t_v$. Κατὰ τὴν ὑγρανσιν αὐτὴν τοῦ ἀέρος ἡ ένθαλπία τοῦ μίγματος ἀέρος-ὕδρατμοῦ δὲν μεταβάλλεται. Θὰ εἶναι δηλαδή $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$, διότι ἡ θερμότης, πού ἀπαιτεῖται διὰ τὴν ἐξάτμισιν τοῦ ὕδατος, ὥστε τὸ βάρος ὑγρασίας ἀνὰ kg (ἢ lb) ξηροῦ ἀέρος ἀπὸ B_{v_1} εἰς τὴν εἴσοδον νὰ ἀνέλθῃ εἰς B_{v_2} κατὰ τὴν ἐξοδὸν, λαμβάνεται μὲν ἀπὸ τὸν εἰσερχόμενον ἀέρα, ἀλλὰ αὐτὴ ἐπιστρέφεται εἰς αὐτὸν ὑπὸ μορφήν λανθανούσης θερμότητος τοῦ ἐξατμιζομένου ὕδατος (βάρους $B_{v_2} - B_{v_1}$), τὸ ὁποῖον ὅμως περιέχεται εἰς τὸ μῖγμα κατὰ τὴν ἐξοδὸν τοῦ ἀέρος ἀπὸ τὸ B. Ἰσχύει δηλαδή ἡ ἰσότης :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Θερμότης, ἡ ὁποία χάνεται} \\ \text{ἀπὸ τὸν ἀέρα, διὰ νὰ κατέλθῃ} \\ \text{ἡ θερμοκρασία ἀπὸ } t_x \text{ εἰς } t_v \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Λανθάνουσα θερμότης ἐξατμι-} \\ \text{ζομένου ὕδατος εἰς θερμοκρα-} \\ \text{σίαν } t_v \end{array} \right.$$

Ἐπομένως θὰ εἶναι $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$.

Ὁ κορεσμός δηλαδή τοῦ ἀέρος μὲ ὕδρατμόν πραγματοποιεῖται ὑπὸ σταθεράν ένθαλπیان. Ἡ ἀλλαγὴ σταθερᾶς ένθαλπίας σημαίνει σταθεράν θερμοκρασίαν ὑγροῦ βολβοῦ τοῦ ἀέρος, διότι, ὡς ἐμφαίνεται

καί εἰς τὸ σχῆμα 9·7, τὸ t_v τοῦ ἀέρος εἶναι τὸ αὐτὸ καὶ κατὰ τὴν εἰσοδὸν καὶ κατὰ τὴν ἔξοδον αὐτοῦ.

9·8 Ψυχομετρικὸν διάγραμμα.

Ἡ κατασκευὴ ἑνὸς ψυχομετρικοῦ διαγράμματος, ὡς αὐτὸ τοῦ σχήματος 9·8α εἶναι ἀπλή. Ὁ ὀριζόντιος ἄξων παριστᾷ θερμοκρασίας ἀτμοσφαιρικὰς ξηροῦ βολβοῦ καὶ ὁ κάθετος ἄξων τὴν ἀπόλυτον ὑγρασίαν τοῦ ἀέρος, δηλαδὴ τὸ βάρος ὑγρασίας ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.

Διὰ τὴν χάραξιν τοῦ διαγράμματος λαμβάνεται ὡς βάσις ἡ τυπικὴ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις 760 mm Hg.

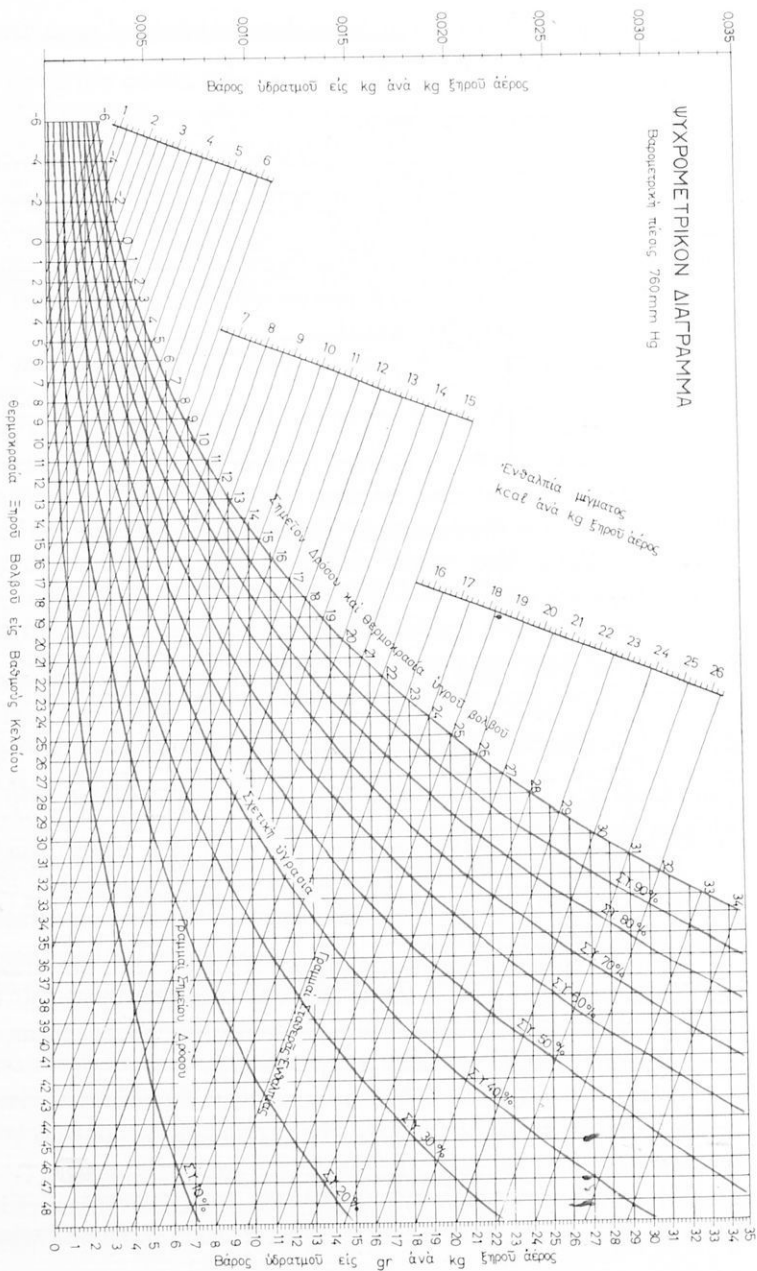
Χαράσσεται πρῶτον ἡ γραμμὴ 100% σχετικῆς ὑγρασίας. Πρὸς τοῦτο χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰσότητα (109), δηλαδὴ $B_v = \frac{622 \cdot P_v}{P_B - P_v}$ καὶ εὐρίσκομεν τιμὰς τῶν B_v μὲ $P_B = 760$ mm Hg καὶ P_v τὰς διαφόρους πιέσεις κορεσμοῦ (ἀπὸ τοὺς πίνακας ὑδρατμοῦ τοῦ Παραρτήματος) μὲ διαδοχικὰς τιμὰς θερμοκρασιῶν, ὡς αὐταὶ ἀναγράφονται εἰς τὸν ὀριζόντιον ἄξονα. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον εὐρίσκονται τὰ διάφορα σημεῖα τῆς καμπύλης $\Sigma.Y. = 100\%$. Αἱ ὑπόλοιποι ἐπιθυμηταὶ γραμμαὶ σχετικῆς ὑγρασίας χαράσσονται κατὰ τὸν ἴδιον τρόπον καὶ μὲ διαδοχικὰς τιμὰς θερμοκρασίας μὲ τὴν βοήθειαν τῆς ἰσότητος (109), ἀφοῦ προηγουμένως ἡ τιμὴ τοῦ P_v καθορισθῇ ἀπὸ τὴν ἰσότητα (111), ἥτοι $\Sigma.Y. = \frac{P_v}{P_s}$. Εἰς τὴν ἰσότητα αὐτὴν ὡς $\Sigma.Y.$ τίθεται ἡ ἐπιθυμητὴ τιμὴ, ἔστω π.χ. 0,5 (δηλαδὴ 50%), ἐνῶ τὸ P_s εὐρίσκεται ἀπὸ τοὺς πίνακας εἰς τὴν ἀντίστοιχον θερμοκρασίαν.

Αἱ γραμμαὶ σταθερᾶς ἐνθαλπίας καὶ ἐπομένως καὶ σταθερᾶς θερμοκρασίας ὑγροῦ βολβοῦ χαράσσονται μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (114), ἥτοι: $i_m = 0,24 \cdot t_s + B_v \cdot i$.

Διὰ τῆς ἰσότητος αὐτῆς εὐρίσκομεν πρῶτον τὸ i_m διὰ μίαν θερμοκρασίαν, ἔστω π.χ. $t_s = 20^\circ \text{C}$ ἐπὶ τῆς γραμμῆς κορεσμοῦ ($\Sigma.Y. = 100\%$) καὶ κατόπιν μὲ τὴν αὐτὴν τιμὴν τοῦ i_m καὶ θερμοκρασίαν ἔστω $t_s = 30^\circ \text{C}$ εὐρίσκομεν τὴν νέαν τιμὴν τοῦ B_v .

Οὕτω καθορίζονται δύο σημεῖα μὲ τὴν αὐτὴν ἐνθαλπίαν, τὰ ὁποῖα, ὅταν ἐνωθοῦν, μᾶς δίδουν τὴν αἰτουμένην γραμμὴν σταθερᾶς ἐνθαλπίας.

Ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ, ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν γραμμὴν αὐτὴν τῆς σταθερᾶς ἐνθαλπίας, θὰ εἶναι ἡ θερμοκρασία τοῦ



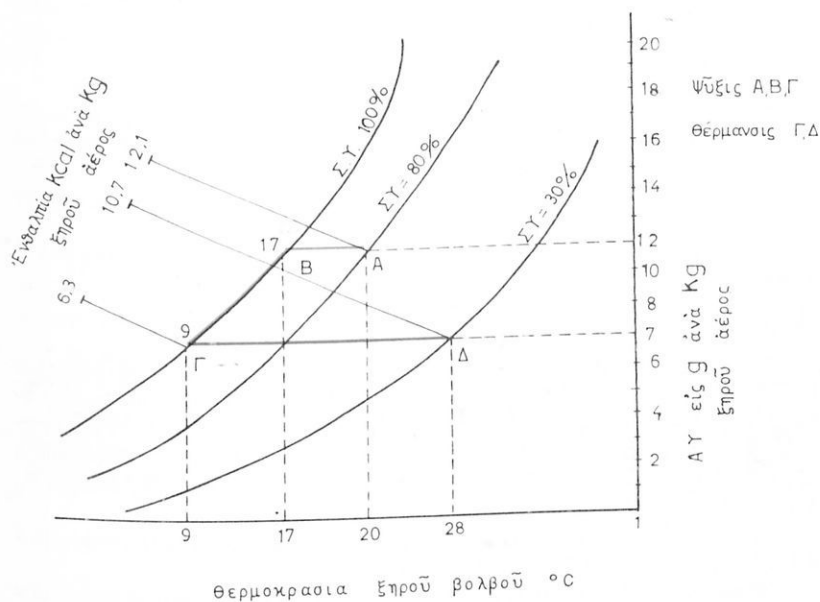
Σχ. 9.8α.

πρώτου σημείου (ένταυθα 20°C), διότι εις τὸν κορεσμόν αἱ θερμοκρασίαι ξηροῦ βολβοῦ, ὑγροῦ βολβοῦ καὶ σημείου δρόσου συμπίπτουν. Κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον χαράσσεται καὶ τὸ διάγραμμα μὲ μονάδας ἀγγλοσαξωνικοῦ συστήματος.

Τὰ ψυχομετρικὰ διαγράμματα εἶναι ἀκριβῆ διὰ μίαν μόνον βαρομετρικὴν πίεσιν. Διὰ φυσικὰς μικρομεταβολὰς τῆς βαρομετρικῆς πίεσεως εἰς μίαν περιοχὴν, τὰ προκαλούμενα λάθη εἶναι ἀσήμαντα. Διὰ ναυτικὰς ὑπηρεσίας, αἱ ὁποῖαι κατὰ τεκμήριον εὐρίσκονται εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης τὰ δύο ψυχομετρικὰ διαγράμματα, ποὺ ὑπάρχουν εἰς τὸ Παράρτημα, ἐν εἰς μονάδας μετρικοῦ συστήματος καὶ ἕτερον εἰς ἀγγλοσαξωνικὰς, εἶναι ἐπαρκῆ διὰ προβλήματα μιγμάτων ἀέρος - ὑδρατμοῦ.

Παράδειγμα 1ον.

Ἄηρ ἔχει θερμοκρασίαν ξηροῦ βολβοῦ 20°C καὶ Σ.Υ. 80%. Ψύχεται εἰς τοὺς 9°C καὶ ἐν συνεχείᾳ θερμαίνεται εἰς τοὺς 28°C .



Σχ. 9.8 β.

Ζητεῖται : α) Ἡ ἐλάττωσις τῆς ὑγρασίας κατὰ τὴν ψύξιν εἰς g ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος. β) Ἡ τελικὴ Σ.Υ. τοῦ ἀέρος. γ) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀφαιρεῖται

κατά την ψύξιν. δ) Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χορηγεῖται κατὰ τὴν θέρμανσιν εἰς kcal ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.

Χρησιμοποιοῦμεν τὸ ψυχομετρικὸν διάγραμμα (Ἰδὲ Παράρτημα). Ἡ ἀρχικὴ κατὰστασις τοῦ ἀέρος εἶναι ἡ τοῦ σημείου Α μετ' $t_x = 20^\circ \text{C}$ καὶ $\Sigma.Y. = 80\%$ (σχ. 9·8 β).

α) Κατὰ τὴν ψύξιν τοῦ ἀέρος μέχρις 9°C ἀποκτᾶται πρῶτον ἡ θερμοκρασία τοῦ σημείου δρόσου εἰς τὸ Β (ἀλλαγὴ Α, Β), ἡ ὁποία εἶναι 17°C .

Ἐν συνεχείᾳ καὶ ἐνῶ ψύχεται ὁ ἀήρ μέχρι τοὺς 9°C , συμπυκνοῦνται μέρος τοῦ εἰς αὐτὸν περιεχομένου ὕδατος καὶ ἡ Α.Υ. ἀπὸ 12 g (ἀρχικὴ σημείου Α) κατέρχεται εἰς 7 (τοῦ σημείου Γ), δηλαδὴ ἔχομεν ἐλάττωσιν ὑγρασίας 5 g ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.

β) Ἡ κατὰστασις τοῦ ἀέρος μετὰ τὴν θέρμανσιν εἰς τοὺς 28°C εἶναι ἡ τοῦ σημείου Δ. Παρατηροῦμεν ὅτι ἡ Α.Υ. παραμένει σταθερὰ εἰς τὰ 7 g ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος, ἐνῶ ἡ $\Sigma.Y.$ εἶναι 30%.

γ) Ἡ ἀπαιτουμένη θερμότης διὰ τὴν ψύξιν εἶναι ἡ διαφορὰ τῆς ἐνθαλπίας τοῦ μίγματος εἰς τὸ σημεῖον Α, μείον ἐκείνης τοῦ σημείου Γ ἢ $12,1 - 6,3 = 5,8 \text{ kcal}$ ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.

δ) Ἡ ἀπαιτουμένη θερμότης διὰ τὴν θέρμανσιν εἶναι ἡ διαφορὰ τῆς ἐνθαλπίας τοῦ σημείου Δ, μείον τὴν ἐνθαλίαν τοῦ σημείου Γ, ἥτοι $10,7 - 6,3 = 4,4 \text{ kcal}$ ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.

Σημείωσις: Τὸ παράδειγμα αὐτὸ εἶναι ἐν τυπικὸν πρόβλημα κλιματισμοῦ, ὅταν ἀπαιτῆται ἐλάττωσις τῆς ὑγρασίας τοῦ ἀέρος τῆς ἀτμοσφαιρας καὶ ἐν συνεχείᾳ θέρμανσις αὐτοῦ διὰ κυκλοφορίαν εἰς κλειστοὺς χώρους.

Παράδειγμα 2ον.

Ὁ συμπυκνωτὴς (ψυγεῖον) ὕδατος ἀτμοστροβίλου πλοίου ἐργάζεται ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας μετ' κενὸν 28,2 Hg, ὅταν ἡ βαρομετρικὴ πίεσις εἶναι 29,2" Hg.

Ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος ἐξαγωγῆς ἀπὸ τὸν ἀτμοστροβίλον εἰς τὸν συμπυκνωτὴν εἶναι 75°F .

Ζητεῖται: τὸ βάρος τοῦ ἀέρος, ὁ ὁποῖος εἰσέρχεται εἰς τὸν συμπυκνωτὴν ἀνὰ lb εἰσερχομένου ὕδατος.

Λύσις :

α) Ἡ ἀπόλυτος πίεσις Ρ ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ θὰ εἶναι ἴση μετ' τὴν διαφορὰν $P = \text{ἀτμοσφ. πίεσις} - \text{κενὸν} = 29,2 - 28,2 = 1" \text{ Hg}$. Ἐὰν εἰς τὸν συμπυκνωτὴν ὑπῆρχεν μόνον ὕδατος, τότε ἡ πίεσις ἐντὸς αὐτοῦ ἔπρεπε νὰ ᾔτο 0,873 Hg ἀντίστοιχος τῆς θερμοκρασίας τοῦ ὕδατος τῶν 75°F (ἐκ τοῦ Πίνακος 6). Ἐπομένως ἡ λόγῳ τοῦ ἀέρος μερικὴ πίεσις ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ θὰ εἶναι $P_a = P_B - P_u$ ἢ $P_a = 1,000 - 0,873 = 0,127" \text{ Hg}$.

Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ εἰσερχομένου ὕδατος εἰς τὸν συμπυκνωτὴν ὑπὸ πίεσιν 0,873" Hg εἶναι 743 ft³/lb (ἀπὸ τοὺς πίνακας).

Ὁ αὐτὸς ὄγκος εἶναι καὶ τοῦ εἰσερχομένου ἀέρος ἀνὰ lb ὕδατος ὑπὸ πίεσιν 0,127" Hg (Νόμος Dalton), ὁπότε ἐκ τῆς ἰσότητος (29) $P \cdot U = \text{BRT}$ εὐρίσκομεν

τὸ ζητούμενον βάρος ἀέρος ἢ $B = \frac{P \cdot U}{R \cdot T} = \frac{0,491 \times 0,127 \times 144 \times 743}{53,3 \times 535}$ καὶ $B = 0,23 \text{ lb}$ ἀέρος ἀνὰ lb ὕδατος.

9.9 Άσκησης.

1) 'Ατμοσφαιρικός αήρ έχει θερμοκρασίαν 76°F εις πίεσιν βαρομετρικήν 30 in Hg.

Ζητείται : α) Τò βάρος τοῦ ὕδρατμοῦ, ποῦ περιέχεται εἰς 1440 ft^3 τοῦ ἀέρος αὐτοῦ μὲ Σ.Υ. 100 % (κορεσμός) καὶ μὲ Σ.Υ. 60 %. β) Τò σημεῖον δρόσου καὶ ἡ Α.Υ. μὲ Σ.Υ. 60 %.

(Ἀπ. : α) $B_v = 2\text{ lb}$, ἢ $1,19\text{ lb}$. β) Σ.Δ. = 61°F . Α.Υ. = 80,3 κόκκοι ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος)

2) Μὲ βαρομετρικήν πίεσιν 30'' Hg καὶ ἀτμοσφαιρικὸν ἀέρα μὲ θερμοκρασίαν ξηροῦ βολβοῦ 85°F καὶ ὑγροῦ βολβοῦ 75°F νὰ καθορισθῇ : α) Ἡ μερική πίεσις τοῦ ὕδρατμοῦ εἰς τὸν ἀέρα. β) Ἡ σχετική ὑγρασία. γ) Ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία εἰς κόκκους ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος. δ) Τò σημεῖον δρόσου.

(Ἀπ. : α) $P_v = 0,762\text{ in Hg}$. β) Σ.Υ. = 63%.
γ) Α.Υ. = 113,4 κόκκοι ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος. δ) Σ.Δ. = 71°F

3) Νὰ εὐρεθῇ ἡ ἐνθαλπία μίγματος ἀέρος καὶ ὕδρατμοῦ ἄνευ χρήσεως ψυχρομετρικοῦ διαγράμματος εἰς BTU ἀνὰ lb ἀέρος, ἐὰν $t_x = 90^{\circ}\text{F}$ καὶ Α.Υ. = 50 κόκκοι ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος.

(Ἀπ. : $i_m = 29,18\text{ BTU}$ ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος)

4) Ἀήρ ἔχει θερμοκρασίαν ξηροῦ βολβοῦ $t_x = 70^{\circ}\text{F}$ καὶ Σ.Υ. = 90 %, ψύχεται εἰς τοὺς 50°F καὶ ἐν συνεχείᾳ θερμαίνεται εἰς τοὺς 85°F .

Ζητεῖται : α) Ἡ ἐλάττωσις τῆς ὑγρασίας κατὰ τὴν ψύξιν εἰς κόκκους ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος. β) Ἡ τελική Σ.Υ. τοῦ ἀέρος. γ) Τò ποσὸν τῆς θερμότητος, ποῦ ἀφαιρεῖται κατὰ τὴν ψύξιν. δ) Τò ποσὸν τῆς θερμότητος, ποῦ χορηγεῖται κατὰ τὴν θέρμανσιν.

(Ἀπ. : α) 44 κόκκοι ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος. β) Σ.Υ. = 30%. γ) 12,6 BTU ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος. δ) 8,6 BTU ἀνὰ lb ξηροῦ ἀέρος)

5) Νὰ εὐρεθῇ τὸ βάρος ἀέρος, ὁ ὁποῖος ἀναλογεῖ εἰς μίαν λίβραν ὕδρατμοῦ, ἐὰν ἡ ὀλική πίεσις τοῦ μίγματος ἀέρος καὶ ὕδρατμοῦ εἶναι 0,8 in Hg καὶ ἡ θερμοκρασία εἶναι 70°F .

(Ἀπ. : 0,132 lb)

6) Μίγμα ἀέρος καὶ ὕδρατμοῦ θερμαίνεται ἐντὸς κλειστοῦ λέβητος. Μὲ τὴν θέρμανσιν ἡ πίεσις ἀνέρχεται εἰς 5 kg/cm^2 ἀπολ. καὶ ἡ θερμοκρασία εἰς 143°C .

Ζητεῖται : α) Τò βάρος ἀέρος ἀνὰ kg ὕδρατμοῦ. β) Ἡ πίεσις εἰς τὸν λέβητα, ὅταν ἡ θερμοκρασία αὐξηθῇ εἰς τοὺς 179°C καὶ ὑπάρχῃ ἀκόμη μία ποσότης ὕδατος ἐντὸς τοῦ λέβητος.

(Ἀπ. : α) = 0,387 kg, β) = 11,09 kg/cm^2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 10

ΚΑΥΣΙΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ

10.1 Γενικά περί πετρελαίου ναυτικῶν ἐγκαταστάσεων. Ἀνωτέρα καὶ κατωτέρα θερμαντικὴ ἱκανότης.

Τὸ πετρέλαιον διὰ ναυτικὰς ἐγκαταστάσεις πρέπει νὰ ἔχη ὥρι-
σμένα χαρακτηριστικά, ὥστε νὰ καίεται ἀποδοτικῶς. Πρέπει νὰ εἶναι
ἐλεύθερον ὑγρασίας καὶ καθιζημάτων, νὰ εἶναι χαμηλῆς περιεκτικό-
τητος εἰς θεῖον, ἱκανὸν νὰ ψεκάζεται ἱκανοποιητικῶς μὲ σχετικὴν προ-
θέρμανσιν καὶ νὰ μὴ ἀλλοιώνεται, ὅταν ἀποθηκεύεται ἐντὸς δεξαμενῶν
ἢ νὰ ρυπαίνῃ τοὺς προθερμαντῆρας πετρελαίου.

Τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ πετρελαίου μετρεῖται κατὰ τὰ ἀμερικανικὰ
πρότυπα εἰς API (American Petroleum Institute).

Τὸ μέτρον τῆς κλίμακος API εἶναι τοιοῦτον, ὥστε 10 βαθμοὶ ἰσο-
δυναμοῦν μὲ τὸ εἰδικὸν βάρος τῆς μονάδος (1). Ἐὰν οἱ βαθμοὶ API
εἶναι περισσότεροι ἀπὸ 10, τότε τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ πετρελαίου εἶναι
μικρότερον τῆς μονάδος. Ἐὰν οἱ βαθμοὶ API εἶναι κάτω τοῦ 10, τότε
τὸ εἰδικὸν βάρος εἶναι μεγαλύτερον τῆς μονάδος (ἰδὲ Παράρτημα
Πίναξ 8).

Ἡ σχέσις τῶν βαθμῶν API μὲ τὸ εἰδικὸν βάρος δίδεται ἐκ τῆς
ἰσότητος :

$$\text{Βαθμὸς API} = \frac{141,5}{\text{Εἰδικὸν βάρος } 60/60} - 131,5 \quad (115)$$

Ὁ παρονομαστὴς σημαίνει τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ πετρελαίου εἰς
τοὺς 60° F ἐν συγκρίσει μὲ ὕδωρ 60° F.

Ἡ θερμαντικὴ ἱκανότης τοῦ πετρελαίου εἰς kcal ἀνὰ kg (ἢ BTU
ἀνὰ lb) χαρακτηρίζεται ὡς ἀνωτέρα ἢ κατωτέρα.

Ἀνωτέρα θερμαντικὴ ἱκανότης εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος,
ποῦ ἀπορροφεῖται ἀπὸ τὴν τελείαν καυσίν τοῦ πετρελαίου, ὅταν τὰ
παράγωγα τῆς καύσεως ψυχθοῦν μέχρι τῆς ἀρχικῆς θερμοκρασίας
τοῦ καυσίμου, καὶ μὲ πλήρη συμπύκνωσιν ὅλης τῆς ὑγρασίας, ποῦ
εὑρίσκεται ἐντὸς τῶν καυσαερίων λόγω τῆς καύσεως τοῦ ὑδρογόνου
τοῦ πετρελαίου.

Κατωτέρα θερμομαντική ικανότης είναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀπορροφεῖται ἀπὸ τὴν τελείαν καϋσιν τοῦ πετρελαίου, ὅταν τὰ καυσάερια ψύχωνται εἰς τὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν τοῦ καυσίμου, ἀλλὰ μὲ τὴν παραδοχὴν ὅτι τὸ ἐντὸς τῶν καυσαερίων H_2O , ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν καϋσιν τοῦ ὕδρογόνου καὶ τὸ H_2O τῆς τυχόν ὑγρασίας τοῦ πετρελαίου, δὲν συμπυκνοῦνται, ἀλλὰ παραμένει εἰς αὐτὰ ὡς ὕδρατμός. Δεχόμεθα δηλαδὴ ὅτι ἡ λανθάνουσα θερμότης τοῦ εἰς τὰ καυσάερια ὕδρατμοῦ ἀποβάλλεται καὶ δὲν χρησιμοποιεῖται διὰ θέρμανσιν. Ἐπομένως, ἐὰν ἀπὸ τὴν ἀνωτέραν θερμομαντικὴν ικανότητα ἀφαιρέσωμεν τὴν λανθάνουσαν θερμότητα τοῦ εἰς τὰ καυσάερια περιεχομένου ὕδρατμοῦ (ἀνὰ μονάδα βάρους καιομένου καυσίμου), εὐρίσκομεν τὴν κατωτέραν θερμομαντικὴν ικανότητα. Ἡ ἀνωτέρα θερμομαντικὴ ικανότης χρησιμοποιεῖται συνήθως εἰς Ἀμερικὴν καὶ ἡ κατωτέρα ἐν Εὐρώπῃ. Ὅταν συγκρίνωμεν θερμικὰς ἀποδόσεις μηχανῶν γενικῶς, πρέπει νὰ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν ὅτι ἡ χρησιμοποίησις τῆς κατωτέρας θερμομαντικῆς ικανότητος καυσίμου δίδει μεγαλυτέρας ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν τιμὰς, ἀπὸ ἐκείνας ποὺ λαμβάνονται, ὅταν χρησιμοποιηθῇ ἡ ἀνωτέρα θερμομαντικὴ ικανότης.

Ἡ θερμομαντικὴ ικανότης ὑγροῦ καυσίμου ἔχει σχέσιν μὲ τὸ εἰδικὸν βάρος αὐτοῦ.

Ἡ κατωτέρω ἰσότης (116) δίδει ἱκανοποιητικὰς τιμὰς τῆς ἀνωτέρας θερμομαντικῆς ικανότητος (Α.Θ.Ι.) ὑγροῦ καυσίμου εἰς BTU ἀνὰ lb, ἐὰν ἔχωμεν τὸ εἰδικὸν βάρος εἰς Α.Ρ.Ι. μὲ τιμὰς τοῦ Πίνακος 8 τοῦ Παραρτήματος :

$$A.O.I. = 17601 + (53,1 \times A.P.I.) \quad (116)$$

Πολλαπλασιάζοντες τὴν τιμὴν τῆς ἰσότητος (116) ἐπὶ 0,556 ἔχομεν τὴν Α.Θ.Ι. εἰς kcal ἀνὰ kg.

Ἡ κατωτέρα θερμομαντικὴ ικανότης (Κ.Θ.Ι.) εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$K.O.I. = A.O.I. - 1055 (9H_2 + Y) \text{ εἰς BTU ἀνὰ lb} \quad (117)$$

$$\eta \quad K.O.I. = A.O.I. - 590 (9H_2 + Y) \text{ εἰς kcal ἀνὰ kr} \quad (118)$$

Εἰς τὰς ἰσότητας (117) καὶ (118) τὸ H_2 καὶ Y εἶναι ἡ περιεκτικότης κατὰ βάρος εἰς ὕδρογόνον καὶ ὑγρασίαν ἀντιστοίχως εἰς 1 lb ἢ kg καυσίμου ἀναλόγως.

Σημεῖον ἀναφλέξεως (flash point) ἐνὸς ὑγροῦ καυσίμου εἶναι ἡ θερμοκρασία, εἰς τὴν ὁποίαν οἱ παραγόμενοι ὑπὸ τοῦ καυσίμου ἀτμοὶ

αναφλέγονται στιγμιαίως, όταν πλησιάσωμεν γυμνήν φλόγα πλησίον τῆς ἐπιφανείας τοῦ καυσίμου.

Σημεῖον καύσεως (fire point) εἶναι ἡ θερμοκρασία, εἰς τὴν ὁποίαν οἱ ἀτμοὶ τοῦ καυσίμου ἀναφλέγονται καὶ ἐξακολουθοῦν καιόμενοι. Τὰ σημεία ἀναφλέξεως καὶ καύσεως ἔχουν ἰδιαιτέραν σημασίαν διὰ τὴν ἀσφάλειαν τοῦ καυσίμου κατὰ τὴν ἀποθήκευσιν καὶ μεταφοράν του.

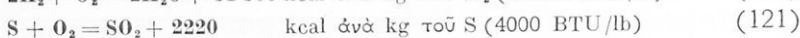
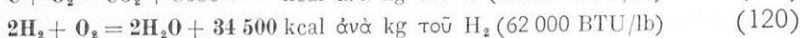
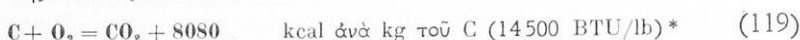
Τὸ ἰξῶδες (viscosity) τοῦ πετρελαίου μετρεῖται εἰς S.S.U. (Saybolt Seconds Universal) ἢ εἰς S.S.F. (Saybolt Seconds Furo).

Ἡ μετὰγγις καὶ ἡ ψέκασις τοῦ πετρελαίου διὰ τὴν καῦσιν ἐξαρτῶνται ἀπ' εὐθείας ἐκ τοῦ ἰξώδους αὐτοῦ.

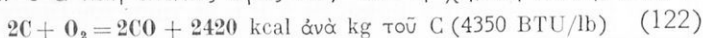
Ἡ ναυτική πείρα ἔχει δείξει ὅτι ἡ μεγίστη τιμὴ τοῦ ἰξώδους τοῦ πετρελαίου δι' ἀντλησιν εἶναι 475 S.S.U. εἰς τὴν ἀναρρόφησιν τῆς ἀντλίας καὶ δι' ἱκανοποιητικὴν ψέκασιν εἶναι 135 S.S.U.

10·2 Ἐξισώσεις καύσεως ἄνθρακος, ὕδρογόνου καὶ θείου.

Αἱ χημικαὶ ἰσότητες τῆς καύσεως τοῦ ἄνθρακος, C, τοῦ ὕδρογόνου, H₂, τοῦ θείου, S, μετὰ τοῦ ὀξυγόνου, O₂, ὡς καὶ ἡ ἀποδιδομένη θερμότης εἶναι ὡς κάτωθι :



Ἐὰν ὁ C καὶ ἀτελῶς πρὸς CO, τότε ἡ χημικὴ ἰσότης εἶναι :



Ἀπὸ τὰς ἀνωτέρω ἰσότητας καὶ μὲ βάσιν τὰ μοριακὰ βάρη (ἰδὲ Πίνακα 10 Παραρτήματος) εὐρίσκεται τὸ ἀπαιτούμενον ὀξυγόνον διὰ τὴν καῦσιν τῆς μονάδος βάρους ἑνὸς καυσίμου συστατικοῦ. Οὕτως :

α) Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (119) ἔχομεν :

$12 + 32 = 44$ ἢ $1 + 2,66 = 3,66$. Δηλαδή 1 kg ἄνθρακος ἀπαιτεῖ διὰ τελείαν καῦσιν 2,66 kg ὀξυγόνου καὶ παράγει 3,66 kg CO₂.

β) Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (120) ἔχομεν :

$4 + 32 = 36$ ἢ $1 + 8 = 9$. Δηλαδή 1 kg H₂ ἀπαιτεῖ διὰ νὰ καὶ 8 kg O₂ καὶ δίδει 9 kg H₂O ὑπὸ μορφήν ὕδρατμῶν. Οἱ παραγόμενοι δηλαδή ὕδρατμοὶ εἶναι ἑννέα φορές βαρύτεροι ἀπὸ τὸ καιόμενον

* Ἡ ἰσότης (119) σημαίνει ὅτι 1 kg ἄνθρακος καιόμενον πρὸς CO₂ ἀποδίδει 8080 kcal ἢ 11lb ἄνθρακος καιομένη πρὸς CO₂ ἀποδίδει 14500 BTU. Τὸ αὐτὸ ἰσχύει καὶ διὰ τὰς ἄλλας ἰσότητας (120) (121) κ.λπ.

H_2 . Ἐὰν H_2 τὸ καιόμενον ὑδρογόνον κατὰ βάρος, τότε τὸ βάρος τῶν παραγομένων ὑδρατμῶν θὰ εἶναι $9H_2$.

γ) Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (121) ἔχομεν:

$$32 + 32 = 64 \quad \eta \quad 1 + 1 = 2.$$

Ἦτοι 1 kg S ἀπαιτεῖ διὰ νὰ καῇ 1 kg O_2 καὶ δίδει 2 kg SO_2 .

δ) Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (122) ἔχομεν:

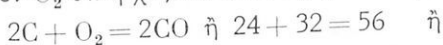
$$24 + 32 = 56 \quad \eta \quad 1 + 1,33 = 2,33.$$

Ἦτοι 1 kg C ἐνούμενον μὲ 1,33 kg O_2 δίδει 2,33 kg CO.

10.3 Ἐξισώσεις καύσεως μονοξειδίου τοῦ ἄνθρακος (CO).

Ἐὰν ἓν καύσιμον ἀποτελεῖται κυρίως ἀπὸ ἄνθρακα καὶ ὑδρογόνον, εἰς περίπτωσιν κατὰ τὴν ὁποίαν ὁ χορηγούμενος διὰ τὴν καύσιν ἀήρ δὲν ἐπαρκεῖ διὰ τὴν τελείαν καύσιν, τότε τὸ H_2 ὡς πλέον χημικῶς ἐνεργὸν ἀπὸ τὸν C λαμβάνει ἀπὸ τὸν ἀέρα ὅλον τὸ O_2 , ποὺ χρειάζεται διὰ νὰ καῇ πρὸς H_2O , καὶ ἀφίνει τὸν C νὰ ἐνωθῇ μὲ τὸ ὑπόλοιπον O_2 .

Ἐν περιπτώσει μὴ ἐπαρκοῦς ὀξυγόνου πρὸς σχηματισμὸν CO_2 , ὁ C ἐνοῦται μὲ ὅσον O_2 ὑπάρχει, ὥστε νὰ σχηματισθῇ CO. Οὕτως:



$$1 \text{ kg C} + 1,33 \text{ kg } O_2 = 2,33 \text{ kg CO} + 2420 \text{ kcal ἀνά kg} \quad (123)$$

Δεδομένου ὅτι ἀπὸ τὴν καύσιν 1 kg C πρὸς CO_2 λαμβάνομεν 8080 kcal (ἰσότης 119), ἔχομεν ἀπώλειαν θερμαντικῆς ἰκανότητος $8080 - 2420 = 5660$ kcal ἀνά kg, ἐὰν ὁ C καῇ πρὸς CO.

Τὸ CO δύναται περαιτέρω ἐνούμενον μὲ O_2 νὰ καῇ πρὸς CO_2 οὕτως:



$$\eta \quad 56 + 32 = 88$$

$$\eta \quad 1 \text{ kg CO} + 0,571 \text{ kg } O_2 = 1,571 \text{ kg CO}_2 + 2429 \text{ kcal} \quad (125)$$

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (123) παρατηροῦμεν ὅτι διὰ τῆς καύσεως 1 kg C πρὸς 2,33 kg CO λαμβάνομεν 2420 kcal. Ἐὰν τώρα συμπληρωθῇ ἡ καύσις τῶν 2,33 kg CO πρὸς CO_2 λαμβάνομεν τὰς ὑπολοίπους 5660 kcal (διότι 1 kg CO καιόμενον CO_2 ἀποδίδει 2429 ὡς ἰσότης 125) κατὰ τρόπον, ὥστε τὸ ἄθροισμα αὐτῶν $5660 + 2420$ νὰ μᾶς δίδει τὰς 8080 kcal, ποὺ λαμβάνομεν, ἐὰν καῇ ἀπ' εὐθείας 1 kg C πρὸς CO_2 .

10.4 Μετατροπή όγκομετρικής ανάλυσεως καυσαερίων εις ανάλυσιν βάρους.

Ἡ όγκομετρική ανάλυσις καυσαερίου μετατρέπεται εις ανάλυσιν ἀνὰ μονάδα όγκου. Ὡς μονὰς όγκου λαμβάνεται τὸ Mol. Γνωρίζομεν ὅτι 1 Mol αἰρίου εις φυσικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν ζυγίζει τόσα kg ὅσα ὁ ἀριθμός, ποὺ ἐκφράζει τὸ μοριακὸν βάρος του (παράγρ. 3.10). Ἐπομένως διὰ πολλαπλασιασμοῦ τοῦ ἐπὶ μέρους όγκου ἐκάστου συστατικοῦ ἀνὰ Mol καυσαερίου ἐπὶ τὸ μοριακὸν βάρος του μετατρέπομεν τὴν ανάλυσιν όγκων εις ανάλυσιν βάρους.

Ἐστω ὡς παραδειγμα καυσαέριον, ποὺ ἔχει όγκομετρικὴν ανάλυσιν $\text{CO}_2 = 10\%$, $\text{O}_2 = 8\%$, $\text{CO} = 2\%$ καὶ $\text{N}_2 = 80\%$. Ἡ ανάλυσις αὕτῃ ἀνὰ μονάδα όγκου ἔστω ἀνὰ Mol θὰ εἶναι διὰ $\text{CO}_2 = 0,10$, διὰ $\text{O}_2 = 0,08$, διὰ $\text{CO} = 0,02$ καὶ διὰ $\text{N}_2 = 0,80$. Ἀφοῦ τώρα 1 Mol τοῦ CO_2 ζυγίζει 44 kg (ὅσον τὸ μοριακὸν βάρος του), τὸ 0,10 θὰ ζυγίζει $0,10 \times 44 = 4,4$ kg. Τὸ αὐτὸ ἰσχύει καὶ διὰ τὰ ἄλλα συστατικά. Πρὸς εὐκολίαν καταρτίζεται ὁ Πίναξ 10.4, ἐκ τοῦ ὁποίου ἐμφαίνονται ὁ μηχανισμὸς τῆς μετατροπῆς τῆς όγκομετρικῆς ανάλυσεως αἰρίου εις ανάλυσιν βάρους.

ΠΙΝΑΞ 10.4

Μετατροπὴ όγκομετρικῆς εις ανάλυσιν βάρους

Συστατικά (a)	*Όγκοι συστα- τικῶν ἀνὰ Mol καυσαερίων (b)	Μοριακὸν βάρος (c)	Βάρος συστατι- κῶν ἀνὰ Mol καυσαερίου εις kg Στήλην $b \times c$	Βάρος συστατι- κῶν ἀνὰ kg καυσαερίου $\frac{b \times c}{M}$
CO_2	0,10	44	4,40	0,1471
O_2	0,08	32	2,56	0,0187
CO	0,02	28	0,56	0,0856
N_2	0,80	28	22,40	0,7486
	1,00		$M = 29,92$ (* Ἀθροισμα)	1,000

10.5 Ὑπολογισμὸς τῆς θεωρητικῆς ἀπαιτουμένης ποσότητος ἀέρος διὰ τὴν καύσιν ἑνὸς καυσίμου.

Ἡ ἐλαχίστη θεωρητικὴ ποσότης ἀέρος, ποὺ ἀπαιτεῖται διὰ τὴν τελείαν καύσιν 1 kg καυσίμου εὐρίσκεται, ἔαν εἶναι γνωστὴ ἡ χημικὴ ἀνάλυσις κατὰ βάρους τοῦ καυσίμου καὶ μὲ βάσιν τὰς ἐξισώσεις καύσεως (παράγρ. 10.2).

Ὡς παράδειγμα ἔστω ἡ χημικὴ ἀνάλυσις ἑνὸς τυπικοῦ ναυτικοῦ καυσίμου ἀνὰ kg ὡς κάτωθι :

$$C = 0,830, \quad H_2 = 0,150, \quad O_2 = 0,002, \quad N_2 = 0,003, \quad S = 0,016.$$

Ζητεῖται ἡ θεωρητικὴ ποσότης τοῦ ἀπαιτουμένου ἀέρος διὰ τὴν τελείαν καύσιν τοῦ καυσίμου.

Πρὸς εὐκολίαν τοῦ ὑπολογισμοῦ καταρτίζεται ὁ Πίναξ 10.5 ὡς κάτωθι :

Π Ι Ν Α Ξ 10.5

Συστα- τικά	Ἀπαιτού- μενον O_2 ἀνὰ kg συστατικῶν	Βάρος συστατικῶν ἀνὰ kg καυσίμου	Ἀπαιτού- μενον O_2 ἀνὰ kg καυ- σίμου στήλη b × c	Παράγωγα καύσεως			
(a)	(b)	(c)	(d)	CO_2	H_2O	N_2	SO_2
C	2,66	0,830	+2,2078	3,0378	—	—	—
H_2	8	0,150	+1,2000	—	1,350	—	—
O_2	—	0,002	— 0,0020	—	—	—	—
N_2	—	0,002	—	—	—	0,002	—
S	1	0,016	+0,0160	—	—	—	0,032
		1,000	3,4218				

Παρατηροῦμεν ὅτι εἰς τὴν τετάρτην στήλην d διὰ νὰ εὐρεθῇ τὸ ἀπαιτούμενον O_2 δι' 1 kg καυσίμου προστίθεται τὸ ἀπαιτούμενον ὀξυγόνον διὰ τὴν καύσιν τῶν ἐπὶ μέρους συστατικῶν, δηλαδή :

$$2,2078 + 1,2000 + 0,0160 = 3,4238$$

καὶ ἀπὸ τὸ ἄθροισμα ἀφαιρεῖται τὸ ὀξυγόνον, ποὺ ὑπάρχει ἐντὸς τοῦ καυσίμου, δηλαδή :

$$3,4238 - 0,0020 = 3,4218 \text{ kg.}$$

Γνωρίζομεν τώρα ὅτι κατὰ βάρος ὁ ἀήρ εἶναι 23% O_2 καὶ 77% N_2 . Ἐπομένως ἀπαιτουμένη θεωρητικῶς

$$\text{ποσότης ἀέρος} = \frac{3,4218 \times 100}{23} = 14,89 \text{ kg.}$$

Εἰς τὴν πρᾶξιν διὰ τεχνικοὺς λόγους καὶ διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ καλὴ καῦσις ἀπαιτεῖται χορήγησις ἀέρος πλέον τῆς θεωρητικῆς ποσότητος.

Τὰ παράγωγα καύσεως (ἔνωσις τῶν στοιχείων μὲ τὸ θεωρητικῶς ἀπαιτούμενον O_2) θὰ εἶναι τὸ ἐπὶ μέρους ἄθροισμα δι' ἕκαστον συστατικὸν τῶν στηλῶν b καὶ c. Εἰς τὸ ἀνωτέρω παράδειγμα θὰ ὑπάρχῃ ἐντὸς αὐτῶν καὶ τὸ N_2 τοῦ καυσίμου.

Ἐκ τοῦ Πίνακος 10.5 εὐκόλως ἐξάγεται ἡ ἰσότης, ἡ ὁποία δίδει τὸ βάρος τῆς θεωρητικῆς ποσότητος ἀέρος :

$$\text{Βάρος ἀέρος} = \frac{100}{23} (8H_2 + 2,66 C + S - O_2) \quad (126)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα αὐτὴν τὰ στοιχεῖα C, H_2 , S καὶ O_2 εἶναι τὸ βάρος τῶν συστατικῶν ἀνὰ kg καυσίμου.

10.6 Ὑπολογισμὸς βάρους καυσαερίων ἀνὰ μονάδα βάρους καιομένου καυσίμου.

Διὰ τὸν ὑπολογισμὸν αὐτὸν ὑπολογίζομεν προηγουμένως τὸ βάρος τοῦ C, ποὺ περιέχεται εἰς τὴν μονάδα βάρους καυσαερίων.

Μετατρέπομεν τὴν ὀγκομετρικὴν ἀνάλυσιν τῶν καυσαερίων εἰς ἀνάλυσιν βάρους (παράγρ. 10.4). Ὁ C τῶν καυσαερίων θὰ ὑπάρχῃ ἐντὸς τοῦ CO_2 καὶ CO.

Ἀπὸ τὰς χημικὰς ἰσοτήτας καύσεως (παράγρ. 10.2) ἐξάγεται ὅτι

$$1 \text{ kg } CO_2 \text{ περιέχει } \frac{12}{44} \text{ τοῦ kg C καὶ } 1 \text{ kg CO περιέχει } \frac{12}{28} \text{ kg C.}$$

Ἐπομένως, ἐὰν παραστήσωμεν μὲ CO_2 τὸ βάρος τοῦ διοξειδίου τοῦ ἀνθρακος καὶ CO τὸ βάρος τοῦ μονοξειδίου τοῦ ἀνθρακος, ποὺ περιέχεται εἰς 1 kg ἢ 1 lb καυσαερίου, τότε τὸ βάρος ἀνθρακος ἀνὰ μονάδα βάρους καυσαερίων θὰ εὑρίσκεται ἀπὸ τὸ ἄθροισμα :

$$\frac{12}{44} CO_2 + \frac{12}{28} CO.$$

Ἀπὸ τὴν χημικὴ ἀνάλυσιν ἀνὰ kg καυσίμου γνωρίζομεν τὴν περιεκτικότητά αὐτοῦ εἰς C. Ἐστω ὅτι αὕτὴ εἶναι C_c .

Ἐὰν διαιρέσωμεν τὸ βάρος τοῦ ἀνθρακος ἀνὰ μονάδα καυσίμου

διὰ τοῦ βάρους τοῦ ἄνθρακος, ποὺ περιέχεται εἰς τὴν μονάδα βάρους τῶν καυσαερίων, εὐρίσκομεν τὸ βάρος τῶν καυσαερίων B ἀνὰ μονάδα βάρους καιομένου καυσίμου, ἥτοι :

$$B = \frac{C_k}{\frac{12}{44} CO_2 + \frac{12}{28} CO} \quad (127)$$

$$\eta \quad B = \frac{C_k}{0,273 CO_2 + 0,429 CO} \quad (128)$$

10.7 Ὑπολογισμὸς βάρους τοῦ ἐπὶ πλεόν χορηγουμένου ἀέρος.

Τὸ βάρος τοῦ ἐπὶ πλεόν τῆς θεωρητικῆς ποσότητος χορηγουμένου ἀέρος εὐρίσκεται ἀπὸ τὴν κατὰ βάρος ἀνάλυσιν τῶν καυσαερίων μὲ βάσιν τὸ ἐλεύθερον ὀξυγόνον, ποὺ εὐρίσκεται εἰς αὐτά.

Οὕτως, ἐάν :

B εἶναι τὸ βάρος καυσαερίων ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου καὶ O_2 τὸ βάρος ὀξυγόνου ἀνὰ kg καυσαερίων, τότε τὸ βάρος τοῦ ἐπὶ πλεόν θεωρητικοῦ ἀέρος εἶναι :

$$\text{Βάρος ἐπὶ πλεόν ἀέρος} = \frac{B \cdot O_2 \cdot 100}{23} \quad (129)$$

Εἰς περίπτωσιν, κατὰ τὴν ὁποίαν τὰ καυσαέρια περιέχουν καὶ CO , τότε τὸ O_2 , ποὺ ἀπαιτεῖται διὰ τὴν καύσιν τοῦ CO πρὸς CO_2 , πρέπει νὰ ἀφαιρῇται ἀπὸ τὸ O_2 τῆς ἰσότητος (129).

Διὰ τὴν καύσιν CO ποσότητος μονοξειδίου τοῦ ἄνθρακος κατὰ βάρος πρὸς CO_2 ἀπαιτεῖται $O_2 = 0,571 CO$.

Ἐπομένως ἡ ἰσότης (129) θὰ λάβῃ τὴν μορφήν :

$$\text{Βάρος ἐπὶ πλεόν ἀέρος} = \frac{B (O_2 - 0,571 \cdot CO) \cdot 100}{23} \quad (130)$$

Παράδειγμα.

Πετρέλαιον ἀτμολεβήτων πλοίου καὶ ἡ ἀνάλυσις τῶν καυσαερίων διὰ τῆς συσκευῆς Orsat (περὶ ἀναλύσεως τῶν καυσαερίων ὡς καὶ τῶν χρησιμοποιουμένων συσκευῶν βλέπε : Ναυτικοὶ Ἀτμολέβητες, τόμος Β', ἔκδοσις Ἰδρύματος Εὐγενίδου) εἶναι ὡς κάτωθι :

Ἀνάλυσις καυσίμου
κατὰ βάρος

$C = 0,8700$

$H_2 = 0,1200$

$N_2 = 0,0020$

$S = 0,0020$

$O_2 = 0,0060$

Ἀνάλυσις καυσαερίων
ὀγκομετρικὴ (Orsat)

$CO_2 = 11\%$

$CO = 2\%$

$O_2 = 4,1\%$

$N_2 = 82,9\%$

Ζητείται: α) Ἡ ἀπαιτούμενη θεωρητικῶς ποσότης ἀέρος καύσεως. β) Τὸ βάρος τῶν ξηρῶν καυσαερίων ἀνὰ kg καυσίμου. γ) Τὸ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν τῆς χορηγούμενης ἐπὶ πλέον θεωρητικῆς ποσότητος ἀέρος.

Λύσις:

α) Διὰ τὴν εὐρεσιν τοῦ ἀέρος διὰ τελείαν καῦσιν καταρτίζομεν τὸν Πίνακα 10.7.1.

Π Ι Ν Α Κ 10.7.1

Συστα- τικά	Συστα- τικά ἀνὰ kg καυσίμου	Ὁξυγόνον ἀνὰ kg συστα- τικοῦ	Ὁξυγόνον ἀνὰ kg καυσίμου	Παράγωγα καύσεως διὰ τελείαν καῦσιν			
				CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
C	0,8700	2,66	+2,3142	3,1842	—	—	—
H ₂	0,1200	8	+0,9600	—	1,08	—	—
N ₂	0,0020	—	—	—	—	—	10,9360
S	0,0020	1	+0,0020	—	—	—	—
O ₂	0,0060	—	-0,0060	—	—	—	—
	1,0000		3,27				

Διὰ 3,27 O₂ ἀπαιτεῖται ἀήρ = $\frac{3,27 \times 100}{23} = 14,2$ lb ἀνὰ kg καυσίμου.

Εἰς τὸν ἀέρα αὐτὸν περιέχεται N₂ = $\frac{77 \times 14,2}{100} = 10,934$. Εἰς τὰ παράγωγα καύσεως διὰ τελείαν καῦσιν θὰ ὑπάρχῃ N₂ = 10,934 + 0,0020 = 10,936.

Σύνολον καυσαερίων τελείας καύσεως ἀνὰ kg καυσίμου:

$$3,2042 + 1,08 + 0,0040 + 10,936 = 15,22.$$

β) Μετατρέπομεν τὴν ἀνάλυσιν ὄγκου τῶν ξηρῶν καυσαερίων εἰς ἀνάλυσιν βάρους, ὡς εἰς Πίνακα 10.7.2.

Π Ι Ν Α Κ 10.7.2

Συστατικά	Ὁγκος ἀνὰ Mol καυσαερίου	Μοριακὰ βάρη	Ἀναλογία βαρῶν	Βάρος ἀνὰ kg καυσαερίου
CO ₂	0,1100	44	4,84	0,161
CO	0,0200	28	0,56	0,018
O ₂	0,0410	32	1,31	0,045
N ₂	0,8290	28	23,21	0,776
	1,0000		M=29,92	1,000

Ἐκ τῆς ἰσότητος (128) εὐρίσκεται ὅτι τὸ βάρος ξηρῶν καυσαερίων ἀνὰ kg καυσίμου θὰ εἶναι :

$$B = \frac{0,87}{0,273 \times 0,161 + 0,429 \times 0,018} = \frac{0,87}{0,0516} = 16,7 \text{ kg.}$$

γ) Ἡ ἐπὶ πλέον χορηγούμενη ποσότης ἀέρος ἐκ τῆς ἰσότητος (130) εἶναι :

$$\frac{16,7 (0,045 - 0,571 \times 0,018) \times 100}{23} = 2,6 \text{ kg.}$$

Ἐπομένως χορηγεῖται ἀήρ ἐπὶ πλέον ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν = $\frac{2,6 \times 100}{14,2} = 18,2\%$.

Σημείωσις : Ἡ ἐπὶ πλέον χορηγούμενη ποσότης ἀέρος εὐρίσκεται ἐπίσης ὡς κάτωθι : Μὲ βάσιν τὸ N_2 τῶν καυσαερίων ἀνὰ kg καυσίμου εὐρίσκεται τὸ

$$\text{σύνολον τοῦ χορηγηθέντος ἀέρος} = \frac{0,776 \times 16,7 \times 100}{77} = 16,8.$$

Ἀπὸ αὐτὸ ἀφαιρεῖται ἡ θεωρητικὴ ἀπαιτούμενη ποσότης ἀέρος διὰ τελείαν καύσιν, ἡ ὁποία εὐρέθη 14,2, δηλαδὴ $16,8 - 14,2 = 2,6 \text{ kg}$ περίσσεια ἀέρος.

10·8 Ὑπολογισμὸς τῆς ἀποβαλλομένης θερμότητος μὲ τὰ καυσαέρια.

Μετατρέπομεν πρῶτον τὴν ὀγκομετρικὴν ἀνάλυσιν τῶν καυσαερίων εἰς ἀνάλυσιν βάρους, ὡς ὁ Πίναξ 10·4.

Εὐρίσκεται ἡ εἰδικὴ θερμότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν τῶν καυσαερίων μὲ βάσιν τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος αὐτῶν M : $C_p = \frac{K_p}{M}$.

(Τὸ C_p τῶν καυσαερίων δύναται μὲ ἀρκετὴν ἀκρίβειαν νὰ λαμβάνεται ἴσον μὲ $C_p = 0,24$). Ἡ ἀπαγομένη θερμότης μὲ τὰ ξηρὰ καυσαέρια Q_1 θὰ εἶναι :

$$Q_1 = C_p \cdot B_1 (t_2 - t_1) \quad (131)$$

ὅπου: t_2 εἶναι ἡ θερμοκρασία τῶν καυσαερίων, t_1 ἡ θερμοκρασία ἀέρος, ποὺ χορηγεῖται διὰ τὴν καύσιν καὶ B_1 τὸ βάρος τῶν ξηρῶν καυσαερίων ἀνὰ kg καυσίμου.

Ἡ ἀπαγομένη θερμότης Q_2 ἀπὸ τοὺς ὑδρατμοὺς τῶν καυσαερίων δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως :

$$Q_2 = B_2 (t_1 - t_2) \quad (132)$$

ὅπου: B_2 τὸ βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου, t_1 ἡ ὀλικὴ θερμότης ὑπερθέρμου ἀτμοῦ θερμοκρασίας t_2 (ὅσης καὶ τῶν ξηρῶν καυσαερίων) καὶ πίεσεως $0,07 \text{ kg/cm}^2$ (ἢ 1 lb/in^2) ὅση περίπου εἶναι ἡ μερικὴ πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὸ μίγμα καυσαερίων καὶ t_2 ἡ αἰσθητὴ θερμότης ἀντιστοιχοῦσα εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ καυσίμου, ὅπως τοῦτο καταθλίβεται εἰς τοὺς καυστήρας.

Σημείωσις : Ἡ τιμὴ t_1 ὑπολογίζεται μὲ τὴν βοήθειαν πινάκων

υδρατμών (ιδε Παράρτημα). Έάν πάντως δέν διατίθενται πίνακες διὰ τόσον χαμηλήν πίεσιν, λαμβάνεται τὸ i_1 εἰς μεγαλυτέραν πίεσιν (μέχρις 1 kg/cm^2). Ἡ διαφορὰ τιμῆς τοῦ i_1 εἶναι μικρὰ καὶ δέν ἐπη-ρεάζει σοβαρῶς τὸ ἀποτέλεσμα.

π.χ. Διὰ $P = 0,07 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t_2 = 250$ τὸ $i_1 = 710,6 \text{ kcal}$.

Διὰ $P = 1 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t_2 = 250$ τὸ $i_1 = 709,9 \text{ kcal}$.

Παράδειγμα.

Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ ἀπαγομένη μὲ τὰ καυσαέρια θερμότης ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου, ὡς ταῦτα εὐρέθησαν εἰς παράδειγμα παραγράφου 10.7, ἐὰν ἐξέρχωνται τῆς καπνοδόχου μὲ θερμοκρασίαν 250°C , ὁ ἀήρ, ποῦ χορηγεῖται διὰ τὴν καύσιν, ἔχη θερμοκρασίαν 30°C καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ πετρελαίου, ὅπως τοῦτο καταθλίβεται εἰς τοὺς καυστήρας, εἶναι ἐπίσης 30°C .

Λύσις :

Ἐκ τῆς ἰσότητος (131) ἔχομεν : α) Διὰ ξηρὰ καυσαέρια $Q_1 = B_1 \cdot C_p (t_2 - t_1)$. Εἰς τὸ παράδειγμα παραγράφου 10.7 εὐρέθη $B = 16,7$ καὶ τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος τῶν καυσαερίων $M = 29,92$.

Ἐπομένως $C_p = \frac{K_p}{M} = \frac{6,986}{M} = 0,233$ ἑπομένως :

$Q_1 = 16,7 \times 0,233 (250 - 30) = 856 \text{ kcal}$ ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου.

β), Δι' ὑδρατμὸν ἀπὸ τὴν καύσιν τοῦ H_2 : $Q_2 = B_2 (i_1 - p_2)$.

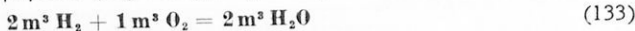
Τὸ B_2 εὐρέθη ὅτι εἶναι 1,08 (παράδειγμα παραγράφου 10.7), τὸ i_1 διὰ $P = 0,07 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t = 250^\circ\text{C}$ (εὐρίσκεται ἀπὸ τοὺς πίνακες τοῦ Παραρτήματος) $i_1 = 710,6$, τὸ $p_2 = 30$ (ὅσον ἡ θερμοκρασία πετρελαίου εἰς $^\circ\text{C}$) καὶ $Q_2 = 1,08 \times (710,6 - 30) = 842 \text{ kcal}$ ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου.

*Ἦτοι σύνολον $Q = Q_1 + Q_2 = 856 + 842 = 1698 \text{ kcal}$ ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου.

10.9 Καύσις ἀερίων καυσίμων κατ' ὄγκον.

Αἱ χημικαὶ ἰσότητες τῶν καυσίμων ἀερίων ἰσχύουν καὶ ἐὰν ληφθῇ ὡς βάσις ὄγκος ἀερίου ἀντὶ βάρους. Οὕτω :

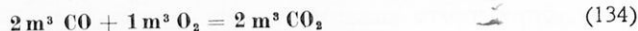
α) Δι' ὑδρογόνον (H_2) : $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ ἢ



ἢ $2 \text{ Mol H}_2 + 1 \text{ Mol O}_2 = 2 \text{ Mol H}_2\text{O}$.

$1 \text{ m}^3 \text{ O}_2$ ἔχει 3055 kcal ἀνωτέραν θερμαντικὴν ἰκανότητα καὶ 2555 kcal κατωτέραν. Χρειάζεται $0,5 \text{ m}^3 \text{ O}_2$ διὰ νὰ καῇ καὶ ἀποδίδει $1 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ παράγωγον καύσεως.

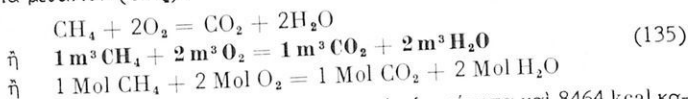
β) Διὰ μονοξειδίου τοῦ ἄνθρακος (CO) :



ἢ $2 \text{ Mol CO} + 1 \text{ Mol O}_2 = 2 \text{ Mol CO}_2$.

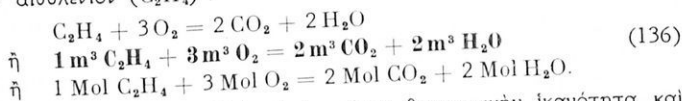
1 m³ CO έχει 3040 kcal θερμαντική ικανότητα. Χρειάζεται 0,5 m³ O₂ διὰ νὰ καῖ καὶ ἀποδίδει 1 m³ CO₂ ὡς παράγωγον καύσεως.

γ) Διὰ μεθάνιον (CH₄) :



1 m³ CH₄ ἔχει 9470 kcal ἄνωτέραν θερμαντικὴν ἱκανότητα καὶ 8464 kcal κατωτέραν. Χρειάζεται 2 m³ O₂ διὰ νὰ καῖ καὶ ἀποδίδει 1 m³ CO₂ καὶ 2 m³ H₂O ὡς παράγωγα καύσεως.

δ) Δι' αἰθυλένιον (C₂H₄) :



1 m³ C₂H₄ ἔχει 14890 kcal ἄνωτέραν θερμαντικὴν ἱκανότητα καὶ 13880 kcal κατωτέραν. Χρειάζεται 3 m³ O₂ διὰ νὰ καῖ καὶ ἀποδίδει 2 m³ CO₂ καὶ 2 m³ H₂O ὡς παράγωγα καύσεως.

Αἱ θερμαντικαὶ ἱκανότητες ὡς δίδονται διὰ τὰ ἄνωτέρω καύσιμα ἀέρια ἀνὰ μονάδα ὄγκου λαμβάνονται μὲ βάρσιν 1 m³ εἰς φυσικὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν (0°C καὶ 1 ata).

Παράδειγμα.

Ἡ ὀγκομετρικὴ ἀνάλυσις ἑνὸς φυσικοῦ ἀερίου (εἰς Φ.Θ.Π.) εἶναι 15,1% CO, 43,2% H₂, 23,1% CH₄, 3,4% CO₂, 3,4% C₂H₄ καὶ 11,8% N₂. Μία ἀεριομηχανὴ τὸ χρησιμοποιοῖ ὡς καύσιμον ἀέριον μὲ ἀνάμιξιν μὲ ἀέρα κατὰ 50% περισσότερον τῆς ἀπαιτουμένης θεωρητικῆς ποσότητος.

Π Ι Ν Α Ξ 10·9

Συστα- τικά	*Ογκοὶ ἀνὰ m ³ αἰρίου	Ἀπαιτού- μενον O ₂ ἀνὰ m ³ συστατικοῦ	Ἀπαιτού- μενον O ₂ ἀνὰ m ³ αἰρίου	Θερμαντικὴ ἱκανότης ἀνὰ m ³ συστατι- κοῦ kcal	Θερμαντικὴ ἱκανότης ἀνὰ m ³ αἰρίου
(a)	(b)	(c)	στήλη d = b × c	(e)	στήλη f = b × e
CO	0,151	0,5	0,075	3040	459,04
H ₂	0,432	0,5	0,216	3055	1319,76
CH ₄	0,231	2	0,462	9470	2187,57
CO ₂	0,034	—	—	—	—
C ₂ H ₄	0,034	3	0,102	14890	506,26
N ₂	0,118	—	—	—	—
	1,000		0,855m ³		4472,63

Ζητείται : α) 'Ο λόγος αέρος-καυσίμου αερίου ως τοῦτο καίεται. β) 'Η θερμαντική Ικανότης ἀνά m^3 μίγματος, ως τοῦτο εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον.

Λύσις :

'Η θερμαντική Ικανότης καὶ τὸ ἀπαιτούμενον O_2 ἀνά m^3 αερίου εὑρίσκεται ἀπὸ τὸν Πίνακα 10.9, εἰς σελίδα 199.

'Η ἀπαιτούμενη θεωρητικὴ ποσότης αέρος διὰ τὴν καύσιν εἶναι :

$$\frac{0,855 \times 100}{21} = 4,07 m^3$$

αέρος ἀνά m^3 καυσίμου αερίου.

'Ο χορηγούμενος ἀήρ εἶναι 50% πλέον τῆς θεωρητικῆς ποσότητος, ἥτοι $1,5 \times 4,08 = 6,12 m^3$ ἀνά m^3 καυσίμου αερίου. Ἐπομένως ἡ ἀναλογία καυσίμου αερίου-αέρος θὰ εἶναι 1 : 6,12.

'Η θερμαντικὴ Ικανότης ἀνά m^3 μίγματος, ως τοῦτο εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον, θὰ εἶναι $\frac{4472,63}{1 + 6,12} = 628 \text{ kcal.}$

10.10 Ἀτμολέβητες - Ἀπόδοσις - Ὁρολογία.

Δεδομένου ὅτι ὑπάρχουν διάφοροι τύποι λεβήτων καὶ παρατηρεῖται σχετικὴ ἀτέλεια εἰς ὁμοιόμορφον ὀνοματολογίαν σχετικῶς μὲ τοὺς λέβητας, δίδονται αἱ κάτωθι βασικαὶ ὁρολογίαι, ποὺ βασίζονται ἐπὶ τοῦ American Society of Mechanical Engineers Power Test Code καὶ τοῦ Bureau of Ships Manual.

Ἐνας ἱππος (1 HP) καθορίζεται ὡς θερμαινομένη ἐπιφάνεια 10 ft^2 ἡ ἡ παραγωγή 34,5 lb ξηροῦ κεκορεσμένου ὑδρατμοῦ θερμοκρασίας 212° F ἀπὸ τροφοδοτικὸν ὕδωρ τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας 212° F. Οὐδεμίαν σχέσιν ὑπάρχει μεταξὺ τῶν HP τῆς μηχανῆς καὶ ἐκείνων τοῦ λέβητος.

Ἰκανότης λέβητος (boiler capacity) εἶναι ἡ θερμότης, ποὺ ἀπορροφεῖται ἀπὸ τὸ ὕδωρ καὶ τὸν ὑδρατμὸν εἰς BTU ἢ kcal ἀνά ὥραν.

Ὀλικὴ θερμαινομένη ἐπιφάνεια εἶναι τὸ μῆμα ἐκεῖνο τῆς ἐπιφανείας τοῦ λέβητος, ποὺ ἔρχεται εἰς ἐπαφὴν ἀπὸ τὴν μίαν πλευρὰν μὲ τὰ καυσάερια (ποὺ θερμαίνονται) καὶ ἀπὸ τὴν ἄλλην πλευρὰν μὲ τὸ ὕδωρ ἢ ὑδρατμὸν (ποὺ θερμαίνονται).

'Η θερμαινομένη δηλαδὴ ἐπιφάνεια εἶναι τὸ ἄθροισμα τῆς ἐπιφανείας ἀτμοπαραγωγῆς (generating surface), τῆς ἐπιφανείας ὑπερθερμαντήρος (superheater surface) καὶ τῆς ἐπιφανείας τοῦ οἰκονομητήρος (economizer surface). 'Η θερμαινομένη ἐπιφάνεια μετρεῖται ἐπὶ τῆς πλευρᾶς, ποὺ κυκλοφοροῦν τὰ καυσάερια.

Ὀλικὸς ὄγκος ἐστίας (total furnace volume) εἶναι ὁ ὄγκος καύσεως τῆς ἐστίας μέχρι τῆς πρώτης σειρᾶς τῶν αὐλῶν τοῦ λέβητος.

Ἡ πραγματικὴ εξατμιστικὴ ἰκανότης (actual evaporation) εἶναι ἡ ἀτμοπαραγωγή εἰς kg ἢ lb ἀτμοῦ ἀνά ὥραν, ἀλλὰ εἶναι βασικόν νὰ εἶναι γνωστὴ ἡ κατάστασις τοῦ παραγομένου ὑδρατμοῦ διὰ νὰ ἔχη αὐτὴ σημασίαν.

Συντελεστής ατμοποίησης (factor of evaporation) είναι ο λόγος της απορροφουμένης θερμότητας ανά kg ή lb ύδρατμου διά της θερμότητας, πού απαιτείται διά την ατμοποίηση 1 kg ή lb ύδατος από 100° C ή 212° F εις ξηρόν ύδρατμόν της αὐτῆς θερμοκρασίας. Δηλαδή διά της λανθανούσης θερμότητος εις ατμοσφαιρικήν πίεσιν, πού, ὡς γνωστόν, εἶναι 539 kcal ή 970,4 BTU.

Ἐπομένως ὁ συντελεστής ατμοποίησης Σα θά ἰσοῦται μέ :

$$\Sigma_{\alpha} = \frac{i_2 - p_2}{539} \text{ (μέ βάσιν kcal) } \quad \eta \quad \Sigma_{\alpha} = \frac{i_1 - p_2}{970,4} \text{ (μέ βάσιν BTU) } \quad (137)$$

ὅπου i_1 εἶναι ἡ ὀλική θερμότης τοῦ παραγομένου ατμοῦ ὑπὸ τοῦ ατμολέβητος καὶ p_2 ἡ περιεχομένη θερμότης εις τὸ ὕδωρ τροφοδοτήσεως τοῦ λέβητος.

Διὰ πολλαπλασιασμοῦ τοῦ συντελεστοῦ ἐξατμίσεως ἐπὶ τὴν πραγματικὴν ἐξατμιστικὴν ἰκανότητα ἐνὸς λέβητος λαμβάνομεν τὸ *ισοδύναμον ατμοποίησης*. Τοῦτο μᾶς δίδει ἐν μέτρον συγκρίσεως δι' ὅλους τοὺς ατμολέβητας καὶ καθορίζει τὸ ποσὸν τῆς ατμοπαραγωγῆς μέ τὴν αὐτὴν βάσιν, δηλαδὴ ἀπὸ ὕδωρ 100° C ή 212° F εις ξηρόν ύδρατμόν της αὐτῆς θερμοκρασίας.

Θερμότης ἐστίας (furnace heat release rate) εἶναι ἡ ἀναπτυσσομένη θερμότης ἀνὰ m^3 ή ft^3 ὄγκου ἐστίας. Εὐρίσκεται διὰ διαιρέσεως τοῦ γινομένου καιομένου καυσίμου ἀνὰ ὥραν ἐπὶ τὴν θερμαντικὴν ἰκανότητα τοῦ καυσίμου διὰ τοῦ ὀλικοῦ ὄγκου τῆς ἐστίας εις m^3 ή ft^3 .

Ἀπόδοσις ατμολέβητος (boiler efficiency) εἶναι ὁ λόγος τῆς ἀπορροφουμένης θερμότητος ἀπὸ τὸ ὕδωρ καὶ τὸν ὕδρατμόν εις ὠρισμένον χρόνον διὰ τῆς θερμότητος, ἡ ὁποία χορηγεῖται ὑπὸ τοῦ καυσίμου εις τὸν λέβητα κατὰ τὸν αὐτὸν χρόνον, ἦτοι :

$$\eta_{\lambda} = \frac{(i_1 - p_2) B_{\alpha}}{B_{\kappa} \cdot \Theta} \quad (138)$$

ὅπου: η_{λ} εἶναι ἡ ἀπόδοσις τοῦ λέβητος, B_{α} τὸ βάρος παραγομένου ὕδρατμου ἀνὰ ὥραν εις kg ή lb, B_{κ} τὸ βάρος καιομένου καυσίμου εις kg ή lb, Θ ἡ θερμαντικὴ ἰκανότης τοῦ καυσίμου, i_1 ἡ ὀλική θερμότης τοῦ παραγομένου ὑπὸ τοῦ λέβητος ὕδρατμου καὶ p_2 ἡ περιεχομένη θερμότης εις τὸ ὕδωρ τροφοδοτήσεως τοῦ λέβητος.

Ἡ θερμαντικὴ ἰκανότης Θ λαμβάνεται ὡς ἡ ἀνωτάτη εις Ἀμερικὴν καὶ ἡ κατωτάτη εις Εὐρώπην.

Παράδειγμα.

Λέβης παράγει 100 000 kg ὕδρατμου ἀνὰ ὥραν πίεσεως 50 kg/cm² ἀπολύτου καὶ θερμοκρασίας 500° C. Θερμοκρασία τοῦ ὕδατος τροφοδοτήσεως 160° C. Θερμαντικὴ ἰκανότης καυσίμου 10 000 kcal ἀνὰ kg.

Κατανάλωσις καυσίμου 9500 kg ἀνὰ ὥραν. Ὅγκος ἐστίας 40 cm³.

Ζητεῖται : α) Ἡ ἰκανότης τοῦ λέβητος εις kcal ἀνὰ ὥραν. β) Ὁ συντελεστής ατμοποίησης. γ) Τὸ ἰσοδύναμον ατμοποίησης εις kg ἀνὰ ὥραν. δ) Ἡ θερμότης ἐστίας εις kcal ἀνὰ ὥραν ἀνὰ m^3 . ε) Ἡ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν ἀπόδοσις τοῦ λέβητος.

Αύσις :

‘Από τὸν Πίνακα 3 ὑπερθέρμου ὕδρατμου τοῦ Παραρτήματος λαμβάνομεν :

$$i_1 = 819,5 \text{ kcal ἀνὰ kg. Τὸ } \rho_2 = 160 \text{ kcal,}$$

α) ‘Ικανότης λέβητος = $100\,000 (819,5 - 160) = 65\,950\,000 \text{ kcal.}$

$$\beta) \text{ Συντελεστής ἀτμοποιήσεως } \Sigma_\alpha = \frac{819,5 - 160}{539} = 1,22.$$

γ) ‘Ισοδύναμον ἀτμοποιήσεως = $100\,000 \times 1,22 = 122\,000 \text{ kg ἀνὰ ὥραν.}$

$$\delta) \text{ Θερμότης ἐστίας} = \frac{9500 \times 10\,000}{40} = 2\,375\,000 \text{ kcal/h, m}^2.$$

$$\epsilon) \text{ ‘Απόδοσις λέβητος} = \frac{100\,000 (819,5 - 160)}{9500 \times 10\,000} = 0,69 \text{ ἢ } 69\%.$$

10.11 Θερμικὸν ἰσοζύγιον λέβητος.

Διὰ τὴν τήρησιν ἢ ἀπόδοσιν ἑνὸς λέβητος εἰς τὸ ὑψηλότερον δυνατὸν ἐπίπεδον ἀπαιτεῖται μία ἀξιόπιστος μέθοδος ἐλέγχου τῶν διαφόρων μεταβλητῶν, ποὺ ὑπερσέρχονται κατὰ τὴν λειτουργίαν. Τὸ θερμικὸν ἰσοζύγιον τοῦ ἀτμολέβητος ἐξυπηρετεῖ τὸν σκοπὸν αὐτόν.

Δι’ ἑνα πετρελαιολέβητα ἀπαιτοῦνται οἱ κάτωθι ἐλεγκοὶ καὶ μετρήσεις διὰ τὸν καταρτισμὸν τοῦ *θερμικοῦ ἰσοζυγίου* (heat balance).

α) ‘Ολικὸν βάρος παραγομένου ὕδρατμου εἰς καθωρισμένον χρόνον.

β) Μέση θερμοκρασία καὶ πίσεις τοῦ παραγομένου ὕδρατμου καὶ μέση θερμοκρασία καὶ πίσεις τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος.

γ) Βάρος τοῦ καταναλωθέντος καυσίμου κατὰ τὴν δοκιμήν.

δ) Χημικὴ ἀνάλυσις τοῦ καυσίμου καὶ θερμαντικὴ ἰκανότης αὐτοῦ.

ε) Μέση ὀγκομετρικὴ ἀνάλυσις τῶν καυσαερίων κατὰ τὴν τελικὴν ἐξοδὸν τῶν πρὸς τὴν ἀτμόσφαιραν.

στ) Θερμοκρασία τῶν ἐξερχομένων καυσαερίων.

η) ‘Η σχετικὴ ὑγρασία, ἢ βαρομετρικὴ πίσις καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος, ποὺ χορηγεῖται διὰ τὴν καύσιν.

θ) ‘Η θερμοκρασία τοῦ καυσίμου, ὅπως εἰσέρχεται εἰς τοὺς καυστήρας.

‘Ο πίναξ τοῦ θερμικοῦ ἰσοζυγίου ἑνὸς λέβητος περιλαμβάνει :

α) Θερμότητα, ποὺ ἀπορροφεῖται ἀπὸ ὕδωρ καὶ ὕδρατμον ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου· δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$Q = \frac{B_\alpha (t_1 - \rho_2)}{B_k} \quad (139)$$

ὅπου : B_α εἶναι ὁ παραγόμενος ὑπὸ τοῦ λέβητος ὕδρατμος εἰς kg ἢ lb ἀνὰ ὥραν, t_1 ἡ ὅλικη θερμότης παραγομένου ὕδρατμου, ρ_2 ἡ θερμότης ὕδατος τροφοδοτήσεως καὶ B_k τὸ βάρος καιομένου πετρελαίου εἰς kg ἢ lb ἀνὰ ὥραν.

β) Θερμότητα ἀπολεσθεῖσαν μὲ τὰ ἀέρια καύσεως. Αὕτῃ δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (131) ἥτοι :

$$Q_1 = B_1 C_p (t_2 - t_1) \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου (ἢ BTU ἀνὰ lb)}$$

ὅπου : B_1 εἶναι τὸ βάρος τῶν ξηρῶν καυσαερίων ἀνὰ kg ἢ lb καιομένου

καυσίμου εις kg ή lb, C_p ή μέση ειδική θερμότης τῶν καυσαερίων = $\frac{K_p}{M}$ (ὅπου M εἶναι τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος τῶν καυσαερίων, ἡ τιμὴ τῆς C_p δύναται νὰ λαμβάνεται 0,24 μὲ ἱκανοποιητικὴν προσέγγισιν), t_1 ἡ θερμοκρασία τοῦ χορηγουμένου ἀέρος διὰ τὴν καῦσιν $^{\circ}\text{C}$ ἢ $^{\circ}\text{F}$, t_2 ἡ θερμοκρασία τῶν ἐξερχομένων καυσαερίων $^{\circ}\text{C}$ ἢ $^{\circ}\text{F}$.

γ) Θερμότητα ἀπολεσθεῖσαν μὲ τοὺς ὑδρατμοὺς λόγω καύσεως τοῦ ὑδρογόνου, ποὺ περιέχεται εἰς τὸ καύσιμον. Δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$Q_2 = 9H_2 (t_2 - p_3) \quad (140)$$

ὅπου : H_2 εἶναι τὸ βάρος τοῦ ὑδρογόνου ἀνὰ kg καιομένου καυσίμου, t_2 ἡ ὅλική θερμότης ὑπερθερμῶν ὑδρατμοῦ πίεσεως 0,07 kg/cm² (ἢ 1 PSIA) καὶ θερμοκρασίας ἴσης μὲ τῶν ξηρῶν καυσαερίων (ἰδὲ καὶ σημειώσιν τῆς παραγράφου 10·8), p_3 ἡ αἰσθητὴ θερμότης ὕδατος, ἀντιστοιχοῦσα εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ καυσίμου, ὅταν καταθλίβεται εἰς τοὺς καυστήρας.

δ) Θερμότητα ἀπολεσθεῖσαν μὲ τοὺς ὑδρατμοὺς λόγω ὑγρασίας ἐντὸς τοῦ καυσίμου. Δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$Q_3 = \frac{B_u}{1 - B_u} (t_2 - p_3) \quad (141)$$

ὅπου : B_u εἶναι τὸ βάρος τῆς ὑγρασίας εἰς kg ἢ lb ἀνὰ kg ἢ lb καυσίμου ὡς τοῦτο παραλαμβάνεται.

Ὁ λόγος $\frac{B_u}{1 - B_u}$ = Βάρος ὑγρασίας, ποὺ ἀντιστοιχεῖ ἀνὰ kg ξηροῦ καιομένου καυσίμου καὶ t_2 καὶ p_3 ὡς ἀνωτέρω.

ε) Θερμότητα ἀπολεσθεῖσαν μὲ τοὺς ὑδρατμοὺς λόγω ὑγρασίας ἐντὸς τοῦ ἀέρος, ποὺ χορηγεῖται διὰ τὴν καῦσιν. Δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$Q_4 = B_a \cdot B_u (t_2 - t_3) \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου (ἢ BTU ἀνὰ lb)} \quad (142)$$

ὅπου : B_a εἶναι τὸ βάρος τοῦ ἀέρος, ποὺ χορηγεῖται πραγματικῶς ἀνὰ kg ἢ lb καυσίμου, B_u τὸ βάρος ὑγρασίας εἰς kg ἢ lb ἀνὰ kg ἢ lb ξηροῦ ἀέρος, ποὺ χορηγεῖται διὰ τὴν καῦσιν, t_3 ἡ ὅλική θερμότης ξηροῦ ἀτμοῦ, ποὺ ἔχει θερμοκρασίαν ἴσην μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ χορηγουμένου ἀέρος.

Σημειώσεις : Κανονικὰ εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν ἐφ' ὅσον $t_g > t_u$ (ἰδὲ παραγρ. 9·5) ὁ ὑδρατμὸς εἶναι ὑπέρθερμος· ἄρα ἡ τιμὴ τοῦ t_3 εἶναι ἐλαφρῶς μεγαλύτερα τῆς ἀντιστοίχου τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ. Ἡ διαφορὰ ὅμως αὕτη δὲν ἐπιπρεάζει τὸν ὑπολογισμόν.

στ) Θερμότητα ἀπολεσθεῖσαν λόγω ἀτελοῦς καύσεως.

Δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$Q_5 = C_k \left(\frac{CO}{CO_2 + CO} \right) 10100 \text{ BTU ἀνὰ lb καυσίμου} \quad (143)$$

$$Q_5 = C_k \left(\frac{CO}{CO_2 + CO} \right) 5660 \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου} \quad (144)$$

ὅπου : C_k εἶναι τὸ βάρος τοῦ C εἰς lb ἢ kg ἀναλόγως ἀνὰ lb ἢ kg καυσίμου. Τὰ CO_2 καὶ CO εἶναι ἡ ὀγκομετρικὴ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν περιεκτικότης τῶν στοιχείων αὐτῶν εἰς τὰ καυσαέρια (μετρεῖται μὲ τὴν συσκευὴν Orsat),

10 100 BTU ή 5660 kcal είναι ή απώλεια θερμότητας ανά lb ή kg άνθρακος, που καίεται άτελώς εις CO.

ζ) Θερμότητα άπολεσθεΐσαν έξ άκτινοβολίας ή άλλων λόγων μη δυναμένη νά μετρηθῇ.

Δίδεται άπό τόν τύπον :

$$Q_6 = \Theta - (Q + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \quad (145)$$

όπου : Θ είναι ή θερμαντική ικανότης τοῦ καυσίμου άνωτάτη ή κατωτάτη αναλόγως τῆς συμφωνίας.

Παράδειγμα.

Κατά τὰς δοκιμὰς ένός πετρελαιολέβητος έλήφθησαν αΐ κάτωθι μετρήσεις :

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1) Διάρκεια δοκιμῆς | 1 h |
| 2) Παραγωγή ύδρατμοῦ | 90 000 kg |
| 3) Μέση θερμοκρασία ύδρατμοῦ εις έξοδον προθερμαντῆρος | 400° C |
| 4) Πίεσις ύδρατμοῦ εις έξοδον προθερμαντῆρος | 40 kg/cm ² άπολ. |
| 5) Θερμοκρασία ύδατος τροφοδοτήσεως | 120° C |
| 6) Πίεσις ύδατος τροφοδοτήσεως | 47 kg/cm ² άπολ. |
| 7) Κατανάλωσις καυσίμου | 7040 kg |
| 8) Θερμοκρασία έξόδου καυσαερίων | 230° C |
| 9) Θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ άέρος καύσεως | 28° C |
| 10) Θερμοκρασία ύγροῦ βολβοῦ άέρος καύσεως | 21° C |
| 11) Βαρομετρική πίεσις εις χῶρον δοκιμῶν | 760 mm Hg |
| 12) Θερμοκρασία καυσίμου, όπως χορηγεΐται εις καυστῆρας | 30° C |
| 13) Όγκομετρική ανάλυσις καυσαερίων με συσκευὴν Orsat : | |
| CO ₂ = 11,34 %, CO = 0,71 %, O ₂ = 5,06 %, N ₂ = 82,89 %. | |
| 14) Ή χημικὴ ανάλυσις κατὰ βάρος ανά kg τοῦ καυσίμου ὡς τοῦτο καΐεται είναι : | |
| C = 0,8095, H ₂ = 0,1143, N ₂ = 0,0048, S = 0,0143 | |
| O ₂ = 0,0095, Ύγρασία = 0,0476, Τέρρα = μηδέν. | |
| 15) Ή άνωτέρα θερμαντική ικανότης (ΛΘΙ) είναι 10850 kcal ανά kg ξηροῦ καυσίμου. | |

Ζητεΐται : Τὸ θερμικὸν Ισοζύγιον τοῦ λέβητος με βάσιν τὴν κατωτέραν θερμαντικὴν ικανότητα τοῦ καυσίμου καὶ ή άπόδοσις τοῦ λέβητος.

Λύσις :

Προεργασία : Τὸ θερμικὸν Ισοζύγιον καταρτίζεται ανά kg ξηροῦ καυσίμου. Πρὸς τοῦτο τὴν ανάλυσιν (14) τοῦ καυσίμου, ὡς καΐεται, τὴν μετατρέπομεν εις *ξηρὸν καύσιμον*. Ἐκαστον kg καυσίμου περιέχει 0,0476 ὕγρασίαν. Διαιροῦντες ἑπομένως ἕκαστον τῶν συστατικῶν διὰ τῆς διαφορᾶς 1 - 0,0476 μετατρέπομεν τὴν ανάλυσιν εις *ξηρὰν βάσιν* π.χ. $\frac{0,8095}{1 - 0,0476} = 0,8500$ kg C ανά kg καυσίμου. Οὕτως ή

ανάλυσις (14) λαμβάνει τὴν μορφήν :

C = 0,85, H₂ = 0,12, N₂ = 0,0050, S = 0,0150, O₂ = 0,01. Μετατρέπομεν τώρα τὴν όγκομετρικὴν ανάλυσιν τῶν καυσαερίων εις ανάλυσιν βάρους. Με βά-

σιν τὸν Πίνακα 10.4 καὶ τὰ δεδομένα τοῦ προβλήματος ἢ κατὰ βάρος ἀνάλυσις τῶν καυσασερίων εὐρίσκεται :

$$\text{CO}_2 = 0,1662, \quad \text{CO} = 0,0066, \quad \text{O}_2 = 0,054, \quad \text{N}_2 = 0,7732.$$

Καὶ τὸ ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος $M = 30$.

Ἐπομένως C_p τοῦ καυσασερίου θὰ εἶναι :

$$C_p = \frac{K_p}{30} = \frac{6,986}{30} \quad \eta \quad C_p = 0,233.$$

Μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (126) εὐρίσκομεν τὸν θεωρητικὸν ἀέρα καύσεως ἥτοι:

$$\text{Βάρος} = \frac{100}{23} (8 \times 0,12 + 2,66 \times 0,85 + 0,0150 - 0,01) = 14,03 \text{ kg}.$$

Μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (128) εὐρίσκομεν τὸ βάρος τῶν ξηρῶν καυσασερίων ἀνὰ kg καυσίμου, ἥτοι :

$$B = \frac{0,85}{(0,273 \times 0,1662) + (0,469 \times 0,0066)} = 17,65 \text{ kg}.$$

Μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (130) εὐρίσκομεν τὸ ἐπὶ πλέον χορηγούμενον βάρος ἀέρος = $\frac{17,65 [0,054 - (0,571 \times 0,0066)] \times 100}{23} = 3,92 \text{ kg}$

Ἐπομένως συνολικῶς χορηγεῖται εἰς τὸ καύσιμον ἀήρ = $14,03 + 3,92 = 17,95 \text{ kg}$.

Μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (118) εὐρίσκομεν τὴν κατωτέραν θερμαντικὴν ἰκανότητα τοῦ καυσίμου, ἥτοι : $K_{\Theta I} = 10850 - 590 (9H + Y)$ ἀνὰ kg ξηροῦ καυσίμου.

Τὸ ὕδρογόνον εἶναι 0,12 καὶ ἡ ὑγρασία ἀνὰ kg ξηροῦ καυσίμου θὰ εἶναι :

$$\frac{0,0476}{1 - 0,0476} = 0,049.$$

Ἐπομένως $K_{\Theta I} = 10850 - 590 \times (9 \times 0,12 + 0,049) = 10184 \text{ kcal/kg}$.

Προχωροῦμεν τώρα εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς διὰ τὸν καταρτισμὸν τοῦ θερμικοῦ ἰσοζυγίου τοῦ λέβητος.

α) Θερμότης ἀπορροφηθεῖσα ἀπὸ ὕδωρ καὶ ὕδρατμὸν ἀνὰ kg καυσίμου (ἰσότης 139).

$$Q = \frac{B_{\alpha} (i_1 - \rho_2)}{B_K}, \quad \text{τὸ} \quad B_{\alpha} = 90000 \text{ kg}, \quad B_K = 7040 \text{ kg},$$

$$i_1 = 766,8 \text{ (ἀπὸ τοὺς πίνακας)}, \quad \text{τὸ} \quad \rho_2 = 120 \text{ kcal} \quad \text{καὶ}$$

$$Q = \frac{90000 \times (766,8 - 120)}{7040} = 8268,76 \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου}.$$

Σημείωσις : Τὸ ρ_2 ἐφ' ὅσον ἀπαιτεῖται ἀπόλυτος ἀκρίβεια (δὲν εἶναι ἀπαραίτητος) εἶναι ἴσον :

$$\rho_2 = 120 + \frac{P \cdot v}{J},$$

ὅπου : P εἶναι ἡ διαφορὰ τῆς πίεσεως τοῦ ὕδατος τροφοδοτήσεως ἀπὸ τὴν ἀτμοσφαιρικὴν καὶ v ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδατος εἰς τὴν ἀντίστοιχον πίεσιν. Εἰς τὸ πρόβλημα $P = 47 - 1 = 46 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $v = 0,00126$ (ἀπὸ τὸν Πίνακα 7 τοῦ Παραρτήματος) ἢ

$$\rho_2 = 120 + \frac{46 \times 10000 \times 0,00126}{427} = 120 + 1,14 = 121,14 \text{ kcal}.$$

β) Θερμότης ἀπολεσθεῖσα μὲ τὰ ἀέρια καύσεως (ισότης 131).

$$Q_1 = BC_p (t_2 - t_1),$$

ὅπου $B = 17,65$ $C_p = 0,233$ $t_2 = 230^\circ \text{C}$ $t_1 = 28^\circ \text{C}$ η
 $Q_1 = 17,65 \times 0,233 \times (230 - 28) = 830,71 \text{ kcal ἀνὰ kg.}$

γ) Θερμότης ἀπολεσθεῖσα μὲ ὑδρατμούς λόγω τοῦ H_2 τοῦ καυσίμου (ισότης 140) :

$$Q_2 = 9H_2(i_2 - \rho_3) \text{ ὅπου } H_2 = 0,12 \text{ τὸ } i_2 \text{ διὰ πίεσιν } 0,07 \text{ kg/cm}^2 \text{ εἶναι}$$

$$i_2 = 614,1 + 0,5 \times (230 - 38,6) = 709,8 \text{ kcal/kg καὶ } \rho_3 = 30 \text{ kcal καὶ}$$

$$Q_2 = 9 \times 0,12 \times (710,6 - 30) = 734,18 \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου.}$$

δ) Θερμότης ἀπολεσθεῖσα μὲ ὑδρατμούς λόγω ὑγρασίας καυσίμου (ισότης 141) ἤτοι

$$Q_3 = \frac{B_u}{1 - B_u} (i_2 - \rho_3)$$

$$Q_3 = \frac{0,0476}{1 - 0,0476} \times (709,8 - 30) = 33,9 \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου.}$$

ε) Θερμότης ἀπολεσθεῖσα μὲ ὑδρατμούς λόγω ὑγρασίας ἀέρος (ισότης 142).

$$Q_4 = B_a \times B_u (i_2 - i_3) \text{ ἐνταῦθα } B_a = 17,95, \quad i_2 = 709,8$$

Τὸ $i_3 = 609,5 \text{ kcal ἀνὰ kg (ἀπὸ τοὺς Πίνακες τοῦ Παραρτήματος) τὸ } B_u$
 διὰ τὸν ἀέρα $t_3 = 280^\circ \text{C}$ καὶ $t_u = 210^\circ \text{C}$ εὐρίσκεται ἀπὸ τὸ ψυχρομε-
 τρικὸν διάγραμμα ὅτι εἶναι $B_u = 0,0134 \text{ kg ἀνὰ kg ξηροῦ ἀέρος.}$
 Ἐπομένως :

$$Q_4 = 17,95 \times 0,0134 \times (710,6 - 609) = 24,05 \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου.}$$

στ) Θερμότης ἀπολεσθεῖσα λόγω ἀτελοῦς καύσεως (ισότης 144).

$$Q_5 = 0,85 \times \left(\frac{0,71}{11,34 + 0,71} \right) \times 5660 = 283,4 \text{ kcal ἀνὰ kg καυσίμου.}$$

(Συνεχίζεται εἰς σελίδα 207)

ΠΙΝΑΞ 10.11 ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΟΣ

α/α	Ἀνάλυσις	ἀνὰ kcal καυσίμου	Ἐπὶ τοῖς %
1	Κέρδος ἀπὸ ὕδωρ καὶ ὑδρατμὸν	8268,76	81,10
2	Ἀπώλεια λόγω ξηρῶν καυσαερίων	830,71	8,20
3	Ἀπώλεια λόγω ὑδρατμῶν ὑδρογόνου καυσίμου	734,18	7,30
4	Ἀπώλεια λόγω ὑγρασίας καυσίμου	33,9	0,30
5	Ἀπώλεια λόγω ὑγρασίας ἀέρος καύσεως	24,05	0,21
6	Ἀπώλεια λόγω ἀτελοῦς καύσεως	283,40	2,80
7	Ἀπώλεια ἐξ ἀκτινοβολίας κ.λπ.	9,00	0,09
8	Κατωτέρα θερμαντικὴ ἱκανότης καυσίμου	10 184	100%

Ἡ ἀπόδοσις τοῦ λέβητος εἶναι 81,1% ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸν ἀνωτέρω πίνακα.

ζ) Θερμότης ἀπολεσθεῖσα ἐξ ἀκτινοβολίας κ.λπ. (ισότης 144).

$$Q_6 = 10\,184 - (8268,76 + 830,71 + 734,18 + 33,9 + 24,05 + 283,4) = 9 \text{ kcal ἀνὰ kg.}$$

Καταρτίζεται τώρα ὁ Πίναξ 10·11 θερμικοῦ ἰσοζυγίου, ὡς οὗτος ἐμφαίνεται εἰς σελίδα 206 (ἐτοποθετήθη οὕτω λόγω χώρου).

10·12 Ἀσκήσεις.

1) Ἡ ὀγκομετρικὴ ἀνάλυσις κατ' ὄγκον εἰς καυσάερισ ἐνὸς ἀτμολέβητος ἐλήφθη μὲ συσκευὴν Orsat ὡς κάτωθι: 10,5% CO₂, 1% CO, 8% O₂, 80,5% N₂.

Ἡ ἀνάλυσις τοῦ καυσίμου ὅπως καίεται εἶναι :

82% C, 4,2% H₂, 4,8% O₂, 9% ἄλλαι οὐσίαι μὴ καύσιμοι.

Τὰ καυσάερια ἐξερχόμενα τῆς καπνοδόχου ἔχουν θερμοκρασίαν 340° C, ὁ χορηγούμενος ἀήρ καύσεως 40° C, καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ καυσίμου εἰς καυστήρας 50° C.

Ζητεῖται : α) Ἡ ἀπαγομένη θερμότης μὲ τὰ καυσάερια. β) Ἡ ἀπαγομένη θερμότης μὲ τὸν ἐπὶ πλεόν τῆς θεωρητικῆς χορηγούμενον ἀέρα. γ) Ἡ ἀπώλεια θερμότητος λόγω ἀτελοῦς καύσεως.

(Ἀπ.: α = 1310 kcal, β = 469 kcal, γ = 404 kcal)

2) Ἡ ἀνάλυσις καυσίμου κατὰ βάρος εἶναι 85,5% C, 11,9% H₂, 1,6% O₂ καὶ 1% ἀκαθαρσίαι. Νὰ εὑρεθῇ ἡ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν περιεκτικότης CO₂ εἰς τὰ καυσάερια : α) Ἐὰν ἡ χορηγούμενη ποσότης ἀέρος διὰ τὴν καύσιν εἶναι ἡ θεωρητικὴ. β) Ἐὰν χορηγῇται ἐπὶ πλεόν ἀήρ 25% ἢ 50% ἢ 75%.

(Ἀπ.: α = 20,94% β = 16,97% 14,28% 12,31%),

11·1 Γενικά.

Δύο κατηγορίαι μηχανῶν ὑδρατμοῦ χρησιμοποιοῦνται εἰς τὰ πλοῖα εἴτε ὡς προωστήριοι εἴτε διὰ τὴν κίνησιν βοηθητικῶν μηχανημάτων. Αὐταὶ εἶναι : Αἱ *παλινδρομικαὶ* καὶ οἱ *στρόβιλοι*.

Κατὰ τὰ τελευταῖα ἔτη ἡ παλινδρομικὴ μηχανὴ ἐξετοπίσθη ὑπὸ τοῦ στρόβιλου εἰς πολλὰς ἐφαρμογὰς, εἰς τὰς ὁποίας ἀπαιτεῖται ὑψηλὴ ἰσχὺς.

Ὁ ἀτμοστρόβιλος εἰς μεγάλας ἵπποδυνάμεις ἔχει μεγαλυτέραν ἀπόδοσιν, εἶναι μικρότερος εἰς μέγεθος, ἐλαφρότερος καὶ ἀπαιτεῖ ὀλιγωτέραν παρακολούθησιν.

Εἰς ἐφαρμογὰς ὅμως, ὅπου ἀπαιτεῖται μεγάλη εὐκαμψία εἰς ἀλλαγὰς ταχύτητος καὶ πλήρης ἰσχὺς εἰς τὴν κίνησιν τοῦ *ἀνάποδα* (π.χ. εἰς Ρυμουλκά), ἡ παλινδρομικὴ μηχανὴ εἶναι ἰδανικὴ.

Ὁ κύκλος λειτουργίας τῆς ἀτμομηχανῆς (παλινδρομικῆς ἢ στρόβιλου) εἶναι ὁ τοῦ Rankine.

11·2 Βασικὰ ἐξαρτήματα διὰ πραγματοποίησιν τοῦ κύκλου Rankine.

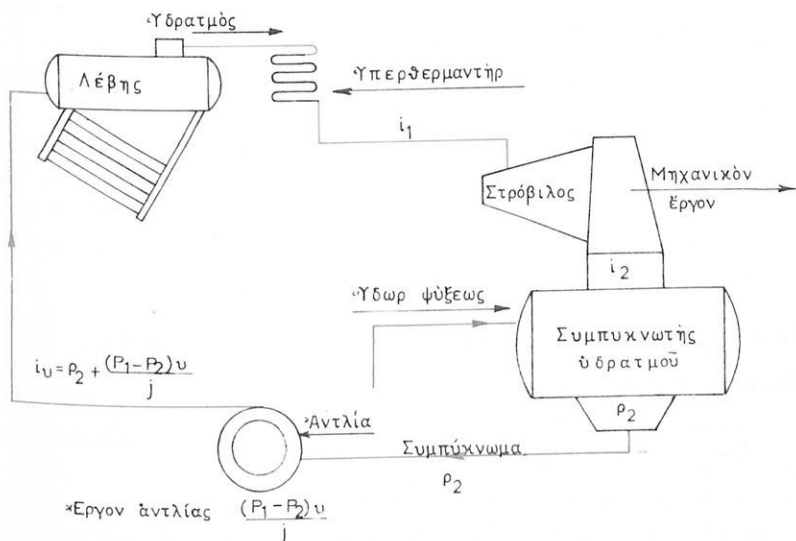
Τὰ ἀπαραίτητα ἐξαρτήματα διὰ τὴν πραγματοποίησιν τοῦ κύκλου ὑδρατμοῦ Rankine ἐμφανίζονται εἰς τὸ σχῆμα 11·2. Εἰς τὴν θέσιν τοῦ ἀτμοστρόβιλου δύναται νὰ τοποθετηθῇ παλινδρομικὴ μηχανή.

Ἡ τροφοδοτικὴ ἀντλία ἀναρροφεῖ ὕδωρ ἀπὸ τὸν συμπυκνωτὴν, ἀναβιβάζει τὴν πίεσιν τοῦ ἀδιαβατικῶς καὶ τὸ καταθλίβει εἰς τὸν λέβητα. Ἐντὸς τοῦ λέβητος χορηγεῖται θερμότης εἰς τὸ ὕδωρ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, ἕως ὅτου τὸ ὕδωρ ἀτμοποιηθῇ εἰς ὑπέρθερμον ὑδρατμόν. Ὁ ὑδρατμὸς ὁδηγεῖται ἐν συνεχείᾳ εἰς τὴν μηχανὴν (παλινδρομικὴν ἢ στρόβιλον), ἐντὸς τῆς ὁποίας ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς, μέχρις ὅτου ἡ τελικὴ πίεσις τοῦ φθάσῃ ἐκείνην τοῦ συμπυκνωτοῦ.

Ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ ὁ ὑδρατμὸς ἀποβάλλει θερμότητα καὶ μετατρέπεται εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ συμπυκνωτοῦ εἰς ὕδωρ καταστά-

σεως κορεσμοῦ. Ἐν συνεχείᾳ τῇ βοήθειᾳ τῆς ἀντλίας, καταθλίβεται ἐκ νέου εἰς τὸν λέβητα.

Εἰς τὸ σχῆμα 11.2 παρατηροῦμεν ὅτι τὸ συμπύκνωμα εἰς



Σχ. 11.2.

κατάστασιν κορεσμοῦ καὶ αἰσθητὴν θερμότητα ρ_2 ἀναρροφεῖται ἀπὸ τὴν ἀντλίαν, συμπιέζεται ἐν συνεχείᾳ καὶ ἡ πίεσις του ἀνέρχεται εἰς ἐκείνην τοῦ λέβητος P_1 .

Τὸ ἔργον τῆς ἀντλίας εἶναι :

$$W = \frac{(P_1 - P_2) v}{J} \quad (146)$$

ὅπου: v εἶναι ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδατος ὑπὸ τὴν πίεσιν τοῦ λέβητος, P_1 ἡ πίεσις τοῦ λέβητος καὶ P_2 ἡ πίεσις τοῦ συμπυκνωτοῦ.

Εἰς τὴν ἐξαγωγήν τῆς ἀντλίας τὸ θερμικὸν περιεχόμενον τοῦ

$$\text{ὕδατος } i_u \text{ εἶναι : } i_u = \rho_2 + \frac{(P_1 - P_2) v}{J} \quad (147)$$

Κατὰ τὴν εἰσοδὸν του δηλαδὴ εἰς τὸν λέβητα τὸ ὕδωρ ἔχει ὀλίγη θερμότητα ἴσην μὲ τὸ ἄθροισμα τῆς αἰσθητῆς θερμότητός του σὺν τὸ ἔργον ἀντλίας.

Ἀπὸ τὸ θεωρητικὸν ἔργον τὸ παραγόμενον ὑπὸ τοῦ ἀτμοῦ κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν εἰς τὴν μηχανήν, πρέπει νὰ ἀφαιρῇται

τὸ ἔργον τῆς ἀντλίας, διὰ νὰ ὑπολογισθῇ τὸ ἔργον τοῦ κύκλου. Τὸ ἔργον αὐτὸ τῆς ἀντλίας εἶναι συνήθως πολὺ μικρὸν καὶ δύναται κατὰ κανόνα νὰ παραλειφθῇ τόσον κατὰ τὸν ὑπολογισμόν τοῦ θερμοῦ ἔργου τοῦ κύκλου ὅσον καὶ κατὰ τὸν ὑπολογισμόν τοῦ θερμικοῦ περιεχομένου τοῦ ὕδατος, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὸν λέβητα. Τὸ θερμικὸν περιεχόμενον τοῦ ὕδατος λαμβάνεται ἴσον μὲ τὴν αἰσθητὴν θερμότητα ρ_2 .

Εἰς ἐγκαταστάσεις ὅμως λίαν ὑψηλῶν πιέσεων, ἰδίως ὅταν ὁ λέβης ἐργάζεται ὑπὸ πιέσεις, ποὺ πλησιάζουν τὴν κριτικὴν, τὸ ἔργον τῆς ἀντλίας πρέπει νὰ ὑπολογίζεται, διότι ἀποκτᾷ τιμὴν, τὸ μέγεθος τῆς ὁποίας εἶναι κλάσμα τοῦ ἔργου τῆς μηχανῆς ὑπολογισμον.

11.3 Παράστασις κύκλου Rankine εἰς ἄξονας T-S καὶ P-u.

Θερμικὴ ἀπόδοσις.

Ὁ κύκλος Rankine εἰς διάγραμμα T-S καὶ P-u παρίσταται ὡς εἰς τὸ σχῆμα 11.3.

Ὁ κύκλος ἀρχίζει ἀπὸ τὸ σημεῖον 3, τὸ ὁποῖον παρίσταται τὸ ὕδωρ τοῦ συμπυκνωτοῦ εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν P_2 καὶ εἰς τὴν ἀντίστοιχον χαμηλὴν θερμοκρασίαν T_2 . Ἡ πίεσις τοῦ ὑγροῦ ἀνέρχεται εἰς τὴν ὑψηλὴν πίεσιν P_1 (τοῦ λέβητος) δι' ἀδιαβατικῆς συμπίεσεως αὐτοῦ ὑπὸ τῆς ἀντλίας κατὰ τὴν 3-4'.

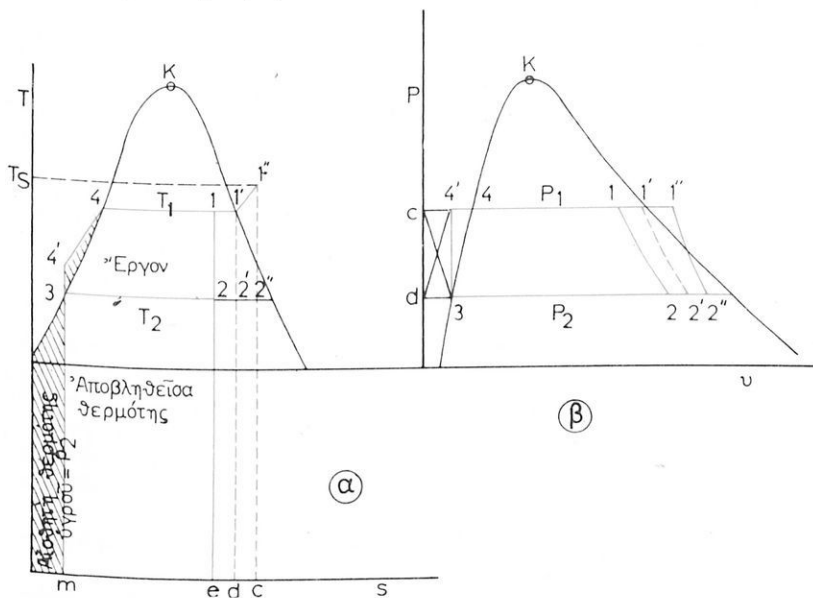
Παρατηροῦμεν ὅτι ἀποτέλεσμα τῆς συμπίεσεως αὐτῆς εἶναι ἡ μικρὰ αὐξησης τῆς θερμοκρασίας τοῦ ὕδατος (3-4' εἰς T-S), ἐνῶ ὁ ὄγκος παραμένει πρακτικὰ σταθερὸς (3-4' εἰς διάγραμμα P-u).

Τὸ ἔργον τῆς ἀντλίας παρίσταται ὑπὸ τῆς ἐπιφανείας 3-4', c-d, εἰς τὸ διάγραμμα P-u (ἡ ἐπιφάνεια αὕτη εἰς τὸ σχῆμα παρίσταται ἐν μεγεθύνσει διὰ λόγους καλυτέρας παραστάσεως). Τὸ ἐμβαδὸν τῆς εἶναι $(P_1 - P_2) \cdot u$.

Ἀπὸ τὸ σημεῖον 4' ἕως τὸ 4 τὸ ὕδωρ λαμβάνει αἰσθητὴν θερμότητα ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν P_1 τοῦ λέβητος καὶ ἐν συνεχείᾳ λανθάνουσιν θερμότητα καὶ ἀτμοποιεῖται (ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν) εἰς ὑγρὸν ἀτμὸν (σημεῖον 1) ἢ ξηρὸν ὑδρατμὸν (σημεῖον 1') ἢ τοῦ χορηγεῖται ἐπὶ πλέον θερμότης ὑπερθερμάνσεως καὶ ὑπερθερμαίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν P_1 μέχρι θερμοκρασίας T_s (σημεῖον 1'').

Ἀπὸ τὰ σημεῖα 1 ἢ 1' ἢ 1'' ὁ ὑδρατμὸς ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς (ἐντὸς τῆς μηχανῆς), μέχρι τῶν σημείων 2 ἢ 2' ἢ 2''.

Τέλος ὁ ὑδρατμὸς ἀπὸ τὰ σημεῖα 2 ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν P_2



Σχ. 11.3.

καὶ θερμοκρασίαν T_2 ἀποβάλλει ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ τὴν λανθάνουσαν θερμότητά του καὶ ὑγροποιεῖται (σημεῖον 3).

Ἀπόδοσις τοῦ κύκλου.

Ἡ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου αὐτοῦ εὑρίσκεται ἐπίσης ἐκ τῆς σχέ-

$$\text{σεως: } \eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}.$$

Ἡ ἀποβληθεῖσα θερμότης ἰσοῦται πρὸς τὴν λανθάνουσαν θερμότητα ἀπὸ 2 ἕως 3 ἢ $H_2 = \chi_2 \lambda_2$ (ἐπιφάνεια 2-e-m-3 εἰς τὸ διάγρ. $T-S$).

Τὸ ὕδωρ εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ λέβητος μὲ θερμότητα ρ_3 ($\rho_2 = \rho_3$) (δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν τὸ ἔργον τῆς ἀντλίας) καὶ μετατρέπεται εἰς ὑδρατμὸν ὀλικῆς θερμότητος i_1 .

Ἐπομένως ἡ χορηγηθεῖσα θερμότης $H_1 = i_1 - \rho_2$ (ἐπιφάνεια

$$1-e-m-3-4) \text{ καὶ ἡ ἀπόδοσις } \eta_{\theta} = \frac{i_1 - \rho_2 - \chi_2 \lambda_2}{i_1 - \rho_2} \quad \eta$$

$$\eta_{\theta} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - p_2} \quad (148)$$

όπου: i_1 είναι ή όλική θερμότης άτμοϋ, όταν εισέρχεται εις την μηχανήν, i_2 ή όλική θερμότης άτμοϋ, όταν εξέρχεται από την μηχανήν, p_2 ή αίσθητή θερμότης ύδατος ή άντιστοιχοϋσα εις την πίεσιν P_2 τοϋ συμπυκνωτοϋ.

Ό αριθμητής τοϋ κλάσματος τής ισότητος (148), ήτοι $(i_1 - i_2)$ παριστᾷ, ως γνωστόν, τὸ παραγόμενον έργον.

Έπομένως τὸ έργον τοϋ κύκλου Rankine ίσοϋται με την όλικήν θερμικήν πτώσιν κατά την άδιαβατικήν έκτόνωσιν από τὸ σημείον 1 εις τὸ σημείον 2.

11.4 Παράστασις κύκλου Rankine εις διάγραμμα Mollier.

Ό τυπικός κύκλος Rankine εις τὸ διάγραμμα Mollier (i-S) εμφαίνεται εις τὸ σχήμα 11.4 καί είναι ὁ 1-2-3-4.

Άπό 3 έως 4 έντός τοϋ λέβητος τὸ ύδωρ άπορροφεϊ αίσθητήν θερμότητα, ώστε τοϋτο νά άποκτήσῃ την θερμοκρασίαν τοϋ βρασμοϋ t_1 άντιστοιχόν με την πίεσιν P_1 τοϋ λέβητος. Άπό τὸ σημείον 4 άρχίζει ή άτμοποίησης καί έως τὸ σημείον 1' άπορροφεϊ τὸ ύδωρ όλην την λανθάνουσαν θερμότητα καί μετατρέπεται εις ξηρόν ύδρατμόν.

Άπό τὸ 1' έως 1 χορηγεΐται εις τόν άτμόν ή θερμότης ύπερθερμάνσεως ύπό σταθεράν πίεσιν P_1 .

Μέ όλικήν θερμότητα i_1 άντιστοιχόν τοϋ σημείου 1 ὁ ύδρατμός εισέρχεται εις την μηχανήν καί έκτονοϋται άδιαβατικῶς κατά την 1-2 μέχρι τής τελικῆς πίεσεως P_2 .

Άπό τὸ σημείον 2 έως 3 ὁ ύδρατμός άποβάλλει την λανθάνουσαν θερμότητά του έντός τοϋ συμπυκνωτοϋ καί υγροποιεΐται.

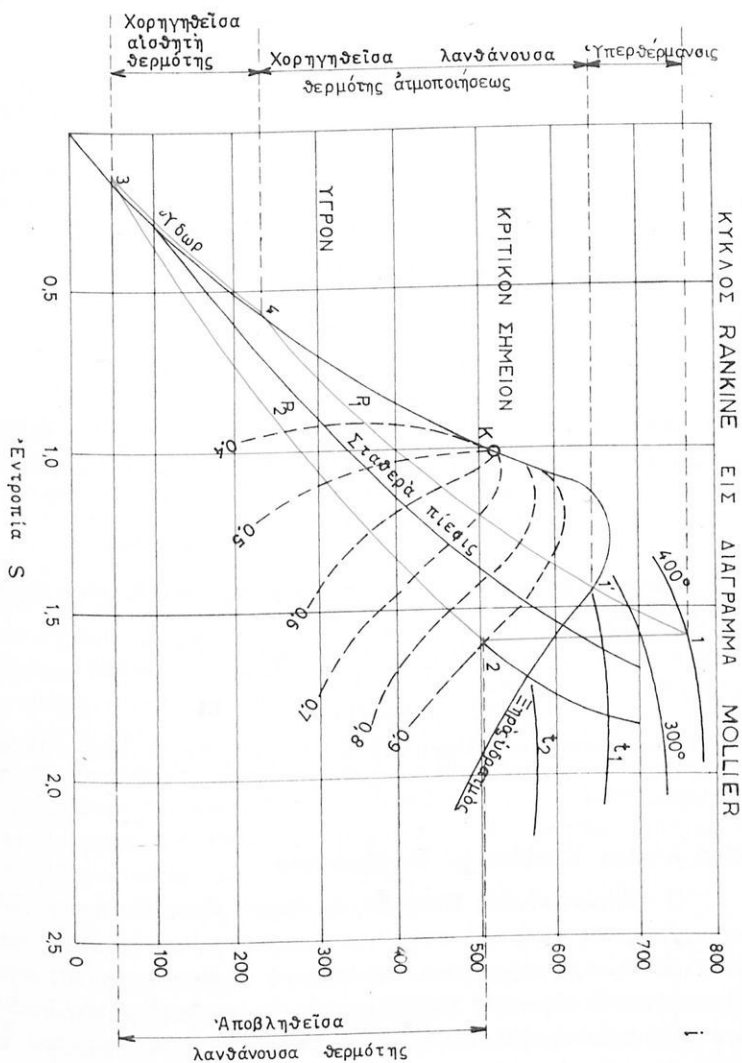
Τὸ παραγόμενον έργον τοϋ κύκλου είναι ή θερμική πτώσις $i_1 - i_2$, ή όποία αναγινώσκεται άπ' εύθείας επί τοϋ άξονος τής όλικῆς θερμότητος i.

Άπό τὸ διάγραμμα αναγινώσκονται έπίσης :

- α) Η τελική κατάσταση τοϋ άτμοϋ εις την έξαγωγήν (σημείον 2).
- β) Η θερμοκρασία ύδρατμοϋ έξαγωγῆς t_2 , ή όποία θά είναι άντιστοιχος τοϋ P_2 .
- γ) Τὸ ποσόν θερμότητος, ποϋ άπορροφεϊ τὸ ύδωρ διὰ νά άτμοποιηθῇ ή ποϋ άποβάλλει διὰ νά συμπυκνωθῇ.

Παράδειγμα.

Εις ένα τυπικόν κύκλον Rankine, ὁ όποίος εργάζεται με ύδρατμόν πίεσεως 40 kg/cm^2 , με θερμοκρασίαν 400° C (άπό τόν λέβητα) καί με πίεσιν $0,05 \text{ kg/cm}^2$ εις τόν συμπυκνωτήν, νά εύρεθῇ : α) Τὸ χορηγοϋμενον ποσόν θερμότητος. β) Τὸ άποβαλλόμενον ποσόν θερμότητος. γ) Τὸ παραγόμενον έργον. δ) Η θερμική



Σχ. ΙΙ. 4.

απόδοσις. ε) Τò ἔργον τῆς ἀντλίας. στ) Ἡ μέση θερμοκρασία, κατὰ τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ἡ θερμότης. η) Ἡ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια.

Λύσις :

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα Mollier ἢ τοὺς πίνακας ὕδρατμου (ἰδὲ Παράρτημα) λαμβάνομεν τὰς κάτωθι τιμὰς: $i_1 = 766,8 \text{ kcal}$, $i_2 = 492 \text{ kcal}$, $p_2 = 32,5$.

Ἐντροπία ἀτμοῦ $S_\alpha = 1,6175$, Ἐντροπία ὕδατος $S_\nu = 0,1123$ (ἀπὸ τὸν Πίνακα 7 τοῦ Παραρτήματος δι' ἀναγωγῆς εἰς $t = 32,5^\circ\text{C}$ ὕδατος).

α) Τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος $H_1 = i_1 - p_2 = 766,8 - 32,5 = 734,3 \text{ kcal/kg}$.

β) Τὸ ἀποβαλλόμενον ποσὸν θερμότητος $H_2 = i_2 - p_2 = 492 - 32,5 = 459,5 \text{ kcal/kg}$.

γ) Τὸ παραγόμενον ἔργον $i_1 - i_2 = 766,8 - 492 = 274,8 \text{ kcal/kg}$

$$\eta \quad H_1 - H_2 = 734,3 - 459,5 = 274,8 \text{ kcal/kg.}$$

$$\delta) \text{ Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις } = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - p_2} = \frac{766,8 - 492}{766,8 - 32,5} = 0,37 \quad \eta \quad 37\%$$

$$\eta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{734,3 - 459,5}{734,3} = 0,37.$$

ε) Τὸ ἔργον ἀντλίας ἐκ τῆς ἰσότητος (147) εἶναι $W = \frac{(P_1 - P_2) \nu}{J}$ εἰς kcal ἀνὰ kg, ὅπου $P_1 = 40 \text{ kg/cm}^2$, $P_2 = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ καὶ ν ὁ εἰδικὸς ὄγκος ὕδατος εἰς θερμοκρασίαν τροφοδοτήσεως $32,5^\circ\text{C}$ καὶ $\nu = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ (ἀπὸ τὸν Πίνακα 7)

$$\eta \quad W = \frac{(40 - 0,05) 10\,000 \times 0,001}{427} = 0,9 \text{ kcal/kg.}$$

στ) Ἡ μέση θερμοκρασία T , κατὰ τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ἡ θερμότης, εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (84) $(S_\alpha - S_\nu) \cdot T = H_1$

$$\text{καὶ} \quad T = \frac{H_1}{S_\alpha - S_\nu} = \frac{734,3}{1,6175 - 0,1123} = 489,5^\circ \text{ K}$$

$$\eta \quad t = 489,5 - 273 = 216,5^\circ \text{ C.}$$

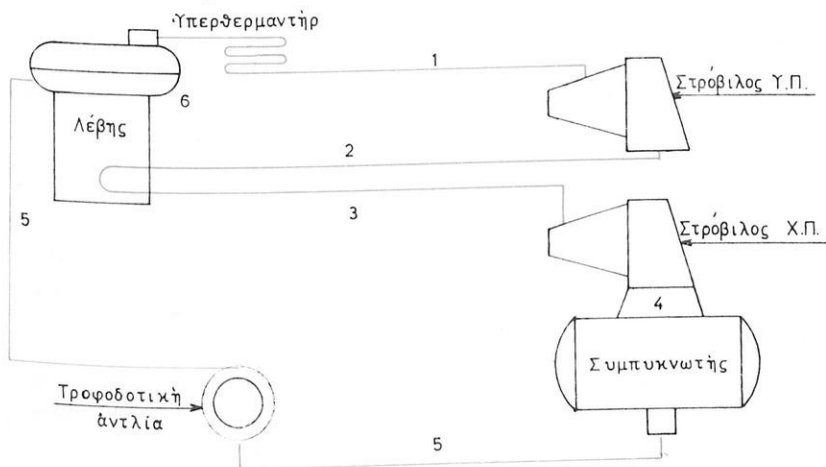
ζ) Μὲ θερμοκρασίαν περιβάλλοντος 15° C ἡ μὴ μετατρέψιμος ἐνέργεια θὰ ἰσοῦται μὲ $(S_\alpha - S_\nu) \cdot T_2 = (1,6175 - 0,1123) \times 288 = 433,44 \text{ kcal ἀνὰ kg}$ (ἰδὲ παράγρ. 7.5).

11.5 Κύκλος Rankine μὲ ἀναθέρμανσιν.

Ὁ τυπικὸς κύκλος Rankine, ὡς περιεγράφη εἰς προηγουμένας παραγράφους, εἶναι δυνατόν νὰ ὑποστῇ τροποποιήσεις καὶ νὰ μετατραπῇ π.χ. εἰς *κύκλον Rankine μὲ ἀναθέρμανσιν*. Εἰς τὸν κύκλον αὐτὸν ὁ ὕδρατμος λαμβάνεται ἀπὸ μίαν ἐπιθυμητὴν διαβάθμισιν ἑνὸς ἀτμοστροβίλου (συνήθως ὅταν ἡ κατάστασις τοῦ ὕδρατμου εἶναι εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ ξηροῦ) καὶ ὁδηγεῖται ἐκ νέου εἰς τὸν λέβητα, ἀναθερμαίνεται καὶ καθίσταται πάλιν ὑπέρθερος.

Μία διάταξις τοῦ εἶδους αὐτοῦ δι' ἀναθέρμανσιν τοῦ ὕδρατμου ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 11.5.

Ο υδρατμός υψηλής πίεσεως, υπέρθερμος, εισέρχεται εἰς τὸν στρόβιλον ὑψηλῆς πίεσεως (σημεῖον 1), ἐκτονοῦται καὶ ἐξερχόμενος ἀπὸ αὐτὸν ὁδηγεῖται πάλιν εἰς τὸν λέβητα (σημεῖον 2), ὅπου ὑπερ-



Σχ. 11.5.

θερμαίνεται ἐκ νέου ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν. Ὁδηγεῖται ἐν συνεχείᾳ εἰς τὸν στρόβιλον χαμηλῆς πίεσεως (σημεῖον 3) καὶ συμπληρώνει τὴν ἐκτόνωσίν του μέχρι τῆς τελικῆς πίεσεως (σημεῖον 4). Τέλος ὁ υδρατμός εισέρχεται εἰς τὸν συμπυκνωτήν, ὑγροποιεῖται καὶ ὁδηγεῖται μέσω τῆς ἀντλίας τροφοδοτήσεως εἰς τὸν λέβητα (σημεῖον 5). Τὸ ὕδωρ ἀπορροφεῖ κατ' ἀρχὰς ἐντὸς τοῦ λέβητος αἰσθητὴν θερμότητα καὶ ἡ θερμοκρασία του ἀνέρχεται εἰς ἐκείνην τοῦ βρασμοῦ (σημεῖον 6)· ἐν συνεχείᾳ ἀτμοποιεῖται, εισέρχεται εἰς τὸν ὑπερθερμαντήρα καὶ ἐκεῖθεν ὁδηγεῖται ἐκ νέου εἰς τὸν στρόβιλον Υ.Π.

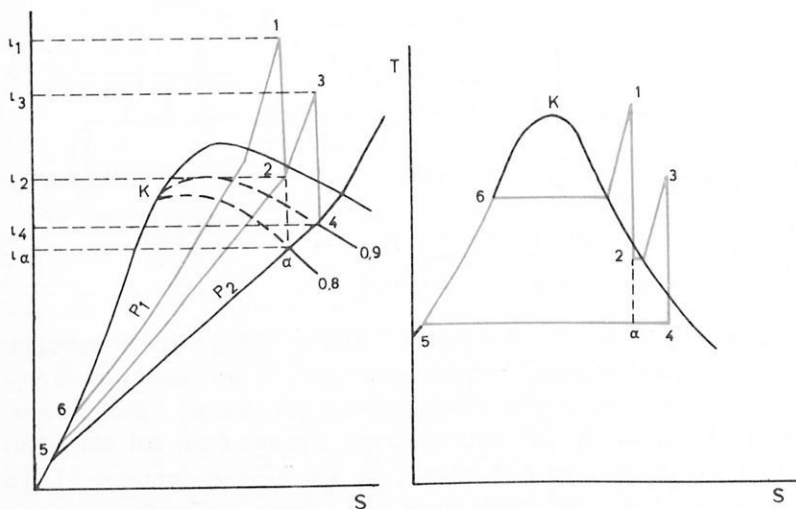
Τὰ ἀποτελέσματα τῆς ἀναθερμάνσεως τοῦ ἀτμοῦ εἶναι :

- α) Αὐξησης τοῦ παραγομένου ἔργου ἀνὰ kg ὑδρατμοῦ.
- β) Ὁ υδρατμός ἔχει ὑψηλὸν βαθμὸν ξηρότητος εἰς τὰς τελευταίας διαβαθμίσεις τοῦ στρόβιλου Υ.Π. καὶ οὕτως ἀποφεύγονται αἱ μηχανικαὶ διαβρώσεις ἀπὸ τὰ ἐν αἰωρήσει σταγονίδια ὕδατος τοῦ ὑγροῦ ὑδρατμοῦ.
- γ) Ἐλαττοῦνται αἱ ἀπώλειαι λόγω τριβῶν τοῦ ὑδρατμοῦ, αἱ ὁποῖαι εἶναι τόσον μεγαλύτεραι, ὅσον ὁ υδρατμός εἶναι ὑγρότερος.

- δ) Μικρά βελτιώσεις της θερμικής αποδόσεως (περίπου 1%), ή όποια εξαρτάται από τόν βαθμόν της αναθερμάνσεως εἰς τήν πίεσιν, ὑπό τήν ὁποίαν ἐκτελεῖται ἡ ἀναθέρμανσις.

11·6 Ἀναθερμαινόμενος κύκλος Rankine εἰς διάγραμμα i - S καὶ T - S .

Εἰς τὸ σχῆμα 11·6 α παρίσταται ὁ ἀναθερμαινόμενος κύκλος Rankine εἰς ἄξονας i - S καὶ T - S .



Σχ. 11·6 α.

Τὰ σημεῖα 1, 2, 3 κ.λπ. ἀντιστοιχοῦν μὲ ἐκεῖνα τοῦ σχήματος 11·5. Ἡ ἀλλαγὴ 5-6 εἶναι ἡ θέρμανσις τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ λέβητος πρὸς ἀπόκτησιν τῆς θερμοκρασίας βρασμοῦ εἰς τήν πίεσιν τοῦ λέβητος. Ἡ ἀλλαγὴ 6-1 εἶναι ἡ ἀτμοποίησης καὶ ὑπερθέρμανσις, ἡ 1-2 ἡ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις ἐντὸς τοῦ στροβίλου Ὑ.Π. Ἡ ἀλλαγὴ 2-3 εἶναι ἡ ἀναθέρμανσις καὶ ἐκ νέου ὑπερθέρμανσις τοῦ ὕδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ λέβητος. Ἡ ἀλλαγὴ 3-4 εἶναι ἡ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις τοῦ ὕδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ στροβίλου τῆς Χ.Π. καὶ τέλος ἡ ἀλλαγὴ 4-5 ἡ συμπύκνωσις τοῦ ὕδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ (δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν τὸ ἔργον τῆς ἀντλίας).

Θερμική απόδοσις.

$$\text{'Η θερμική απόδοσις είναι: } \eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}.$$

‘Η χορηγούμενη θερμότης θά είναι τὸ ἄθροισμα τῆς θερμότητος, ποὺ χορηγεῖται εἰς τὸ ὕδωρ ἐντὸς τοῦ λέβητος, καὶ τοῦ ὑπερθερμαντῆρος καὶ τῆς θερμότητος ἀναθερμάνσεως, δηλαδή:

$$H_1 = (i_1 - p_5) + (i_3 - i_2).$$

‘Η ἀποβληθεῖσα θερμότης $H_2 = i_4 - p_5$. Ἐπομένως:

$$\eta_{\theta} = \frac{(i_1 - p_5) + (i_3 - i_2) - (i_4 - p_5)}{(i_1 - p_5) + (i_3 - i_2)} \quad \text{καὶ}$$

$$\eta_{\theta} = \frac{(i_1 - i_2) + (i_3 - i_4)}{(i_1 - p_5) + (i_3 - i_2)} \quad (149)$$

Ὁ ἀριθμητὴς κλάσματος, δηλαδή τὸ ἄθροισμα τῆς θερμικῶν πτώσεων τοῦ ἀτμοῦ πρὸ καὶ μετὰ τὴν ἀναθέρμανσιν, μᾶς δίδει τὸ παραγόμενον ἔργον, ἥτοι:

$$W = (i_1 - i_2) + (i_3 - i_4) \quad (150)$$

Σύγκρισις με τυπικὸν κύκλον Rankine.

Μὲ τυπικὸν κύκλον ἄνευ ἀναθερμάνσεως ἢ ἐκτόνωσις ἐντὸς τοῦ στροβίλου θά ἦτο ἡ 1-α (σχ. 11.6α). Ὁ ὕδρατμος εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως (σημεῖον α) εἶναι ὑγρότερος ἀπὸ τὸν κύκλον με ἀναθέρμανσιν (σημεῖον 4).

Τὸ παραγόμενον ἔργον εἰς τὸν τυπικὸν κύκλον εἶναι $W = i_1 - i_{\alpha}$ καὶ εἶναι μικρότερον ἐκείνου τῆς ἰσότητος (150), ὡς ἐμφάνεται καὶ εἰς τὸ σχῆμα 11.6α.

Τέλος ἡ ἀπόδοσις τοῦ τυπικοῦ κύκλου θά εἶναι ὡς ἡ ἰσότης (148), ἥτοι $\eta_{\theta} = \frac{i_1 - i_{\alpha}}{i_1 - p_5}$ (p_5 εἶναι ἡ αἰσθητὴ θερμότης ὕδατος, ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν πίεσιν P_2 τοῦ συμπυκνωτοῦ).

Παράδειγμα.

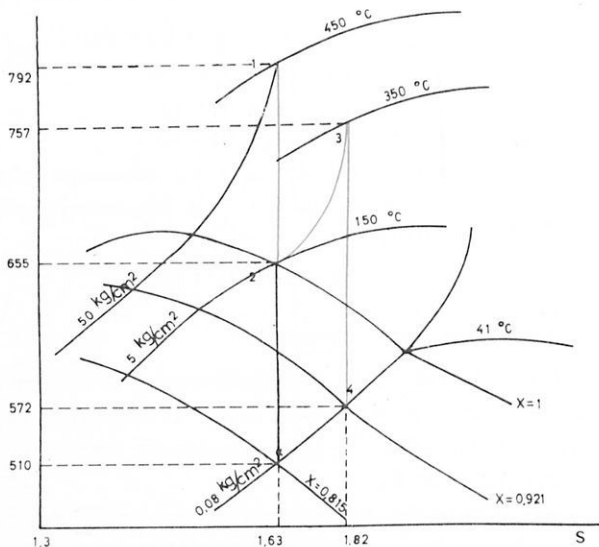
Εἰς ἀναθερμαινόμενον ἰδανικὸν κύκλον Rankine ὁ ὕδρατμος εἰσέρχεται εἰς τὸν στρόβιλον με πίεσιν 50 kg/cm^2 καὶ θερμοκρασίαν 450°C . Μετὰ τὴν ἐκτόνωσίν του ἐντὸς τοῦ στροβίλου μέχρι πίεσεως 5 kg/cm^2 ὁ ὕδρατμος ὀδηγεῖται ἐκ νέου εἰς τὸν λέβητα καὶ ἀναθερμαίνεται μέχρι θερμοκρασίας 350°C . Ἡ πίεσις τοῦ συμπυκνωτοῦ εἶναι $0,08 \text{ kg/cm}^2$.

Ζητείται διὰ χρήσεως τοῦ διαγράμματος Mollier καὶ πινάκων :

α) Ἡ χορηγούμενη θερμότης. β) Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης. γ) Τὸ παραγόμενον ἔργον. δ) Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις. ε) Ἡ μέση θερμοκρασία, μετὰ τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ἡ θερμότης. στ) Ἡ σύγκρισις παραγομένου ἔργου, θερμικῆς ἀποδόσεως καὶ μέσης θερμοκρασίας, ἐὰν ὁ κύκλος ᾗτο τυπικὸς κύκλος Rankine ἂνευ ἀναθερμάνσεως.

Λύσις :

Ἐπὶ τοῦ διαγράμματος Mollier (βλ. Παράρτημα πινάκων) χαράσσεται ὁ κύκλος ὡς εἰς τὸ σχῆμα 11.6β.



Σχ. 11.6 β.

ὅπου: 1-2 εἶναι ἡ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις πρὸ τῆς ἀναθερμάνσεως, 2-3 ἡ ἀναθέρμανσις, 3-4 ἡ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις μετὰ τὴν ἀναθέρμανσιν καὶ 1-4 ἡ ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις εἰς τυπικὸν κύκλον.

α) Χορηγούμενη θερμότης $H_1 = (i_1 - p_4) + (i_3 - i_2) = (792 - 41) + (757 - 655)$
καὶ $H_1 = 853$ kcal ἀνὰ kg ὕδρατος.

β) Ἀποβαλλομένη θερμότης $H_2 = i_4 - p_4 = 572 - 41$ καὶ $H_2 = 531$ kcal ἀνὰ kg.

γ) Παραγόμενον ἔργον $W = H_1 - H_2 = 853 - 531$ καὶ $W = 322$ kcal ἀνὰ kg.

ἢ $W = (i_1 - i_2) + (i_3 - i_4) = (792 - 655) + (757 - 572) = 322$ kcal/kg.

δ) Θερμικὴ ἀπόδοσις $\eta_\theta = \frac{(i_1 - i_2) + (i_3 - i_4)}{(i_1 - p_4) + (i_3 - i_2)} = \frac{322}{751 + 102} = \frac{322}{853} = 0,3775$
ἢ $\eta_\theta = 37,75 \%$.

$$\text{Επίσης } \eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{322}{853} = 37,75\%.$$

ε) Μέση θερμοκρασία, με την όποια χορηγείται η θερμότης :

$$t_{\mu} = \frac{H_1}{S_3 - S_u} - 273,$$

όπου : S_3 είναι η έντροπία ύδρατμου εις σημείον 3 = 1,82 (από το διάγραμμα), S_u η έντροπία ύδατος εις 41° C = 0,1365 (από τον Πίνακα 7), H_1 η χορηγουμένη θερμότης = 853 kcal/kg και

$$t_{\mu} = \frac{853}{1,82 - 0,1365} - 273 = \frac{853}{1,7} - 273 \quad \text{και} \quad t_{\mu} = 228,7^{\circ} \text{C}.$$

στ) Εις τον τυπικόν κύκλον Rankine άνευ άναθερμάνσεως θα είναι :

Παραγόμενον έργον $W = i_1 - i_a = 792 - 510$ και $W = 282$ kcal.

$$\text{Η απόδοσις } \eta_{\theta} = \frac{282}{792 - 41} = \frac{282}{751} = 0,3754 \quad \eta \quad \eta_{\theta} = 37,54\%.$$

Η μέση θερμοκρασία $t_{\mu} = \frac{H_1}{S_1 - S_u} - 273$, όπου : $H_1 = 751$ kcal/kg

$S_1 = 1,63$ (από το διάγραμμα). $S_u = 0,1365$

$$\text{και} \quad t_{\mu} = \frac{751}{1,63 - 0,1365} - 273 = \frac{751}{1,5} - 273 = 227^{\circ} \text{C}.$$

11.7 Αυτόαναθερμαινόμενος κύκλος Rankine.

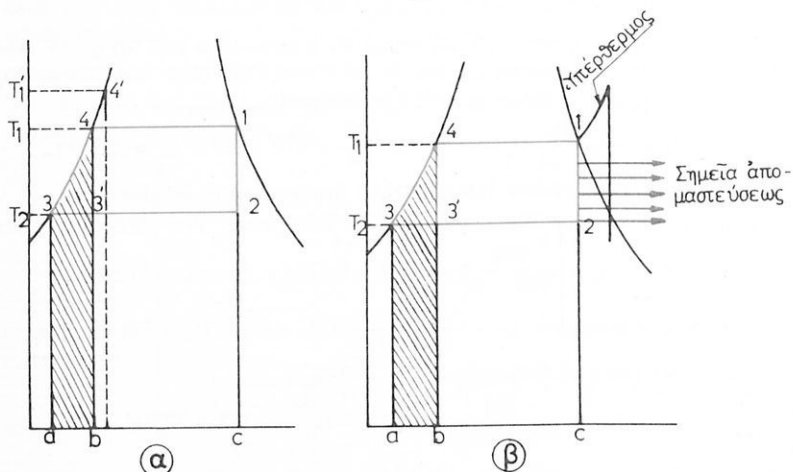
Εις το σχήμα 11.7, παρατηρούμεν ότι ο κύκλος Rankine (α) 1-2-3-4 θα ήδύνατο να μετατραπῇ εις κύκλον Carnot (β) 1-2-3'-4, εάν έμηνενίζετο η γραμμοσκιασμένη επιφάνεια 3-4-b-α.

Η επιφάνεια αυτή παριστᾷ, ως γνωστόν, την αίσθητήν θερμότητα, πού απορροφεί το ύδωρ εντός του λέβητος δια να άνέλθη η θερμοκρασία του από την θερμοκρασίαν χαμηλῆς πίεσεως P_2 του συμπυκνωτου εις την θερμοκρασίαν τῆς ύψηλῆς πίεσεως P_1 του λέβητος. Έπομένως εις τον τυπικόν και τον άναθερμαινόμενον κύκλον Rankine (παράγρ. 11.2 και 11.5) ψυχρὸν ύδωρ καταθλίβεται εντός του θερμου ύδατος του λέβητος κατὰ τρόπον άντιοικονομικόν (μη άναστρέψιμον).

Διὰ να μηδενισθῇ όμως η δια να ελάττωθῇ εις το ελάχιστον η επιφάνεια 3-4-b-α, θα πρέπει το εισερχόμενον εντός του λέβητος ύδωρ να έχη θερμοκρασίαν ίσην η ὅσον το δυνατόν πλησιεστέραν με την T_1 .

Από το σχήμα 11.7 παρατηρούμεν επίσης ότι ὅσον η πίεσις του λέβητος αύξάνει, τόσον αύξάνει και η θερμοκρασία T_1 (π.χ. η T_1 αντίστοιχος του σημείου 4'), με αποτέλεσμα οί δύο κύκλοι να απομακρύνωνται ακόμη περισσότερον ο εις από τον άλλον.

Ὅσον ὅμως ὁ κύκλος Rankine ἀπομακρύνεται τοῦ κύκλου Carnot, τόσοι μικρότεροι ἀποδόσιν θὰ ἔχη, δεδομένου ὅτι ὁ δεύτερος ἔχει τὴν μεγίστην θερμικὴν ἀπόδοσιν.



Σχ. 11.7.

Ἐὰν ὑπῆρχε τρόπος τὸ τροφοδοτικὸν ὕδωρ νὰ θερμαίνεται εἰς θερμοκρασίαν ἴσην μὲ τὴν τοῦ λέβητος καὶ μὲ ἐναλλαγὰς θερμότητος (κατὰ ἀναστρέψιμον τρόπον), αἱ ὁποῖαι θὰ ἐπραγματοποιουῖντο ἐντὸς τοῦ κύκλου (ὄχι ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν), τότε ὁ κύκλος Rankine θὰ εἰργάζετο ὡς κύκλος Carnot μὲ ἀνάλογον αὐξησιν τῆς ἀποδόσεως.

Μὲ αὐτὴν τὴν σκέψιν ἐπενοήθη ὁ αὐτοαναθερμαινόμενος κύκλος Rankine. Παρατηροῦμεν ὅτι ἡ ἐπιφάνεια 3-2-c-α εἶναι ἡ θερμότης, ποὺ ἀποβάλλεται ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ. Ἐὰν ἐπομένως ἓνα μέρος τοῦ ὑδρατμοῦ ἐξαγωγῆς ἀπὸ τὴν μηχανὴν ὠδηγεῖτο εἰς προθερμαντῆρα τροφοδοτικοῦ ὕδατος, ἡ θερμότης, ποὺ παρίσταται ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν 3-3'-b-α, θὰ παρέμενεν ἐντὸς τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος καὶ δὲν θὰ ἐχάνετο εἰς τὸν συμπυκνωτὴν.

Ἐπὶ πλέον, ἐὰν δι' ἀπομαστεύσεως ἀφηρεῖτο ἀκόμη ἐνωρίτερον ὑδρατμὸς διὰ προθερμανσιν κατὰ μῆκος τῆς ἐκτονώσεως 1-2, τὸ τροφοδοτικὸν ὕδωρ θὰ ἠδύνατο νὰ ἀποκτήσῃ ἢ πλησιάσῃ τὴν θερμοκρασίαν τῆς ἀτμοποιήσεως T_1 εἰς βάρος τοῦ μηχανικοῦ ἔργου, ποὺ παρίσταται ὑπὸ τοῦ τριγώνου 3-4-3'.

Θεωρητικῶς ἀπαιτεῖται ἀπερίοριστος ἀριθμὸς ἀπομαστεύσεων διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ τοῦτο κατὰ τρόπον ἀναστρέψιμον. Εἰς τὴν πρᾶξιν ὅμως ἀπεδείχθη ὅτι τρεῖς ἕως τέσσαρες προθερμαντῆρες τοποθετημένοι κλιμακωτὰ παρουσιάζουν ἤδη ἀρκετὴν δυσκολίαν εἰς τὴν ἐγκατάστασιν ἐνὸς πλοίου. Ἐπίσης, ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος δι' ἀναθερμάνσεως ἀνέλθῃ ἄνω τῶν 200°C , ἡ ἀπώλεια ἔργου εἰς τὴν μηχανὴν εἶναι σημαντικὴ, λόγω τοῦ ἀπομαστευομένου ὕδρατμου ἀπὸ αὐτὴν, ἐνῶ συγχρόνως ἡ ὑψηλὴ αὐτὴ θερμοκρασία καθιστᾷ προβληματικὴν τὴν ἐκμετάλλευσιν τῆς θερμότητος τῶν καυσαερίων διὰ προθερμάνσεως τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος μέσω *οἰκονομητῶν* τοῦ λέβητος.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν δύναται νὰ καταργηθῇ ὁ οἰκονομητὴρ καὶ νὰ ἀντικατασταθῇ ὑπὸ προθερμαντῆρος ἀέρος, ὁπότε ἐκμεταλλευόμεθα τὴν θερμότητα τῶν καυσαερίων διὰ προθέρμανσιν τοῦ ἀέρος τῆς καύσεως μὲ ἀνάλογον αὐξησιν τῆς ἀποδόσεως τοῦ λέβητος.

Εἰς συγχρόνους ἐγκαταστάσεις ἀτμοστροβίλων πλοίων ὑπάρχουν τρεῖς ἕως τέσσαρες ἀπομαστεύσεις ὡς ἀνωτέρω μὲ ἀποτέλεσμα τὴν βελτίωσιν τῆς ἀποδόσεως (Κεφάλ. 13).

Εἰς ἐγκαταστάσεις ξηρᾶς μὲ λίαν ὑψηλὰς πιέσεις καὶ θερμοκρασίας ὕδρατμου, τὰ σημεῖα ἀπομαστεύσεως εἶναι περισσότερα ἀπὸ τέσσαρα. Παράδειγμα ἡ σύγχρονος ἐγκατάστασις σταθμοῦ ἠλεκτροπαραγωγῆς εἰς Φιλαδέλφειαν Η.Π.Α. μὲ παραγωγὴν $275\,000\text{ kW}$. Χρησιμοποιεῖται ὕδρατμος πιέσεως 5000 lb/in^2 , θερμοκρασίας 1200°F . Ὑπάρχουν ἐννέα ἀπομαστεύσεις διὰ προθέρμανσιν τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος (ἡ θερμοκρασία τοῦ τροφ. ὕδατος φθάνει τοὺς 550°F) καὶ δύο ἀναθερμάνσεις ὕδρατμου, ἐκάστη μέχρι 1050°F .

11.8 Ἄλλαι τροποποιήσεις εἰς τὸν τυπικὸν κύκλον Rankine.

Εἰς τὰς προηγουμένας παραγράφους ἀνεφέρθη ὅτι ἐκτὸς τοῦ τυπικοῦ κύκλου Rankine (σχ. 11.2 καὶ 11.3) ὑπάρχει ὁ ἀναθερμαινόμενος κύκλος Rankine (σχ. 11.5 καὶ 11.6) καὶ ὁ αὐτοαναθερμαινόμενος κύκλος (σχ. 11.7).

Δύναται ἐπίσης νὰ πραγματοποιηθῇ κύκλος Rankine, ὁ ὁποῖος νὰ συνδυάζῃ ἀναθέρμανσιν καὶ αὐτοαναθέρμανσιν.

Εἰς ὅλους τοὺς προηγουμένους κύκλους Rankine, οἱ ὁποῖοι καλοῦνται καὶ *πλήρους ἐκτονώσεως*, ὁ ὕδρατμος ἐκτονοῦται εἰς τὴν

Ίδανική απόδοση κύκλου Rankine ανά lb ύδατος

Κατάσταση εισερχομένου ατμού	$P = \text{lb./in.}^2$	100	200	300	500	750	1000	1500	2000	3000	3206,2	4000	5500
Ξηρος κεκορεσμένος	$W = \text{BTU/lb}$ η_{θ}	325	367	390	417	436	444	449	444	395	332	—	—
		0,285	0,319	0,338	0,361	0,378	0,388	0,401	0,408	0,406	0,389	—	—
Υπέρθερμος 750° F	$W = \text{BTU/lb}$ η_{θ}	423	455	482	505	521	529	533	527	491	480	397	306
		0,312	0,337	0,358	0,378	0,393	0,404	0,416	0,424	0,427	0,427	0,412	0,388
Υπέρθερμος 1000° F	$W = \text{BTU/lb}$ η_{θ}	498	537	558	586	604	616	629	636	636	635	629	606
		0,336	0,363	0,378	0,398	0,412	0,423	0,436	0,446	0,456	0,458	0,463	0,466
Υπέρθερμος 1500° F	$W = \text{BTU/lb}$ η_{θ}	671	723	745	775	795	810	829	839	852	853	857	861
		0,383	0,413	0,426	0,443	0,455	0,465	0,478	0,486	0,498	0,499	0,505	0,514

β) 'Εάν ή πίεσις τοῦ λέβητος ἀνυψοῦται (μέ τήν αὐτήν τελικήν θερμοκρασίαν), τότε ή γραμμή ἀτμοποιήσεως ἀνυψοῦται ἀπό τήν 4-1 ἕως τήν 4'-1 καί τὸ παραγόμενον ἔργον 1'-α-3'-4' εἶναι μεγαλύτερον τοῦ 1-2'-3'-4 (σχ. 11·9).

Εἰς τήν περίπτωσιν αὐτήν βεβαίως χορηγεῖται καί περισσότερα θερμότης εἰς τὸν κύκλον, τὸ μεγαλύτερον ποσοστὸν τῆς ὁποίας μετατρέπεται εἰς ἔργον.

Κατόπιν τούτου ἀπεδείχθη ὅτι ἐγκαταστάσεις μέ μεγαλύτερας πιέσεις ἔχουν καλυτέραν ἀπόδοσιν ἀπὸ αὐτάς μέ μικροτέρας πιέσεις.

Πάντως εἰς περίπτωσιν ὑψηλῶν πιέσεων αὐξάνεται ή αἰσθητή θερμότης καί ἐλαττοῦται ή λαθάνουσα κατὰ τήν ἀτμοποίησιν τοῦ ὕδατος. Οὕτως ὁ κύκλος Rankine ἀπομακρύνεται ἀκόμη περισσότερο τοῦ κύκλου Carnot. Περαιτέρω βελτίωσις τῆς ἀποδόσεως ἐπιτυγχάνεται, ὅταν ὁ κύκλος μετατραπῇ εἰς αὐτοαναθερμαινόμενον (παράγρ. 11·7).

γ) 'Εάν ή θερμοκρασία τοῦ ὑδρατμοῦ αὐξηθῇ, τότε χρήσις ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ ἀντὶ ξηροῦ ἢ ὑγροῦ μέ τὰ αὐτὰ ὅρια πίεσεως βελτιώνει τήν ἀπόδοσιν τοῦ κύκλου Rankine. Εἰς τήν περίπτωσιν μάλιστα αὐτήν ή βελτίωσις τῆς θερμικῆς ἀποδόσεως τοῦ πραγματικοῦ κύκλου εἶναι μεγαλύτερα ἀπὸ τήν ἀντίστοιχον τοῦ θεωρητικοῦ κύκλου.

Μικρά σταγονίδια ὕδατος κινούμενα ἐντὸς τοῦ ὑδρατμοῦ μέ μεγάλην ταχύτητα κατὰ μῆκος τῶν περυγίων τοῦ στροβίλου, ἐκτὸς τοῦ ὅτι ἔχουν διαβρωτικήν ἱκανότητα αὐξάνουν καί τὰς ἀπώλειαις λόγω τριβῶν.

'Απὸ τὸ σχῆμα 11·9 παρατηροῦμεν ὅτι ὅσον μεγαλύτερα εἶναι ή πίεσις διὰ μίαν δεδομένην ἀρχικὴν θερμοκρασίαν, τόσο ὑγρότερος εἶναι ὁ ὑδρατμός εἰς τήν ἐξαγωγήν. (Τὸ σημεῖον α συγκρινόμενον μέ τὸ σημεῖον 2'). 'Επομένως εἰς ὑψηλοτέρας πιέσεις ή ὑπερθέρμανσις εἶναι ἀκόμη περισσότερο ἐπιθυμητή, ὥστε ὁ ὑδρατμός νὰ μὴ εἶναι πολὺ ὑγρὸς εἰς τὰς τελευταίας διαβαθμίσεις χαμηλῶν πιέσεων ἑνὸς ἀτμοστροβίλου.

'Η χρήσις ὑπερθέρμου ἀτμοῦ καί εἰς τήν παλινδρομικὴν μηχανὴν βελτιώνει τήν ἀπόδοσιν τῆς, διότι ἐλαττοῦνται αἱ θερμικαὶ ἀπώλειαι (παράγρ. 12·10).

'Ο Πίναξ 11·9·1 δίδει χαρακτηριστικὰ στοιχεῖα τῆς ἀποδόσεως τοῦ κύκλου Rankine συναρτήσῃ πίεσεως καί θερμοκρασίας τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τήν εἰσαγωγήν μέ πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ 0,5 lb/in².

11·10 Παραγωγή ὑδρατμοῦ ἄνω τοῦ κριτικοῦ σημείου.

Εἶναι δυνατὴ ή παραγωγή ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ ἀπὸ ὕδωρ, χωρὶς νὰ μεσολαβήσῃ ή φάσις τοῦ ὑγροῦ ὑδρατμοῦ.

Πρὸς τοῦτο πρέπει νὰ ἀνέλθῃ ή πίεσις τοῦ ὕδατος ὀλίγον ἄνωθεν τῆς κριτικῆς πίεσεως (225 kg/cm²) καί ἐν συνεχείᾳ νὰ θερμανθῇ ἄνω τῆς κριτικοῦ θερμοκρασίας 374° C.

'Η φάσις αὕτη παρίσταται ἀπὸ τὸ σχῆμα 11·10 καί διευτυπώθη ὑπὸ τοῦ Schule.

'Εάν τὸ ὕδωρ θερμαίνεται μέ συνεχῇ αὐξήσιν τῆς πίεσεώς του οὕτως,

ὕδωρ μετατρέπεται εἰς ὑπέρθερμον ὑδρατμόν, χωρὶς νὰ ὑπάρχη καθωρισμένον σημεῖον, εἰς τὸ ὁποῖον σταματᾷ ἡ ὑγρὰ καὶ ἀρχεται ἡ ἀέριος κατάστασις τοῦ ὑδρατμοῦ. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον παράγεται ὑπέρθερμος ὑδρατμός χωρὶς τὸ φαινόμενον τοῦ βρασμοῦ, τὸ ὁποῖον ὀφείλεται εἰς τὴν ἐνδιάμεσον φάσιν τοῦ ὑγροῦ ὑδρατμοῦ.

Ἐπειδὴ ἡ πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ εἶναι τώρα πολὺ ὑψηλὴ διὰ πρακτικὴν χρῆσιν, δύναται νὰ ἐλαττωθῇ διὰ στραγγαλισμοῦ, κατὰ τὴν διάρκειαν τοῦ ὁποῖου ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ἀτμοῦ παραμένει σταθερά.

Ἡ ἐπιτυχὴς ἐκλογὴ ὅμως τοῦ σημείου, ποῦ θὰ ἀρχίσῃ ὁ στραγγαλισμὸς τοῦ ἀτμοῦ, εἶναι βασικὸν στοιχεῖον. Ἐὰν ὁ στραγγαλισμὸς ἀρχίσῃ εἰς τὸ σημεῖον B, τότε ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ BB₁ συναντᾷ τὴν γραμμὴν τοῦ ὕδατος εἰς τὸ B₁ καὶ ἐπομένως ὁ ὑδρατμός θὰ ὑγροποιηθῇ τελείως.

Ἐὰν ὁ στραγγαλισμὸς ἀρχίσῃ εἰς τὸ Γ, τότε ἡ γραμμὴ στραγγαλισμοῦ συναντᾷ τὴν γραμμὴν ξηροῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὸ Γ₁ καὶ ὁ ὑδρατμός αὐτὸς δύναται ἐν συνεχείᾳ ἀπὸ τὸ Γ₁ νὰ ἐκτονωθῇ ἐντὸς ἀτμοστροβίλου.

Ἐὰν ὅμως ἀπὸ τὸ σημεῖον Γ₁ τοῦ σχήματος χαράξωμεν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν, θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι ὁ ὑδρατμός ταχέως θὰ μεταβληθῇ καὶ εἰς πολὺ ὑγρόν. Θὰ πρέπει ἐπομένως νὰ ἀναθερμανθῇ καὶ ὑπερθερμανθῇ ἐκ νέου κατὰ τὴν γραμμὴν σταθερᾶς πίεσεως Γ₁Z καὶ ἐν συνεχείᾳ ἀπὸ τὸ σημεῖον Z νὰ ἐκτονωθῇ ἐντὸς τοῦ στροβίλου ἀδιαβατικῶς κατὰ τὴν ZZ₁. Ἐὰν ὁ στραγγαλισμὸς ἤρχιζεν ἀπὸ τὸ σημεῖον E, τότε ὁ ὑδρατμός οὐδέποτε θὰ μετεβάλετο εἰς ὑγρόν κατὰ τὸν στραγγαλισμόν.

11.11 Εἰδικὴ κατανάλωσις ὑδρατμοῦ. Εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος.

Εἰς μίαν θερμικὴν ἐγκατάστασιν ὑδρατμοῦ *εἰδικὴ κατανάλωσις εἶναι τὸ ποσὸν τοῦ ἀπαιτουμένου ὑδρατμοῦ ἀνὰ ὥριαιον ἵππον ἢ ἀνὰ κιλοβαττωρίον*. Οὕτως, ἔαν :

W εἶναι τὸ ἔργον εἰς kcal ἀνὰ kg ἢ BTU ἀνὰ lb ὑδρατμοῦ, ποῦ δίδει ἡ ἐγκατάστασις, καὶ E_k ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις ὑδρατμοῦ, θὰ εἶναι :

$$E_k = \frac{632}{W} = \text{kg ὑδρατμοῦ/HP, h} \quad (151)$$

$$\text{ἢ} \quad E_k = \frac{860}{W} = \text{kg ὑδρατμοῦ/kW, h} \quad (152)$$

$$\text{ἢ} \quad E_k = \frac{2545}{W} = \text{lb ὑδρατμοῦ/HP, h} \quad (153)$$

$$\text{ἢ} \quad E_k = \frac{3413}{W} = \text{lb ὑδρατμοῦ/kW, h} \quad (154)$$

Ἡ ἀπόδοσις δύο μηχανῶν δύναται νὰ συγκριθῇ μὲ βάσιν τὴν εἰδικὴν κατανάλωσιν ὑδρατμοῦ μόνον ἐὰν χρησιμοποιῶν ὑδρατμόν τῆς αὐτῆς ποιότητος.

Διὰ νὰ συγκρίνωμεν ἀτμομηχανὰς ἀνεξαρτήτως τῆς ποιότητος τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὴν εἰσαγωγὴν ἀλλὰ καὶ ἀτμομηχανὰς μὲ ἄλλους τύπους μηχανῶν, χρησιμοποιοῦμεν τὴν *εἰδικὴν κατανάλωσιν θερμότητος*, ἡ ὁποία εὐρίσκεται, ἐὰν ἀντικατασταθῇ ὁ παρονομαστής W τῶν ἀνωτέρω ἰσοτήτων διὰ τῶν ἀποδόσεων ἐκάστης μηχανῆς, ὡς αὐταὶ ἀναφέρονται εἰς τὴν παράγραφον 12·12, 13·11 καὶ 13·12 (ἰδὲ καὶ παράδειγμα παραγρ. 12·12).

Οὕτως, ἐὰν : h_k εἶναι ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος καὶ ἡ ἡ ἀπόδοσις τῆς μηχανῆς θὰ ἰσχύουν αἱ κάτωθι ἰσότητες :

$$h_k = \frac{632}{\eta} = \text{kcal/HP, h} \quad (155)$$

$$\tilde{\eta} \quad h_k = \frac{860}{\eta} = \text{kcal/kW, h} \quad (156)$$

$$\tilde{\eta} \quad h_k = \frac{2545}{\eta} = \text{BTU/HP, h} \quad (157)$$

$$\tilde{\eta} \quad h_k = \frac{3413}{\eta} = \text{BTU/kW, h} \quad (158)$$

ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΗ

12.1 Γενικά.

Αἱ παλινδρομικαὶ ἀτμομηχαναὶ ἦσαν αἱ πρῶται, ποὺ ἀνεπτύχθησαν ἐπιτυχῶς. Δι' ἵπποδυνάμεις ὅμως ἄνω τῶν 750 HP δὲν δύνανται νὰ συναγωνισθοῦν (ὡς πρὸς τὴν θερμικὴν ἀπόδοσιν) τὸν ἀτμοστρόβιλον, ἀλλὰ οὔτε καὶ τὰς M.E.K. (ἰδὲ παράγρ. 11.1).

Οὕτως, ἡ παλινδρομικὴ ἀτμομηχανὴ ὡς κινητηρία μηχανὴ πλοίων ἐξετοπίσθη εἰς μεγάλην ἔκτασιν.

Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις πάντως δὲν εἶναι πάντοτε τὸ βασικὸν κριτήριον μιᾶς μηχανικῆς ἐγκαταστάσεως. Ἐὰν ὁ ἐφοδιασμὸς δι' ἐνὸς εὐθηνοῦ καυσίμου εἶναι εὐκόλος ἢ ἐὰν ὕδρατμος χρησιμοποιοῖται ὡς ἐργαζόμενον θερμοδυναμικὸν μέσον, ἡ χρῆσις παλινδρομικῆς ἀτμομηχανῆς δικαιολογεῖται λαμβανομένου ὑπ' ὄψιν ὅτι :

α) Παρουσιάζει μεγάλην εὐκαμψίαν εἰς ἀλλαγὰς ταχύτητος.

β) Δίδει πλήρη ἰσχὺν καὶ κατὰ τὴν κίνησιν τοῦ *ἀνάποδα*.

γ) Χρησιμοποιεῖ οἶονδῆποτε καύσιμον.

δ) Εἶναι εὐκόλος εἰς ἐπισκευὰς καὶ δὲν ἀπαιτεῖ λίαν εἰδικευμένον προσωπικόν.

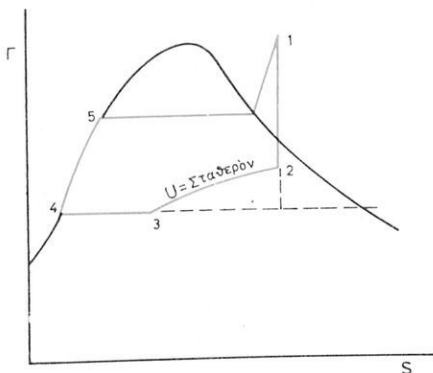
ε) Τὸ κόστος τῶν ἀπαιτουμένων μηχανημάτων εἶναι χαμηλόν. Ἡ παλινδρομικὴ ἀτμομηχανὴ ὡς κινητηρία ἐργάζεται μὲ βάσιν τὸν τροποποιημένον κύκλον Rankine μὲ ὅχι πλήρη ἐκτόνωσιν τοῦ ὕδρατμου. Παλινδρομικαὶ ἀντλῖαι, βαροῦλκα κ.λπ., εἰς τὰ ὁποῖα ἀπαιτεῖται ἡ διατήρησις τῆς μεγίστης πιέσεως κατὰ τὴν διάρκειαν ὅλης τῆς διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου, ἐργάζονται μὲ τροποποιημένον κύκλον Rankine ἄνευ ἐκτονώσεως (παράγρ. 11.8).

12.2 Κύκλος Rankine μὲ ἀτελῇ ἐκτόνωσιν καὶ ἄνευ ἐκτονώσεως.

Οἱ διάφοροι τύποι τοῦ κύκλου Rankine, ποὺ περιεγράφησαν εἰς τὸ Κεφάλαιον 11, εἶναι κύκλοι πλήρους ἐκτονώσεως τοῦ αἵματος μέχρι τῆς τελικῆς πιέσεως τοῦ συμπυκνωτοῦ.

Ὁ ἀτμοστρόβιλος εἶναι ἱκανὸς νὰ ἐκμεταλλευθῇ αὐτὴν τὴν πλήρη ἐκτόνωσιν, ἐνῶ ἡ παλινδρομικὴ ἀτμομηχανὴ ὄχι.

Διὰ πλήρη ἐκτόνωσιν ἡ παλινδρομικὴ μηχανὴ θὰ ἔπρεπε νὰ κατασκευασθῇ μὲ μεγάλην ἐπιφάνειαν καὶ μεγάλην διαδρομὴν ἐμβόλου, διὰ νὰ δυνηθῇ νὰ ὑποδεχθῇ τὸν ὕδρατμόν τῆς λίαν χαμηλῆς πίεσεως τοῦ συμπυκνωτοῦ ἀλλὰ μὲ μέγαν ὄγκον. Τὸ μέγεθος αὐτῆς τῆς μηχανῆς καὶ ἐὰν ἀκόμη δὲν ἐτίθετο ζήτημα χώρου ἢ βάρους, θὰ εἶχεν ὡς ἀποτέλεσμα τὴν σημαντικὴν αὐξησιν τῶν ἀπωλειῶν εἰς τριβάς εἰς τὰ κινούμενα μέρη της. Αἱ ἀπώλειαι αὗται λόγῳ τριβῶν ὑπερβαίνουν τὸ χρήσιμον ἔργον, ποῦ θὰ ἐλαμβάνετο, ἐὰν ὁ ὕδρατμος ἐξετονοῦτο πλήρως. Πλήρης ἐπομένως ἐκτόνωσις τοῦ ὕδρατμου εἰς τὴν παλινδρομικὴν ἀτμομηχανὴν εἶναι ἀντιοικονομικὴ καὶ ὡς ἐκ τούτου τὸ μέγιστον θεωρητικὸν ἔργον αὐτῆς δίδεται ἀπὸ τὸν τροποποιημένον κύκλον Rankine μὲ ἀτελεῖ ἐκτόνωσιν.



Σχ. 12·2α.

Ὁ κύκλος Rankine μὲ ἀτελεῖ ἐκτόνωσιν παρίσταται εἰς τὸ σχῆμα 12·2α.

Θερμότης χορηγεῖται εἰς τὸν κύκλον ἀπὸ τὸ σημεῖον 4 ἕως τὸ 1. Ἡ ἐκτόνωσις πραγματοποιεῖται εἰς τὴν μηχανὴν ἀπὸ τὸ 1 ἕως τὸ 2. Ἀπὸ τὸ σημεῖον 2 θεωρεῖται, ὅτι ὁ ὕδρατμος ψύχεται κατὰ τὴν 2-3 ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον μέχρι τῆς πίεσεως καὶ θερμοκρασίας τοῦ συμπυκνωτοῦ. Ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ ψύχεται ὁ ὕδρατμος ὑπὸ σταθεράν πίεσιν καὶ ὑγροποιεῖται κατὰ τὴν 3-4.

Ἡ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου εὐρίσκεται ὅτι εἶναι :

$$\eta_{\theta} = \frac{\text{παραγόμενον ἔργον}}{\text{χορηγηθεῖσα θερμότης}} \quad \eta$$

$$\eta_{\theta} = \frac{(i_1 - i_2) + \frac{(P_2 - P_3)u}{J}}{i_1 - p_3} \quad (159)$$

ὅπου : i_1 εἶναι ἡ ὁλικὴ θερμότης τοῦ ὕδρατμου κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν εἰς τὴν μηχανήν· i_2 καὶ P_2 ἡ ὁλικὴ θερμότης καὶ πίεσις τοῦ ὕδρατμου εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως· p_3 ἡ ἀισθητὴ θερμότης ὕδατος εἰς τὴν πίεσιν P_3 τοῦ συμπυκνωτοῦ καὶ u ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδρατμου εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως.

Ὁ κύκλος Rankine ἄνευ ἐκτονώσεως (σχ. 12·2β) ὁμοιάζει μὲ ἐκεῖ.

νον της άτελοῦς έκτονώσεως με την διαφοράν ότι εις τόν πρώτον δέν ὑπάρχει ἡ ἀδιαβατική έκτόνωσις.

Ὁ ὕδρατμος εις παλινδρομικήν ἀτμομηχανήν, πού κινεῖ ἀντλίαν ἢ βαροῦλκον, εἰσέρχεται εἰς τόν κύλινδρον καί διατηρεῖ σταθεράν πίεσιν καθ' ὅλην τήν διάρκειαν τῆς διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου. Μετά τὸ τέλος τῆς διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου ἀνοίγει ἀποτόμως ἡ θυρίς ἐξαγωγῆς καί δέν ἀφίνεται χρόνος δι' έκτόνωσιν τοῦ ὕδρατμοῦ.

Θερμότης χορηγεῖται εἰς τόν κύκλον ἀπὸ τὸ σημεῖον 3 ἕως τὸ 1 καί θερμότης ἀφαιρεῖται πρῶτον ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον κατὰ τὴν 1-2 καί ἐν συνεχείᾳ ὑπὸ σταθεράν πίεσιν ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ κατὰ τὴν 2-2, ὅποτε ὁ ἀτμός ὑγροποιεῖται.

Εἰς τόν κύκλον αὐτὸν οὐδέποτε χρησιμοποιεῖται ὑπέρθερμος ὕδρατμος, δεδομένου ὅτι δέν ὑπάρχει ἀδιαβατική έκτόνωσις.

Τὸ παραγόμενον ἔργον ὑπὸ τοῦ κύκλου εἰς kcal ἀνὰ kg ἢ BTU ἀνὰ lb εἶναι :

$$W = \frac{v (P_1 - P_2)}{J}$$

καί ἡ ἀπόδοσις :

$$\eta_{\theta} = \frac{\frac{v (P_1 - P_2)}{J}}{(i_1 - p_2)} \quad (160)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (160) P_1 εἶναι ἡ πίεσις τοῦ ὕδρατμοῦ κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν εἰς τὴν μηχανήν· p_2 ἡ αἰσθητὴ θερμότης ὕδατος εἰς τὴν πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ P_2 καί v ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδρατμοῦ κατὰ τὴν 1-2.

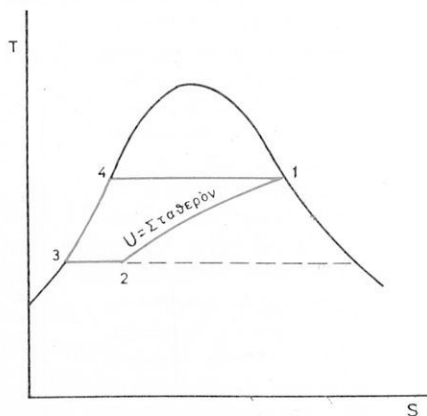
12.3 Εὗρεσις ἀποδόσεως κύκλου Rankine με ἀτελεῖ έκτόνωσιν καὶ ἄνευ έκτονώσεως.

α) Με ἀτελεῖ έκτόνωσιν ἔχομεν :

$$\eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}.$$

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 12.2α : $H_1 = i_1 - p_3$ kcal ἀνὰ kg ἢ BTU ἀνὰ lb (τὸ $p_4 = p_3$).

Ἡ ἀφαιρουμένη θερμότης H_2 εἶναι τὸ ἄθροισμα ἐκείνης, πού ἀφαι-



Σχ. 12.2β.

ρείται κατά την υπό σταθερόν ὄγκον 2-3 ψῦξιν καὶ ἰσοῦται μὲ $E_2 - E_3$ (παράγρ. 8.3) καὶ ἐκείνης τῆς συμπυκνώσεως κατὰ τὴν 3-4, ἡ ὁποία εἶναι ἡ λανθάνουσα τοῦ ὑγροῦ καὶ ἰσοῦται μὲ $\chi_3 \lambda_3$ (παράγρ. 6.5), ἥτοι:

$$H_2 = (E_2 - E_3) + \chi_3 \lambda_3.$$

Παραγόμενον ἔργον :

$$W = H_1 - H_2 = (i_1 - \rho_3) - (E_2 - E_3) - \chi_3 \lambda_3$$

$$W = i_1 - (\rho_3 + \chi_3 \lambda_3) - E_2 + E_3. \text{ Προσθέτομεν καὶ ἀφαιροῦμεν τὸ } \frac{P_2 v_2}{J},$$

$$\text{ὁπότε } W = i_1 - i_3 + \frac{P_2 v_2}{J} - \frac{P_2 v_2}{J} - E_2 + E_3$$

$$\text{ἀλλὰ τὸ } -i_3 = -E_3 - \frac{P_3 v_3}{J} \quad \text{καὶ} \quad -i_2 = -\frac{P_2 v_2}{J} - E_2$$

καὶ δεδομένου ὅτι $v_2 = v_3 = v$ καταλήγομεν ὅτι :

$$W = (i_1 - i_2) + \frac{(P_2 - P_3) v}{J}.$$

Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις :

$$\eta_\theta = \frac{(i_1 - i_2) + \frac{(P_2 - P_3) v}{J}}{i_1 - \rho_3}$$

ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (159).

β) Κατὰ τὸν αὐτὸν ὡς ἄνω τρόπον εὐρίσκεται καὶ ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις τοῦ κύκλου ἄνευ ἐκτονώσεως (σχ. 12.2 β), ὅπου τὸ $H_1 = i_1 - \rho_2$ (τὸ $\rho_2 = \rho_3$),

$$\text{τὸ } H_2 = (E_1 - E_2) + \chi_2 \lambda_2.$$

$$\text{τὸ } W = H_1 - H_2 = i_1 - (\rho_2 + \chi_2 \lambda_2) - (E_1 - E_2) \quad \eta$$

$$W = i_1 - i_2 - E_1 + E_2 + \frac{P_1 v_1}{J} - \frac{P_1 v_1}{J}$$

$$\text{ἀλλὰ } i_2 = E_2 + \frac{P_2 v_2}{J} \quad \text{καὶ} \quad -i_1 = -E_1 - \frac{P_1 v_1}{J}$$

$$\text{ὁπότε } W = i_1 - E_2 - \frac{P_2 v_2}{J} - i_1 + E_2 + \frac{P_1 v_1}{J}$$

$$\text{ἀλλὰ } v_1 = v_2 = v$$

$$\text{καὶ } W = \frac{v(P_1 - P_2)}{J}$$

καὶ ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις

$$\eta_\theta = \frac{\frac{v(P_1 - P_2)}{J}}{i_1 - \rho_2}$$

ἡ ὁποία εἶναι ἡ ἰσότης (160).

Παράδειγμα 1ον.

Μία παλινδρομικὴ ἀτμομηχανὴ ἐργάζεται μὲ ὕδρατμον ξηρὸν κεκορεσμένον εἰς τὴν εἰσαγωγὴν πίεσεως 10 kg/cm^2 ἀπολ.

Ὁ ὕδρατμός ἐκτονοῦται ἀδιαβατικῶς ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου μέχρι πίεσεως

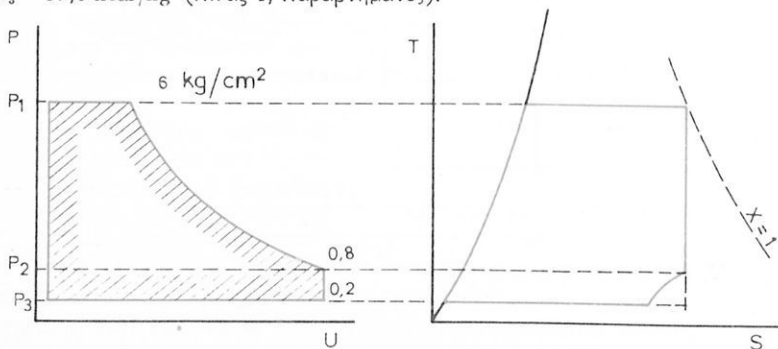
0,8 kg/cm² απόλ. Τελική πιέσεις εξαγωγής εις τὸν συμπυκνωτὴν 0,2 kg/cm². Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις τῆς μηχανῆς εἶναι 7 kg ὑδρατμοῦ ἀνὰ ὠριαῖον ἵππον.

Ζητεῖται: α) Ἡ χάραξις τοῦ θεωρητικοῦ διαγράμματος εις ἄξονας P-υ καὶ T-S. β) Τὸ θεωρητικὸν ἔργον εις kcal ἀνὰ kg ὑδρατμοῦ καθὼς καὶ ἡ θεωρητικὴ ἀπόδοσις καὶ γ) τὸ πραγματικὸν ἔργον εις kcal ἀνὰ kg ὑδρατμοῦ.

Λύσις :

α) Τὸ διάγραμμα εις ἄξονας P-υ καὶ T-S ἐμφαίνεται εις τὸ σχῆμα 12.3 α.

β) Ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ξηροῦ ὑδρατμοῦ εις πιέσιν $P_1 = 10 \text{ kg/cm}^2$ εἶναι $i_1 = 663 \text{ kcal/kg}$ ἡ αἰσθητὴ θερμότης εις πιέσιν $P_3 = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ εἶναι $p_3 = 59,6 \text{ kcal/kg}$ (Πίναξ 1, Παραρτήματος).



Σχ. 12.3 α.

Ἡ ὀλικὴ θερμότης εις πιέσιν $P_2 = 0,8 \text{ kg/cm}^2$ καὶ ὁ βαθμὸς ξηρότητος τοῦ ὑδρατμοῦ μετὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν εἶναι $i_2 = 560 \text{ kcal/kg}$ καὶ $x_2 = 0,861$ (ἀπὸ διάγραμμα Mollier Παραρτήματος).

Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ εις τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως εἶναι:

$$x_2 \cdot v_2 = 0,861 \times 2,125 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Τὸ παραγόμενον θεωρητικὸν ἔργον :

$$W = i_1 - i_2 + \frac{(P_2 - P_3)v}{J} \quad (\text{ἐκ τῆς ἰσότητος 159})$$

$$\eta \quad W = 663 - 560 + \frac{10\,000 (0,8 - 0,2) \times 0,861 \times 2,125}{427}$$

$$\eta \quad W = 128,7 \text{ kcal/kg}.$$

$$\text{Ἡ ἀπόδοσις} \quad \eta_\theta = \frac{W}{(i_1 - p_3)} = \frac{128,7}{663 - 59,6} = 0,213 \quad \eta \quad 21,3\%.$$

β) Τὸ παραγόμενον πραγματικὸν ἔργον με εἰδικὴν κατανάλωσιν 7 kg ὑδρατμοῦ ἀνὰ ὠριαῖον ἵππον θὰ εἶναι ἐκ τῆς ἰσότητος (151):

$$W = \frac{632}{7} = 90,3 \text{ kcal/kg ὑδρατμοῦ}.$$

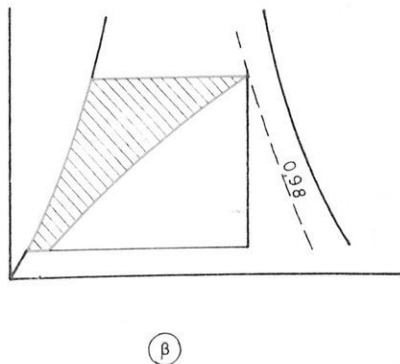
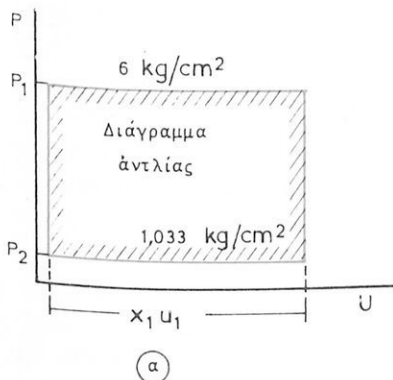
Παράδειγμα 2ον.

Μία άντλία κινείται με παλινδρομικήν ατμομηχανήν άνευ έκτονώσεως (ίππάριον). Ὁ ὕδρατμος εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον με πίεσιν 6 kg/cm^2 καὶ βαθμὸν ξηρότητος 0,90. Ἡ ἐξαγωγή τοῦ ὕδρατμου λαμβάνει χώραν εἰς ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν. Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις εἶναι 28 kg ὕδρατμου ἀνὰ ὠριαῖον ἵππον.

Ζητεῖται : α) Ἡ χάραξις τοῦ θεωρητικοῦ διαγράμματος εἰς ἄξονας P-υ καὶ T-S. β) Τὸ θεωρητικὸν ἔργον εἰς kcal/kg ὕδρατμου καὶ γ) τὸ πραγματικὸν ἔργον εἰς kcal/kg ὕδρατμου.

Λύσις :

α) Τὸ διάγραμμα εἰς ἄξονας P-υ καὶ T-S ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 12.3β.



Σχ. 12.3β.

β) Τὸ θεωρητικὸν ἔργον δίδεται ὑπὸ τῆς ἰσότητος :

$$W = \frac{v (P_1 - P_2)}{J} \text{ εἰς kcal/kg}$$

ὅπου : v εἶναι ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ εἰς πίεσιν P_1 , ἴσος με $x_1 v_1 = 0,98 \times 0,3213$

$$\text{καὶ } W = \frac{0,98 \times 0,3213 (6 - 1,033) \times 10000}{427} = 36,5 \text{ kcal/kg ὕδρατμου.}$$

γ) Δεδομένου ὅτι ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις εἶναι 28 kg ὕδρατμου ἀνὰ ὠριαῖον ἵππον τὸ πραγματικὸν ἔργον ἐκ τῆς ἰσότητος (151) θὰ εἶναι :

$$W = \frac{632}{28} = 26 \text{ kcal/kg ὕδρατμου.}$$

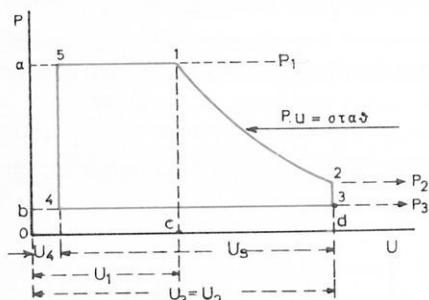
12.4 Θεωρητικὸν διάγραμμα παλινδρομικῆς ατμομηχανῆς.

Τὸ θεωρητικὸν διάγραμμα τῆς παλινδρομικῆς ατμομηχανῆς ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 12.4.

Ὁ ὕδρατμος θεωρεῖται ὅτι εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον με πίεσιν P_1 ἴσην με τὴν τοῦ λέβητος.

Ἡ εἰσροή τοῦ ἀτμοῦ 5 ἕως 1 γίνεται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν.

Ἀπὸ τὸ 1 ἕως τὸ 2 ἔχομεν ἐκτόνωσιν ὑπερβολικὴν $P \cdot U = \text{σταθ.}$



Σχ. 12.4.

(ἄνω νεκρὸν σημεῖον) καὶ ἀτμός εἰσάγεται ἐκ νέου ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου με ἀποτέλεσμα τὴν ἀπότομον ὕψωσιν τῆς πίεσεως μέχρι τῆς τοῦ λέβητος P_1 καὶ ἡ λειτουργία ἐπαναλαμβάνεται.

Εἰς τὸ σχῆμα ἐμφαίνονται οἱ ὄγκοι ὡς ἀκολουθῶς :

$U_3 = U_2$ εἶναι ὁ ὄγκος τοῦ κυλίνδρου, U_1 ὁ ὄγκος εἰσροῆς, U_4 ὁ ὄγκος διακένων, U_5 ὁ ὄγκος διαδρομῆς.

Ὁ βαθμὸς ἐκτονώσεως ἀπὸ τὸ 1 ἕως 2 εἶναι ὁ λόγος $r = \frac{U_2}{U_1}$.

Τὸ ἀντίστροφον τοῦ βαθμοῦ ἐκτονώσεως, ἥτοι $\frac{1}{r} = \frac{U_1}{U_2}$, καλεῖται *βαθμὸς εἰσροῆς*.

Τὸ παραγόμενον ἔργον ἀνὰ κύκλον $W = \text{ἐπιφ. 1, 2, 3, 4, 5} - \text{ἐπιφ. α, 1, c, o} + \text{ἐπιφ. 1, 2, d, c} - \text{ἐπιφ. 3, b, o, d} - \text{ἐπιφ. α, 5, 4, b}$

$$W = P_1 U_1 + P_1 U_1 l_n r - P_3 \cdot U_3 - (P_1 - P_3) \cdot U_4 \quad \text{ἢ} \\ W = P_1 U_1 (1 + l_n r) - P_3 U_3 - (P_1 - P_3) U_4 \quad (161)$$

Ἐὰν ὁ ὄγκος τῶν διακένων τοῦ κυλίνδρου εἶναι πολὺ μικρὸς, ὥστε νὰ μὴ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν, τότε :

$$W = P_1 U_1 (1 + l_n r) - P_3 U_3 \quad (162)$$

12.5 Μέση ἐνεργὸς πίεσις (Μ.Ε.Π.).

Ὅπως ἀνεφέρθη εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον, τὸ ἔργον,

που παράγεται κατά την συμπλήρωσιν μιᾶς στροφῆς ἢ διαγράμματος τῆς παλινδρομικῆς μηχανῆς, δίδεται ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν 5, 1, 2, 3, 4 τοῦ σχήματος 12·4. Ἡ ἐπιφάνεια αὕτη θὰ δύναται νὰ ἀντικατασταθῇ ὑπὸ ἄλλης περικλειομένης ἐντὸς ὀρθογωνίου, ὡς σχῆμα 12·5.

Τὸ μῆκος τοῦ ὀρθογωνίου εἶναι ὁ ὄγκος διαδρομῆς U_s , ὁ ὁποῖος εἶναι ἴσος μὲ $U_s = U_3 - U_4$.

Τὸ ὕψος τοῦ ὀρθογωνίου αὐτοῦ εἶναι μία πίεσις P_m , ἡ ὁποία ὀνομάζεται *μέση ἐνεργὸς πίεσις* (Μ.Ε.Π.).

Δεδομένου ὅτι τὸ ὀρθογώνιον ἔχει τὴν αὐτὴν ἐπιφάνειαν, ὅπως τὸ διάγραμμα σχήματος 12·4, θὰ παριστᾷ αὐτὸ ἐπίσης τὸ ἔργον W .

Ἐπομένως ἡ Μ.Ε.Π. εἶναι ἡ πίεσις, ἡ ὁποία ἐπενεργοῦσα σταθερὰ εἰς *μίαν διαδρομὴν* τοῦ ἐμβόλου ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα νὰ πραγματοποιοῖ τὸ ἐμβολὸν ἔργον ἴσον μὲ ἓν πλήρες διάγραμμα.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 12·5 εἶναι φανερόν ὅτι :

$$P_m = \frac{W}{U_s} \quad (163)$$

$$\text{ἢ } P_m^* = \frac{\text{"Εργον ἀνὰ διάγραμμα εἰς kgm (ἢ ftlb)}}{\text{"Ογκος διαδρομῆς εἰς m}^3 \text{ (ἢ ft}^3\text{)}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left(\text{ἢ } \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right)$$

Ὁ ὄγκος διαδρομῆς :

$$U_s = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot L \quad (\text{εἰς m}^3 \text{ ἢ ft}^3) \quad (164)$$

ὅπου: D εἶναι ἡ διάμετρος τοῦ κυλίνδρου εἰς m ἢ ft καὶ L τὸ μῆκος διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου εἰς m ἢ ft .

Ἐκ τῆς ἰσότητος (163) ἔχομεν ἐπίσης ὅτι $W = P_m \cdot U_s$.

Ἀπὸ τὰς ἀνωτέρω ἰσότητες, αἱ ἑποιαὶ ἰσχύουν διὰ παλινδρομικὰς μηχανὰς οἰοῦδήποτε τύπου (ἀτμοῦ ἢ ἐσωτερικῆς καύσεως), εἶναι φανερόν ὅτι ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ μέση ἐνεργὸς πίεσις, τόσο

* Ἐὰν τὸ ἔργον λαμβάνεται εἰς kgcm , τότε ὁ ὄγκος λαμβάνεται εἰς cm^3 , ὁπότε ἡ P_m εὐρίσκεται εἰς kg/cm^2 .

περισσότερον έργον λαμβάνεται από μίαν μηχανήν ώρισμένου μεγέθους (τιμής του U_s).

Δεδομένου τώρα ότι τὸ κόστος μιᾶς μηχανῆς εξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ χρησιμοποιουμένου ὕλικου, μεγάλη τιμὴ τῆς P_m εἶναι ἐπιθυμητή. Κατόπιν τούτου εἶναι ἀμφίβολον, ἐὰν ἡ μηχανὴ Carnot (σχ. 5·3) ἐργαζομένη ὡς ἐσωτερικῆς καύσεως θὰ ἦτο χρήσιμος εἰς τὴν πρᾶξιν ἀκόμη καὶ ἐὰν ἡδύνατο νὰ κατασκευασθῇ, διότι ἡ P_m εἰς τὸν κύκλον αὐτὸν εἶναι τόσον μικρά, ὥστε τὸ μέγεθος τῆς μηχανῆς συγκρινόμενον μὲ τὰς συγχρόνους μηχανὰς θὰ ἦτο πολὺ μεγάλο.

Ἐπίσης εἰς μίαν μηχανήν πρέπει νὰ γίνεταί σύγκρισις τῆς Μ.Ε.Π. καὶ τῆς μεγίστης πίεσεως τοῦ κύκλου.

Τὰ διάφορα εξαρτήματα τῆς μηχανῆς πρέπει νὰ ὑπολογίζωνται μὲ βάσιν τὰς μεγαλυτέρας δυνάμεις, ποὺ θὰ ἐπενεργοῦν ἐπ' αὐτῶν. καὶ αἱ ὁποῖαι θὰ εἶναι σχετικαὶ μὲ τὴν μεγίστην πίεσιν. Ἐπομένως καὶ ἐὰν ἡ P_m ἐνὸς κύκλου μηχανῆς εἶναι σχετικῶς μεγάλη, ὁ κύκλος δυνατὸν νὰ εἶναι πρακτικῶς ἀνεφάρμοστος, ἐὰν καὶ ἡ μεγίστη πίεσις του εἶναι πολὺ μεγάλη ἐν συγκρίσει μὲ τὴν Μ.Ε.Π., διότι λίαν ὑψηλὴ μεγίστη πίεσις ἀπαιτεῖ καὶ ὀγκώδη εξαρτήματα μηχανῆς.

Οὕτως ἡ μέση ἐνεργὸς πίεσις εἶναι ἐν σημαντικὸν χαρακτηριστικὸν τῶν κύκλων τῶν μηχανῶν, ὅταν αὐτοὶ ἐξετάζωνται ἀπὸ πρακτικῆς πλευρᾶς.

12·6 Ὑπολογισμὸς τῆς μέσης ἐνεργοῦ πίεσεως ἀπὸ τὸ θεωρητικὸν διάγραμμα παλινδρομικῆς ἀτμομηχανῆς.

Εἰς τὸ σχῆμα 12·6 ἐμφαίνεται τὸ θεωρητικὸν διάγραμμα τῆς παλινδρομικῆς μηχανῆς μὲ διάκενον, ἀντιθλίψιν, ἀτελεῖ ἐκτόνωσιν καὶ συμπίεσιν. Εἶναι σύνηθες νὰ διακόπτεται ἡ ἐξαγωγή τοῦ ὕδρατμου ἀπὸ τὸν κύλινδρον πρὸ τοῦ τέλους τῆς διαδρομῆς ἐξαγωγῆς καὶ νὰ συμπιέζεται ὁ παραμένων ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ὕδρατμος.

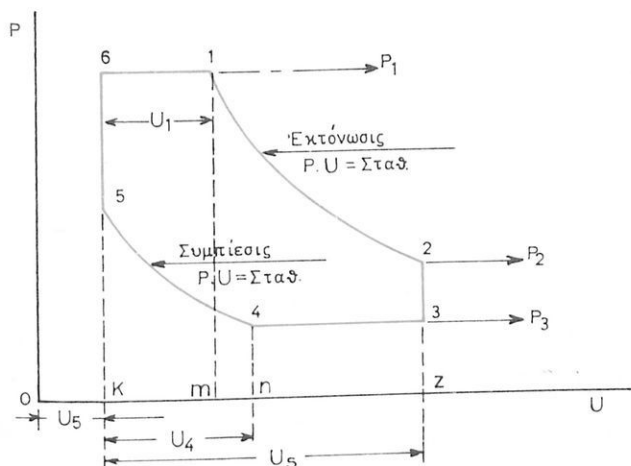
Ὁ λόγος τῆς συμπίεσεως εἶναι καὶ λειτουργικὸς (ὁμαλὴ ἀναστροφή τοῦ ἐμβόλου) καὶ θερμοδυναμικὸς, διότι ἐλαττοῦται ἡ κατανάλωσις ὕδρατμου.

Εἰς τὸ σχῆμα 12·6 ἔχομεν :

P_1 εἶναι ἡ πίεσις εἰσαγωγῆς (ἡ τοῦ λέβητος)· P_2 ἡ τελικὴ πίεσις ὕδρατμου ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου· P_3 ἡ πίεσις ἀντιθλίψεως (συμπυκνω-

τι (►). U_s ό όγκος διαδρομής· U_1 ό όγκος είςροής· U_4 ό όγκος συμπίε-
σεως· U_5 ό όγκος διακένων. Αί πιέσεις λαμβάνονται είς kg/m^2 (ή
 lb/ft^2) και οί όγκοι είς m^3 (ή ft^3).

Ό λόγος $\frac{U_s}{U_1} = r = \text{βαθμός έκτονώσεως}$ ή $U_1 = \frac{U_s}{r}$.



Σχ. 12.6.

Συνήθως οί όγκοι U_5 (διακένων) και U_4 (συμπίεσεως) έκφρά-
ζονται συναρτήσει του όγκου διαδρομής, ήτοι :

$$\frac{U_5}{U_s} = \alpha \quad \text{ή} \quad U_5 = \alpha \cdot U_s \quad \text{επίσης}$$

$$\frac{U_4}{U_s} = b \quad \text{ή} \quad U_4 = b \cdot U_s.$$

Η τιμή της Μ.Ε.Π. εύρίσκεται έκ της ισότητος (163), εάν διαι-
ρεθ ή έπιφάνεια του διαγράμματος (λαμβανομένη είς kgm ή ftlb)
διά του όγκου διαδρομής U_s (είς m^3 ή ft^3), ήτοι :

$$P_m = \frac{\text{έπιφάνεια } 1, 2, 3, 4, 5, 6}{U_s} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left(\text{ή } \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right).$$

Εύρίσκεται δέ ότι :

$$P_m = P_1 \left[\frac{1}{r} + \left(\frac{1}{r} + \alpha \right) \ln \frac{1 + \alpha}{\frac{1}{r} + \alpha} \right] - P_3 \left[(1 - b) + (\alpha + b) \ln \frac{\alpha + b}{\alpha} \right] \quad (165)$$

Ἐὰν δὲν ληφθῇ ὑπ' ὄψιν ἡ συμπίεσις, τότε τὸ διάγραμμα θὰ ἔχῃ τὴν μορφήν τοῦ σχήματος 12.4 καὶ θὰ εἶναι $U_4 = 0$, ὁπότε καὶ $b = 0$. Τότε ἡ ἰσότης (165) θὰ λάβῃ τὴν μορφήν :

$$P_m = P_1 \left[\frac{1}{r} + \left(\frac{1}{r} + \alpha \right) l_n \frac{1 + \alpha}{\frac{1}{r} + \alpha} \right] - P_3 \quad (166)$$

Ἐὰν δὲν ληφθῇ ὑπ' ὄψιν οὔτε συμπίεσις οὔτε καὶ διάκενον, ὁπότε καὶ $U_5 = 0$ καὶ $\alpha = 0$, ἡ ἰσότης (166) μετατρέπεται εἰς :

$$P_m = \frac{P_1}{r} (1 + l_n r) - P_3 \quad (167)$$

Ἐὰν δὲν ληφθῇ ὑπ' ὄψιν οὔτε ἀντίθλιψις, δηλαδή καὶ $P_3 = 0$, ἡ ἰσότης (167) θὰ λάβῃ τὴν μορφήν :

$$P_m = \frac{P_1 (1 + l_n r)}{r} \quad (168)$$

Ἀπόδειξις τῆς ἰσότητος (165).

$$\text{*Έχουμεν} \quad P_m = \frac{\text{ἐπιφ. 1, 2, 3, 4, 5, 6}}{U_s}$$

$$\eta \quad P_m = \frac{\text{ἐπιφ. 6, 1, m, K} + \text{ἐπιφ. 1, 2, Z, m} - \text{ἐπιφ. 3, 4, h, Z} - \text{ἐπιφ. 4, 5 K, h}}{U_s}$$

$$\eta \quad P_m = \frac{P_1 \cdot U_1 + P_1 (U_1 + U_s) l_n \frac{U_s + U_s}{U_1 + U_s} - P_3 (U_s - U_4) - P_3 \cdot (U_4 + U_s) l_n \frac{U_4 + U_s}{U_s}}{U_s}$$

Ἀντικαθιστῶμεν τοὺς ὄγκους U_1, U_4, U_s συναρτήσῃ τοῦ U_s καὶ ἔχομεν :

$$P_m = \frac{P_1 \cdot \frac{U_s}{r} + P_1 \left(\frac{U_s}{r} + \alpha U_s \right) l_n \frac{U_s + \alpha U_s}{\frac{U_s}{r} + \alpha U_s} - P_3 (U_s - b \cdot U_s) - P_3 (b U_s + \alpha U_s) l_n \frac{b U_s + \alpha U_s}{\alpha U_s}}{U_s}$$

Διαιροῦμεν ἀριθμητὴν καὶ παρονομαστὴν διὰ τοῦ U_s καὶ ἔχομεν :

$$P_m = \left[\frac{P_1}{r} + P_1 \left(\frac{1}{r} + \alpha \right) \cdot l_n \frac{1 + \alpha}{\frac{1}{r} + \alpha} - P_3 (1 - b) - P_3 \left[(1 - b) + (\alpha + b) l_n \frac{\alpha + b}{\alpha} \right] \right]$$

ἢ ὅποια εἶναι ἡ ἰσότης (165).

Παράδειγμα.

Μία παλινδρομικὴ ἀτμομηχανὴ τροφοδοτεῖται μὲ ὕδρατῖδόν 9 kg/cm² θλιβ. Ἡ ἀποκοπὴ λαμβάνει χώραν, ὅταν τὸ ἔμβολον ἔχῃ διανύσει τὰ 0,45 τῆς δια-

δρομής του. Ο όγκος διακένων είναι το 0,1 του όγκου διαδρομής. Η εξαγωγή κλείει, όταν το έμβολον έχει διανύσει τα 0,88 της διαδρομής εξαγωγής.

Η τελική πίεσις εξαγωγής είναι $0,4 \text{ kg/cm}^2$ άπολ.

Ζητείται η P_m , όταν η έκτόνωσις και η συμπίεσις ακολουθή τον νόμον $P \cdot U = \text{σταθερόν}$.

Λύσις :

Αναφερόμενοι εις το σχήμα 12.6 και δεχόμενοι όγκον διαδρομής ίσον με την μονάδα, δηλαδή $U_s = 1 \text{ cm}^3$, θα είναι :

$$U_1 = 0,45, \quad U_s = 0,1, \quad U_4 = 0,12 \text{ cm}^3$$

$$P_1 = 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ άπολ.} \quad \text{και} \quad P_s = 0,4 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\alpha) \text{ 'Η επιφάνεια εισροής} \quad 6, 1, m, K = 10 \times 0,45 = 4,5$$

$$\beta) \text{ 'Η επιφάνεια έκτονώσεως} \quad 1, 2, Z, m = 10 \times 0,55 \cdot l_n \frac{1,1}{0,55} = 3,795$$

$$\gamma) \text{ Συνολική επιφάνεια} \quad 6, 1, 2, Z, K = \text{"Αθροισμα } \alpha + \beta = 8,295 \quad 8,295$$

$$\delta) \text{ 'Επιφάνεια συμπίεσεως} \quad 4, 5, K, n = 0,4 \times 0,22 l_n \frac{0,22}{0,1} = 0,0618$$

$$\epsilon) \text{ 'Επιφάνεια εξαγωγής} \quad 3, 4, n, Z = 0,4 \times 0,88 = 0,352$$

$$\sigma\tau) \text{ Συνολική επιφάνεια} \quad 5, 4, 3, Z, K = \text{"Αθροισμα } \delta + \epsilon = 0,413 \quad 0,413$$

$$\zeta) \text{ 'Επιφάνεια έργου} \quad 1, 2, 3, 4, 5, 6 = \text{Διαφορά } \gamma - \sigma\tau = 7,882$$

$$\text{και} \quad P_m = \frac{W}{U_s} = \frac{7,882}{1} = 7,882 \text{ kg/cm}^2 \left(\frac{\text{kgcm}}{\text{cm}^3} = \text{kg/cm}^2 \right)$$

12.7 Πρακτικά απώλειαι εις κύλινδρον παλινδρομικής άτμομηχανής.

Το θεωρητικόν διάγραμμα παλινδρομικής άτμομηχανής εις το σχήμα 12.6 χαράσσεται, χωρίς να λαμβάνωνται υπ' όφιν αι θερμικαι και άλλαι απώλειαι, που λαμβάνουν χώραν εντός του κυλίνδρου της μηχανής. Τοῦτο προϋποθέτει άπότομον άνοιγμα και κλείσιμον των θυρίδων (είσαγωγής και εξαγωγής), να μη υπάρχει πτώσις πίεσεως κατά την είσοδον λόγω άρχικης συμπυκνώσεως του ύδρατμου, ό όποίος έρχεται εις έπαφήν με τα τοιχώματα του κυλίνδρου, να μη ύφίσταται ό ύδρατμός στραγγαλισμόν κατά την δίοδόν του από τας θυρίδας και να μη υπάρχουν θερμικαι απώλειαι μέσω των τοιχωμάτων του κυλίνδρου.

Αί πρακτικά απώλειαι εις τον κύλινδρον μιās άτμομηχανής κατά την λειτουργίαν είναι αι κάτωθι :

α) Απώλειαι λόγω τοιχωμάτων κυλίνδρου.

Κατά την έκτόνωσιν του ύδρατμου ή θερμοκρασία του έλαττωται. Τα τοιχώματα έπομένως του κυλίνδρου και το έμβολον έρχονται εις έπαφήν με ύδρατμόν, του όποιου ή θερμοκρασία μεταβάλλεται περιοδικώς, ενώ ή θερμοκρασία των μεταλλικών επιφανειών δέν παρουσιάζει την αύτην διακύμανσιν με έκείνην του ύδρατμου.

Μετά από ώρισμένον χρόνον λειτουργίας πραγματοποιείται μία κατάσταση Ισορροπίας και τὰ τοιχώματα ἔχουν μίαν μέσην θερμοκρασίαν, ἡ ὁποία κεῖται εἰς τὸ μέσον περίπτου τῶν δύο ἀκραίων θερμοκρασιῶν τοῦ ὕδρατμοῦ κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν καὶ ἐξαγωγὴν.

Ὁ εἰσερχόμενος ὕδρατμος ἔρχεται εἰς ἐπαφὴν μὲ τὰ τοιχώματα μικροτέρας θερμοκρασίας, ψύχεται καί, ἐὰν εἶναι ξηρὸς ἢ ἐλαφρῶς ὑπέρθερμος, ὑφίσταται μίαν μερικὴν συμπύκνωσιν. Τὸ φαινόμενον αὐτὸ ὀνομάζεται *ἀρχικὴ συμπύκνωσις*. Τὸ κλάσμα τοῦ ὕδρατμοῦ, ποῦ συμπυκνοῦται, ὀνομάζεται *ἀπολεσθεῖσα ποσότης*, ἡ ὁποία δύναται νὰ φθάσῃ τὸ 40 % τοῦ εἰσερχομένου ὕδρατμοῦ.

Ἡ ἀρχικὴ συμπύκνωσις ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα ἐλάττωσιν τοῦ ὄγκου καὶ ἐπομένως ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδρατμοῦ εἶναι μικρότερος εἰς τὸ τέλος τῆς εἰσορῆς λόγω τῶν ἐπιδράσεων τῶν τοιχωμάτων τοῦ κυλίνδρου.

Ἀπὸ τὴν θερμότητα, ποῦ μετεδόθη εἰς τὰ τοιχώματα ἀπὸ τὸν ὕδρατμόν, κατὰ τὴν εἰσορῆν, μέρος ἐπιστρέφεται καὶ ἀναθερμαίνει τὸν ὕδρατμόν, καθὼς αὐτὸς ἐκτονοῦται (διότι τότε ἡ θερμοκρασία του κατέρχεται κάτω τῆς τῶν τοιχωμάτων) καὶ μέρος ἀποβάλλεται μέσω τῶν τοιχωμάτων εἰς τὸ περιβάλλον.

Αἱ ἀπώλειαι τοιχωμάτων λαμβανόμεναι ὡς ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν τοῦ ἰδανικοῦ ἔργου τῆς μηχανῆς αὐξάνουν μὲ τὸν χρόνον παραμονῆς τοῦ ὕδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου καὶ μὲ τὴν αὐξησιν τῶν λόγων τῆς ἐπιφανείας τῶν ἐσωτερικῶν τοιχωμάτων διὰ τοῦ ὄγκου τοῦ ὕδρατμοῦ, ποῦ αὐτὰ περιέχουν.

Ἐπομένως αἱ ἀπώλειαι τοιχωμάτων εἶναι μικρότεραι εἰς μεγάλας καὶ ὑψηλῆς ταχύτητος μηχανάς.

β) *Ἀπώλεια λόγω στραγγαλισμοῦ.*

Δεδομένου ὅτι ὕδρατμος εἰσέρχεται ἢ ἐξέρχεται ἀπὸ τὸν κύλινδρον μέσω θυρίδων μικρᾶς σχετικῆς ἐπιφανείας καὶ μία οἰαδήποτε βαλβὶς ἀπαιτεῖ ὡρισμένον χρονικὸν διάστημα διὰ νὰ ἀνοίξῃ, ὁ ὕδρατμος ὑφίσταται στραγγαλισμὸν μὲ ἀποτέλεσμα ἀπωλείας πίεσεως καὶ ἔργου.

Διὰ νὰ ἐξασφαλισθῇ πληρὴς ἀνοίγμα τῶν θυρίδων κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν καὶ ἐξαγωγὴν τοῦ ὕδρατμοῦ, ὅταν τὸ ἔμβολον εὐρίσκεται εἰς τὰ νεκρὰ αὐτοῦ σημεῖα (καὶ πρόκειται νὰ ἀναστρέψῃ πορείαν), ἡ εἰσαγωγὴ καὶ ἡ ἐξαγωγὴ τῶν ὕδρατμῶν ἀνοίγουν, πρὶν ἢ τὸ ἔμβολον φθάσῃ εἰς τὸ ἀντίστοιχον νεκρὸν σημεῖον καὶ οὕτως ἔχομεν τὰς φάσεις *προεἰσαγωγή* καὶ *προεξαγωγή*.

Αἱ ἀπώλειαι στραγγαλισμοῦ αὐξάνουν, ὅσον αὐξάνει ἡ ταχύτης τῆς μηχανῆς, διότι ἐλαττοῦται ὁ διατιθέμενος χρόνος δι' εἰσαγωγὴν καὶ ἐξαγωγὴν τοῦ ὕδρατμοῦ.

γ) *Ἀπώλεια διακένων.*

Ὅπως κάθε παλινδρομικὴ μηχανὴ οὕτω καὶ ἡ ἀτμομηχανὴ πρέπει νὰ ἔχῃ ἓνα χῶρον διακένων διὰ λόγους ἀσφαλείας λειτουργίας. Ἐὰν ἡ μηχανὴ ἠδύνατο νὰ κατασκευασθῇ ἀνευ διακένων, τότε ὁ κύλινδρος θὰ ἐξεκеноῦτο τελείως ἀπὸ ὕδρατμόν καὶ ἡ πίεσις ἐσωτερικῶς θὰ ἡλλασσεν ἀκα-

ριαίως από εκείνην του συμπυκνωτοῦ, εἰς εκείνην τῆς εἰσαγωγῆς, ὅπως γίνεται παραδεκτὸν εἰς τὸν θεωρητικὸν κύκλον.

Εἰς τὴν πραγματικὴν μηχανὴν τὸ διάκενον θὰ πρέπει νὰ εἶναι πληρὲς ὑδρατμοῦ τῆς πίεσεως τοῦ συμπυκνωτοῦ, ὑποτίθεται δηλαδὴ ὅτι ἡ ἐξαγωγή παραμένει ἀνοικτὴ, μέχρις ὅτου τὸ ἔμβολον φθάσῃ εἰς τὸ νεκρὸν σημεῖον του. (Θὰ ἴδωμεν ὅτι τοῦτο δὲν συμβαίνει εἰς τὴν πραγματικότητα, ἀλλὰ ἡ ἐξαγωγή κλείει ὀλίγον ἐνωρίτερον καὶ οὕτως ὁ παραμένων ἐντὸς τοῦ διακένου ὑδρατμὸς συμπιέζεται).

Ὅταν ἡ εἰσαγωγή ἀνοίξῃ, ἀτμὸς ὑψηλῆς πίεσεως εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου, ποῦ ὑπάρχει χαμηλὴ πίεσις, ἐνῶ ἔργον δὲν παράγεται κατὰ τὴν φάσιν αὐτήν. Οὕτως ἔχομεν ἀπώλειαν ἔργου, λόγῳ ἔκτονώσεως τοῦ ὑδρατμοῦ ἐντὸς τῶν διακένων.

Ἡ ἀπώλεια λόγῳ διακένων δύναται νὰ ἀποφευχθῇ, ἐὰν ἡ θυρὶς ἐξαγωγῆς κλείσῃ πρὸ τοῦ τέλους τῆς διαδρομῆς ἐξαγωγῆς καὶ συμπίεσθῇ ὁ παραμένων ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ὑδρατμὸς εἰς τὴν πίεσιν εἰσαγωγῆς.

Ὁ συμπιεζόμενος ὑδρατμὸς δίδει ἐπὶ πλέον ἕτερον πλεονέκτημα, διότι χρησιμεύει ὡς *προσκεφάλαιον* διὰ τὸ ἔμβολον κατὰ τὴν ἀναστροφὴν, βοηθεῖ τὴν ἐπιβράδυνσιν τῆς ἐπιταχύνσεως καὶ ἐν συνεχείᾳ τὴν αὐξησιν αὐτῆς μετὰ τὴν ἀναστροφὴν.

Τὸ βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς ἔκτονώσεως θὰ εἶναι ἄθροισμα τοῦ ὑδρατμοῦ, ὁ ὁποῖος παρέμεινεν ἐντὸς τῶν διακένων κατὰ τὴν συμπίεσιν, καὶ ἐκείνου ποῦ εἰσῆλθεν εἰς τὸν κύλινδρον κατὰ τὴν εἰσορρὴν.

Εἰς τὴν πρᾶξιν ἡ πίεσις τοῦ συμπιεζομένου ὑδρατμοῦ δὲν φθάνει ἐκείνην τῆς εἰσαγωγῆς, ὥστε πάντοτε ὑπάρχει ἀπώλεια ἔργου λόγῳ διακένων.

Ὁ συμπιεζόμενος ἀτμὸς κατὰ τὴν ἀρχὴν τῆς συμπίεσεως ἔχει μέγαν βαθμὸν ξηρότητος, μεγαλύτερον ἀπὸ ἐκεῖνον ποῦ δείχνει ὁ θεωρητικὸς κύκλος, διότι κατὰ τὴν λειτουργίαν τῆς μηχανῆς καὶ περὶ τὸ τέλος τῆς ἔκτονώσεως ὁ ἀτμὸς ἀναθερμαίνεται ἀπὸ τὰ τοιχώματα.

Εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως ὁ ὑδρατμὸς θεωρεῖται ὅτι εἶναι ξηρὸς καὶ οὕτω δύναται νὰ ὑπολογισθῇ τὸ βάρος του μὲ βάσιν τὸν ὄγκον του καὶ τὴν πίεσιν του εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως.

12.8 Πραγματικὸν διάγραμμα - Ὑπολογισμὸς βάρους ἀτμοῦ εἰς τὸν κύλινδρον.

Τὸ πραγματικὸν διάγραμμα μιᾶς παλινδρομικῆς ἀτμομηχανῆς λαμβάνεται μὲ τὴν βοήθειαν ἐξαρτήματος, γνωστοῦ ὡς *δυναμοδείκτον*.

Ὁ τυπικὸς δυναμοδείκτης ἀποτελεῖται ἀπὸ περιστρεφόμενον τύμπανον, ἐπὶ τοῦ ὁποίου τοποθετεῖται λευκὸς χάρτης.

Τὸ τύμπανον περιστρέφεται πρὸς τὰ δεξιὰ καὶ ἀριστερὰ κινούμενον εἰς φάσιν μὲ τὴν διαδρομὴν τοῦ ἐμβόλου μὲ τὴν βοήθειαν νήματος, ποῦ εἶναι συνδεδεμένον μὲ τὸ τύμπανον καὶ τὸν διωστήρα.

Ἡ πίεσις, ποῦ ἐπικρατεῖ ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου, καταγράφεται ἐπὶ τοῦ χάρτου τοῦ τυμπάνου μέσω γραφίδος (μολύβι), τὸ ὁποῖον κινεῖται κατακορύφως ἀναλόγως πρὸς τὴν πίεσιν τοῦ ὑδρατμοῦ. Ἡ κίνησις αὕτῃ εἶναι

αποτέλεσμα της κινήσεως ενός μικροῦ ἐμβόλου, τοῦ *δυναμοδείκτου*, ποῦ κινεῖται ἐντὸς τοῦ κυλινδρίσκου του *κόντρα* πρὸς τὴν πίεσιν ἑνὸς ἐλατηρίου, γνωστοῦ ὡς *ἐλατήριον τοῦ δυναμοδείκτου*.

Τὸ ἐμβολὸν αὐτὸ τοῦ δυναμοδείκτου μὲ καταλλήλους μηχανισμούς συνδέεται μὲ τὴν γραφίδα. Ὁ ὕδρατμος διὰ καταλλήλου συνδέσεως μέσω τῶν κρουνῶν δυναμοδείκτου, ποῦ ὑπάρχουν ἐπὶ τοῦ κυρίου κυλίνδρου τῆς μηχανῆς, εἰσέρχεται κάτωθεν τοῦ ἐμβόλου τοῦ δυναμοδείκτου. Οὕτως ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ κυρίου κυλίνδρου μεταδίδεται εἰς τὴν γραφίδα καὶ καταγράφεται ἐπὶ τοῦ χάρτου τοῦ τυμπάνου.

Οἱ κρουνοί, ποῦ συνδέουν τὸν κύλινδρον τοῦ δυναμοδείκτου μὲ τὸν κύλινδρον τῆς μηχανῆς, εἶναι τρίστομοι καὶ οὕτως ὁ δυναμοδείκτης συνδέεται ἐναλλάξ μὲ τὸ ἄνω ἢ τὸ κάτω ἄκρον τοῦ κυλίνδρου τῆς μηχανῆς ἢ μὲ τὴν ἀτμόσφαιραν.

Εἶναι φανερόν ὅτι τὸ μήκος τῆς κατακορύφου διαδρομῆς τῆς γραφίδος εἶναι συνάρτησις τῆς πίεσεως τοῦ ὕδρατμου ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου καὶ τῆς ἀντιστάσεως τοῦ ἐλατηρίου, ἡ ὁποία εἶναι γνωστὴ ὡς *κλίμαξ ἐλατηρίου τοῦ δυναμοδείκτου*, ποῦ συνήθως δίδεται εἰς μήκος ἀνὰ πίεσιν.

Π.χ. κλίμαξ 1 cm ἀνὰ 5 kg/cm² σημαίνει ὅτι διὰ νὰ μετακινηθῇ ἡ γραφίς ἐπὶ τοῦ τυμπάνου καθέτως εἰς μήκος 1 cm, ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου τῆς μηχανῆς πρέπει νὰ εἶναι 5 kg/cm².

Εἰς τὸ σχῆμα 12.8 α εἰσφύεται πραγματικὸν δυναμοδεικτικὸν διάγραμμα.

Λαμβάνεται τὸ διάγραμμα μὲ τὴν βοήθειαν τοῦ δυναμοδείκτου. Ἐν συνεχείᾳ φέρονται οἱ δύο ἄξονες ὡς κάτωθι :

Μὲ βάσιν τὴν γραμμὴν ΑΒ, ποῦ παριστᾷ τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν, λαμβάνομεν καὶ τὴν ἀπόστασιν ΟΑ=1 ἀτμόσφαιρα, βάσει τῆς κλίμακος τοῦ ἐλατηρίου καὶ οὕτως ἔχομεν τὸν ἄξονα τῶν ὀγκων.

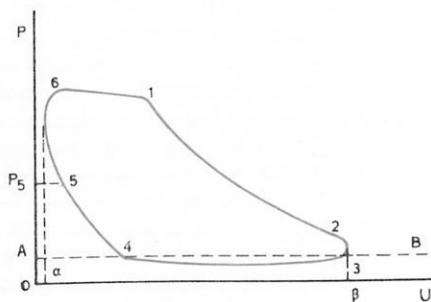
Τὸ μήκος τώρα αβ τοῦ διαγράμματος παριστᾷ τὸν ὄγκον διαδρομῆς U_s τοῦ κυλίνδρου, τὸν ὁποῖον ὑπολογίζομεν μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (164).

Ἐπομένως ἡ κλίμαξ τῶν ὀγκων θὰ εἶναι ὁ λόγος :

$$\frac{U_s}{\text{Μήκος αβ}}.$$

Μὲ βάσιν τώρα τὴν κλίμακα τοῦ ὀγκου καὶ τὸν γνωστὸν ὄγκον τῶν διακένων τοῦ κυλίνδρου ἔχομεν τὸ τμήμα Οα ἐπὶ τοῦ ἄξονος τῶν ὀγκων, ποῦ θὰ παριστᾷ τὸ διάκενον.

Οὕτω χαράσσεται καὶ ὁ ἄξων τῶν πιέσεων. Ἐπὶ τῶν χαραχθέντων τώρα ἄξόνων καὶ εἰς οἷονδήποτε σημεῖον τοῦ διαγράμματος δύναται νὰ ἀναγνωσθῇ καὶ ἡ πίεσις καὶ ὁ ὄγκος τοῦ ὕδρατμου.



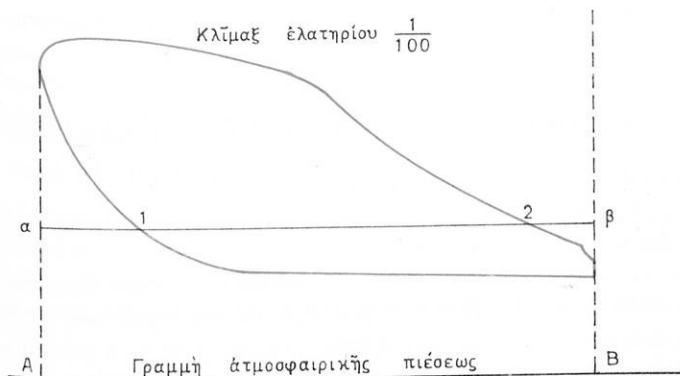
Σχ. 12. 8α.

Διὰ νὰ εὐρώμεν τώρα τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ κατὰ τὴν συμπίεσιν, λαμβάνομεν ἐν σημείον 5 εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως, ὅπου δεχόμεθα ὅτι ὁ ἀτμός θὰ εἶναι ξηρός.

Ἐπὶ τοῦ ἄξονος τῶν πιέσεων ἀναγινώσκομεν πίεσιν P_5 , ἐπὶ τοῦ ἄξονος τῶν ὀγκων τὸν ὄγκον U_5 καὶ ἀπὸ τοὺς πίνακας εἰς πίεσιν P_5 εὐρίσκομεν τὸν εἰδικὸν ὄγκον τοῦ ὑδρατμοῦ αὐτοῦ, ὅποτε τὸ βάρος του θὰ εἶναι ὁ λόγος :

$$B_1 = \frac{\text{Ὀγκος } U_5}{\text{Εἰδικὸς ὄγκος}}.$$

Διὰ νὰ εὐρώμε τὸν ἀτμόν, πού εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον κατὰ τὴν εἰσροήν, πρέπει νὰ μετρηθῇ εἰς ὠρισμένον χρόνον, ἔστω 1 ὥραν, τὸ συμ-



Σχ. 12·8 β.

πύκνωμα ἐντὸς μιᾶς δεξαμενῆς καὶ ὁ ἀριθμὸς τῶν διαδρομῶν τοῦ ἐμβόλου εἰς τὸν ἴδιον χρόνον, ὅποτε τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ εἰσροῆς ἀνὰ διαδρομὴν B_2 θὰ λαμβάνεται ἀπὸ τὴν σχέσιν :

$$B_2 = \frac{\text{Βάρος συμπυκνωθέντος ὑδρατμοῦ εἰς μίαν ὥραν}}{\text{Ἀριθμὸς διαδρομῶν ἐμβόλου εἰς μίαν ὥραν}}.$$

Ἐπομένως τὸ ὅλικόν βάρος ἀτμοῦ B ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου τῆς μηχανῆς κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς ἐκτονώσεως θὰ εἶναι :

$$B = B_1 + B_2.$$

Παράδειγμα.

Εἰς τὸν κύλινδρον ὑψηλῆς πίεσεως ἀτμομηχανῆς διαμέτρου 28 in, διαδρομῆς ἐμβόλου 3 ft, ἐλήφθη δυναμοδεικτικὸν διάγραμμα μὲ κλίμακα ἐλατηρίου :

$$1 \text{ in} = 100 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \left(\bar{r}, \frac{1}{100} \right).$$

Ζητεῖται τὸ βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ, πού χορηγεῖται εἰς τὸν κύλινδρον ἀνὰ διαδρομὴν τοῦ ἐμβόλου, ἐὰν ὑποτεθῇ ὅτι περὶ τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως ὁ ὑδρατμός εἶναι εἰς κατάστασιν ξηροῦ κεκορεσμένου.

Μὲ τὴν αὐτὴν σκέψιν τὸ τμήμα $\delta\epsilon_1 = \text{μέ ὄγκον } B \times \nu_\epsilon$. Οὕτως εὐρίσκουμεν τὰ διάφορα σημεία καὶ χαράσσομεν τὴν καμπύλην κορεσμοῦ, ἣ ὅποια θὰ μᾶς δίδῃ τὸν ὄγκον τοῦ ὑδρατμοῦ, ἐὰν αὐτὸς ᾗτο ξηρὸς καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς ἐκτονώσεως.

Ὅταν χαραχθῇ ἡ καμπύλη κορεσμοῦ, εὐρίσκομεν τὸν βαθμὸν ξηρότητος χ τοῦ ὑδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν, διότι, ὡς εἶναι φανερόν, θὰ εἶναι :

$$\chi = \frac{\alpha b}{\alpha b_1} \quad (\text{διὰ τὸ σημεῖον } \beta)$$

$$\eta \quad \chi = \frac{\delta\epsilon}{\delta\epsilon_1} \quad (\text{διὰ τὸ σημεῖον } \epsilon).$$

Ἡ ἀπόστασις $\beta\beta_1$ ἢ $\epsilon\epsilon_1$ κ.λπ. ὀνομάζεται *ἀπολεσθεῖσα ποσότης* καὶ εἶναι ἓν μέτρον τοῦ ἔργου, πού χάνεται λόγῳ ἀρχικῆς συμπυκνώσεως τοῦ ὑδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου.

12.10 Πλεονεκτήματα χρήσεως ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ εἰς παλινδρομικὴν μηχανήν.

Ἡ σημασία τῆς αὐξήσεως τῆς πίεσεως καὶ θερμοκρασίας εἰς τὴν ἀπόδοσιν τοῦ κύκλου Rankine (ἐπομένως καὶ τοῦ κύκλου τῆς παλινδρομικῆς ἀτμομηχανῆς) ἀνεφέρθη εἰς τὴν παράγραφον 11.9.

Ἡ χρῆσις ὅμως ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ εἰς τὴν παλινδρομικὴν ἀτμομηχανήν, ἀνεξαρτήτως τῆς μικρᾶς βελτιώσεως τῆς ἀποδόσεως λόγῳ αὐξήσεως τῆς θερμοκρασίας, παρουσιάζει δύο ἕτερα σοβαρὰ πλεονεκτήματα βασικὰ διὰ τὴν μηχανήν :

α) Δὲν ὑφίσταται ἀρχικὴ συμπύκνωσις ὑδρατμοῦ.

β) Ἐλαττώνονται σημαντικῶς αἱ θερμικαὶ ἀπώλειαι τῶν τοιχωμάτων.

Ὅταν ξηρὸς ἢ σχεδὸν ξηρὸς ὑδρατμὸς εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον τῆς μηχανῆς, ὑφίσταται ἀρχικὴν συμπύκνωσιν κατὰ τὴν εἰσορήν. Ὁ ὄγκος τοῦ ἐλαττοῦται ἀναλόγως κατὰ τὴν *ἀπολεσθεῖσαν ποσότητα*, σταγονίδια ὕδατος σχηματίζονται, τὰ ὅποια κατέρχονται πρὸς τὰ κάτω ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων τοῦ κυλίνδρου καὶ γενικὰ ὑγρὸς ὑδρατμὸς ἔρχεται εἰς ἐπαφὴν μὲ τὰ τοιχώματα. Τὸ τμήμα τοῦ ἀτμοῦ, πού συμπυκνοῦται, ἀποβάλλει τὴν λανθάνουσαν θερμότητά του, πού εἶναι τῆς τάξεως τῶν 480 kcal διὰ μίαν πίεσιν 10 kg/cm² ἀπολ. Ἡ θερμότης αὕτη μεταβιβάζεται εἰς τὰ τοιχώματα ἔστω καὶ ἐὰν ὑπάρχει μικρὰ διαφορὰ θερμοκρασίας ὑδρατμοῦ καὶ τοιχωμάτων.

Εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ ὑπερθέρμου ὑδρατμοῦ ἡ λειτουργία εἶναι ἐντελῶς διαφορετικὴ μὲ τὴν προϋπόθεσιν ὅτι ἡ θερμοκρασία

τῶν τοιχωμάτων εἶναι μεγαλυτέρα τῆς τοῦ κορεσμοῦ. Μὲ ἀρκετὴν ὑπερθέρμανσιν τοῦτο συμβαίνει πάντοτε.

Ὁ ὑπέρθερμος ψύχεται ὁμοίως ἀπὸ τὰ τοιχώματα τοῦ κυλίνδρου, ἢ θερμότης ὅμως ποὺ θὰ ἀπολέσῃ αὐτὸς εἶναι ἀνάλογος τῆς εἰδικῆς θερμότητός του, ἢ ὁποία εἶναι περίπου $0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$. Καὶ ἐὰν ἀκόμη ἡ θερμοκρασία του ἐλαττωθῇ κατὰ $100\text{ }^\circ\text{C}$, ἡ θερμότης, ποὺ χάνει ἀνὰ kg , εἶναι $0,5 \times 100 = 50 \text{ kcal}$, δηλαδὴ τὸ $1/10$ ἐκείνης τοῦ ξηροῦ ὕδρατμοῦ. Ὁ ὅγκος τοῦ ὑπερθερμοῦ ὕδρατμοῦ ἐλαττοῦται μὲ τὴν ψύξιν εἰς ἐλαχίστην ποσότητα συγκρινόμενος μὲ τὴν ἀπολεσθεῖσαν ποσότητα τοῦ ξηροῦ καὶ τὸ σπουδαιότερον, ὁ ὑπέρθερμος ὕδρατμος ὡς ὑπαγόμενος εἰς τὴν κατηγορίαν τῶν ἀερίων εἶναι κακὸς ἀγωγὸς τῆς θερμότητος, ὁ δὲ συντελεστὴς τῆς θερμικῆς ἀγωγιμότητός του εἶναι εἴκοσιν φορὰς μικρότερος ἐκείνης τοῦ ὕδατος, διότι ἡ σχηματιζομένη *μεμβράνη ρευστοῦ* (παράγρ. 2·17) σχηματίζει ἐσωτερικὴν μόνωσιν εἰς τὸν κύλινδρον.

Διὰ πειραμάτων ἔχουν εὐρεθῇ αἱ κάτωθι τιμαὶ συντελεστοῦ μεμβράνης δι' ἀτμομηχανάς :

α) Διὰ κεκορεσμένον ὕδρατμον ἀπὸ 1000 ἕως $4000 \text{ kcal/m}^2, \text{ h}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

β) Δι' ὑπέρθερμον ὕδρατμον ἀπὸ 10 ἕως 40 kcal ἀντιστοίχως.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω καθίσταται φανερόν ὅτι διὰ τὴν αὐτὴν διαφοράν θερμοκρασίας ἡ ροὴ θερμότητος πρὸς τὰ τοιχώματα θὰ εἶναι πολὺ μικροτέρα μὲ ὑπέρθερμον παρὰ μὲ κεκορεσμένον ὕδρατμον.

12·11 Σύγκρισις θεωρητικοῦ καὶ πραγματικοῦ διαγράμματος.

Ἡ διαφορά μεταξὺ τοῦ θεωρητικοῦ καὶ τοῦ πραγματικοῦ διαγράμματος εἶναι μία μέτρησις τῶν ἀπωλειῶν τῆς μηχανῆς εἰς τὸν κύλινδρον.

Εἶναι προφανές ὅτι διὰ νὰ ὑπάρχῃ μέτρον συγκρίσεως, τὸ θεωρητικὸν διάγραμμα πρέπει νὰ χαραχθῇ διὰ βάρους ὕδρατμοῦ Β ἴσον μὲ ἐκεῖνον, ποὺ εἰσέρχεται εἰς τὴν μηχανὴν ἀνὰ διαδρομὴν κατὰ τὴν λειτουργίαν (παράγρ. 12·8).

Ὁ λόγος τῶν ἐπιφανειῶν τῶν δύο διαγραμμάτων εἶναι ὁ *συντελεστής διαγράμματος*, ὁ ὁποῖος μετρεῖ καὶ τὴν ἀπόδοσιν τοῦ κυλίνδρου.

Εἰς τὸ σχῆμα 12·11 εἰκονίζονται καὶ τὰ δύο διαγράμματα, τὸ πραγματικὸν ἐντὸς τοῦ θεωρητικοῦ.

Τὸ δυναμοδεικτικὸν διάγραμμα 1, 2, 3, 4, 5, 6, λαμβάνεται μὲ τὸν δυναμοδείκτην. Χαράσσονται οἱ δύο ἄξονες P-υ καὶ εὐρίσκεται τὸ βάρους τοῦ ἀτμοῦ συμπίεσεως καὶ τῆς εἰσορῆς, ὡς ἀνεφέρθη εἰς τὴν παράγραφον 12·8.

Οὕτως, ὁ ὅγκος U_6 θὰ παριστᾷ τὸ πραγματικὸν διάκενον τοῦ κυλίνδρου.

Ἡ χάραξις τοῦ θεωρητικοῦ διαγράμματος γίνεται μὲ βᾶσιν τὸ βάρους Β τοῦ εἰσερχομένου ἀτμοῦ ἀνὰ διαδρομὴν κατὰ τὴν εἰσορῆν καὶ εἰς πίεσιν

$$IHP = \frac{2P_m LAN}{33\,000} \quad \eta \quad (171)$$

$$IHP = \frac{P_m AV}{33\,000} \quad (172)$$

όπου: P_m εις lb/in². L εις ft. A εις in². N εις στρ./min και V εις ft/min.

Εάν η P_m εύρσκεται εκ του θεωρητικοῦ διαγράμματος, ὡς ἀναφέρεται εις τὴν παράγραφον 12·6, τότε ἡ εύρισκομένη IHP (indicated horse power) εἶναι ἡ θεωρητικὴ.

Ἡ πραγματικὴ IHP εύρσκεται με βάσιν τὴν P_m τοῦ πραγματικοῦ διαγράμματος, ἡ ὁποία δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως:

$$P_m = \frac{\text{Ἐπιφάνεια πραγματικοῦ διαγράμματος}}{\text{Μήκος διαγράμ.} \times \text{κλίμαξ ἐλατηρίου δυναμοδείκτου}} \quad (173)$$

Ὁ λόγος $\frac{\text{πραγματικὴ IHP}}{\text{θεωρητικὴ IHP}}$ μετρεῖ τὰς θερμικὰς ἀπωλείας τοῦ κυλίνδρου· εἶναι δηλαδὴ ἴσος με τὸν συντελεστὴν διαγράμματος.

Ἡ πραγματικὴ P_m εύρσκεται ἐπίσης ἐὰν ἡ θεωρητικὴ μέση πίεσις πολλαπλασιασθῇ ἐπὶ τὸν συντελεστὴν διαγράμματος.

Ἐνδεικτικὴ ἀπόδοσις:

Ἡ ἐνδεικτικὴ ἀπόδοσις θὰ εἶναι:

$$\eta_e = \frac{IHP \times 632}{B(i_1 - \rho_2)} \quad \eta \quad \left(\eta_e = \frac{IHP \times 2545}{B(i_1 - \rho_2)} \right) \quad (174)$$

όπου: IHP εἶναι ἡ ἐνδεικτικὴ ἵπποδύναμις ἀπὸ τὸ πραγματικὸν διάγραμμα· B τὸ βάρος τοῦ χορηγουμένου ἀτμοῦ ἀνὰ ὥραν εις kg (ἢ lb)· $i_1 - \rho_2$ ἡ ἀπαιτουμένη θερμότης διὰ παραγωγὴν 1 kg (ἢ 1 lb) ὑδρατμοῦ.

Ὀλικὴ ἀπόδοσις:

Ἡ ὀλικὴ ἀπόδοσις τῆς ἐγκαταστάσεως τοῦ ἀτμοῦ (συμπεριλαμβανομένου καὶ τοῦ λέβητος) εἶναι:

$$\eta = \frac{BHP \cdot 632}{B_K \cdot \Theta} \quad \left(\eta = \frac{BHP \cdot 2545}{B_K \cdot \Theta} \right) \quad (175)$$

όπου: BHP (brake horse power) εἶναι ἡ πραγματικὴ ἵπποδύναμις τῆς μηχανῆς μετρούμενη ἐπὶ τοῦ ἄξονος· B_K ἡ κατανάλωσις καυσίμου εις τὸν λέβητα εις kg (ἢ lb) ἀνὰ ὥραν· Θ ἡ θερμαντικὴ ἰκανότης τοῦ καυσίμου εις kcal/kg (ἢ BTU/lb). Ὡς θερμαντικὴ ἰκανότης καυσίμου λαμβάνεται συνήθως ἡ κατωτέρα, ἐκτὸς ἐὰν ἄλλως ὀρισθῇ.

Μηχανική απόδοσις :

Ἡ διαφορά IHP — BHP εἶναι ἡ ἵπποδύναμις, ἡ ὁποία χάνεται εἰς τριβὰς καὶ ὁ λόγος :

$$\eta_{\mu} = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}} \quad (176)$$

εἶναι ἡ μηχανικὴ ἀπόδοσις τῆς μηχανῆς.

Σχετικὴ ἀπόδοσις :

Εἶναι ἐκείνη ποὺ λαμβάνεται διὰ συγκρίσεως τῆς ἀποδόσεως τοῦ κύκλου Rankine (ισότης 148) καὶ τῆς ἐνδεικτικῆς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς (ισότης 174), ἥτοι :

$$\text{Σχετικὴ ἀπόδοσις} = \eta_{\sigma} = \frac{\text{Ἐνδεικτικὴ ἀπόδοσις}}{\text{Ἀπόδοσις κύκλου Rankine}} \quad (177)$$

Παράδειγμα.

Εἰς μίαν παλινδρομικὴν ἀτμομηχανὴν ἐλήφθησαν αἱ κάτωθι μετρήσεις κατὰ τὴν διάρκεια δοκιμῶν.

Στροφαὶ	= 140 ἀνὰ min
Ἐπιφάνεια δυναμοδεικτικοῦ διαγράμματος	= 20 cm ²
Μῆκος δυναμοδεικτικοῦ διαγράμματος	= 8 cm
Κλίμαξ ἐλατηρίου δυναμοδείκτου	= 0,5 cm ἀνὰ kg/cm ²
Πίεσις καὶ θερμοκρασία ἀτμοῦ εἰσαγωγῆς	= 12 kg/cm ² , 250 °C
Κατανάλωσις καυσίμου εἰς τὸν λέβητα	= 0,6 kg ἀνὰ ὥριαῖον πραγματικὸν ἵππον
Κατωτέρα θερμαντικὴ ἱκανότης καυσίμου	= 10 000 kcal/kg
Εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδρατμου	= 7 kg ἀνὰ ἐνδεικτικὸν ὥριαῖον ἵππον
Κενὸν ψυγείου	= 70%
Στοιχεῖα Μηχανῆς = Διαδρομὴ 1 m, ἐπιφάνεια ἐμβόλου	1200 cm ²
Μηχανικὴ ἀπόδοσις	= 90%

Νὰ εὑρεθῇ : α) IHP. β) BHP. γ) Ἡ ἐνδεικτικὴ ἀπόδοσις. δ) Ἡ ἀπόδοσις Rankine. ε) Ἡ σχετικὴ ἀπόδοσις. στ) Ἡ ὀλικὴ ἀπόδοσις. η) Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος εἰς kcal ἀνὰ IHP καὶ kcal ἀνὰ BHP.

Λύσις :

Εὐρίσκεται πρῶτον ἡ P_m ἐκ τῆς ἰσότητος (173) :

$$P_m = \frac{20}{8 \times 0,5} = 5 \text{ kg/cm}^2.$$

α) Τὴν IHP ἐκ τῆς ἰσότητος (169)

$$\text{IHP} = \frac{2P_m \text{ LAN}}{4500} = \frac{2 \times 5 \times 1 \times 1200 \times 140}{4500} = 373,33 \text{ HP.}$$

β) $\frac{\text{BHP}}{\text{IHP}} = 0,9$ (ισότης 176) καὶ $\text{BHP} = 0,9 \times 373,33 = 335,99 \text{ HP.}$

γ) Τὴν ἐνδεικτικὴν ἀπόδοσιν ἐκ τῆς ἰσότητος (174) :

$$\eta_e = \frac{\text{IHP} \times 632}{B (i_1 - p_2)} = \frac{1 \times 632}{7 (701,1 - 75,36)} = 0,144 \quad \eta \quad 14,4\%.$$

Τὸ i_1 (ἀπὸ τὸν Πίνακα 3), τὸ p_2 ἀπὸ τὸν Πίνακα 1 διὰ πίεσιν συμπυκνωτοῦ $100 - 70 = 30\%$ ἢ $0,3 \text{ kg/cm}^2$, ἀπολ.

δ) Ἡ ἀπόδοσις Rankine ἐκ τῆς ἰσότητος (148) :

$$\eta_{\theta} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - p_2} = \frac{701,1 - 546,1}{701,1 - 75,36} = 0,232 \quad \eta \quad 23,2\%$$

(τὸ i_2 λαμβάνεται ἀπὸ τὸ διάγραμμα Mollier διὰ $P_2 = 0,3 \text{ kg/cm}^2$).

ε) Ἡ σχετικὴ ἀπόδοσις ἐκ τῆς ἰσότητος (177) :

$$\eta_{\sigma} = \frac{14,4}{23,2} = 0,62 \quad \eta \quad 62\%.$$

στ) Ἡ ὀλικὴ ἀπόδοσις ἐκ τῆς ἰσότητος (175) :

$$\eta = \frac{1 \times 632}{0,6 \times 10000} = 0,105 \quad \eta \quad 10,5\%.$$

η) Ἐκ τῆς ἰσότητος (155) ἔχομεν ὅτι ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος :

$$h_k = \frac{632}{\eta_e} = \frac{632}{0,144} = 4388,8 \text{ kcal ἀνὰ ὠριαῖον ἐνδεικτικὸν ἵππον} \quad \eta$$

$$h_k = \frac{632}{\eta} = \frac{632}{0,105} = 6019 \text{ kcal ἀνὰ ὠριαῖον πραγματικὸν ἵππον}.$$

12·13 Ἀτμομηχαναὶ πολλαπλῆς ἐκτονώσεως.

Αἱ ἀτμομηχαναὶ κατασκευάζονται συνήθως μὲ δύο, τρεῖς ἢ τέσσαρας κυλίνδρους ἐν σειρᾷ μὲ τὰ ἔμβολά των συνδεδεμένα εἰς κοινὸν ἄξονα. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον ἐπιτυγχάνεται :

α) Ἡ ἐκτόνωσις τοῦ ὕδρατμος ἀπὸ πίεσιν λήβητος εἰς πίεσιν συμπυκνωτοῦ νὰ κατανέμεται εἰς περισσοτέρους τοῦ ἐνὸς κυλίνδρους μὲ ἀποτέλεσμα τὴν μικροτέραν διαφορὰν θερμοκρασίας εἰσαγωγῆς καὶ ἐξαγωγῆς ὕδρατμος, πρᾶγμα ποῦ ἐλαττώνει τὴν ἀρχικὴν συμπύκνωσιν.

β) Καλυτέρα ζυγοστάθμησις καὶ ὁμαλωτέρα ροπὴ στρέψεως ἐπὶ τοῦ στροφαλοφόρου ἄξονος.

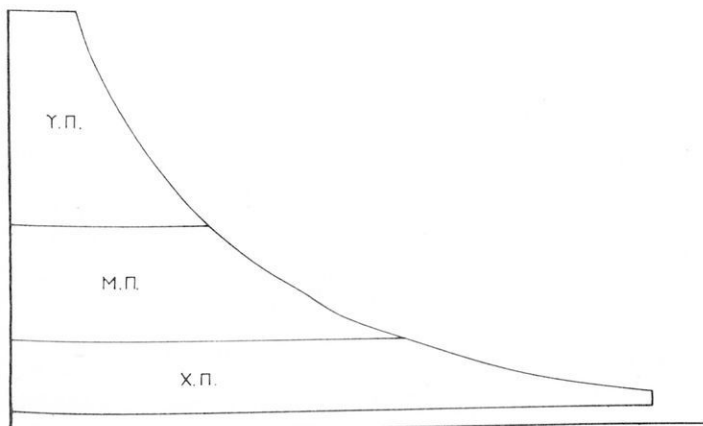
γ) Εἶναι δυνατὴ ἡ ἀναθέρμανσις τοῦ ὕδρατμος ἀπὸ κυλίνδρου εἰς κύλινδρον.

δ) Ὁ ὑπολογισμὸς τῆς μηχανῆς εἶναι εὐνοϊκώτερος, διότι ὁ κύλινδρος Υ.Π. κατασκευάζεται μικρὸς καὶ ἰσχυρὸς λόγῳ τῆς ὑψηλῆς πίεσεως τοῦ ὕδρατμος, ἐνῶ ὁ κύλινδρος Χ.Π. γίνεται μεγάλος διὰ νὰ ὑποδεχθῇ τὸν μικρᾶς πίεσεως καὶ μεγάλου ὅγκου ὕδρατμόν, ἀλλὰ ὅχι τόσον ἰσχυρᾶς κατασκευῆς ὅσον ὁ κύλινδρος Υ.Π.

Τὸ διάγραμμα μηχανῆς τριπλῆς ἐκτονώσεως εἰς ἄξονας P - u ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 12·13. Ἡ πίεσις ἐξαγωγῆς ἀπὸ τὸν κύλινδρον Υ.Π. εἶναι εἰσαγωγῆς διὰ τὸν κύλινδρον τῆς Μ.Π. καὶ οὕτω καθ' ἑξῆς.

Ἡ μηχανή κατασκευάζεται κατὰ τρόπον, ὥστε τὸ συνολικὸν ἔργον νὰ ἰσομοιράζεται εἰς ὅλους τοὺς κυλίνδρους.

Αἱ διαστάσεις τῶν ἐνδιαμέσων κυλίνδρων μεταξύ Υ.Π. καὶ Χ.Π. εἶναι



Σχ. 12·13.

συνήθως τοιαῦται, ὥστε οἱ λόγοι τῶν ὀγκων δύο διαδοχικῶν κυλίνδρων νὰ εἶναι ἴσοι, δηλαδή :

$$\frac{\text{Ὀγκος κυλίνδρου Υ.Π.}}{\text{Ὀγκος κυλίνδρου Μ.Π.}} = \frac{\text{Ὀγκος κυλίνδρου Μ.Π.}}{\text{Ὀγκος κυλίνδρου Χ.Π.}} \quad (178)$$

Δεδομένου ὅτι ἡ διαδρομὴ τοῦ ἐμβόλου εἶναι ἡ αὐτὴ δι' ὅλους τοὺς κυλίνδρους, ἡ ἰσότης (176) θὰ λάβῃ τὴν μορφήν :

$$\frac{d^2}{\delta^2} = \frac{\delta^2}{D^2} \quad \eta \quad \frac{d}{\delta} = \frac{\delta}{D} \quad \eta \quad \delta = \sqrt{d \cdot D} \quad (179)$$

ὅπου : d εἶναι ἡ διάμετρος κυλίνδρου Υ.Π.· δ ἡ διάμετρος κυλίνδρου Μ.Π. καὶ D ἡ διάμετρος κυλίνδρου Χ.Π.

Παράδειγμα.

Μηχανὴ τρικύλινδρος τριπλῆς ἐκτονώσεως ἔχει 3000 IHP μὲ μέσην ταχύτητα ἐμβόλου 800 ft/min. Πίεσιν ἀτμοῦ εἰσαγωγῆς 210 lb/in² ἀπολ. Πίεσιν ἀντιθλίψεως 4 lb/in² ἀπολ. Ἀποκοπὴν εἰς κύλινδρον Υ.Π. 0,5 τῆς διαδρομῆς. Ὀλικὸς βαθμὸς ἐκτονώσεως $r = 14$. Ὀλικὸς συντελεστὴς διαγράμματος 0,7 μὲ βάσιν θεωρητικὸν διάγραμμα ἄνευ διακένων καὶ ἄνευ συμπίεσεως.

Ζητεῖται : α) Ἡ διάμετρος τῶν κυλίνδρων τῆς μηχανῆς. β) Ἡ διαδρομὴ τοῦ ἐμβόλου. γ) Ὁ ἀριθμὸς στροφῶν ἀνὰ λεπτόν.

Λύσις :

Τὸ ὅλικον διάγραμμα τῆς μηχανῆς εἶναι τὸ τοῦ σχήματος 12·13. Εὐρίσκομεν τὴν P_m , ἡ ὁποία θὰ εἶναι τὰ 0,7 τῆς θεωρητικῆς μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (167) ἥτοι :

$$P_m = \left[\frac{P_1}{r} (1 + l_n r) - P_s \right] 0,7$$

$$P_m = \left[\frac{210}{14} (1 + l_n 14) - 0,4 \right] 0,7$$

$$P_m = 35,41 \text{ lb/in}^2 \text{ άπολ.}$$

Έκ τῆς ισότητος (172) ἔχομεν :

$$\text{IHP} = \frac{P_m A V}{33000} \quad \eta \quad 3000 \times 33000 = 35,41 \times 0,7854 \times D^2 \times 800,$$

ἐκ τῆς ὁποίας εὐρίσκεται $D = \text{διάμετρος κυλίνδρου Χ.Π.} = 66,7 \text{ in.}$

$$\text{'Ο βαθμὸς ἔκτονώσεως} = \frac{\text{ὄγκος εἰς τὸ τέλος τῆς ἔκτονώσεως.}}{\text{ὄγκος εἰς τὴν ἑναρξιν τῆς ἔκτονώσεως}} \quad \eta$$

$$r = \frac{\text{ὄγκος κυλίνδρου Χ.Π.}}{\text{ὄγκος κυλίνδρου Υ.Π. μέχρι σημείου ἀποκοπῆς}} =$$

$$= \frac{0,7854 \times D^2 \times L}{0,5 \times 0,7854 \times d^2 \times L}$$

$$\eta \quad 14 = \frac{D^2}{0,5 \times d^2} \quad \eta \quad d = \frac{66,7^2}{0,5 \times 14} \quad \text{καὶ} \quad d = 25,22 \text{ in.}$$

Έκ τῆς ισότητος τώρα (179) εὐρίσκεται καὶ ἡ διάμετρος τοῦ κυλίνδρου Μ.Π.

$$\eta \quad \delta = \sqrt{25,22 \times 66,7} = 41,01 \text{ in.}$$

Πρακτικὴ διάμετρος θὰ εἶναι Υ.Π. = $25 \frac{1}{4} \text{ in.}$, Μ.Π. = 41 in, Χ.Π. = 67 in.

α) Μία κατάλληλος τιμὴ τῆς διαδρομῆς εἶναι νὰ εἶναι ἴση ἢ ἐλαφρῶς μεγαλυτέρα ἀπὸ τὴν διάμετρον τοῦ κυλίνδρου Μ.Π. $\eta \quad L = 42 \text{ in} = 3 \frac{1}{2} \text{ ft.}$

γ) Ἡ ταχύτης τοῦ ἐμβόλου $V = 2 \cdot L \cdot N$. Ἐὰν N εἰς στροφὰς ἀνὰ λεπτόν, θὰ

$$\text{εἶναι} \quad N = \frac{800}{2 \times 3,5} = 114 \text{ στροφὰι ἀνὰ λεπτόν.}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 13

ΑΚΡΟΦΥΣΙΑ — ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

13.1 Είσαγωγή.

Οί ατμοστρόβιλοι καταλαμβάνουν εξέχουσαν θέσιν εἰς ἐγκαταστάσεις πλοίων ἀλλὰ καὶ ξηρᾶς. Χρησιμοποιοῦνται καὶ ὡς κύριαι μηχαναὶ προώσεως καὶ ὡς βοηθητικαὶ διὰ κίνησιν μηχανημάτων.

Οἱ στρόβιλοι παρουσιάζουν τὰ ἐξῆς πλεονεκτήματα ἔναντι τῶν παλινδρομικῶν μηχανῶν :

α) Δίδουν ἀπ' εὐθείας περιστροφικὴν κίνησιν καὶ ὁμαλωτέραν ροπὴν στρέψεως εἰς τὸν στροφαλοφόρον ἄξονα.

β) Δὲν ὑπάρχουν ἐσωτερικαὶ τριβαί· ὥστε δὲν ἀπαιτεῖται ἐσωτερικὴ λίπανσις καὶ βεβαίως δὲν ὑπάρχει κίνδυνος ρυπάνσεως τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος, ὅπως συμβαίνει μὲ τὰς παλινδρομικὰς μηχανάς.

γ) Τὸ βάρος τῆς μηχανῆς μὲ στρόβιλον εἶναι σημαντικῶς μικρότερον, ἰδίως εἰς ὑψηλὰς ἱπποδυνάμεις.

Ταυτοχρόνως ὅμως οἱ στρόβιλοι ἔχουν τὰ ἐξῆς μειονεκτήματα :

α) Ἡ ἐγκατάστασις συστήματος συμπυκνώσεως ὕδρατμου εἶναι μεγαλυτέρα καὶ ἀπαιτεῖ μεγαλυτέραν ἰσχὺν εἰς βοηθητικὰ μηχανήματα λόγῳ τοῦ ὑψηλοτέρου κενοῦ.

β) Πτερύγια, στροφεῖον καὶ κέλυφος πρέπει νὰ εἶναι κατεσκευασμένα ἀπὸ εἰδικὸν ὑλικόν, ποὺ νὰ ἀντέχῃ εἰς τὰς ὑψηλὰς θερμοκρασίας τοῦ ὑπερθέρμου ὕδρατμου.

γ) Ἀπαιτεῖται ὕπαρξις ἰδιαίτερου στροβίλου διὰ τὴν κίνησιν τοῦ ἀνάποδα, ἡ ἰσχὺς τοῦ ὁποίου ἀντιστοιχεῖ εἰς 40 ἕως 60% αὐτῆς τοῦ στροβίλου τοῦ πρόσω. Ὁ στρόβιλος τοῦ ἀνάποδα τοποθετεῖται ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ ἄξονος μὲ τὸν στρόβιλον τοῦ πρόσω καὶ κινεῖται ὑπ' αὐτοῦ νεκρὰ κατὰ τὴν κίνησιν τοῦ πρόσω μὲ ἀνάλογον ἀπώλειαν ἔργου.

δ) Εἶναι ἀπαραίτητος ἡ ὕπαρξις μειωτήρων στροφῶν, ὥστε ὁ μὲν στρόβιλος νὰ εἶναι πολὺστροφος δι' ὑψηλὴν ἀπόδοσιν καὶ μικρότερον βάρος, ἡ δὲ ἑλῖξ νὰ εἶναι ἀργόστροφος διὰ μεγαλυτέραν ἀπόδοσιν.

Οί στροβίλοι διαιρούνται κυρίως εις στροβίλους *δράσεως* και στροβίλους *αντιδράσεως*.

Ἐξ αὐτῶν οἱ δράσεως διαιρούνται εις τύπους De Laval με ἓνα τροχὸν κινητῶν πτερυγίων, εις τύπους Curtis με διαβαθμίσεις ταχύτητος καὶ εις τύπον Rateau με διαβαθμίσεις πίεσεως.

Οἱ αντιδράσεως ὀνομάζονται καὶ Parson ἀπὸ τὸ ὄνομα τοῦ κατασκευαστοῦ των.

13.2 Σταθερὰ ροή. Ἰσότης συνεχείας ροῆς.

Σταθερὰ ροή καλεῖται ἡ συνεχῆς ροή, κατὰ τὴν ὁποίαν αἱ ιδιότητες καὶ ἡ ταχύτης τοῦ ρευστοῦ παραμένουν σταθεραὶ εις οἰονδήποτε σημεῖον τοῦ ἀγωγοῦ ροῆς.

Κατὰ τὴν σταθερὰν ροὴν πρέπει νὰ τηροῦνται οἱ κάτωθι δύο ὅροι :

α) Εἰς οἰανδήποτε διατομὴν τοῦ συστήματος ροῆς ὅλαι αἱ ιδιότητες τοῦ ρευστοῦ (π.χ. πίεσις, εἰδικὸς ὄγκος κ.λπ.) δὲν μεταβάλλονται καὶ ἡ μέση ταχύτης προχωρήσεως μέσω τῆς διατομῆς παραμένει σταθερά.

β) Τὸ ὅλικὸν βάρος τοῦ ρευστοῦ, ποὺ περιέχεται ἐντὸς τοῦ συστήματος ροῆς παραμένει πάντοτε σταθερόν. Δι' ἕκαστον kg ρευστοῦ, ποὺ εἰσέρχεται εἰς τὸ σύστημα ἀνὰ μονάδα χρόνου, πρέπει νὰ ὑπάρχη μία σύγχρονος ἐξαγωγή 1 kg ρευστοῦ εἰς τὸν ἴδιον χρόνον.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει τὸ συμπέρασμα ὅτι ἡ ἰσότης συνεχείας ροῆς, ἡ ὁποία δίδει τὸ βάρος τοῦ ρευστοῦ, ποὺ διέρχεται ἀπὸ μίαν διατομὴν τοῦ ἀγωγοῦ, εἶναι :

$$B = \frac{A \cdot V}{v} \text{ kg/sec} \quad \eta \quad \text{lb/sec} \quad (180)$$

ὅπου : A εἶναι ἡ ἐπιφάνεια διατομῆς τοῦ ἀγωγοῦ εἰς m^2 ἢ ft^2 .
 V ἡ μέση ταχύτης μέσω τῆς διατομῆς A εἰς m/sec ἢ ft/sec καὶ v ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ρευστοῦ εἰς m^3/kg ἢ ft^3/lb .

Εἰς οἰανδήποτε διατομὴν τοῦ ἀγωγοῦ ἡ ἐπιφάνεια A εἶναι σταθερά, ἐπομένως σταθερὰ θὰ εἶναι ἡ ταχύτης V καὶ ὁ εἰδικὸς ὄγκος v , ἐφ' ὅσον τηρεῖται ὁ ὅρος τῆς σταθερᾶς ροῆς. Ἐπομένως καὶ τὸ βάρος B τοῦ ρευστοῦ, ποὺ θὰ διέρχεται ἀπὸ τὴν διατομὴν, θὰ εἶναι σταθερόν εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου.

Δεδομένου ὅτι ἡ ροή εἶναι συνεχῆς, δὲν θὰ ὑπάρχη αὐξησις

ἡ ἐλάττωσις τοῦ βάρους μεταξύ δύο διατομῶν τῶν ἀγωγῶν, ἐπομένως τὸ βάρος τοῦ ρευστοῦ θὰ εἶναι τὸ ἴδιον δι' ὅλας τὰς διατομὰς, ὁπότε :

$$B_1 = B_2 = B_3 \dots = B_v$$

$$\eta \quad B = \frac{A_1 V_1}{v_1} = \frac{A_2 V_2}{v_2} = \frac{A_3 V_3}{v_3} \dots \frac{A_v \cdot V_v}{v_v} \quad (181)$$

Εἰς τὴν σταθερὰν δηλαδὴ ροὴν τὸ βάρος τοῦ ρευστοῦ εἶναι σταθερὸν δι' ὅλον τὸ σύστημα, ἐνῶ αἱ ιδιότητες τοῦ ρευστοῦ (εἶδ. ὄγκος, πίεσις κ.λπ.) καὶ ἡ ταχύτης ἔχει μίαν τιμὴν σταθερὰν δι' ἐκάστην διατομὴν τοῦ ἀγωγοῦ.

13.3 Σχῆμα ἀκροφυσίου ὅπως καθορίζεται ἀπὸ τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ ρευστοῦ.

Γενικῶς ἀκροφύσιον (ἡ *προφύσιον*) ἀτμοστροβίλου καλεῖται ἀγωγὸς μὴ σταθερᾶς διατομῆς, μέσω τοῦ ὁποίου διερχόμενος ὁ ὑδρατμὸς ὑφίσταται ἐκτόνωνσιν ἀδιαβατικὴν, ἡ πίεσις του πίπτει καὶ μέρος τῆς θερμικῆς ἐνεργείας του μετατρέπεται εἰς κινητικὴν.

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα συνεχείας ροῆς (180) παρατηροῦμεν ὅτι ἡ διατομὴ A δι' ἓνα σταθερὸν βάρος B ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν λόγον :

$$\frac{\text{ταχύτης}}{\text{εἰδικὸς ὄγκος}} = \frac{V}{v}.$$

Ἐφ' ὅσον δηλαδὴ ὁ λόγος αὐτὸς αὐξάνει, ἡ διατομὴ ἐλαττοῦται καὶ ἀντιστρόφως, ὅταν ἐλαττοῦται ὁ λόγος $\frac{V}{v}$, ἡ διατομὴ αὐξάνει.

Τὸ σχῆμα τοῦ ἀκροφυσίου θὰ εἶναι συγκλινούσης διατομῆς, ἐὰν ἡ αὐξησις τοῦ V εἶναι πολλαπλασία τοῦ v , ἡ ἀποκλινούσης, ἐὰν ἡ αὐξησις τοῦ v εἶναι πολλαπλασία τοῦ V .

Δι' ὑδρατμὸν (καὶ ἀέριον) μὲ πτώσιν τῆς πίεσεως καὶ ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωσιν μέσω τοῦ ἀκροφυσίου ἔχομεν αὐξησιν καὶ τῆς ταχύτητος καὶ τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου.

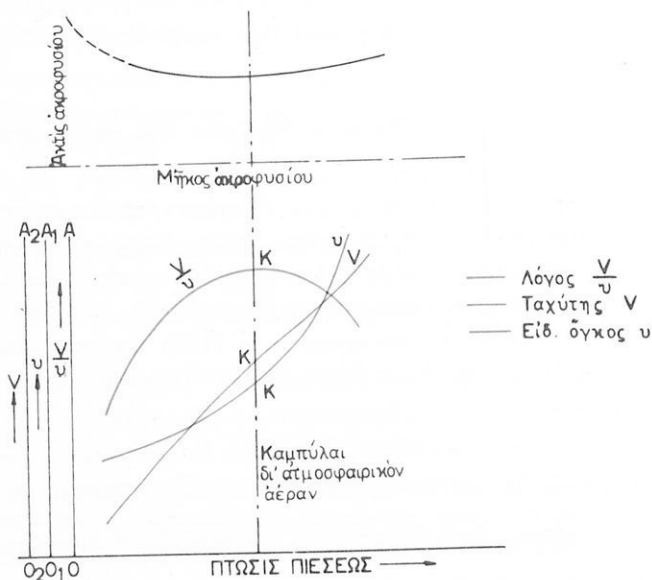
Κατὰ τὴν ἑναρξιν ὅμως τῆς ἐκτονώσεως ἡ ταχύτης αὐξάνεται περισσότερο ἀπὸ τὴν αὐξησιν τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου, ἐπομένως ὁ λόγος $\frac{V}{v}$ τείνει αὐξανόμενος, ἡ διατομὴ A συγκλίνει καὶ τὸ τμήμα αὐτὸ τοῦ ἀκροφυσίου εἶναι συγκλίνον.

Ἐν συνεχείᾳ ὅμως, καθὼς ὁ ἀτμὸς ἐκτονοῦται, ἡ αὐξησις τοῦ

ειδικού ὄγκου εἶναι πολλαπλασσία τῆς ταχύτητος καὶ ὁ λόγος $\frac{V}{u}$ τείνει ἐλαττούμενος· ἐπομένως ἡ διατομή Λ ἀρχίζει νὰ ἀποκλίνει καὶ τὸ τμήμα τοῦ ἀκροφυσίου μεταβάλλεται εἰς ἀποκλίνον.

Τὰ ἀνωτέρω παρίστανται γραφικῶς εἰς τὸ σχῆμα 13.3α.

Ὁ ὀριζόντιος ἄξων παριστᾷ πτώσιν πίεσεως κατὰ τὴν διεύθυνσιν τοῦ τόξου.



Σχ. 13.3 α.

Ἐπὶ τοῦ καθέτου ἄξονος OA ὑπὸ κλίμακα ἔχομεν τιμὰς τοῦ λόγου $\frac{V}{u}$, ἐπὶ τοῦ ἄξονος O_1A_1 τιμὰς τοῦ ειδικού ὄγκου u καὶ ἐπὶ τοῦ ἄξονος O_2A_2 τιμὰς τῆς ταχύτητος V .

Παρατηροῦμεν ὅτι μέχρι τοῦ σημείου K ὁ λόγος $\frac{V}{u}$ αὐξάνει (διότι ἡ ταχύτης V αὐξάνει πολλαπλασίως τῆς αὐξήσεως τοῦ ειδικού ὄγκου u) καὶ ἐν συνεχείᾳ ἐλαττοῦται. Ἀναλόγως μεταβάλλεται καὶ ἡ ἀκτὶς τοῦ ἀκροφυσίου.

Δι' ἀτμούς ἐπομένως καὶ ἄερια τὸ ἀκροφύσιον θὰ εἶναι ἡ συγκλίνον

ἢ συγκλίνον - ἀποκλίνον ἀναλόγως μὲ τὴν ἐπιθυμητὴν πτώσιν πιέσεως (σχ. 13.3β).

Ἡ χρῆσις ἑνὸς συγκλίνοντος ἀκροφυσίου δι' ἀτμούς καὶ ἀέρια κατὰ συνέπειαν περιορίζεται μόνον διὰ τὰς περιπτώσεις, κατὰ τὰς ὁποίας ὁ λόγος $\frac{V}{U}$ αὐξάνει.

Ἐν ἀκροφύσιον ὑδρατμοῦ, ὅπως χρησιμοποιεῖται εἰς ἀτμοστρόβιλον, πρέπει νὰ εἶναι ὅσον τὸ δυνατόν μικροτέρου μήκους διὰ τοὺς ἑξῆς λόγους :

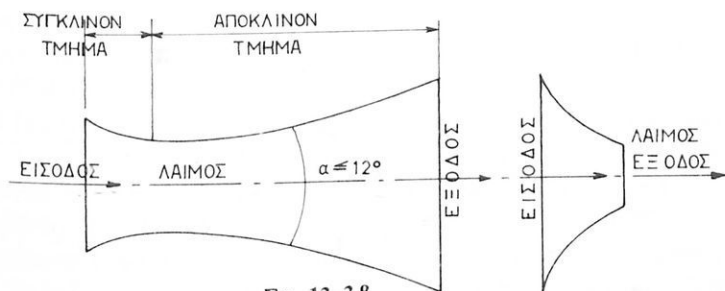
α) Αἱ ἀπώλειαι λόγῳ τριβῶν τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὰ τοιχώματα τοῦ ἀκροφυσίου αὐξάνουν μὲ τὸ μήκος του.

β) Ὁ διατιθέμενος χώρος διὰ τὰ ἀκροφύσια εἰς ἓνα ἀτμοστρόβιλον πρέπει νὰ εἶναι ὅσον τὸ δυνατόν μικρότερος.

γ) Αἱ ἀκριβεῖς καμπύλαι τοῦ ἰδανικοῦ ἀκροφυσίου δυσκόλως κατασκευάζονται ἀπὸ τὰ κοπτικὰ μηχανήματα, ὅταν τοῦτο ἔχῃ μέγα μήκος.

Διὰ τοὺς ἀνωτέρω λόγους ἡ διατομή (πλαγία ὄψις) ἑνὸς πραγματικοῦ ἀκροφυσίου ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓν καμπύλον τμήμα, ἀπὸ τὴν εἴσοδον ἕως τὸν λαιμόν (ἢ ἐλαχίστην ἐπιφάνειαν ροῆς) καὶ ἓν εὐθύγραμμον κωνικὸν ἀπὸ τὸν λαιμόν ἕως τὴν ἔξοδον.

Διὰ νὰ μὴ πραγματοποιηθῇ ἐπίσης ὑπερβολικὸς στροβιλισμὸς



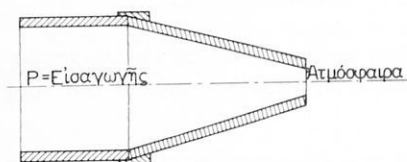
Σχ. 13.3β.

εἰς τὸ ἀποκλίνον τμήμα, ἡ γωνία ἀποκλίσεως δὲν πρέπει νὰ εἶναι μεγαλύτερα τῶν 12 μοιρῶν.

Ἡ ἐγκαρσία διατομή τοῦ ἀκροφυσίου (σχ. 13.3β) δύναται νὰ εἶναι περιφέρεια, τετράγωνον ἢ ὀρθογώνιον.

Ἐὰν τὸ ρευστόν, ποῦ ρεεῖ μέσω τοῦ ἀκροφυσίου, εἶναι ὑγρόν,

τότε ή μεταβολή του είδικου όγκου του με την πτώσιν τής πίεσεως είναι άμελητέα και ή ισότης (180) λαμβάνει την μορφήν $B \cdot u = A \cdot V$, εις την όποίαν τó γινόμενον $B \cdot u$ είναι σταθερόν. Έπομένως είναι φανερόν ότι δια τά ύγρά αύξεις τής ταχύτητος V είναι αποτέλεσμα έλαττώσεως τής διατομής A .



Σχ. 13.3 γ.

Έν άκροφύσιον έπομένως ύγρου είναι πάντοτε συγκλίνον.

Εις έν συγκριμένον άκροφύσιον δι' ύγρά, ώς τó του σχήματος 13.3 γ (που χρησιμοποιούνται εις σωλήνας έκτοξεύσεως ύδατος έναντίον πυρκαϊών), τó

όποιον έχει καθωρισμένην έπιφάνειαν έξόδου του ύγρου και ή πίεσις έξαγωγής είναι ή άτμοσφαιρική, ή αύξεις τής ταχύτητος και του διερχομένου βάρους του ύγρου έπιτυγχάνεται δι' αύξήσεως τής πίεσεως είσαγωγής P εις τó άκροφύσιον.

13.4 Κρίσιμος πίεσις και ταχύτης.

Ός άνεφέρθη εις την προηγούμενην παράγραφον, έν άκροφύσιον συγκλίνον χρησιμοποιείται δια συμπιεζόμενα ρευστά (άτμος—άέριον) μόνον εις τās περιπτώσεις, κατά τās όποιās ό λόγος $\frac{V}{u}$ αύξάνει.

Δι' άτμούς και άέρια ή μεγίστη πτώσις πίεσεως, πρú θά πραγματοποιηθή έντòς συγκλίνοντος άκροφυσίου, έξαρτάται μόνον άπό τās ιδιότητας του άερίου ή άτμου και είναι άνεξάρτητος τής όλικής διαφοράς πίεσεως, που έπικρατεί μεταξύ είσαγωγής και έξαγωγής του άκροφυσίου.

Δι' οίονδήποτε συμπιεζόμενον ρευστόν δύναται νά κατασκευασθύν καμπύλαι παρόμοιαι του σχήματος 13.3 α, και με την προϋπόθεσιν ότι έχομεν σταθεράν πίεσιν έξαγωγής (π.χ. 1 άτμόσφαιρα), ένω προοδευτικώς αύξάνεται ή πίεσις είσαγωγής.

Άνάλυσις τών καμπυλών αυτών θά άποδείξει ότι :

α) Εις μίαν ώρισμένην πίεσιν είσαγωγής ό λόγος $\frac{V}{u}$ έχει την μεγίστην δυνατήν τιμήν.

β) Η πίεσις P_k , εις την όποίαν ό λόγος $\frac{V}{u}$ άποκτá την μεγί-

στην τιμήν, ἔχει πάντοτε λόγον σταθερὸν μὲ τὴν τιμήν P_1 τῆς πίεσεως εἰσαγωγῆς, δηλαδὴ $\frac{P_{\kappa}}{P_1} = \text{σταθ.}$

γ) Ἡ τιμὴ τοῦ λόγου $\frac{P_{\kappa}}{P_1}$ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ εἶδος τοῦ ἀτμοῦ ἢ ἀερίου, ποὺ διέρχεται μέσω τοῦ ἀκροφυσίου.

Ἡ πίεσις P_{κ} , ποὺ ἐπικρατεῖ εἰς τὴν ἐλαχίστην διατομὴν A_{κ} (ἢ λαιμόν) τοῦ ἀκροφυσίου ὀνομάζεται *κρίσιμος πίεσις* καὶ ὁ λόγος $\frac{P_{\kappa}}{P_1}$ ὀνομάζεται *κρίσιμος λόγος*.

Μολονότι ἡ τιμὴ τοῦ P_{κ} εἶναι μεταβλητὴ, ὁ κρίσιμος λόγος εἶναι σταθερὸς καὶ ἀποτελεῖ χαρακτηριστικὸν τοῦ ρευστοῦ. Ὁ λόγος αὐτὸς ἀποδεικνύεται ὅτι ἰσοῦται μὲ :

$$\frac{P_{\kappa}}{P_1} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (182)$$

Μὲ βάσιν τώρα ὅτι ὁ ὑπέρθερμος ὕδρατμός ἔχει $\gamma = 1,3$ ὁ ὑγρὸς ὕδρατμός ἔχει $\gamma = 1,13$ καὶ ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ $\gamma = 1,4$ θὰ ἔχωμεν.

Δι' ὑπέρθερμον ὕδρατμόν (ἀρχικὴ κατάσταση) :

$$\frac{P_{\kappa}}{P_1} = 0,55 \quad (183)$$

Δι' ὑγρὸν ὕδρατμόν :

$$\frac{P_{\kappa}}{P_1} = 0,58 \quad (184)$$

Δι' ἀτμοσφαιρικὸν ἀέρα :

$$\frac{P_{\kappa}}{P_1} = 0,53 \quad (185)$$

Ἐὰν τὸ ἀκροφύσιον εἶναι μόνον συγκλίνον, ἡ P_{κ} θὰ εἶναι εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ ἀκροφυσίου (δηλαδὴ τὴν ἐλαχίστην διατομὴν). Ἐὰν τὸ ἀκροφύσιον εἶναι συγκλίνον - ἀποκλίνον, ἡ P_{κ} θὰ εἶναι εἰς τὸν λαιμόν, δηλαδὴ πάλιν εἰς τὴν ἐλαχίστην διατομὴν.

Κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ροὴν τοῦ ρευστοῦ ἐντὸς τοῦ ἀκροφυσίου καὶ τὴν μετατροπὴν μέρους τῆς θερμικῆς εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν, ἡ ταχύτης, ποὺ ἀποκτᾶται εἰς τὸν λαιμόν τοῦ ἀκροφυσίου καὶ μὲ πτώσιν πίεσεως ἀπὸ P_1 εἰς τὴν κρίσιμον P_{κ} , ὀνομάζεται *κρίσιμος ταχύτης* V_{κ} .

Ἡ τιμὴ τῆς V_{κ} εἶναι περίπου ἴση μὲ τὴν ταχύτητα διαδόσεως

του ήχου εντός του ρευστού αυτού εις την κρίσιμον κατάστασιν πίεσεως και όγκου (P_k και v_k) και δια τουτο ονομάζεται *κρίσιμος* ή *ήχητική ταχύτης*.

13.5 Υπολογισμός ταχύτητος ύδρατμου και αερίου κατά την δίοδον μέσω άκροφυσίου.

Άεριον : Έστω ότι 1 kg αερίου εισέρχεται εντός άκροφυσίου (σχ. 13.3β) με αρχικήν ταχύτητα V_1 και εξέρχεται με τελικήν ταχύτητα V_2 . Γνωστού όντος ότι ή κινητική ενέργεια 1 kg αερίου ταχύτητος V είναι $\frac{V^2}{2g}$, ισότης (7), ή αύξησης της κινητικῆς ενέργειας του αερίου θα είναι ίση με την διαφοράν :

$$\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}.$$

Η αύξησης αυτή της κινητικῆς ενέργειας του αερίου θα είναι ίση με την μεταβολήν του θερμικού περιεχομένου του, ή όποία είναι ίση με $C_p (T_1 - T_2) \cdot J$ (ιδε παράγρ. 6.12) εις μονάδας έργου, εάν T_1 είναι ή θερμοκρασία εισόδου του αερίου εις τὸ άκροφύσιον και T_2 ή θερμοκρασία έξόδου :

Επομένως θα ισχύη ή σχέσις :

$$\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} = C_p (T_1 - T_2) \cdot J \quad (186)$$

Συνήθως ή ταχύτης V_1 εισόδου αερίου ή ύδρατμου εντός άκροφυσίου είναι πολύ μικρά συγκρινόμενη με την ταχύτητα V_2 και δύναται νά παραλειφθῇ, όποτε ή ισότης (186) λαμβάνει την μορφήν :

$$\frac{V^2}{2g} = C_p (T_1 - T_2) \cdot J \quad (\text{όπου } V = \text{τελική ταχύτης έξόδου})$$

$$\eta \quad V = \sqrt{2g \cdot J \cdot C_p (T_1 - T_2)} \quad (187)$$

Υδρατμός : Τα άνωτέρω ισχύουν και δι' ύδρατμόν, με την διαφοράν ότι ή μεταβολή του θερμικού περιεχομένου του ή άλλως ή θερμική πτώσις του λόγω της εντός του άκροφυσίου αδιαβατικῆς έκτονώσεως θα είναι $i_1 - i_2$, όπου : i_1 είναι ή όλική θερμότης κατά την είσοδον και i_2 ή όλική θερμότης του ύδρατμου κατά την έξοδον από τὸ άκροφύσιον.

Επομένως δια τὸν ύδρατμόν ισχύει αντιστοίχως ή ισότης :

$$\frac{V^2}{2g} = (i_1 - i_2) J \quad \eta \quad V = \sqrt{2g \cdot J (i_1 - i_2)} \quad (188)$$

Εἰς τὴν ἰσότητά (188), ἐὰν ἡ θερμικὴ πτώσις $i_1 - i_2$ εἶναι kcal/kg, τότε $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ καὶ $J = 427 \text{ kgm/kcal}$, ὁπότε ἀντικαθιστῶν-
τες λαμβάνομεν :

$$V = 91,5 \sqrt{i_1 - i_2} \quad \text{εἰς m/sec} \quad (189)$$

Ἐὰν ἡ θερμικὴ πτώσις $i_1 - i_2$ εἶναι BTU/lb, τότε $g = 32,2 \text{ ft/sec}^2$
καὶ $J = 778 \text{ ftlb/BTU}$, ὁπότε λαμβάνομεν :

$$V = 224 \sqrt{i_1 - i_2} \quad \text{εἰς ft/sec} \quad (190)$$

Ἐὰν ἡ θερμικὴ πτώσις $i_1 - i_2$ εἶναι lcal/lb, τότε $g = 32,2 \text{ ft/sec}^2$
καὶ $J = 1400 \text{ ftlb/lcal}$, ὁπότε λαμβάνομεν :

$$V = 300 \sqrt{i_1 - i_2} \quad \text{εἰς ft/sec} \quad (191)$$

Εἰς τὴν πρᾶξιν ἡ ταχύτης τοῦ ὕδρατμοῦ, ποὺ εὑρίσκεται ἀπὸ τὰς
ἀνωτέρω ἰσότητας, εἶναι κατὰ τι μικρότερα λόγω τῶν τριβῶν τοῦ
ὕδρατμοῦ κατὰ τὴν διόδον του μέσω τοῦ ἀκροφυσίου ἰδίως εἰς τὸ ἀπο-
κλῖνον τμήμα αὐτοῦ. Ἀποτέλεσμα τῶν τριβῶν εἶναι ἡ ἀναθέρμανσις
τοῦ ὕδρατμοῦ εἰς βάρος τῆς κινητικῆς ἐνεργείας του. Ἡ πραγματικὴ
θερμικὴ πτώσις, ἡ ὁποία καὶ μετατρέπεται εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν,
εἶναι κατὰ 10 ἕως 15% μικρότερα τῆς ($i_1 - i_2$), θὰ ἔχη δηλαδὴ τιμὴν
 $K (i_1 - i_2)$, ὅπου $K = 0,85$ ἕως 0,9.

Παράδειγμα 1ον.

Ἄηρ εἰσέρχεται εἰς ἀεριοστρόβιλον μέσω ἀκροφυσίου. Θερμοκρασία ἀέρος 600°C
καὶ 470°C κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν καὶ ἐξαγωγὴν ἀπὸ τὰ ἀκροφύσια ἀντιστοίχως. Ἡ
ταχύτης εἰσαγωγῆς τοῦ ἀέρος εἰς τὸ ἀκροφύσιον εἶναι ἀμελητέα.

Ζητεῖται : α) Ἡ κινητικὴ ἐνέργεια εἰς kcal/kg. β) Ἡ ταχύτης τοῦ ἀέρος
κατὰ τὴν ἐξοδὸν του ἀπὸ τὸ ἀκροφύσιον.

Λύσις:

$$\alpha) \frac{V^2}{2g \cdot J} = C_p (T_1 - T_2) = 0,24 \times (600 - 470)$$

$$\text{καὶ} \quad \frac{V^2}{2g \cdot J} = 31,2 \text{ kcal/kg.}$$

$$\beta) V = \sqrt{2 \times 9,81 \times 427 \times 31,2} \quad \eta \quad V = 91,5 \sqrt{31,2} = 511,48 \text{ m/sec.}$$

Παράδειγμα 2ον.

Ὑδρατμὸς εἰσέρχεται εἰς ἀτμοστρόβιλον μέσω ἀκροφυσίου. Ἀρχικὴ κατάσταση
τοῦ ὕδρατμοῦ $P_1 = 30 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t_1 = 400^\circ\text{C}$. Πίεσις ἐξαγωγῆς ἀπὸ τὸ ἀκρο-
φύσιον $P_2 = 0,1 \text{ kg/cm}^2$.

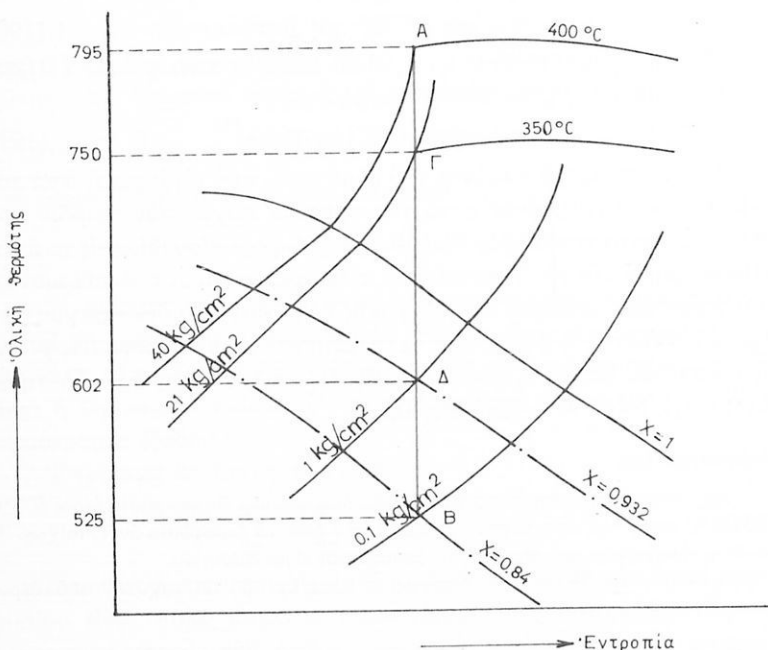
Ζητεῖται : α) Ἡ κρίσιμος πίεσις P_k . β) Ἡ μορφή τοῦ ἀκροφυσίου. γ) Ἡ κατά-
στασις τοῦ ὕδρατμοῦ εἰς τὸν λαιμὸν τοῦ ἀκροφυσίου. δ) Ἡ κρίσιμος ταχύτης.
ε) Ἡ ταχύτης ἐξόδου ὕδρατμοῦ ἀπὸ τὸ ἀκροφύσιον. στ) Ἡ τελικὴ κατάσταση τοῦ

υδρατμοῦ, ὅταν ἐξέρχεται τοῦ ἀκροφυσίου. Τριβαὶ δὲν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν.

Λύσις :

Χρησιμοποιοῦμεν τὸ διάγραμμα Mollier καὶ ἀναγινώσκομεν τὰ διάφορα στοιχεῖα, ὡς ἐμφαίνονται εἰς τὸ σχῆμα (13.5).

α) Ἡ ἀρχικὴ κατάσταση τοῦ υδρατμοῦ εἶναι ὑπέρθερμος, ἐπομένως ἐκ τῆς ἰσότητος (183) $P_K = 0,55 \times 40$ ἢ $P_K = 21 \text{ kg/cm}^2$.



Σχ. 13.5.

β) Τὸ ἀκροφύσιον εἶναι συγκλίνον - ἀποκλίνον, ἀφοῦ $P_K > P_2$.

γ) Ἡ κατάσταση τοῦ υδρατμοῦ εἰς τὸν λαίμον ἐπίσκειται εἰς τὸ διάγραμμα Mollier (σημεῖον Γ') καὶ εἶναι ὑπέρθερμος $P_K = 21 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $t = 350^\circ\text{C}$ (σχ. 13.5).

δ) Ἡ κρίσιμος ταχύτης εἶναι $V_K = 91,5 \sqrt{795 - 750}$

$$\text{ἢ } V_K = 91,5 \sqrt{45} = 613 \text{ m/sec.}$$

ε) Ἡ ταχύτης ἐξόδου εἶναι $V_{\text{τελ}} = 91,5 \sqrt{795 - 525}$

$$\text{ἢ } V_{\text{τελ}} = 91,5 \sqrt{270} = 1503,3 \text{ m/sec.}$$

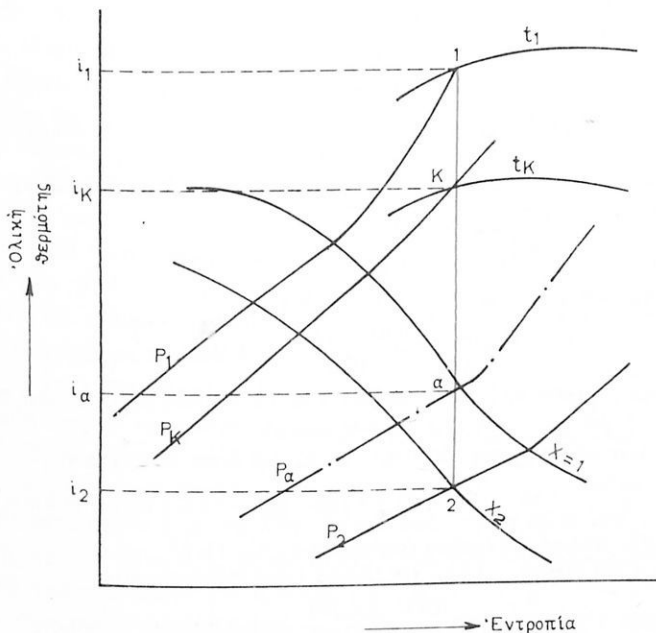
στ') Ἡ τελικὴ κατάσταση τοῦ υδρατμοῦ λαμβάνεται ἐκ τοῦ διαγράμματος Mollier (σημεῖον Β) καὶ εἶναι ὑγρὸς $P_2 = 0,1 \text{ kg/cm}^2$ καὶ $x = 0,84$.

13.6 Ὑπολογισμὸς διατομῆς λαιμοῦ καὶ διατομῆς ἐξόδου ἀκροφυσίου.

Αἱ διαστάσεις ἑνὸς ἀκροφυσίου ὑπολογίζονται συνήθως ἀνὰ μονάδα βάρους διερχομένου ὑδρατμοῦ τῇ βοήθειᾳ τῆς ἰσότητος συνεχείας ροῆς.

Οὕτως ἔστω: P_1 ἡ ἀρχικὴ πίεσις ὑδρατμοῦ εἰσαγωγῆς· i_1 ἡ ἀρχικὴ ὀλικὴ θερμότης ὑδρατμοῦ· P_K ἡ πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὸν λαιμόν, ἡ ὁποία ἔχει τιμὴν $0,55 P_1$ δι' ὑπέρθερμον καὶ $0,58 P_1$ δι' ὑγρὸν ὑδρατμόν· i_K ἡ ὀλικὴ θερμότης ὑδρατμοῦ εἰς τὴν πίεσιν P_K καὶ P_2 ἡ πίεσις ὑδρατμοῦ τῆς ἐξόδου ἀκροφυσίου· i_2 ἡ ὀλικὴ θερμότης ὑδρατμοῦ εἰς ἐξόδον· A_K ἡ ἐπιφάνεια ἐγκαρσίας διατομῆς λαιμοῦ· A_2 ἡ ἐπιφάνεια ἐγκαρσίας διατομῆς ἐξόδου τοῦ ἀκροφυσίου.

Χρησιμοποιοῦντες τὸ διάγραμμα Mollier φέρομεν ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν τοῦ ἀτμοῦ 1 (σχ. 13.6) μίαν κάθετον μέχρι τῆς τελικῆς πίεσεως P_2 , ἥτοι μέχρι τοῦ σημείου 2. Ἀπὸ τὸ διάγραμμα ἔχομεν τὰς τιμὰς i_1 , i_K , i_2 καὶ χ_2 .



Σχ. 13.6.

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα ἢ τοὺς πίνακες τοῦ Παραρτήματος ἔχομεν τὰς τιμὰς v_K καὶ v_2 ἀναλόγως μὲ τὴν κατάστασιν καὶ πίεσιν τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὰ σημεία K καὶ 2. Οὕτως:

α) Διά τὸν λαιμόν :

$$V_K = 91,5 \sqrt{v_1 - v_K} \text{ m/sec} \quad \text{καὶ ἐκ τῆς ἰσότητος (180)}$$

$$\text{ἐὰν } B = 1 \text{ kg/sec} \quad \text{θὰ εἶναι : } A_K = \frac{v_K}{V_K} \text{ m}^2 \quad (192)$$

β) Διά τὴν ἐξόδον :

$$V_{\text{τελ}} = 91,5 \sqrt{v_1 - v_2} \text{ m/sec} \quad \text{καὶ } A = \frac{\chi_2 v_2}{V_{\text{τελ}}} \text{ m}^2 \quad (193)$$

γ) Διά μίαν οἰανδήποτε διατομήν, εἰς τὴν ὁποίαν ἡ πίεσις εἶναι P_a :

$$V_\alpha = 91,5 \sqrt{v_1 - v_\alpha} \text{ m/sec} \quad \text{καὶ } A_\alpha = \frac{\chi_\alpha v_\alpha}{V_\alpha} \text{ m}^2 \quad (195)$$

Παράδειγμα.

Εἰς τὸ ἀκροφύσιον, ἀπὸ τὸ ὁποῖον διέρχεται ὁ ὕδρατμος, ὡς εἰς παράδειγμα 2 παράγραφος 13.5, νὰ ὑπολογισθοῦν ἀνὰ kg διερχομένου ὕδρατμου ἀνὰ sec : α) ἡ διατομή τοῦ λαιμοῦ, β) τῆς ἐξόδου καὶ γ) ἡ διατομή, ὅταν ἡ πίεσις εἶναι 1 kg/cm².

Δύσεις :

α) Ἡ διατομή λαιμοῦ ἐκ τῆς ἰσότητος (192) εἶναι :

$$A_K = \frac{v_K}{V_K} \cdot H V_K \quad (\text{εὐρέθη εἰς παράδειγμα 2, παράγρ. 13.5} \text{ ὅτι εἶναι :}$$

$$V_K = 613 \text{ m/sec} \quad \text{τὸ } v_K = 0,1343 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{ἀπὸ Πίνακα 3 διὰ } P = 21 \text{ kg/cm}^2 \text{ καὶ } t = 350^\circ \text{ C}).$$

$$\text{καὶ } A_K = \frac{0,1343}{613} = 0,000219 \text{ m}^2.$$

β) Ἡ διατομή ἐξόδου ἐκ τῆς ἰσότητος (193) εἶναι :

$$A = \frac{\chi_2 \cdot v_2}{V_{\text{τελ}}} = \frac{0,84 \times 14,95}{1503} = 0,0083 \text{ m}^2$$

(τὸ $v_2 = 14,95 \text{ m}^3/\text{kg}$ ἀπὸ τοὺς πίνακας, $V = 1503 \text{ m/sec}$ ἀπὸ παράδειγμα 2 παραγρ. 13.5 καὶ $\chi_2 = 0,84$ ἀπὸ τὸ διάγραμμα).

γ) Ἡ διατομή εἰς πίεσιν 1 kg/cm². Ἐκ τῆς ἰσότητος (195) ἔχομεν :

$$A_\alpha = \frac{\chi_\alpha v_\alpha}{V_\alpha} \quad \text{τὸ } V_\alpha = 91,5 \sqrt{795 - 602} = 1272 \text{ m/sec περίπου}$$

τὸ $\chi_\alpha = 0,932$ ἀπὸ τὸ διάγραμμα (σημεῖον Δ εἰς σχ. 13.5)

καὶ $v_\alpha = 1,727 \text{ m}^3/\text{kg}$ (ἀπὸ τὸν Πίνακα 1 τοῦ Παραρτήματος)

$$\text{καὶ } A_\alpha = \frac{0,932 \times 1,727}{1272} = 0,00133 \text{ m}^2.$$

13.7 Ἀποτελέσματα τριβῶν τοῦ ὕδρατμου.

Ὁ ὕδρατμος ὁδηγεῖται ἐντὸς τοῦ ἀτμοστροβίλου μέσω σειρᾶς ἀκροφυσίων ἢ σειρᾶς σταθερῶν πτερυγίων, τὰ ὁποῖα ἔχουν τοιαύτην

διάταξιν, ὥστε ἡ πλαγία τομή των νὰ ἔχη σχῆμα ἀκροφυσίου. Λόγω τῆς μεγάλης ταχύτητος τοῦ ὑδρατμοῦ, ἡ ὁποία ἀναπτύσσεται ἐντὸς ἑνὸς ἀκροφυσίου, αἱ ἀπώλειαι ἐκ τριβῶν εἶναι ἀναπόφευκτοι. Τὸ μεγαλύτερον μέρος τῶν τριβῶν εἰς ἀκροφύσιον συγκλίνουν-ἀποκλίνουν πραγματοποιεῖται εἰς τὸ ἀποκλίνον τμήμα, δηλαδή μεταξὺ λαιμοῦ καὶ ἐξόδου.

Τὸ ἀποτέλεσμα τῆς τριβῆς εἶναι ἡ ἐλάττωσις τῆς θερμικῆς πτώσεως κατὰ 10 ἕως 15% περίπου, ὅποτε αἱ ἀντίστοιχοι ἰσότητες τῶν ταχυτήτων (παράγ. 13.5) θὰ ἔχουν τὴν μορφήν :

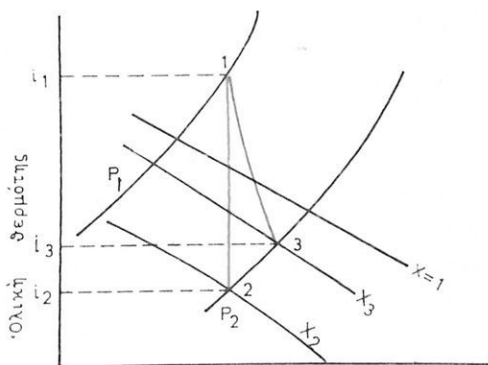
$$V = 91,5 \sqrt{K(u_1 - u_2)} \text{ εἰς m/sec} \quad (195)$$

$$V = 224 \sqrt{K(u_1 - u_2)} \text{ εἰς ft/sec} \quad (196)$$

$$V = 300 \sqrt{K(u_1 - u_2)} \text{ εἰς ft/sec} \quad (197)$$

ὅπου : K εἶναι ὁ συντελεστὴς ἀπωλειῶν λόγω τριβῶν = 0,85 ἕως 0,9. Ἡ κινητικὴ ἐνέργεια, ἡ ὁποία χάνεται λόγω τριβῶν, μετατρέπεται εἰς θερμότητα με ἀποτέλεσμα τὴν ἀναθέρμανσιν τοῦ ὑδρατμοῦ. Ἡ ἀναθέρμανσις αὕτῃ ἐπηρεάζει τὴν τελικὴν κατάστασιν τοῦ ὑδρατμοῦ κατὰ τὴν ἐξοδὸν τοῦ ἀπὸ τὸ ἀκροφύσιον. Τοῦτο ἐμφαίνεται ἐπὶ τοῦ διαγράμματος Mollier (σχ. 13.7). Τὸ σημεῖον 1 εἶναι ἡ ἀρχικὴ κατάστασις τοῦ ὑδρατμοῦ καὶ τὸ 2 ἡ τελικὴ μετὰ ἀπὸ ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωνσιν ἄνευ τριβῶν. Ἐὰν ὑπάρχουν τριβαὶ καὶ ὁ συντελεστὴς τριβῆς $K = 0,9$, τότε λαμβάνεται ἐπὶ τοῦ ἄξονος τῶν i τὸ i_3 κατὰ τρόπον, ὥστε $i_1 - i_3 = 0,9 (i_1 - i_2)$.

Ἐπειδὴ ἡ τελικὴ πίεσις τοῦ ὑδρατμοῦ με τριβάς ἢ ἄνευ τριβῶν θὰ εἶναι πάντοτε ἡ αὕτῃ P_2 , φέρομεν ἀπὸ τὸ i_3 μίαν ὀριζοντίαν, ἕως ὅτου συναντήσῃ τὴν P_2 εἰς τὸ σημεῖον 3. Τὸ σημεῖον αὐτὸ θὰ εἶναι ἡ πραγματικὴ τελικὴ κατάστασις τοῦ ὑδρατμοῦ κατὰ τὴν ἐξοδὸν τοῦ ἀπὸ τὸ ἀκροφύσιον.



Σχ. 13.7.

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα παρατηροῦμεν ὅτι ὁ ὑδρατμὸς λόγω ἀναθερμάνσεως ἔγινε ξηρότερος (τὸ $\chi_3 > \chi_2$).

Ἡ διαφορὰ $i_3 - i_2$ μᾶς δίδει καὶ τὰς θερμικὰς ἀπωλείας λόγω τριβῶν τοῦ ὑδρατμοῦ κατὰ τὴν ἀδιαβατικὴν ἐκτόνωνσιν. Ἡ πραγματικὴ ἐκτόνωσις ἐπίσης τοῦ ὑδρατμοῦ θὰ εἶναι ἐκείνη τῆς 1-3, δηλαδὴ δὲν εἶναι πλέον ἰσοτροπικὴ.

13.8 Ἀπομάστευσις.

Ἀπομάστευσις εἶναι ἡ λειτουργία, κατὰ τὴν ὁποίαν ἀφαιρεῖται ποσότης ὑδρατμοῦ ἀπὸ ὠρισμένης διαβαθμίσεως τοῦ ἀτμοστροβίλου καὶ χρησιμοποιεῖται δι' ἀναθέρμανσιν τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος ἢ εἰς βραστῆρας πρὸς παραγωγὴν τροφοδοτικοῦ ὕδατος ἐκ τῆς θαλάσσης κ.λπ.

Ἡ ἐγκατάστασις τότε ἐργάζεται μὲ βᾶσιν τὸν αὐτοαναθερμαινόμενον κύκλον Rankine, ὅπως ἀνεπτύχθη εἰς τὴν παράγραφον 11.7.

Ἀποτελεσμα τῆς ἀπομαστεύσεως εἶναι :

α) Ἐλάττωσις τοῦ παραγομένου ἔργου ὑπὸ τοῦ ἀτμοστροβίλου λόγω τοῦ ἀπομαστευομένου ὑδρατμοῦ.

β) Τροφοδότησις τοῦ λέβητος μὲ ὕδωρ ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας.

γ) Βελτίωσις τῆς θερμικῆς ἀποδόσεως τῆς ἐγκαταστάσεως.

Εἰς τὸ σχῆμα 13.8α παρίσταται διαγραμματικῶς μία ἐγκατάστασις ἀτμοστροβίλου μὲ τρεῖς ἀπομαστεύσεις. Ὁ ἀπομαστευόμενος ὑδρατμὸς κυκλοφορεῖ περίξ τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος ἐντὸς τῶν προθερμαντήρων καὶ ἀποβάλλει τὴν θερμότητά του εἰς τὸ ὕδωρ ὑγροποιούμενος καὶ ἐν συνεχείᾳ ὡς συμπύκνωμα (ὕγρᾳ) ὁδηγεῖται εἰς τὸ θερμοδοχεῖον.

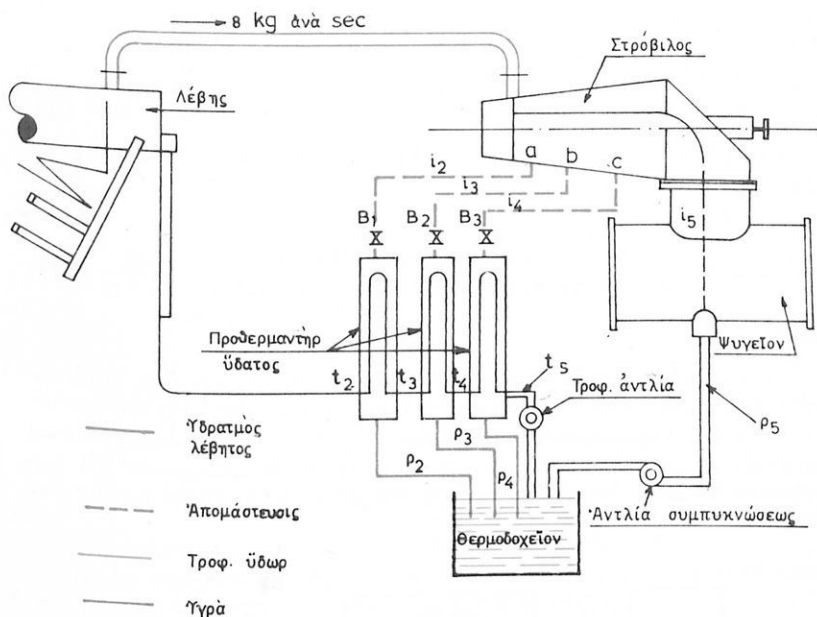
Ἐστω ὅτι i_1 εἶναι ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ὑπὸ τοῦ λέβητος παραγομένου ὑδρατμοῦ· i_5 ἡ ὀλικὴ θερμότης ὑδρατμοῦ εἰς τὴν ἐξαγωγήν τοῦ ἀτμοστροβίλου· i_2, i_3, i_4 ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὰ σημεῖα ἀπομαστεύσεως α, β καὶ γ ἀτμοστροβίλου.

Τὸ βάρος τοῦ ἀπομαστευομένου ὑδρατμοῦ ὑπολογίζεται νὰ εἶναι ὅσον ἀπαιτεῖται διὰ τὴν ὕψωσιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ θερμαινόμενου ὕδατος εἰς ἐκείνην τοῦ θερμαίνοντος ὑδρατμοῦ. Ἐστω B_1, B_2, B_3 τὸ βάρος τοῦ ἀπομαστευομένου ὑδρατμοῦ ἀντιστοίχως εἰς τὰ α, β καὶ γ ἀνὰ kg θερμαινόμενου ὕδατος, ὁπότε :

Θερμότης ἀπολεσθεῖσα ἀπὸ ὑδρατμὸν = Θερμότης ἀπορροφηθεῖσα ἀπὸ ὕδωρ ἢ

$$B_1 (i_2 - p_2) = h_2 - h_3 \quad (198)$$

όπου: B_1 είναι το βάρος του απομαστευομένου υδρατμού από απομάστευσιν εις σημείον α' i_2 ή όλική θερμότης του απομαστευομένου υδρατμού εις σημείον α' ρ_2 ή αίσθητή θερμότης του υγροποιηθέντος υδρατμού εντός του προθερμαντήρος· i_2 ή θερμότης που περιέχεται εις 1 kg τροφοδοτικού ύδατος, όταν εξέρχεται από τον τρίτον προ-

 $\Sigma\chi. 13.8 \alpha.$

θερμαντήρα h_3 ή θερμότης που περιέχεται εις 1, kg τροφοδοτικού ὕδατος, ὅταν τοῦτο εἰσέρχεται εἰς τὸν τρίτον προθερμαντήρα καὶ ἀφοῦ ἔχει διέλθει μέσω τοῦ δευτέρου προθερμαντήρος.

Από την ισότητα (198) έχουμε : $B_1 = \frac{h_2 - h_3}{l_2 - \rho_2}$.

Κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον θὰ εἶναι :

$$B_2 = \frac{h_3 - h_4}{l_3 - \rho_3} \quad \text{και} \quad B_3 = \frac{h_4 - h_5}{l_4 - \rho_4}.$$

Τὸ βάρος τοῦ ὑδρατμοῦ εἰς τὸν στρόβιλον ἀνὰ kg τροφοδοτικοῦ ὕδατος θὰ εἶναι :

'Από την εισαγωγήν μέχρι τῆς ἀπομαστεύσεως σημείου α 1 kg
 'Από διαβάθμισιν α ἕως b $1 - B_1 \text{ kg}$
 'Από διαβάθμισιν b ἕως c $1 - B_1 - B_2 \text{ kg}$
 'Από διαβάθμισιν c ἕως ἐξαγωγῆν $1 - B_1 - B_2 - B_3 \text{ kg}$

Παραγόμενον ἔργον ἀνὰ kg τροφοδοτικοῦ ὕδατος θὰ εἶναι τὸ ἄθροισμα : $W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ εἰς kcal/kg.

$W_1 =$ 'Από εισαγωγήν ἕως ἀπομάστευσιν α $= (i_1 - i_2)$.

$W_2 =$ 'Από διαβάθμισιν α ἕως b $= (i_2 - i_3) (1 - B_1)$.

$W_3 =$ 'Από διαβάθμισιν b ἕως c $= (i_3 - i_4) (1 - B_1 - B_2)$.

$W_4 =$ 'Από διαβάθμ. c ἕως ἐξαγωγῆν $= (i_4 - i_5) (1 - B_1 - B_2 - B_3)$.

'Η χορηγούμενη θερμότης ἀνὰ kg τροφοδοτικοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ λέβητος εἶναι $i_1 - p_2$.

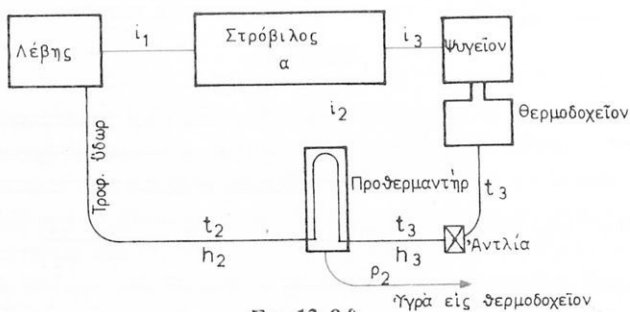
'Η θερμικὴ ἀπόδοσις θὰ εἶναι ὁ λόγος :

$$\text{'Απόδοσις} = \frac{\text{Παραγόμενον ἔργον ἀνὰ kg ὕδατος}}{\text{Χορηγούμενη θερμότης ἀνὰ kg τροφ. ὕδατος}} = \frac{W}{i_1 - p_2} \quad (199)$$

Παράδειγμα.

'Ατμοστρόβιλος ἐργάζεται μετὰ τὰ ἑξῆς δεδομένα : Πίεσις εισαγωγῆς 30 kg/cm^2 ἀπόλ. Θερμοκρασία εἰσερχομένου ὕδατος 400°C . Πίεσις ἐξαγωγῆς $0,05 \text{ kg/cm}^2$.

Ζητεῖται : ἡ ἰδανικὴ ἀπόδοσις τῆς ἐγκαταστάσεως : α) 'Ανευ ἀπομαστεύσεως καὶ β) ἐάν ἀπομαστευθῇ κατάλληλον βάρος ὕδατος διὰ προθέρμανσιν τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος εἰς διαβάθμισιν τοῦ ἀτμοστρόβιλου, εἰς τὴν ὁποίαν ἡ πίεσις εἶναι 2 kg/cm^2 .



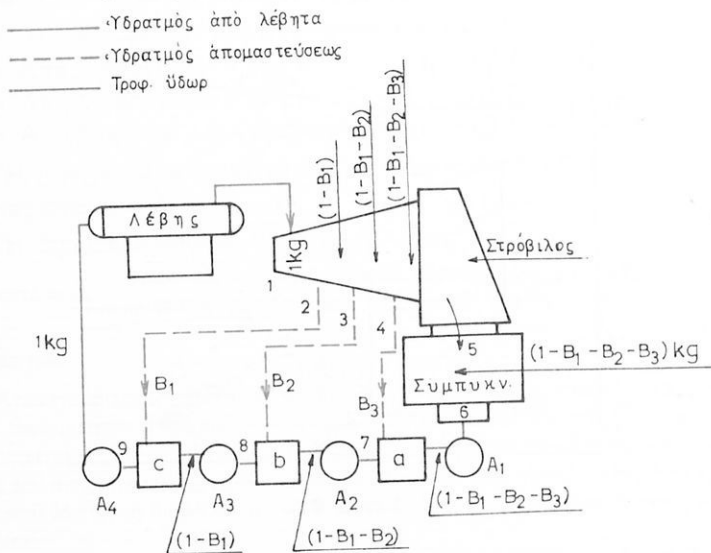
Σχ. 13.8 β.

Εἰς τὸ σχῆμα 13.8 β ἐμφαίνεται διαγραμματικῶς ἡ διάταξις τῆς ἐγκαταστάσεως καὶ εἰς τὸ σχῆμα 13.8 γ αἱ διάφοροι τιμαί, αἱ ὁποῖαι λαμβάνονται ἀπὸ τὸ διάγραμμα Mollier διὰ τὴν λύσιν τῆς ἀσκήσεως.

13.9 Δεύτερος θερμικός υπολογισμός απομαστεύσεως.

Εἰς τὸν θερμικὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἀπομαστεύσεως, ὡς ἀνεφέρθη εἰς τὴν παράγραφον 13.8, γίνεται παραδεκτὸν ὅτι τὸ συμπύκνωμα τοῦ ὕδατος ἀπὸ τοὺς προθερμαντήρας καταλήγει ὡς ὑγρὰ εἰς τὸ θερμοδοχεῖον καὶ ἀναμιγνύεται μὲ τὸ συμπύκνωμα τοῦ κυρίου συμπυκνωτοῦ.

* Ἄλλη διάταξις ἀπομαστεύσεως εἶναι ἡ τοῦ σχήματος 13.9 α καὶ 13.9 β.



Σχ. 13.9 α.

Εἰς τὸ σχῆμα 13.9 α ἐμφαίνεται διαγραμματικῶς ὁ αὐτοαναθερμαινόμενος κύκλος Rankine μὲ τρεῖς ἀπομαστεύσεις καὶ μὲ προθερμαντήρας ἀναμίξεως, ἐντὸς τῶν ὁποίων ὁ προθερμαινόμενος ὕδρατμος ὑγροποιεῖται καὶ ἀναμιγνύεται μὲ τὸ θερμαινόμενον ὕδωρ. Εἰς τὸ σχῆμα 13.9 β ἐμφαίνεται τὸ διάγραμμα T - S τοῦ κύκλου. (Τὸ ἔργον ἀντλιῶν 6,6' - 7,7' κ.λπ. εἰς τὸ σχῆμα δεικνύεται ἐκ μεγεθύνσει).

* Ἐστὼ ὅτι 1 kg ὕδατος εἰσέρχεται εἰς τὸν στρόβιλον εἰς τὴν εἰσαγωγὴν (σημεῖον 1). Εἰς τὸ σημεῖον 2 ἀπομαστεύεται βάρος B_1 τοῦ kg ὕδατος διὰ τὴν προθέρμανσιν τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος, εἰς τὸ σημεῖον 3 ἀπομαστεύεται βάρος B_2 καὶ εἰς τὸ σημεῖον 4 βάρος B_3 ἀπὸ ἑκάστον kg ὕδατος.

Οὕτως ἀπὸ τὴν εἰσαγωγὴν μέχρι σημείου 2 ρεεῖ 1 kg ὕδατος.

* Ἀπὸ σημείου 2 ἕως 3 ρεεῖ $1 - B_1$ kg ὕδατος.

* Ἀπὸ σημείου 3 ἕως 4 ρεεῖ $1 - B_1 - B_2$ kg ὕδατος καὶ ἀπὸ σημείου 4 ἕως ἐξαγωγὴν 5 κυκλοφορεῖ $1 - B_1 - B_2 - B_3$ kg ὕδατος.

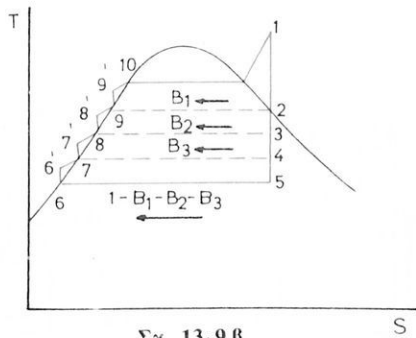
Εἰς τὸν συμπυκνωτὴν δηλαδὴ εἰσέρχεται διὰ συμπύκνωσιν βάρος

$1 - B_1 - B_2 - B_3$ του kg υδρατμού ανά kg υδρατμού, που εισέρχεται εις τόν στρόβιλον.

Ο υδρατμός αυτός συμπυκνώνεται (σημείον 6) και τὸ συμπύκνωμα καταθλίβεται ἀπὸ τὴν ἀντλία A_1 πρὸς τὸν πρῶτον προθερμαντήρα (α), ἐντὸς τοῦ ὁποίου τὸ ὕδωρ ἀναμιγνύεται μὲ τὸν υδρατμὸν ἀπομαστεύσεως ἀπὸ τὸ σημείον 4 καὶ προθερμαίνεται (ἀπὸ τὸ 6 εἰς τὸ 7).

Δεδομένου ὅτι οἱ προθερμαντήρες εἶναι τύπου ἀναμίξεως, τὸ βάρος B_3 υδρατμοῦ, ποὺ ἀπομαστεύεται ἀπὸ τὸ σημείον Α, ἀναμιγνύεται μὲ τὸ βάρος $(1 - B_1 - B_2 - B_3)$ kg συμπυκνώματος, ποὺ ἐπιστρέφει ἀπὸ τὸν συμπυκνωτήν.

Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον ἡ ἀντλία A_2 καταθλίβει πρὸς τὸ προθερμαντήρα (b) βάρος ὕδατος $(1 - B_1 - B_2)$ kg, τὸ ὁποῖον ἀναμιγνύομενον μὲ βάρος B_2 υδρατμοῦ ἀπὸ τὴν ἀπομάστευσιν 3 προθερμαίνεται ἀπὸ τὸ 7 εἰς τὸ 8. Ἐν συνεχείᾳ ἡ ἀντλία A_3 καταθλίβει εἰς τὸν προθερμαντήρα (c) βάρος ὕδατος $(1 - B_1)$ kg, τὸ ὁποῖον μὲ τὴν σερᾶν του ἀναμιγνύεται μὲ βάρος B_1 υδρατμοῦ ἀπὸ τὴν ἀπομάστευσιν 2 καὶ προθερμαίνεται ἀπὸ τὸ 8 εἰς τὸ 9. Τέλος ἡ ἀντλία A_4 καταθλίβει 1 kg ὕδατος ἐντὸς τοῦ λέβητος καὶ τὸ ὕδωρ ἀπὸ τὸ σημείον 9 ἀποκτᾷ τὴν θερμοκρασίαν βρασμοῦ 10 (σχ. 13·9β) ἐντὸς τοῦ λέβητος καὶ ἐν συνεχείᾳ ἀτμοποιεῖται καὶ ὡς υδρατμός βαρὺς 1 kg εἰσέρχεται εἰς τὸν στρόβιλον.



Σχ. 13·9β.

Θερμικός ὑπολογισμός. Ἀπόδοσις.

Ἐχομεν : Θερμότης ἀπορροφηθεῖσα ἀπὸ ὕδωρ = Θερμότης χορηγηθεῖσα ἀπὸ υδρατμὸν, ὁπότε :

$$\alpha) \text{ Προθερμαντήρ (α)} \quad (1 - B_1 - B_2 - B_3) (h_7 - h_6) = B_3 (i_4 - h_7).$$

$$\beta) \text{ Προθερμαντήρ (b)} \quad (1 - B_1 - B_2) (h_8 - h_7) = B_2 (i_3 - h_8).$$

$$\gamma) \text{ Προθερμαντήρ (c)} \quad (1 - B_1) (h_9 - h_8) = B_1 (i_2 - h_9),$$

ὅπου h_7, h_8 κ.λπ. ἡ θερμότης ὕδατος καὶ συμπυκνωθέντος υδρατμοῦ ἀπομαστεύσεως εἰς τὰ ἀντίστοιχα σημεία. Ἀπὸ τὰς ἰσότητας αὐτὰς ὑπολογίζεται τὸ βάρος B_3, B_2 ἢ B_1 τοῦ ἀπομαστευομένου ἀτμοῦ. Εὐρίσκεται πρῶτον ἡ τιμὴ τοῦ B_1 ἀπὸ τὴν γ καὶ ἐν συνεχείᾳ τοῦ B_2 ἀπὸ τὴν β καὶ τέλος τοῦ B_3 ἀπὸ τὴν α.

Τὸ ὅλικόν παραγόμενον ἔργον τοῦ κύκλου W θὰ εἶναι :

$$W = (i_1 - i_2) + (1 - B_1) (i_2 - i_3) + (1 - B_1 - B_2) (i_3 - i_4) + (1 - B_2 - B_3 - B_4) (i_4 - i_5)$$

εἰς kcal/kg εἰσερχομένου υδρατμοῦ εἰς τὸν στρόβιλον.

Τὸ χορηγούμενον ποσὸν θερμότητος ἐντὸς τοῦ λέβητος εἰς 1 kg υδρατμοῦ

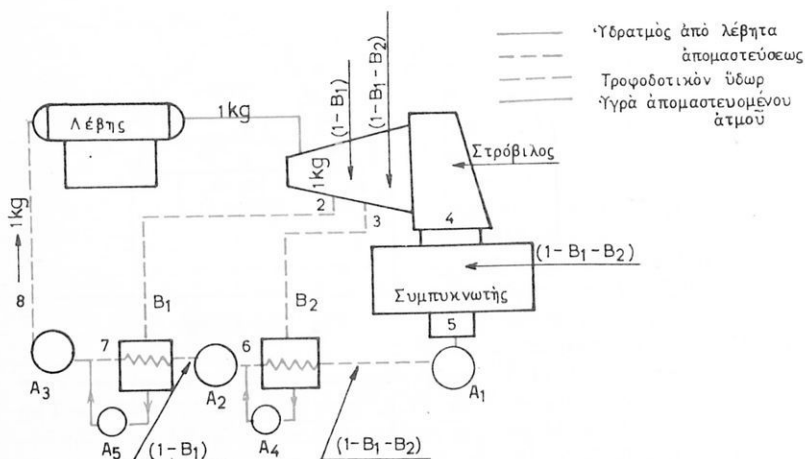
είναι ίσον με $i_1 - p_9$ (τὸ $h_9 = p_9$) καὶ ἡ ἀπόδοσις :

$$\eta_0 = \frac{W}{i_1 - p_9} \quad (\text{ισότης 190})$$

Δι' ἀκριβέστερον ὑπολογισμόν ἀπὸ τὸ εὐρεθὲν ἀνωτέρω ἔργον W δεόν νὰ ἀφαιρηθῇ τὸ συνολικὸν ἔργον τῶν ἀντλιῶν A_1 , A_2 , A_3 καὶ A_4 , τὸ ὁποῖον εὐρίσκεται τῇ βοηθείᾳ τῆς ἰσότητος (146) καὶ εἶναι :

$$\Sigma WA = \frac{v(P_1 - P_6)}{J} \quad \text{εἰς kcal/kg,}$$

ὅπου : v εἶναι ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδατος εἰς κατάστασιν σημείου 6.

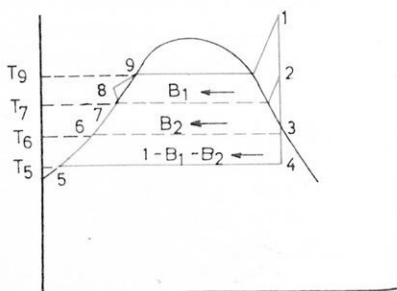


Σχ. 13.9γ.

Ἄλλος τύπος ἀπομαστεύσεως.

Εἰς τὸ σχῆμα 13.9γ ἔχομεν μίαν ἄλλην ἐγκατάστασιν ἀτμοστροβίλου με δύο ἀπομαστεύσεις. Εἰς αὐτὴν ὁ ἀπομαστευόμενος ὕδρατμος συμπυκνῶται ἐντὸς τῶν προθερμαντήρων καὶ δὲν ἀναμιγνύεται μετὰ τὸ τροφοδοτικὸν ὕδωρ ἐντὸς αὐτῶν, ἀλλὰ καταθλίβεται τῇ βοηθείᾳ τῶν ἀντλιῶν A_4 καὶ A_5 εἰς τὸ τροφοδοτικὸν δίκτυον.

Ὁ θερμικὸς ὑπολογισμὸς καὶ ἡ ἀπόδοσις εὐρίσκεται κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον ὡς καὶ διὰ τὴν ἐγκατάστασιν τοῦ σχήματος 13.9α. Ὡς ἔργον ἀντλιῶν δύναται νὰ ληφθῇ ἐπίσης ὑπ' ὄψιν μόνον τῆς κυρίας τροφοδοτικῆς A_3 , ἡ ὁποία καλύπτει τὸ 85% περίπου τοῦ ἔργου ὅλων τῶν ἀντλιῶν.

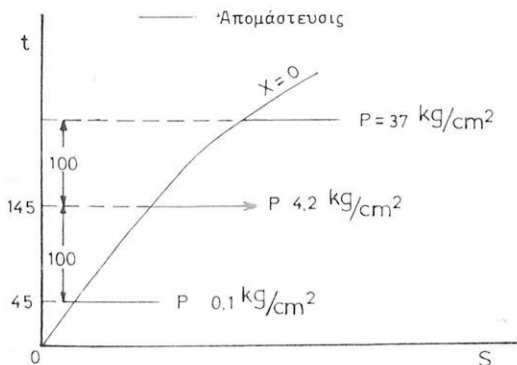


Σχ. 13.9δ.

Εἰς τὸ σχῆμα 13.9δ ἐμφαίνεται τὸ διάγραμμα T-S τοῦ αὐτοθερμαινομένου αὐτοῦ κύκλου.

13.10 Ἐπιλογή σημείων ἀπομαστεύσεως ἀτμοστροβίλου. Θερμοκρασία τροφοδοτικοῦ ὕδατος διὰ καλυτέραν ἀπόδοσιν.

Ἀπὸ ἀποτελέσματα ὑπολογισμῶν καὶ δοκιμῶν ἔχει ἀποδειχθῇ ὅτι δι' ἓνα ἀριθμὸν προθερμαντῆρων εἰς ἐγκατάστασιν αὐτοαναθερμαινομένου κύκλου ἢ καλυτέρα ἀπόδοσις ἀποκτᾶται, ὅταν ἡ αὐξησης τῆς θερμοκρασίας εἶναι περίπου ἡ αὐτὴ δι' ἕκαστον προθερμαντῆρα.



Σχ. 13.10α.

Οὕτω διὰ τὴν ἐγκατάστασιν τοῦ σχήματος 13.9γ με δύο ἀπομαστεύσεις χωρίζομεν εἰς τρία ἴσα μέρη τὴν ἀπόστασιν τῆς T_9 (σχ. 13.9δ), ἡ ὁποία εἶναι ἡ θερμοκρασία κορεσμοῦ τοῦ ὕδατος εἰς τὴν πίεσιν τοῦ λέβητος, ἀπὸ τὴν T_6 , ἡ ὁποία εἶναι ἡ θερμοκρασία κορεσμοῦ εἰς τὴν πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον εὐρίσκονται αἱ θερμοκρασίαι T_6 καὶ T_7 , αἱ ὁποῖαι καθορίζουν τὰς θερμοκρασίας τῶν δύο ἀπομαστεύσεων. Αἱ πιέσεις κορεσμοῦ, πού ἀντιστοιχοῦν εἰς τὰς θερμοκρασίας αὐτάς, καθορίζουν με τὴν σειράν των τὰ σημεία εἰς τὸν ἀτμοστροβίλον με τὴν μεγίστην συμφέρουσαν πίεσιν ἀπομαστεύσεως.

Δι' ἐγκατάστασιν με μίαν ἀπομάστευσιν καὶ ἓνα προθερμαντῆρα ἡ θερμοκρασία, πού διαιρεῖ τὰ δύο ἄκρα εἰς δύο ἴσα μέρη, καθορίζει ἐπίσης τὸ σημεῖον ἀπομαστεύσεως.

Παραδείγματος χάριν διὰ πίεσιν λέβητος 37 kg/cm^2 ἀπολ. καὶ πίεσιν συμπυκνωτοῦ $0,1 \text{ kg/cm}^2$ ἔχομεν ἀντιστοίχως θερμοκρασίας κορεσμοῦ 245°C καὶ 45°C .

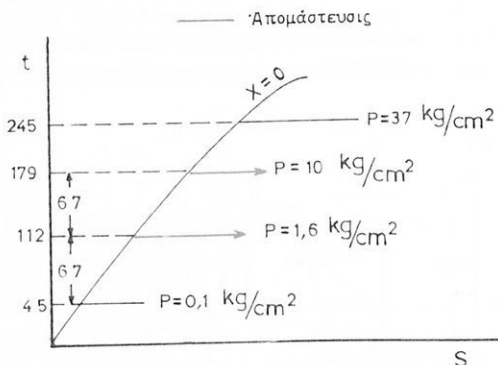
Ἐπομένως ἡ θερμοκρασία ἀπομαστεύσεως θὰ εἶναι :

$$\frac{245 - 45}{2} + 45 = 145^\circ \text{C}.$$

Εἰς τὴν θερμοκρασίαν αὐτὴν ἀντιστοιχεῖ πίεσις $4,2 \text{ kg/cm}^2$ ἀπολ., ἡ

όποια καθορίζει το σημείον απομαστεύσεως από τον στρόβιλον (σχ. 13·10α).

Εάν εις το ανωτέρω παράδειγμα είχαμεν δύο απομαστεύσεις, τότε έχομεν $\frac{245 - 45}{3} = 66,6$ ή περίπου 67. Τότε ή πρώτη απομάστευσις θα γίνη εις πίεσιν, ή όποία αντιστοιχεί εις θερμοκρασίαν $67 + 45 = 112^{\circ}\text{C}$, ήτις

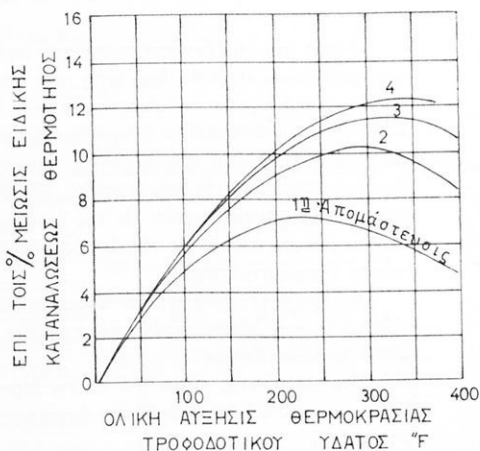


Σχ. 13·10β.

άντιστοιχεί εις πίεσιν $1,6 \text{ kg/cm}^2$ άπολ. και ή δευτέρα άπομάστευσις εις πίεσιν, ή όποία αντιστοιχεί εις θερμοκρασίαν $112 + 67 = 179^{\circ}\text{C}$, ήτοι 10 kg/cm^2 άπολ. (σχ. 13·10β).

Ο άριθμός των χρησιμοποιομένων άπομαστεύσεων επηρεάζεται καθαρώς από τον οικονομικόν παράγοντα. Όπως ήδη ανεφέραμεν (παράγρ. 11·7), ό άριθμός των άπομαστεύσεων εις πραγματικές έγκαταστάσεις ποικίλλει από μίαν έως έννέα. Η μία άπομάστευσις βελτιώνει άρκετά την θερμικήν άπόδοσιν και έπομένως δικαιολογεί οίανδήποτε επί πλέον δαπάνην τής άρχικής έγκαταστάσεως.

Τό κέρδος με την προσθήκην δευτέρας άπομαστεύσεως δεν είναι του αυτού ύψους με τό κέρδος τής πρώτης κ.ο.κ.



Σχ. 13·10γ.

Πάντως ο οικονομικός αριθμός των απομαστεύσεων αυξάνει, όσον αυξάνει ή αρχική πίεσις και θερμοκρασία του υδρατμού. Διὰ πίεσιν 600 lb/in² ἀπολ. τέσσαρες απομαστεύσεις δίδουν ικανοποιητικὸν ἀποτέλεσμα.

Εἰς τὸ σχῆμα 13·10γ ἐμφαίνεται ἡ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν μείωσις τῆς ἀπαιτουμένης εἰδικῆς καταναλώσεως θερμότητος μετὰ τὴν αὐξησιν τῶν απομαστεύσεων, καθὼς καὶ ἡ μεγίστη θερμοκρασία προθερμάνσεως, ποὺ δίδει οἰκονομικώτερα ἀποτελέσματα εἰς μίαν ἐγκατάστασιν, ἡ ὁποία χρησιμοποιεῖ υδρατμὸν πίεσεως 1250 lb/in² καὶ θερμοκρασίας 950° F καὶ πίεσιν εἰς τὸν συμπτνωτὴν 1 lb/in² ἀπολ.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 13·10γ παρατηροῦμεν ὅτι μετὰ μίαν ἀπομάστευσιν ἔχομεν ἐλάττωσιν εἰδικῆς καταναλώσεως θερμότητος (BTU/HPh) περίπου 7,5%, ὅταν ἡ θερμοκρασία τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος εἰς τὸν πρῶτον προθερμαντήρα ἀνέλθῃ εἰς τοὺς 220° F περίπου, ἐνῶ μετὰ τέσσαρες απομαστεύσεις τὸ κέρδος ἀνέρχεται εἰς 12,3 % περίπου, ὅταν ἡ θερμοκρασία τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος εἰς τὸν τέταρτον προθερμαντήρα ἀνέλθῃ εἰς τοὺς 340° F περίπου.

13·11 Ἑσωτερικὴ ἰσχὺς. Ἑσωτερικὴ ἀπόδοσις ἀτμοστροβίλου.

Εἰς τὴν παράγραφον 12·12 ἀνεφέρθη ἡ ἐνδεικτικὴ ἵπποδύναμις καὶ ἡ ἐνδεικτικὴ ἀπόδοσις μιᾶς παλινδρομικῆς ἀτμομηχανῆς. Εἰς ἓνα ἀτμοστρόβιλον ἡ ἀντίστοιχος ἐνδεικτικὴ ἢ ἄλλως ὀνομαζομένη *ἐσωτερικὴ ἀπόδοσις* αὐτοῦ θὰ εἶναι ὁ λόγος :

$$\eta_e = \frac{\text{Παραγόμενον ἔργον ἀνὰ μονάδα βάρους ὑδρατμοῦ}}{\text{Διατιθεμένη ἐνέργεια εἰς τὸν στρόβιλον ἀνὰ μον. βάρ. ὑδρατμοῦ}} \quad (200)$$

Τὸ παραγόμενον ἔργον εἶναι ἡ θερμότης, ποὺ μετατρέπεται εἰς μηχανικὸν ἔργον ἐντὸς τοῦ στροβίλου ἀνὰ kg ἢ lb ὑδρατμοῦ λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν ὅλων τῶν θερμικῶν ἀπώλειων ἐντὸς αὐτοῦ.

Ἡ διατιθεμένη εἰς τὸν στρόβιλον ἐνέργεια εἶναι ἡ θεωρητικὴ θερμικὴ πτώσις λόγω τῆς ἰσοεντροπικῆς (ἀδιαβατικῆς) ἐκτονώσεως (κύκλου Rankine) ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν τοῦ ἀτμοῦ, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὸν στρόβιλον, μέχρι τῆς πίεσεως ἐξαγωγῆς.

Αἱ διάφοροι θερμικαὶ ἀπώλειαι ἐντὸς τοῦ ἀτμοστροβίλου προέρχονται ἐκ στραγγαλισμοῦ τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὸ χειριστήριον (ἐπιστόμιον εἰσαγωγῆς), ἐκ τριβῶν τοῦ ἀτμοῦ ἐντὸς τῶν ἀκροφυσίων καὶ πτερυγίων, ἐξ ἀκτινοβολίας καὶ ἐκ τῆς ταχύτητος, ποὺ ἔχει ὁ ὑδρατμός, καθὼς ἐξέρχεται τοῦ στροβίλου πρὸς τὸν συμπτνωτὴν.

Λόγω τῶν ἀνωτέρω ἡ κατάστασις τοῦ ὑδρατμοῦ μεταβάλλεται, καθὼς αὐτὸς διέρχεται μέσω τοῦ στροβίλου ἀπὸ τὴν εἰσαγωγὴν εἰς τὴν ἐξαγωγὴν.

Διατιθεμένη ἐνέργεια.

Ἐὰν ἔχωμεν εἰς τὸ διάγραμμα Mollier (σχ. 13·11α) τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν τοῦ ὑδρατμοῦ πρὸ τοῦ ἐπιστομίου εἰσαγωγῆς εἰς τὸ σημεῖον 1, τότε ἐὰν δὲν εἶχαμεν οὐδεμίαν θερμικὴν ἀπώλειαν, ἡ ἰσοεντροπικὴ 1-2 μᾶς δίδει τὴν διατιθεμένην ἐνέργειαν εἰς τὸν στρόβιλον ἀνὰ μονάδα βάρους ὑδρατμοῦ· θὰ εἶναι δὲ ἡ θερμικὴ πτώσις $i_1 - i_2$.

Ἡ κινητικὴ ἐνέργεια, ἡ ὁποία ὀφείλεται εἰς τὴν ταχύτητα αὐτὴν ὀνομάζεται *ἀπώλεια ἐξαγωγῆς*, διότι δὲν δύναται πλέον νὰ χρησιμοποιηθῇ.

Ἐὰν V εἶναι ἡ ταχύτης τοῦ ὕδρατμου εἰς τὴν ἐξαγωγήν, τότε :

$$\frac{V^2}{2g \cdot J} = \text{Ἀπώλεια ἐξαγωγῆς εἰς kcal/kg} \quad \eta \quad \text{BTU/lb.}$$

Ἐὰν λάβωμεν ἐπὶ τοῦ διαγράμματος τὴν διαφορὰν $i_3 - i_5$ ἴσην μὲ τὴν ἀπώλειαν ἐξαγωγῆς, ἔχομεν ἐπὶ τῆς τελικῆς πίεσεως τὸ σημεῖον δ , τὸ ὁποῖον ὀνομάζεται *σημεῖον ἐξαγωγῆς* καὶ τὸ ὁποῖον καθορίζει τὸ θερμικὸν περιεχόμενον τοῦ ὕδρατμου, ποῦ εἰσέρχεται εἰς τὸν συμπυκνωτήν.

Παραγόμενον ἔργον.

Τὸ πραγματικῶς παραγόμενον ἔργον W ὑπὸ τοῦ στροβίλου ἀνὰ μονάδα βάρους ὕδρατμου θὰ εἶναι :

$$\frac{W}{J} = (i_3 - i_5) - \frac{V^2}{2g \cdot J} \quad \eta \quad \frac{W}{J} = i_3 - i_6 \quad (201)$$

Ἐσωτερικὴ ἰσχὺς.

Ἐὰν εἶναι γνωστὴ ἡ κατανάλωσις ὕδρατμου B εἰς ὠρισμένον χρόνον, εὐρίσκεται εὐκόλως ἡ ἔσωτερικὴ ἰσχὺς εἰς ἵππους ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$\text{IHP} = \frac{B \cdot W \cdot J}{4500} \quad (202)$$

$$\eta \quad \text{IHP} = \frac{B \cdot W \cdot 60}{632} \quad (203)$$

$$\text{IHP} = \frac{B \cdot W \cdot J}{33\,000} \quad (204)$$

$$\eta \quad \text{IHP} = \frac{B \cdot W \cdot 60}{2545} \quad (205)$$

Εἰς τὰς ἰσότητας (202) καὶ (203) τὸ B λαμβάνεται εἰς kg/min, τὸ W εἰς kcal/kg καὶ $J = 427 \text{ kgm/kcal}$.

Εἰς τὰς ἰσότητας (204) καὶ (205) τὸ B λαμβάνεται εἰς lb/min, τὸ W εἰς BTU/lb καὶ $J = 778 \text{ ftlb/BTU}$.

Ἐσωτερικὴ ἀπόδοσις.

Ἐκ τοῦ ὀρισμοῦ καὶ μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (200) ἡ ἔσωτερικὴ ἀπόδοσις τοῦ στροβίλου δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$\eta_e = \frac{i_3 - i_6}{i_1 - i_2} \quad (206)$$

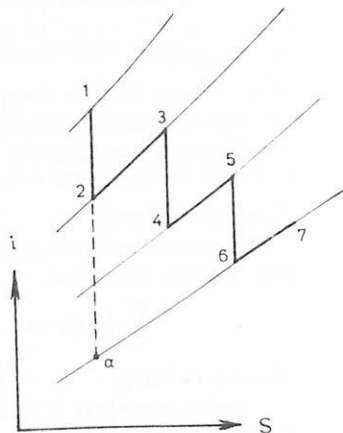
Συντελεστὴς ἀναθερμάνσεως.

Εἰς στροβίλους μὲ πολλὰς διαβαθμίσεις λόγω τριβῶν, ὑφίσταται ὁ ὕδρατμος ἀναθερμανσιν εἰς βάρος τῆς κινητικῆς ἐνεργείας του. Τοῦτο ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα αὐξήσιν τῆς ἐντροπίας του καὶ μετατόπισιν τῆς θερμικῆς πτώσεως δεξιώτερα εἰς τὸ διάγραμμα Mollier, ὅπως φαίνεται ἐν μεγεθύνσει εἰς τὸ σχῆμα 13·11β. Δεδομένου ὅτι αἱ γραμμαὶ πίεσεως εἰς τὸ διάγραμμα ἀποκλί-

νουν με την αύξησης έντροπίας, τὸ ἄθροισμα τῶν θερμικῶν πτώσεων ἀπὸ 1 ἕως 2, σὺν 3 ἕως 4, σὺν 5 ἕως 6 εἶναι μεγαλύτερον τοῦ 1 - α.

Ὁ λόγος τοῦ ἄθροίσματος τῶν

θερμικῶν πτώσεων εἰς τὰς διαφόρους διαβαθμίσεις διὰ τῆς θερμικῆς πτώσεως 1 - α λέγεται *συντελεστὴς ἀναθερμάνσεως* καὶ ἔχει τιμὴν μεγαλύτεραν τῆς μονάδος, περίπου 1,05 διὰ μεγάλους στρόβιλους. Γενικῶς ἡ τιμὴ τοῦ συντελεστοῦ ἀναθερμάνσεως ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν, τὴν διατιθεμένην εἰς τὸν στρόβιλον ἐνέργειαν καὶ τὸν ἀριθμὸν τῶν διαβαθμίσεων. Μολονότι μετὰ τὴν ἀναθέρμανσιν αὐτὴν ἐμφανίζεται μεγαλύτερα ἢ συνολικὴ θερμικὴ πτώσις, ἐπομένως καὶ τὸ παραγόμενον ἔργον, μὴ ἀναστρέψιμοι μεταβολαὶ αὐτοῦ τοῦ εἶδους συνδέονται πάντοτε μετὰ αὐξήσιν ἐντροπίας καὶ ἐπομένως αὐξήσιν τῆς μὴ μετατρεψίμου ἐνεργείας, δηλαδὴ τῆς τελικῆς ἀποβαλλομένης θερμότητος ἀπὸ τὸν στρόβιλον.



Σχ. 13·11β.

Παράδειγμα.

Πρὸ τοῦ ἐπιστομίου εἰσαγωγῆς εἰς τὸν στρόβιλον ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος εἶναι 40 kg/cm² καὶ ἡ θερμοκρασία του 400° C. Μετὰ τὸ ἐπιστόμιον ἡ πίεσις πίπτει εἰς 30 kg/cm² (πίεσις εἰσαγωγῆς). Εἰς τὸν στρόβιλον εἰσέρχονται 1800 kg ὕδατος ἀνὰ λεπτόν. Κενὸν συμπυκνωτοῦ 90%, ταχύτης ὕδατος κατὰ τὴν ἐξαγωγήν 320 m/sec. Βαθμὸς ξηρότητος ὕδατος εἰς τὸ τέλος τῆς ἐκτονώσεως $\chi = 0,9$.

Ζητεῖται : Ὁ καθορισμὸς τῶν θερμικῶν ἀπωλειῶν, ἡ ἐσωτερικὴ ἱπποδύναμις καὶ ἡ ἐσωτερικὴ ἀπόδοσις τοῦ στρόβιλου.

Λύσις :

Χρησιμοποιοῦντες τὸ διάγραμμα Mollier μετὰ βᾶσιν τὸ σχῆμα 13·11α εὐρίσκομεν:

α) Διατιθεμένη ἐνέργεια = $i_1 - i_2 = 768 - 512 = 256$ kcal/kg ὕδατος.

β) Ἀπώλεια λόγῳ στραγγαλισμοῦ = $i_4 - i_2 = 522 - 512 = 10$ kcal/kg.

γ) Ἀπώλεια ἐξαγωγῆς = $\frac{V^2}{2g \cdot J} = \frac{320^2}{2 \times 9,81 \times 427} = 12$ kcal/kg.

δ) Ἄλλαι ἐσωτερικαὶ ἀπώλειαι = $i_5 - i_4 = 560 - 522 = 38$ kcal/kg.

ε) Τὸ θερμικὸν περιεχόμενον τοῦ ὕδατος κατὰ τὴν ἐξαγωγήν (σημεῖον 6)

εἶναι $i_6 = i_5 + \frac{V^2}{2g \cdot J} = 560 + 12 = 572$ kcal/kg.

στ) Έσωτερικόν ἔργον $\frac{W}{J} = i_3 - i_6 = 768 - 572 = 196 \text{ kcal/kg ὕδρατμου.}$

η) Έσωτερικὴ ἵπποδύναμις $1 \text{ HP} = \frac{196 \times 1800 \times 427}{4500} = 33\,477 \text{ HP.}$

θ) Ἡ ἔσωτερικὴ ἀπόδοσις $\eta_e = \frac{i_3 - i_6}{i_1 - i_2} = \frac{196}{256} = 0,76 \quad \eta \quad 76\%.$

13.12 Πραγματικὸν ἔργον. Πραγματικὴ ἀπόδοσις στροβίλου.

Τὸ πραγματικὸν ἔργον τοῦ στροβίλου μετρεῖται ἐπὶ τοῦ ἄξονος αὐτοῦ. Τοῦτο θὰ εἶναι μικρότερον τοῦ ἔσωτερικοῦ ἔργου $i_3 - i_6$ (σχ. 13.11α) κατὰ ποσὸν ἴσον μὲ τὰς μηχανικὰς ἀπώλειας τοῦ στροβίλου. Αἱ ἀπώλειαι αὗται περιλαμβάνουν τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον διὰ τὴν ὑπερνίκησιν τῶν τριβῶν τοῦ κυρίου ἄξονος καὶ τῶν ὠστικῶν τριβῶν, ὡς καὶ διὰ τὴν κίνησιν παρασιτικῶν ἐξαρτημάτων, ὅπως ρυθμιστῶν καὶ ἐνσωματωμένων ἀντλιῶν ἐλαίου.

Αἱ ἀπώλειαι αὗται εἶναι ἀνάλογοι μὲ τὴν ταχύτητα τοῦ στροβίλου καὶ παραμένουν σχεδὸν σταθεραὶ δι' ὅλα τὰ φορτία εἰς στροβίλους σταθερᾶς ταχύτητος. Εἰς στροβίλους ναυτικῶν ἐγκαταστάσεων μὲ μεγάλας περιστροφικὰς ταχύτητας αἱ μηχανικαὶ ἀπώλειαι ἀνέρχονται εἰς 2% τοῦ ἔσωτερικοῦ ἔργου διὰ πλήρη ἰσχύιν.

Ἐὰν W εἶναι τὸ πραγματικὸν ἔργον (kgm ἢ ftlb), B ἡ ροὴ ὕδρατμου εἰς kg ἢ lb ἀνὰ ὥραν καὶ SHP ἡ πραγματικὴ ἵπποδύναμις (ἀτρακτοίππος), τότε θὰ εἶναι :

$$\text{SHP} = \frac{W \times B}{J \times 632} \quad (207)$$

$$\eta \quad \text{SHP} = \frac{W \times B}{J \times 2545} \quad (208)$$

Ἡ μηχανικὴ ἀπόδοσις ἑνὸς στροβίλου εἶναι ὁ λόγος :

$$\eta_\mu = \frac{\text{SHP}}{\text{IHP}} \quad \eta \quad \left(\eta_\mu = \frac{W}{J (i_3 - i_6)} \right) \quad (209)$$

Αἱ τιμαὶ τῆς IHP λαμβάνονται μὲ βάσιν τὰς ἰσότητας ἀπὸ (202) ἕως (205).

Ἡ πραγματικὴ ἀπόδοσις ἑνὸς στροβίλου εἶναι ὁ λόγος :

$$\eta_\pi = \frac{\text{Πραγματικὸν ἔργον ἐπὶ τοῦ ἄξονος}}{\text{Διατιθεμένη ἐνέργεια εἰς στροβίλον}} = \frac{W}{J (i_1 - i_2)} \quad (210)$$

Ἐὰν διαιρέσωμεν τὸν ἀριθμητὴν καὶ παρονομαστὴν τῆς ἰσότητος (209) διὰ $(i_1 - i_2)$, εὐρίσκομεν :

$$\eta_\mu = \frac{\eta_\pi}{\eta_e} \quad \eta \quad \eta_\pi = \eta_\mu \cdot \eta_e \quad (211)$$

ὅπου η_μ εἶναι ἡ μηχανικὴ ἀπόδοσις, ὡς ἡ ἰσότης (209), καὶ η_e εἶναι ἡ ἔσωτερικὴ ἀπόδοσις ὡς ἡ ἰσότης (206).

Ἡ πραγματικὴ ἀπόδοσις τοῦ στροβίλου συνδυάζει τὴν θερμοδυναμικὴν καὶ μηχανικὴν ἱκανότητα ἑνὸς στροβίλου.

Αἱ μηχανικαὶ ἀπώλειαι οὐδεμίαν ἐπίδρασιν ἀσκοῦν εἰς τὴν κατάστασιν

τοῦ ὑδρατμοῦ ἐντὸς τοῦ στροβίλου καὶ οὐδέποτε πρέπει νὰ σημειοῦται ἐπὶ τοῦ διαγράμματος Mollier.

Σημείωσις :

Συχνάκις ὡς Shaft Horse Power (SHP) μετρεῖται ἡ ἰσχύς ἐνὸς ναυτικοῦ ἀτμοστροβίλου ὡς λαμβάνεται μετὰ τοὺς μειωτήρας στροφῶν. Τότε ἡ ἵπποδύναμις, ποὺ λαμβάνεται ἐπὶ τοῦ ἄξονος τοῦ στροβίλου πρὸ τῶν μειωτήρων, χαρακτηρίζεται ὡς Brake Horse Power (BHP).

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ τιμὴ τῆς SHP εἶναι μικροτέρα τῆς BHP λόγω τῶν μηχανικῶν ἀπωλειῶν τῶν μειωτήρων. Εἰς ἓνα ναυτικὸν ἀτμοστρόβilon αἱ συνολικαὶ μηχανικαὶ ἀπώλειαι συμπεριλαμβανομένων καὶ ἐκείνων τῶν μειωτήρων ἀνέρχονται εἰς 5 % περίπου.

Παράδειγμα.

Ἐγκατάστασις ἀτμοστροβίλου μὲ μειωτήρας εἰς πλοῖον ἔχει πλήρη ἰσχὺν 50 000 ἀτμοστροβίλους (SHP) μὲ 200 στρ./min τοῦ ἐλικοφόρου ἄξονος. Ἡ μηχανικὴ ἀπόδοσις τῆς ἐγκαταστάσεως μὲ τοὺς ὅρους αὐτοὺς εἶναι 95 %. Εἰς τὰς 80 στρ./min ἡ ἵπποδύναμις κατέρχεται εἰς τοὺς 3300 HP, ὅποτε ὁ εἰσερχόμενος ὑδρατμὸς εἶναι 13 000 kg ἀνὰ ὥραν, πίεσεως 30 kg/cm² ἀπολ. καὶ θερμοκρασίας 350° C.

Ὁ ὑδρατμὸς ἐξέρχεται τοῦ στροβίλου πρὸς τὸν συμπυκνωτὴν μὲ πίεσιν 0,05 kg/cm²

Ζητοῦνται διὰ τὰς 80 στρ./min : α) Αἱ μηχανικαὶ ἀπώλειαι εἰς HP. β) Ἡ μηχανικὴ ἀπόδοσις. γ) Ἡ πραγματικὴ ἀπόδοσις μετὰ τοὺς μειωτήρας. δ) Ἡ ἐσωτερικὴ ἀπόδοσις.

Λύσις :

$$\alpha) \text{ Ἐχομεν : } \eta_{\mu} = \frac{\text{SHP}}{\text{IHP}} \quad \eta \quad 0,95 = \frac{50\,000}{\text{IHP}} \quad \text{καὶ} \quad \text{IHP} = 52\,630$$

(διὰ 200 στροφάς).

Ἡ ἀπώλεια εἰς HP λόγω τριβῶν θὰ εἶναι :

$$\text{IHP} - \text{BHP} = 52\,630 - 50\,000 = 2630 \text{ HP διὰ } 200 \text{ στρ./min.}$$

Ἡ ἀπώλεια τριβῶν εἰς HP εἰς τὰς 80 στροφάς θὰ εἶναι :

$$\frac{2630 \times 80}{200} = 1052 \text{ HP.}$$

β) Ἡ ἐσωτερικὴ ἵπποδύναμις εἰς τὰς 80 στροφάς εἶναι :

$$3300 + 1052 = 4352 \text{ IHP}$$

$$\text{καὶ} \quad \eta_{\mu} = \frac{3300}{4352} = 0,758 \quad \eta \quad 75,8\% \text{ (Ισότης 209).}$$

γ) Ἀπὸ τὸ διάγραμμα Mollier εὐρίσκομεν διὰ $P_1 = 30 \text{ kg/cm}^2$, $t = 350^\circ \text{ C}$ καὶ $P_2 = 0,05 \text{ kg/cm}^2$, θερμικὴν πτώσιν $i_1 - i_2 = 745 - 492 = 253 \text{ kcal/kg}$.

Τὸ πραγματικὸν ἔργον ἐπὶ τοῦ ἄξονος :

$$\frac{W}{J} = \frac{632 \cdot \text{SHP}}{B} = \frac{632 \times 3300}{13\,000} = 160 \text{ kcal/kg περίπου}$$

$$\text{καί } \eta_{\pi} = \frac{160}{253} = 0,633 \quad \eta \quad 63,3\% \text{ (ισότης 210).}$$

δ) 'Η έσωτερική απόδοσις είναι :

$$\eta_e = \frac{63,3}{75,8} = 0,833 \quad \eta \quad 83,3\% \text{ (ισότης 211)}$$

ή τὸ έσωτερικὸν ἔργον τοῦ στροβίλου (τὸ $i_3 - i_6$ τοῦ σχήματος 13·11α) θὰ εἶναι ἴσον μέ :

$$\frac{W}{J} = \frac{632 \cdot \text{IHP}}{B} = \frac{632 \times 4352}{13\,000} = 211,5 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{καί } \eta_e = \frac{211,5}{253} = 0,833 \quad \eta \quad 83,3\% \text{ (ισότης 206).}$$

13·13 Εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος. Εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδατος.

Ρύθμισις ταχύτητος.

Δύο ἄλλα κριτήρια, ποὺ σχετίζονται μὲ τὴν λειτουργίαν καὶ τὴν ἀπόδοσιν ἑνὸς ἀτμοστροβίλου, εἶναι : 'Η *εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος* καὶ ἡ *εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδατος*.

Εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος εἶναι *τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ καταναλίσκει ὁ στροβίλος ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον*. 'Εὰν h εἶναι ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος kcal (ἢ BTU) ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον· B ἡ ροὴ ὕδατος εἰς kg (ἢ lb) ἀνὰ ὥραν· i_1 ἡ ὀλικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν kcal/kg (ἢ BTU/lb)· p_2 ἡ αἰσθητὴ θερμότης συμπυκνώματος εἰς τὴν πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ καὶ HP ἡ ἰσχύς τοῦ στροβίλου εἰς ἵππους, τότε θὰ εἶναι :

$$h = \frac{B(i_1 - p_2)}{\text{HP}} \text{ kcal (ἢ BTU) ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον} \quad (212)$$

'Η τιμὴ τοῦ h ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ σημεῖον, ποὺ μετρεῖται τὸ HP εἰς τὸν στροβίλον, ἔηλαδὴ ἂν εἶναι IHP ἢ BHP ἢ SHP. Τοῦτο πρέπει νὰ καθορίζεται.

'Η εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὸν κύκλον λειτουργίας καὶ ἀπὸ τὴν ἀπόδοσιν τοῦ στροβίλου. Εἶναι ἓν μέγεθος συγκρίσεως στροβίλου δι' ὠρισμένους ὅρους εἰσαγωγῆς καὶ ἐξαγωγῆς καὶ παρουσιάζει οἰκονομικὸν ἐνδιαφέρον, διότι ἀντανακλᾷ εἰς τὸ κόστος τοῦ καυσίμου ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον.

Εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδατος (ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδατος) εἶναι *τὸ ποσὸν τοῦ ὕδατος, ποὺ καταναλίσκει ὁ στροβίλος ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον*.

'Εὰν β εἶναι ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδατος· B ἡ ροὴ ὕδατος μὲσω τοῦ στροβίλου εἰς kg ἢ lb/h καὶ HP ἡ ἰσχύς τοῦ στροβίλου εἰς ἵππους, τότε θὰ εἶναι :

$$\beta = \frac{B}{\text{HP}} = \text{kg ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον (ἢ lb ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον)} \quad (213)$$

Τονίζεται ἡ διαφορὰ τοῦ ὅρου *εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδατος* β , ποὺ εἶναι kg ἀνὰ ὥριαϊον ἵππον καὶ τοῦ ὅρου *ροὴ ὕδατος* B , ποὺ εἶναι kg/h.

Ἡ ἐλάττωσις τῆς ταχύτητος ἐνὸς ἀτμοστροβίλου δὲν πρέπει κατ' ἀρχὴν νὰ γίνεται διὰ στραγγαλισμοῦ, δηλαδὴ μὲ ἐλάττωσιν τῆς πίεσεως. Ὁ στραγγαλισμός, ὡς γνωστόν, εἶναι θερμοδυναμικὴ ἀλλαγὴ μὴ ἀναστρέψιμος, αὐξάνει τὴν ἐντροπίαν καὶ ἐλαττώνει τὴν μετατρέψιμον ἐνέργειαν, μὲ ἀποτέλεσμα αὐξήσιν τῆς εἰδικῆς καταναλώσεως θερμότητος. Βεβαίως ἡ μέθοδος αὕτῃ εἶναι πρακτικῶς εὐκόλος ἀλλὰ ἀντιοικονομικὴ.

Μία ἄλλη μέθοδος αὐξομειώσεως ἵπποδυνάμεως εἶναι ἡ χρησιμοποίησις μικροτέρου ἢ μεγαλυτέρου ἀριθμοῦ ἀκροφυσίων διὰ τὴν εἰσαγωγὴν ὕδρατμοῦ εἰς τὴν πρώτην διαβάθμισιν. Τοῦτο ἰσχύει, ὅταν ὑπάρχῃ τροχὸς δράσεως (τύπου Curtis) εἰς τὸν στρόβιλον καὶ εἶναι εἰς ἐκ τῶν λόγων, ποὺ συνιστᾷ τὴν χρησιμοποίησιν διαβαθμίσεως δράσεως εἰς τὴν εἰσαγωγὴν ἐνὸς ἀτμοστροβίλου.

Μία τρίτη μέθοδος, ποὺ ἐφαρμόζεται εἰς οἰονδήποτε τύπον στροβίλου, εἶναι ἡ εἰσαγωγὴ ὕδρατμοῦ ἀπ' εὐθείας εἰς διαβαθμίσεις μικροτέρας πίεσεως διὰ παρακάμψεως (by-pass) τῶν διαβαθμίσεων ὑψηλοτέρων πίεσεων.

Γενικῶς πρέπει νὰ καταβάλωμεν κάθε προσπάθειαν, ὥστε ἡ πίεσις εἰσαγωγῆς ὕδρατμοῦ εἰς τὸν στρόβιλον νὰ εἶναι ὅσον τὸ δυνατόν πλησιεστέρα εἰς τὴν πίεσιν τοῦ κυρίου ἀτμαγωγοῦ καὶ νὰ ἀποφεύγωμεν τὸν στραγγαλισμὸν εἰς τὰ ἐπιστόμια τῶν ἀκροφυσίων διατηροῦντες αὐτὰ ἢ ἐντελῶς ἀνοικτὰ ἢ ἐντελῶς κλειστά.

Παράδειγμα.

Εἰς ἀτμοστρόβιλον Α εἰσέρχεται ὕδρατμος πίεσεως 40 kg/cm^2 ἀπολ. καὶ θερμοκρασίας 400°C μὲ πίεσιν ἐξαγωγῆς $0,05 \text{ kg/cm}^2$ ἀπολ. Εἰς ἀτμοστρόβιλον Β εἰσέρχεται ὕδρατμος πίεσεως 20 kg/cm^2 ἀπολ. καὶ θερμοκρασίας 350°C μὲ πίεσιν ἐξαγωγῆς $0,1 \text{ kg/cm}^2$ ἀπολ. Ἡ πραγματικὴ ἵπποδύναμις καὶ τῶν δύο εἶναι 40 000 BHP. Ἡ πραγματικὴ ἀπόδοσις τοῦ Α εἶναι 76 % καὶ τοῦ Β εἶναι 79 %.

Νὰ εὐρεθῇ : ἡ ροὴ ὕδρατμοῦ, ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος καὶ ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδρατμοῦ διὰ τοὺς ἀνωτέρω δύο στροβίλους.

Λύσις :

α) Διὰ τὸν στρόβιλον Α :

Διὰ $P_1 = 40 \text{ kg/cm}^2$, $t_1 = 400^\circ \text{C}$ καὶ $P_2 = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ λαμβάνομεν ἀπὸ τὸ διάγραμμα Mollier (μὲ βάσιν τὸ σχῆμα 13.11α)

$$i_1 = 768 \text{ kcal}, \quad i_2 = 493 \text{ kcal} \quad \text{καὶ} \quad p_2 = 33 \text{ kcal}.$$

$$\text{Τὸ } i_1 - i_2 = 768 - 493 = 275 \text{ kcal/kg}.$$

Ἐκ τῆς ἰσότητος (210) εὐρίσκομεν τὸ πραγματικὸν ἔργον, ἥτοι :

$$\eta_{\pi} = \frac{W}{J(i_1 - i_2)} \quad \eta \quad 0,76 = \frac{W}{J \cdot 275}$$

$$\text{καὶ} \quad \frac{W}{J} = 0,76 \times 275 = 209 \text{ kcal/kg}.$$

$$\text{Τώρα} \quad \text{BHP} = \frac{B \cdot 209}{632}, \quad \text{ὅπου } B \text{ εἶναι ἡ ροὴ ὕδρατμοῦ εἰς kg/h}$$

$$\dot{\eta} \quad 40\,000 = \frac{B \cdot 209}{632} \quad \text{και} \quad B = 120\,957 \text{ kg/h περίπου.}$$

Ἐκ τῆς ἰσότητος (212) εὐρίσκομεν τὴν εἰδικὴν κατανάλωσιν θερμότητος ἥτοι :

$$h = \frac{120\,957 (768 - 33)}{40\,000} \quad \dot{\eta} = 2223,98 \text{ kcal ἀνὰ ὥριαῖον BHP.}$$

Ἐκ τῆς ἰσότητος (213) εὐρίσκομεν τὴν εἰδικὴν κατανάλωσιν ὕδρατμοῦ, ἥτοι :

$$\beta = \frac{120\,957}{40\,000} = 3,006 \text{ kg ἀνὰ ὥριαῖον BHP.}$$

β) Διὰ τὸν στρόβιλον B :

Διὰ $P_1 = 20 \text{ kg/cm}^2$, $t = 350^\circ \text{C}$ και $P_2 = 0,1 \text{ kg/cm}^2$ εὐρίσκομεν ἀπὸ τὸ διάγραμμα Mollier :

$$i_1 = 750 \text{ kcal}, \quad i_2 = 527 \text{ kcal}, \quad p_2 = 45 \text{ kcal} \quad \text{και} \quad i_1 - i_2 = 223 \text{ kcal.}$$

$$\text{Τὸ πραγματικὸν ἔργον} \quad \frac{W}{J} = 0,79 \times 223 = 176,17 \text{ kcal.}$$

$$\text{Ἡ ροὴ ὕδρατμοῦ} \quad B = \frac{40\,000 \times 632}{176,17} = 143\,498 \text{ kg/h.}$$

Εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος :

$$= \frac{143\,498 (750 - 45)}{40\,000} = 2467,5 \text{ kcal ἀνὰ ὥριαῖον BHP.}$$

Εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδρατμοῦ :

$$\beta = \frac{143\,498}{40\,000} = 3,5 \text{ kg ἀνὰ ὥριαῖον BHP.}$$

Συγκρίνοντας τὰς δύο ἀνωτέρω μηχανὰς παρατηροῦμεν ὅτι μολονότι εἶναι τῆς αὐτῆς ἰσχύος, ἡ B ἔχει μεγαλυτέραν κατανάλωσιν τῆς A ἀνὰ ὥριαῖον BHP. Τοῦτο συμβαίνει, διότι ἡ A ἐργάζεται μετ' ὑψηλοτέραν τιμὴν P_1 καὶ t_1 ὕδρατμοῦ καὶ μετ' μικροτέραν τιμὴν P_2 .

* Ἀσκήσεις.

Νὰ ὑπολογισθοῦν τὰ αἰτούμενα εἰς παράδειγμα 2 (παράγρ. 13·5) ἀλλὰ μετ' συντελεστὴν τριβῶν $K = 0,9$.

(Ἐπ.: α) 21 kg/cm^2 . β) Συγκλίνον - ἀποκλίνον. γ) $P_K = 21 \text{ kg/cm}^2$, $t = 353^\circ \text{C}$. δ) $V_K = 588,5 \text{ m/sec}$. ε) $V_{\text{τελ.}} = 1462,8 \text{ m/sec}$. στ) $P_2 = 0,1 \text{ kg/cm}^2$, $\chi = 0,88$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 14

ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΑΙ

14.1 Εισαγωγή.

Ὁ ἀήρ ὑψηλῆς πίεσεως ἔχει εὐρυτάτην χρῆσιν εἰς πλοῖα καὶ βιομηχανικὰς ἐγκαταστάσεις. Χρησιμοποιεῖται διὰ τὴν ἐκκίνησιν μηχανῶν Diesel, διὰ τὴν λειτουργίαν ἐργαλείων ἀέρος, ὡς π.χ. ἀερόσφυρα, ἀεροδράπανα, κίνησιν μηχανῶν ἐντὸς ὀρυχείου κ.λπ.

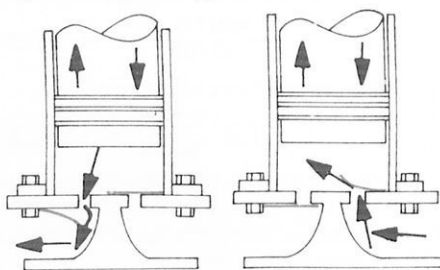
Ὅλαι αὗται αἱ χρήσεις προϋποθέτουν τὴν ὑπαρξιν ἱκανῆς ποσότητος ἀέρος καθωρισμένης ὑψηλῆς πίεσεως.

14.2 Παλινδρομικὸς συμπίεστής.

Ὁ παλινδρομικὸς συμπίεστής εἶναι εἰς γενικὴν χρῆσιν διὰ τὴν συμπίεσιν τοῦ ἀέρος. Ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓνα κύλινδρον καὶ ἔμβολον.

Ὁ κύλινδρος ἔχει καταλλήλους βαλβίδας διὰ τὴν ἀναρρόφησιν καὶ κατάθλιψιν τοῦ ἀέρος (σχ. 14.2 α).

Ἡ λειτουργία τοῦ συμπίεστοῦ ἐμφαίνεται μὲ σειρὰν διαγραμμάτων εἰς τὰ σχήματα 14.2 β ἕως καὶ 14.2 στ.



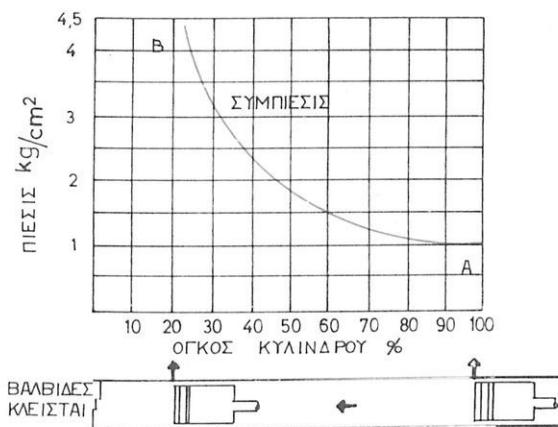
Σχ. 14.2 α.

Εἰς τὸ σχῆμα 14.2 β

ὑποτίθεται ὅτι ἡ πίεσις ἀναρροφήσεως εἶναι 1 ατμὰ καὶ ἡ πίεσις καταθλίψεως τοῦ ἀέρος 4,5 ατμὰ. Γίνεται ἐπίσης παραδεκτὸν ὅτι δὲν ὑπάρχει ἀπώλεια πίεσεως εἰς τὰς βαλβίδας. Τὸ ἔμβολον ἐκκινεῖ ἀπὸ τὴν ἀρχὴν τῆς πρὸς τὰς ἀνω διαδρομῆς συμπίεσεως (σημεῖον Α), ὅταν ὁ ὅγκος τοῦ κυλίνδρου εἶναι 100 %. Εἰς τὸ σημεῖον αὐτὸ ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου εἶναι ἴση μὲ ἐκείνην τῆς ἀναρροφήσεως, 1 ατμὰ. Ἡ καμπύλη ΑΒ τῆς συμπίεσεως δεικνύει τὸ πῶς ἀνέρχεται ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου, ἐνῶ τὸ ἔμβολον ἀνέρχεται. Εἰς τὸ σημεῖον Β ἡ πίεσις εἶναι ἴση μὲ ἐκείνην τῆς καταθλίψεως. Ὁ ὅγκος τοῦ κυλίνδρου ἔχει ἐλαττωθῇ περίπου εἰς τὸ 20 % καὶ ἀμφότεραι αἱ βαλβίδες ἀναρροφήσεως καὶ καταθλίψεως εἶναι κλεισταί.

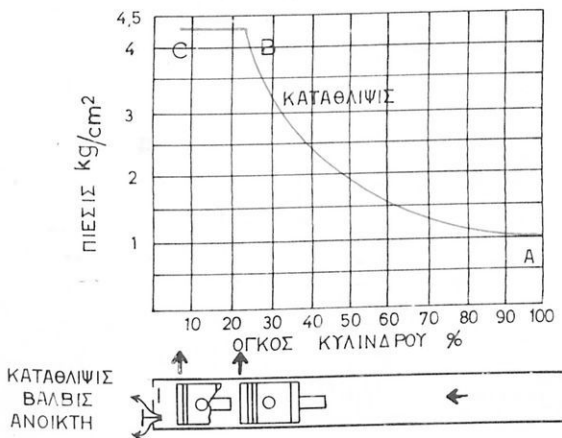
Εἰς τὸ σχῆμα 14.2 γ, ὅταν ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ἀνέλθῃ εἰς ἐκείνην τῆς καταθλίψεως, ἡ βαλβὶς ἐξαγωγῆς ἀνοίγει καὶ ὁ ἀήρ καταθλίβεται ἐντὸς εἰδικοῦ ἀεροφυλακίου διὰ περαιτέρω χρῆσιν. Τοῦτο παρίσταται διὰ τῆς

ὕπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀλλαγῆς BC. Ὁ ὄγκος τῶρα τοῦ κυλίνδρου ἔχει ἐλαττωθῇ εἰς ἐκεῖνον τῶν διακένων, περίπου 4%.



Σχ. 14·2 β.

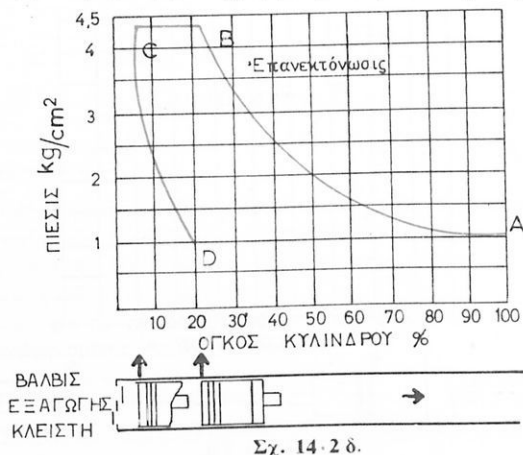
Εἰς τὸ σχῆμα 14·2 δ, τὸ ἔμβολον ἀντιστρέφει πορείαν καὶ ἡ βαλβὶς ἐξαγωγῆς κλείει. Ὁ ἀήρ ὑψηλῆς πίεσεως, ποῦ ἔχει παγιδευθῇ εἰς τὸν ὄγκον διακένων, ἐκτονοῦται ἐκ νέου, ὥς ἐμφαίνεται διὰ τῆς καμπύλης CD.



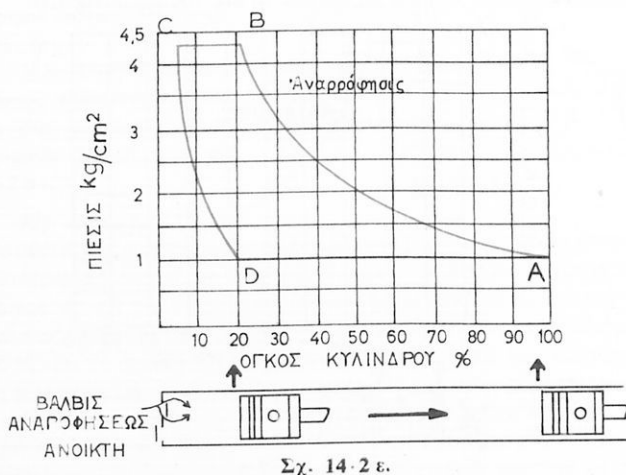
Σχ. 14·2 γ.

Τὸ διάκενον τοῦ συμπιεστοῦ πρέπει νὰ εἶναι ὅσον τὸ δυνατόν μικρότερον, διότι ἡ ἐπανεκτόνωσις αὐτῇ τοῦ ἀέρος σημαίνει ἀπώλειαν τῆς ἱκανότητος τοῦ συμπιεστοῦ. Ἐὰν ἦτο δυνατὴ ἡ κατασκευὴ συμπιεστοῦ μὲ μηδέν διάκενον, δὲν θὰ ὑπῆρχεν ἐπανεκτόνωσις καὶ ἡ γραμμὴ CD θὰ ἦτο κάθετος.

Εἰς τὸ σχῆμα 14.2 ε, ἐνῶ τὸ ἐμβολὸν ἐξακολουθεῖ τὴν πρὸς τὰ κάτω διαδρομὴν του, ἡ βαλβὶς ἀναρροφῆσεως ἀνοίγει καὶ ἡρ εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ

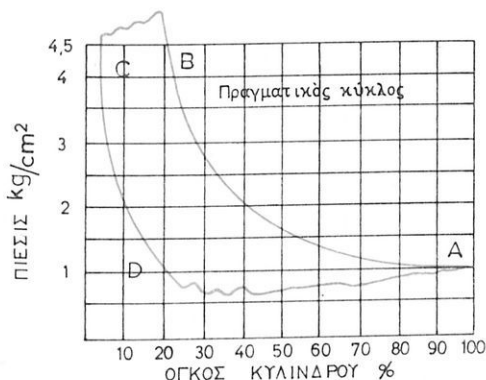


κυλίνδρου κατὰ τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν D.A. Ὁ κύκλος τώρα ἔχει συμπληρωθῇ.



Εἰς τὸ σχῆμα 14.2 στ ἐμφαίνεται τὸ πραγματικὸν διάγραμμα ἑνὸς συμπίεστοῦ. Παρατηροῦμεν ὅτι αἱ γραφαὶ ἀναρροφῆσεως καὶ καταθλίψεως δὲν εἶναι εὐθεῖαι· τοῦτο εἶναι ἀποτέλεσμα στροβιλισμοῦ καὶ στραγγαλισμοῦ τοῦ ἀέρος, καθὼς διέρχεται μέσω τῶν βαλβίδων. Ἡ γραμμὴ καταθλίψεως κεῖται

άνωθεν τῆς θεωρητικῆς, διότι ἡ πίεσις ἐντὸς τῶν κυλίνδρων πρέπει νὰ ὑπερβῇ ἐκείνην τῆς καταθλίψεως, διὰ νὰ ὑποχρεώσῃ τὴν βαλβίδα καταθλίψεως νὰ ἀνοίξῃ.



Σχ. 14·2 στ.

Ἐπίσης ἡ γραμμὴ ἀναρροφῆσεως κεῖται κάτωθεν τῆς θεωρητικῆς, διότι ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου πρέπει νὰ πέσῃ κάτωθεν τῆς ἀναρροφῆσεως, διὰ νὰ δυνηθῇ νὰ ἀνοίξῃ ἡ βαλβὶς ἀναρροφῆσεως.

14·3 Ἰδανικὸν διάγραμμα συμπίεστοῦ ἀπλῆς φάσεως. Ἔργον συμπίεσεως. Θεωρητικὴ ἰσχὺς διὰ κίνησιν τοῦ συμπίεστοῦ.

Τὸ ἰδανικὸν διάγραμμα τοῦ συμπίεστοῦ ἀπλῆς φάσεως (μονοκυλίνδρου) ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 14·3.

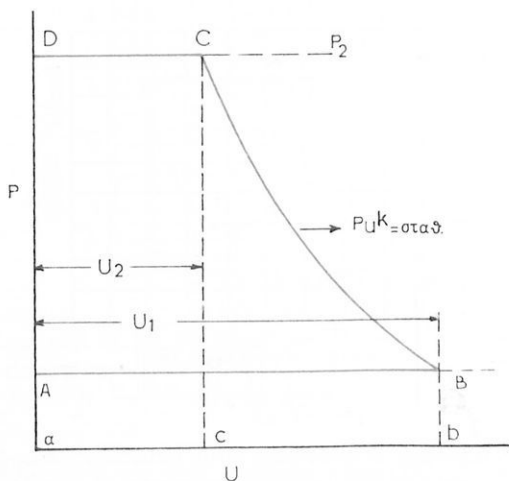
Εἰς αὐτὸ ὑποτίθεται ὅτι ὁ τέλειος συμπίεστῆς δὲν εἶχει διάκενον, ἐργάζεται χωρὶς τριβάς, δὲν στραγγαλίζεται ὁ ἀήρ εἰς τὰς βαλβίδας, ἡ ἀναρρόφησις καὶ ἡ κατάθλιψις εἰς τὸ διάγραμμα εἶναι εὐθεῖαι ὀριζόντιαι καὶ ἡ συμπίεσις εἶναι θερμοδυναμικῶς ἀναστρέψιμος.

Ἀρχίζομεν ἀπὸ τὸ σημεῖον Α μετὰ μηδὲν ὄγκον κυλίνδρου καὶ ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου κατὰ τὴν διαδρομὴν ἀναρροφῆσεως ΑΒ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν, θερμοκρασίαν καὶ εἰδικὸν ὄγκον. Ἡ συμπίεσις ἀρχίζει ἀπὸ τὸ Β καὶ συνεχίζεται πολυτροπικῶς κατὰ τὴν ΒC. Εἰς τὸ C ἡ πίεσις γίνεται ἴση μετὰ ἐκείνην τῆς ἀεροφιάλης καὶ ἀρχίζει ἡ κατάθλιψις τοῦ ἀέρος.

Τὸ ὑπόλοιπον δηλαδὴ τῆς διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου ἀπὸ C ἕως D χρησιμοποιεῖται διὰ τὴν ἐξαγωγὴν τοῦ ἀέρος ἀπὸ τὸν κύλινδρον ὑπὸ σταθερὰν πάλιν πίεσιν, θερμοκρασίαν καὶ εἰδικὸν ὄγκον. Εἰς τὸ D ὁ κύλινδρος εἶναι τελείως κενὸς καὶ ἔτοιμος διὰ τὴν ἑναρξιν τοῦ κύκλου.

Ἐστω P_1 καὶ U_1 ἡ πίεσις καὶ ὁ ὄγκος τοῦ ἀέρος κατὰ τὴν ἑναρξιν τῆς συμπίεσεως (σημεῖον Β) καὶ P_2 καὶ U_2 ἡ πίεσις καὶ ὁ ὄγκος εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως (σημεῖον C).

Ἡ γραμμὴ συμπίεσεως BC ἀκολουθεῖ τὸν νόμον $P U^K = \text{σταθερόν}$. Τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπίεστου δίδεται ὑπὸ τῆς ἐπιφανείας ABCD (σχ. 14.3).



Σχ. 14.3.

Υπολογισμὸς ἔργου. Τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον W ἀνὰ κύκλον διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπίεστου εἶναι ἡ ἐπιφάνεια :

$$ABCD = \text{ἐπιφ. } CBbc + \text{ἐπιφ. } DCca - \text{ἐπιφ. } ABba$$

$$\text{ἀλλὰ ἐπιφ. } CBbc = \frac{P_2 U_2 - P_1 U_1}{K-1} \quad \eta \quad \text{ἐπιφ. } DCca = P_2 \cdot U_2 \quad \text{καὶ} \\ \text{ἐπιφ. } ABba = P_1 \cdot U_1$$

$$\text{Ἐπομένως ἐπιφάνεια } ABCD = \frac{P_2 U_2 - P_1 U_1}{K-1} + P_2 U_2 - P_1 U_1$$

$$\eta \quad \text{ἐπιφάνεια } ABCD = \frac{K}{K-1} (P_2 U_2 - P_1 U_1) \quad (214)$$

$$\eta \quad \text{ἐπιφάνεια } ABCD = \frac{K}{K-1} \cdot P_1 U_1 \left(\frac{P_2 U_2}{P_1 U_1} - 1 \right)$$

$$\text{ἀλλὰ } P_1 U_1^K = P_2 U_2^K \quad \eta \quad \frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{-\frac{1}{K}}$$

καὶ ἔπομένως ἡ ἐπιφάνεια :

$$ABCD = \text{ἔργον} = W = \frac{K}{K-1} \cdot P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (215)$$

Ἐὰν ἡ συμπίεσις ᾖ τοῦ ἀδιαβατικῆς, τότε ἰσχύει ἡ αὐτὴ ἰσότης τοῦ ἔργου (215) ἐὰν $K = \gamma$, ὅπου :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4 \quad \text{δι' ἀέρα.}$$

Τὸ ἔργον W δύναται νὰ ὑπολογισθῇ καὶ μὲ ὄρους θερμοκρασιῶν. Οὕτως, ἐὰν εἰς τὴν ἰσότητα (214) θέσωμεν ἀντὶ τοῦ $P_2 U_2$ τὸ ἴσον τοῦ BRT_2 , καὶ ἀντὶ τοῦ $P_1 U_1$ τὸ ἴσον τοῦ BRT_1 , λαμβάνομεν :

$$W = \frac{K}{K-1} \cdot BR (T_2 - T_1) \quad (216)$$

$$\eta \quad W = \frac{K}{K-1} BRT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (217)$$

Ὑπολογισμὸς θεωρητικῆς ἰσχύος.

Ἐὰν ὁ συμπίεστὴς πραγματοποιῇ N κύκλους ἀνὰ λεπτόν, τότε ἡ ἀπαιτούμενη θεωρητικὴ ἰπποδύναμις διὰ τὴν κίνησίν του θὰ εἶναι :

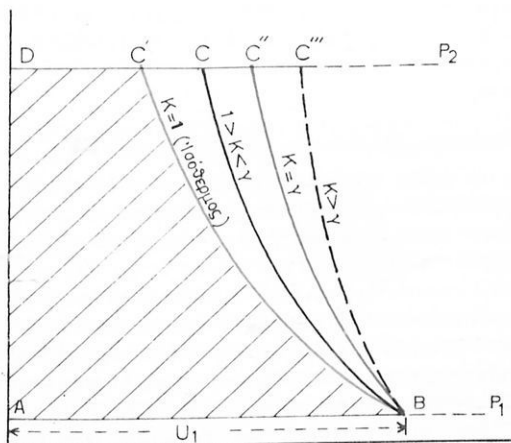
$$HP = \frac{W \cdot N}{4500} \quad (218)$$

$$\eta \quad HP = \frac{W \cdot N}{33\,000} \quad (219)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (218) τὸ W λαμβάνεται εἰς kgm ἀνὰ κύκλον καὶ εἰς τὴν ἰσότητα (219) εἰς ftlb ἀνὰ κύκλον.

14.4 Σημασία τῆς τιμῆς τοῦ ἐκθέτου K τῆς συμπίεσεως.

Ἡ σημασία ἐπὶ τοῦ ἰδανικοῦ κύκλου τῆς τιμῆς K τοῦ ἐκθέτου συμπίεσεως ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 14.4.



Σχ. 14.4.

Εἶναι φυσικὸν μεταξύ δύο συμπίεσεων νὰ εἶναι προτιμητέα ἐκείνη, ποὺ ἀπαιτεῖ ὀλιγώτερον ἔργον διὰ τὴν πραγματοποίησίν της.

Το σημείον Β είναι ή αρχική κατάσταση του αέρος κατά την έναρξιν τῆς συμπίεσεως, ἀρχικῆς συμπίεσεως P_1 καί ὄγκου U_1 . Συμπιέζομεν τώρα τόν αέρα κατά διαφόρους τρόπους μέχρι τελικῆς πίεσεως P_2 . Οὕτως ἔχομεν :

α) Ἰσοθέρμον συμπίεσιν τήν BC' ($PV = \text{σταθ.}$). Ὁ αἶρ εἰς τὸ σημείον C' ἔχει τήν αὐτὴν θερμοκρασίαν μέ τήν ἀρχικὴν τοῦ σημείου Β.

β) Ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν BC'' ($PV^\gamma = \text{σταθ.}$). Ὁ αἶρ εἰς τὸ σημείον C'' ἔχει μεγαλυτέραν θερμοκρασίαν τῆς τοῦ C' . Ἐπομένως τὸ σημείον C'' ἐπειδὴ κεῖται ἐπὶ τῆς αὐτῆς τελικῆς πίεσεως P_2 , θὰ ἀντιστοιχῇ εἰς μεγαλύτερον ὄγκον, ἂρα θὰ κεῖται δεξιὰ τοῦ C' .

γ) Πολυτροπικὴ συμπίεσις BC ($PV^K = \text{σταθ.}$), ὅπου ὁ ἐκθέτης K εἶναι μεγαλύτερος τῆς μονάδος ἀλλὰ μικρότερος τοῦ $\gamma = 1,4$ ἥτοι $1 < K < \gamma$.

Κατὰ τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν ὁ αἶρ συμπίεζεται, ἐνῶ διέρχεται θερμοῦς ἐξω τῶν τοιχωμάτων ὄχι ὅμως εἰς ποσότητα, ὥστε νὰ διατηρῇται ἡ θερμοκρασία σταθερά. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ θερμοκρασία τοῦ αέρος εἰς τὸ σημείον C εἶναι μεγαλυτέρα τῆς τοῦ C' καὶ μικρότερα τῆς τοῦ C'' , ἐπομένως ἡ καμπύλη BC εὐρίσκεται μεταξὺ τῆς ἰσοθέρμου καὶ τῆς ἀδιαβατικῆς.

δ) Πολυτροπικὴ συμπίεσις BC''' ($PV^K = \text{σταθ.}$), ὅπου $K > \gamma$.

Κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς συμπίεσεως αὐτῆς θερμοῦς εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ αέρος μέσω τῶν τοιχωμάτων τοῦ κυλίνδρου, ἐπομένως ἡ θερμοκρασία τοῦ αέρος εἰς τὸ C''' θὰ εἶναι μεγαλυτέρα τῆς τοῦ C'' , ἐπομένως τὸ σημείον C''' ἐπειδὴ κεῖται ἐπὶ τῆς αὐτῆς τελικῆς πίεσεως θὰ ἀντιστοιχῇ εἰς μεγαλύτερον ὄγκον καὶ ἡ καμπύλη BC''' θὰ κεῖται ἐξωτερικῶς τῆς BC'' .

Ἐκ τοῦ σχήματος εὐκόλως συμπεραίνομεν ὅτι ἡ συμπίεσις, ποῦ ἀπαιτεῖ ὀλιγώτερον ἔργον διὰ τὴν πραγματοποιήσιν της, εἶναι ἡ ἰσοθερμὸς καὶ μετὰ ἀπὸ αὐτὴν ἡ πολυτροπικὴ ἀλλὰ μὲ $K < \gamma$. Ἡ ψῦξις ἐπομένως τοῦ αέρος κατὰ τὴν συμπίεσιν του ἐντὸς ἀεροσυμπιεστῶν εἶναι σοβαρὸς παράγων οἰκονομίας.

14.5 Συμπιεστής δύο φάσεων. Ἐνδιάμεσος ψῦξις.

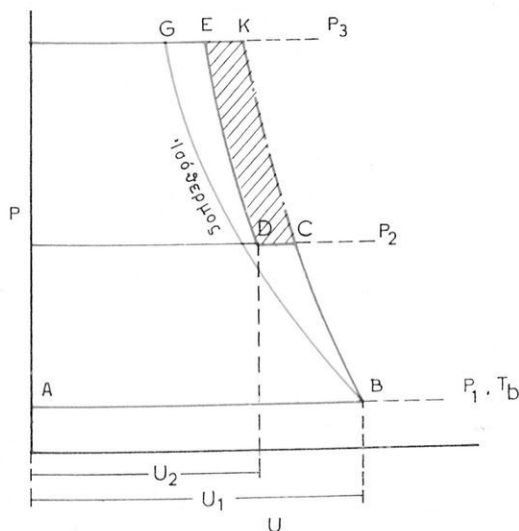
Εἰς τὴν πρῶξιν, λαμβανομένης ὑπ' ὅσιν καὶ τῆς μεγάλης ταχύτητος τοῦ ἐμβόλου, δὲν εἶναι δυνατὴ ἡ ἐπίτευξις ἰσοθέρμου συμπίεσεως. Γίνεται ὅμως κάθε δυνατὴ προσπάθεια ἀπὸ τοὺς κατασκευαστὰς ἀεροσυμπιεστῶν νὰ τὴν πλησιάσουν.

Ἐὰν ὁ συμπιεστής εἶναι μονοκύλινδρος (ἀπλῆς φάσεως) καὶ ψεκάζεται ὕδωρ ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς συμπίεσεως, αὐτὸ ἐξατμιζόμενον θὰ ἀπορροφῇ θερμότητα ἀπὸ τὸν αέρα καὶ θὰ τοῦ ἐλαττώσῃ τὴν θερμοκρασίαν κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς συμπίεσεως, ὅποτε ἡ καμπύλη συμπίεσεως θὰ κεῖται μεταξὺ τῆς ἰσοθέρμου καὶ ἀδιαβατικῆς, θὰ εἶναι δηλαδὴ ἡ BC ἀντὶ τῆς BC'' (σχ. 14.4), ἡ ὁποία θὰ ἦτο ἡ συμπίεσις ἀνευ ψεκασμοῦ ὕδατος. Ἡ τιμὴ τοῦ K δύναται νὰ φθάσῃ τὸ 1,2 μὲ τὸν τρόπον αὐτόν. Ἐὰν ὁ κύλινδρος ψύχεται διὰ κυκλοφορίας ὕδατος περίξ αὐτοῦ, ἡ τιμὴ τοῦ K κυμαίνεται ἀπὸ 1,35 ἕως 1,25 διὰ λίαν ἀποδοτικὴν ψῦξιν. Εἰς συμπιεστήν δύο ἢ περισσοτέρων φάσεων ἐφαρμόζεται ἡ ἀρχὴ τῆς ἐνδιαμέσου ψύξεως.

Ἡ ἐνδιάμεσος ψῦξις ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα καὶ τὴν ἐλάττωσιν τοῦ ὀλικοῦ

άπαιτουμένου έργου δια τήν συμπίεσιν τοῦ ἀέρος, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 14.5.

Οὕτως ἀπὸ ἀρχικῆς καταστάσεως P_1, U_1 καὶ T_1 (σημεῖον B) συμπιέζεται εἰς τὸν πρῶτον κύλινδρον ἔστω ἀδιαβατικῶς κατὰ τὴν BC, ἡ πίεσις τοῦ ἀνέρχεται εἰς P_2 , ἡ θερμοκρασία τοῦ εἰς T_C καὶ ὁ ὄγκος τοῦ γίνεται U_C .



Σχ. 14.5.

Ἐν συνεχείᾳ ὁ ἀέρ διέρχεται μέσω ψυκτῆρος καὶ ψύχεται ὑπὸ σταθερᾶν πίεσιν κατὰ τὴν CD καὶ οὕτως ἐλαττοῦται ὁ ὄγκος τοῦ ἀπὸ U_C εἰς U_2 καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀπὸ T_C εἰς T_2 (τοῦ σημείου D).

Μετὰ τὴν ψύξιν ὁ ἀέρ μὲ πίεσιν P_2 , ὄγκον U_2 καὶ θερμοκρασίαν T_2 εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐπόμενον κύλινδρον, ἐντὸς τοῦ ὁποίου καὶ συμπιέζεται ἀδιαβατικῶς κατὰ τὴν DE. Εἰς τὸ σημεῖον E ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος ἀνέρχεται εἰς P_3 καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ εἰς T_3 .

Συνήθως μετὰ τὴν τελικὴν συμπίεσιν τοῦ ὁ ἀέρ, πρὶν εἰσέλθῃ εἰς τὸ ἀεροφυλάκιον, διέρχεται μέσω ψυκτῆρος καὶ ψύχεται ἐκ νέου.

Ἐὰν δὲν ἐγίνετο ἐνδιάμεσος ψύξις, τότε ἡ συμπίεσις θὰ ἠκολούθει τὴν ἀδιαβατικὴν καμπύλην BK, ἐνῶ μὲ τὴν ἐνδιάμεσον ψύξιν ἡ συμπίεσις εἶναι ἡ BC καὶ ἐν συνεχείᾳ ἡ DE. Ἐπομένως, μὲ τὴν ἐνδιάμεσον ψύξιν ἔχομεν κέρδος εἰς τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον συμπίεσεως ἴσον μὲ τὴν ἐπιφάνειαν CDEK.

Ἐὰν λόγῳ τῆς ψύξεως ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος T_2 μετὰ τὴν συμπίεσιν εἰς τὸν πρῶτον κύλινδρον ᾗτο ἴση μὲ τὴν ἀρχικὴν T_1 (πρὸ τῆς συμπίεσεως), τότε λέγομεν ὅτι ἔχομεν ἐνδιάμεσον ψύξιν τελείαν. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν τὸ σημεῖον D μετὰ τὴν ψύξιν θὰ εὑρίσκεται ἐπὶ τῆς ἰσοθερμικῆς

καμπύλης BG. Τοῦτο βεβαίως εἶναι ἐπιθυμητόν, ἀλλὰ δὲν ἐπιτυγχάνεται εἰς τὴν πράξιν.

Τὸ ὅλικόν ἔργον W, ποῦ ἀπαιτεῖται διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπίεστοῦ, θὰ εἶναι τὸ ἄθροισμα τοῦ ἀπαιτουμένου ἔργου ἀνὰ κύλινδρον (ισότης 215), ἥτοι :

$$\text{Διὰ τὸν κύλινδρον τῆς Χ.Π.} = W_1 = \frac{K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

$$\text{Διὰ τὸν κύλινδρον τῆς Υ.Π.} = W_2 = \frac{K}{K-1} \cdot P_2 U_2 \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

καὶ

$$W = W_1 + W_2 = \frac{K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] + \frac{K}{K-1} P_2 U_2 \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (220)$$

Ἐὰν αἱ συμπίεσεις εἶναι ἀδιαβατικά, τότε $K = \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$.

Ἐὰν ἡ ἐνδιάμεσος ψῦξις ᾗτο τελεία, τότε τὰ σημεῖα Β καὶ D θὰ εὐρίσκοντο ἐπὶ τῆς ἰσοθέρμου καμπύλης BG, ὁπότε θὰ ᾗτο :

$P_1 U_1 = P_2 U_2$ καὶ ἡ ἰσότης (220) θὰ ἐλάβανε τὴν μορφήν :

$$W = \frac{K}{K-1} \cdot P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 2 \right] \quad (221)$$

$$\text{ἢ} \quad W = \frac{K}{K-1} BRT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 2 \right] \quad (222)$$

Διὰ τὴν εὔρεσιν τῆς θεωρητικῆς ἀπαιτουμένης ἱπποδυνάμεως ἰσχύουν αἱ ἰσότητες (218) ἢ (219) ἀναλόγως.

Εὔρεσις ἀποβαλλομένης θερμότητος κατὰ τὴν ἐνδιάμεσον ψῦξιν.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 14.5 ἔχομεν ὅτι :

α) Κατάστασις ἀέρος εἰς τὴν ἀναρρόφησιν εἰς σημεῖον Β εἶναι P_1, U_1, T_1 .

β) Κατάστασις ἀέρος εἰς τὸ σημεῖον C εἶναι P_2, U_C, T_C .

γ) Κατάστασις ἀέρος εἰς τὸ σημεῖον D εἶναι P_2, U_2, T_2 .

Ἐστω Β τὸ βάρος τοῦ ἀέρος, ποῦ συμπιέζεται ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ἀνὰ κύκλον.

Ἐκ τῆς ἰσότητος $P_1 U_1 = BRT_1$ εὐρίσκομεν τὸ βάρος Β.

Ἐκ τῆς ἰσότητος $P_1 U_1^K = P_2 U_C^K$ εὐρίσκομεν τὸν ὄγκον U_C .

Ἐκ τῆς ἰσότητος $P_2 U_C = BRT_C$ εὐρίσκομεν τὴν θερμοκρασίαν T_C .

Ἀπὸ τὴν ἀλλαγὴν CD (σταθερὰ πίεσις) ἔχομεν τὴν σχέσιν $\frac{U_C}{T_C} = \frac{U_2}{T_2}$,

ἐκ τῆς ὁποίας εὐρίσκομεν τὴν T_2 .

Τέλος ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης κατὰ τὴν ἐνδιάμεσον ψῦξιν CD θὰ εἶναι μὲ βάσιν τὴν ἰσότητα (12) :

$$H = C_p \cdot B (T_C - T_2)$$

14.6 Όροι μεγίστης απόδοσεως αεροσυμπιεστών.

Έστω συμπιεστής δύο φάσεων (σχ. 14.5), εις τὸν ὁποῖον τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον διὰ τὴν συμπίεσιν θὰ εἶναι μικρότερον, ἂν ἡ ἐνδιάμεσος ψῦξις εἶναι τελεία, ὁπότε τὸ σημεῖον D θὰ εὐρίσκεται ἐπὶ τῆς ἰσοθέρμου καμπύλης.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον δίδεται ὑπὸ τῆς ἰσότητος (221), ἥτοι :

$$W = \frac{K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 2 \right].$$

Δεδομένου ὅτι τὸ γινόμενον $\frac{K}{K-1} \cdot P_1 U_1$ εἶναι σταθερὸς ἀριθμὸς, τὸ ἔργον W θὰ εἶναι ἐλάχιστον, ἂν ἡ παράστασις

$$\Psi = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad \text{ἔχῃ τιμὴν ἐλαχίστην.}$$

Ἀποδεικνύεται (ἰδὲ σημειώσιν σ. 294) ὅτι ἡ παράστασις αὕτη ἔχει τιμὴν ἐλαχίστην, ἂν ἡ $P_2 = \sqrt{P_1 \cdot P_3}$ ἢ

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} \quad (223)$$

Διὰ νὰ εἶναι δηλαδὴ τὸ W ἐλάχιστον, πρέπει ὁ λόγος τῶν πιέσεων ἀμφοτέρων τῶν κυλίνδρων νὰ εἶναι ὁ αὐτός, ὁπότε ἡ ἰσότης (221) τοῦ ἔργου θὰ λάβῃ τελικῶς τὴν μορφήν :

$$W = \frac{2K}{K-1} \cdot P_1 U_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (224)$$

$$\text{ἢ} \quad W = \frac{2K}{K-1} \cdot BRT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (225)$$

Ἐπομένως διὰ μεγίστην ἀπόδοσιν αεροσυμπιεστῶν δεόν νὰ τηρῶνται αἱ κάτωθι προϋποθέσεις.

α) Ἐνδιάμεσος ψῦξις τελεία, ἥτοι ὁ ἀήρ νὰ ψύχεται εἰς τὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν του μεταξὺ τῶν δύο φάσεων.

β) Ὁ λόγος τῶν πιέσεων εἰς ἀμφοτέρους τοὺς κυλίνδρους νὰ εἶναι ὁ αὐτός.

γ) Τὸ ἔργον, ποὺ δαπανᾶται εἰς ἐκάστην φάσιν, νὰ εἶναι τὸ αὐτό. Τὰ ἀνωτέρω ἐφαρμόζονται ἐπίσης καὶ εἰς αεροσυμπιεστὴν πολλαπλῆς φάσεως.

Δεδομένου τώρα ὅτι συνήθως αἱ πιέσεις P_1 καὶ P_3 εἶναι γνωσταὶ καὶ ὅτι ἐκ τῆς ἰσότητος (223) ἐξάγεται ὅτι $\frac{P_2}{P_1} = \sqrt{\frac{P_3}{P_1}}$, δι' ἀντικατάστασεως εἰς τὴν ἰσότητα (224) εὐρίσκομεν ὅτι τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον εἶναι :

$$W = \frac{2K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{2K}} - 1 \right] \quad (226)$$

$$\eta \quad W = \frac{2K}{K-1} BRT_1 \left[\left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{2K}} - 1 \right] \quad (224)$$

Σημειώσεις :

Διὰ τὴν ἀπόδειξιν τῆς σχέσεως τῆς ἰσότητος (223), ἥτοι $\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2}$,

$$\text{ἔχομεν: } \psi = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad \eta \quad \psi = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\alpha} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\alpha},$$

$$\text{ἐὰν } \alpha = \frac{K-1}{K}.$$

Δεδομένου ὅτι τὰ P_1 καὶ P_3 εἶναι σταθεραὶ τιμαί, διότι τὸ μὲν P_1 εἶναι ἡ πίεσις ἀναρροφήσεως (συνήθως ἀτμοσφαιρική) καὶ P_3 ἡ τελικὴ πίεσις, ποὺ εἶναι ἡ ἐπιθυμητὴ, διαφορίζομεν τὴν ἀνωτέρω συνάρτησιν ὡς πρὸς P_2 , ὁπότε ἔχομεν :

$$\frac{d\psi}{dP_2} = \alpha P_1^{-\alpha} \cdot P_2^{\alpha-1} - \alpha P_3^{\alpha} \cdot P_2^{-\alpha-1}.$$

Ἐξισώνομεν τὸν παράγωγον μὲ τὸ μηδέν, ὁπότε :

$$\alpha P_1^{-\alpha} \cdot P_2^{\alpha-1} - \alpha P_3^{\alpha} \cdot P_2^{-\alpha-1} = 0$$

$$\text{καὶ} \quad P_1^{-\alpha} \cdot P_2^{\alpha-1} = P_3^{\alpha} \cdot P_2^{-\alpha-1}$$

$$\eta \quad \frac{P_2^{\alpha-1}}{P_1^{\alpha}} = \frac{P_3^{\alpha}}{P_2^{\alpha+1}}$$

$$\frac{P_2^{\alpha}}{P_1^{\alpha} \cdot P_2} = \frac{P_3^{\alpha}}{P_2^{\alpha} \cdot P_2}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} \quad \eta \quad P_2 = \sqrt{P_1 \cdot P_3} \quad \text{ὁ.ἔ.δ.}$$

Παράδειγμα.

Ἀεροσυμπιεστής δύο φάσεων πρέπει νὰ καταθλίβῃ ἀέρα εἰς τελικὴν πίεσιν 800 lb/in². Οἱ κύλινδροι ἔχουν τὴν αὐτὴν διαδρομὴν. Ἡ ἐνδιάμεσος ψῆξις εἶναι τελεία καὶ ὁ ἀήρ εἰς τὸν ψυκτῆρα ψύχεται εἰς τὴν ἀτμοσφαιρικήν θερμοκρασίαν 15° C. α) Νὰ καθορισθῇ ὁ λόγος τῶν διαμέτρων τῶν κυλίνδρων, ὥστε τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπιεστοῦ νὰ εἶναι τὸ ἐλάχιστον. β) Νὰ εὑρεθῇ τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον διὰ τὴν συμπίεσιν καὶ κατὰθλιψιν 1 lb ἀέρος.

Ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις νὰ ληφθῇ ἴση μὲ 15 lb/in² καὶ ἡ συμπίεσις ἀδιαβατική.

Λύσις:

α) Ἐφ' ὅσον ἡ ἐνδιάμεσος ψῆξις εἶναι τελεία καὶ ἡ συμπίεσις ἀδιαβατική, τὸ διάγραμμα τοῦ συμπιεστοῦ εἶναι τὸ σχῆμα 14.6. Δι' ἐλάχιστον ἔργον θὰ εἶναι :

$$P_2 = \sqrt{P_1 \cdot P_3} = \sqrt{15 \times 800} = 109,544 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{τὸ} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{109,544}{15} = 7,3.$$

Ἐφ' ὅσον ἡ διαδρομὴ τῶν ἐμβόλων ἐκάστου κυλίνδρου εἶναι ἡ αὐτή, θὰ εἶναι :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 7,3 \quad (d_1 \text{ καὶ } d_2 \text{ αἱ διαμέτροι τῶν κυλίνδρων}).$$

$$\eta \quad \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{7,3} = 2,7.$$

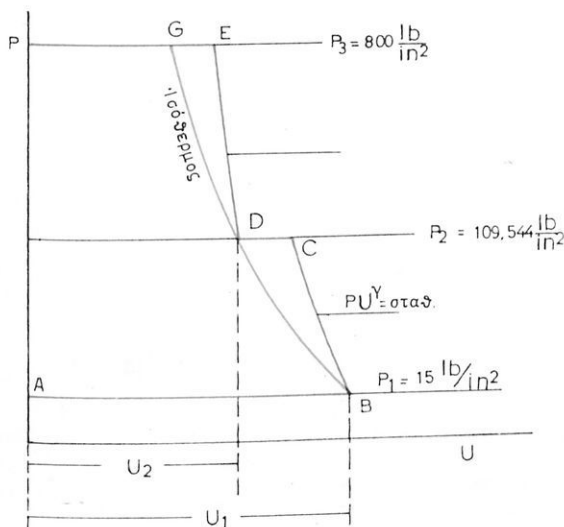
β) Τὸ ἀπαιτούμενον ἐλάχιστον ἔργον δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (227) καὶ διὰ $B = 1 \text{ lb}$ καὶ συμπίεσιν ἀδιαβατικὴν θὰ εἶναι :

$$W = \frac{2\gamma}{\gamma-1} \cdot RT_1 \left[\left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} - 1 \right].$$

Διὰ τὸν ἀέρα $\gamma = 1,4$ $R = 96 \text{ ftlb/lb}^\circ\text{K}$

$$\text{καὶ} \quad W = \frac{2,8}{0,4} \times 96 \times 288 \left[\left(\frac{800}{15} \right)^{\frac{1,4-1}{2 \times 1,4}} - 1 \right]$$

καὶ $W = 148\,030 \text{ ftlb.}$



Σχ. 14·6.

14·7 Ἀεροσυμπιεστὴς τριῶν φάσεων.

Εἰς τὸν ἀεροσυμπιεστὴν τριῶν φάσεων ὁ ὀγκος U_1 τοῦ ἀναρροφουμένου αέρος με ἀπόλυτον πίεσιν P_1 καὶ θερμοκρασίαν T_1 συμπίεζεται εἰς πίεσιν P_2 εἰς τὸν κύλινδρον χαμηλῆς πίεσεως. Ἐν συνεχείᾳ ὁ ἀήρ διέρχεται μέσῳ ψυκτῆρος καὶ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ψύχεται, ὥστε ἡ θερμοκρασία T_2 με ἐνδιάμεσον ψύξιν τελείαν νὰ κατέλθῃ εἰς T_1 (ἐπὶ τῆς ἰσοθέρμου) καὶ ὁ ὀγκος του νὰ γίνῃ U_2 . Ὁ ἀήρ τώρα με ἀρχικὴν πίεσιν P_2 , ὀγκον U_2 καὶ θερμοκρασίαν

T_1 οδηγείται εις τὸν κύλινδρον μέσης πίεσεως, συμπιέζεται εις πίεσιν P_3 καὶ εισέρχεται εις ἕτερον ψυκτῆρα, ὅπου ψύχεται καὶ ἡ θερμοκρασία του ἀπὸ T_3 κατέρχεται εις τὴν ἀρχικὴν T_1 , ἐνῶ ὁ ὅγκος του γίνεται U_3 .

Μὲ πίεσιν τῶρα P_3 , ὄγκον U_3 καὶ θερμοκρασίαν T_1 ὁ ἀήρ οδηγείται εις τὸν τρίτον κύλινδρον ὑψηλῆς πίεσεως συμπιέζεται εις τὴν τελικὴν πίεσιν P_4 καὶ συνήθως μέσω τρίτου ψυκτῆρος οδηγείται εις τὸ ἀεροφυλάκιον.

Δεδομένου ὅτι $P_1 U_1 = P_2 U_2 = P_3 U_3$, τὸ ἀπαιτούμενον τῶρα ἔργον θὰ εἶναι :

$$W = \frac{K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 3 \right] \quad (228)$$

Δι' ἐλάχιστον ἔργον θὰ πρέπει πάλιν νὰ εἶναι :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_3} = \sqrt[3]{\frac{P_4}{P_1}}$$

ὁπότε ἡ ἰσότης (228) λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$W = \frac{3K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (229)$$

$$\text{ἢ} \quad W = \frac{3K}{K-1} P_1 U_1 \left[\left(\frac{P_4}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{3K}} - 1 \right] \quad (230)$$

14.8 Ὑγκομετρικὴ ἀπόδοσις συμπίεστοῦ.

Ἡ ἱκανότης ἐνὸς συμπίεστοῦ εἶναι συνάρτησις τοῦ ὅγκου τοῦ ἀέρος, ποῦ εισέρχεται εις τὸν κύλινδρον κατὰ τὴν διαδρομὴν ἀναρροφῆσεως.

*Εἰς τὸ ὅτι ἔχομεν συμπίεστην ἀπλῆς φάσεως μὲ διάκενον. Τὸ ἰδανικὸν διάγραμμα λειτουργίας του εἶναι ὡς εἰς σχῆμα 14.8.

*Απὸ τὴν ἐξέτασιν τοῦ διαγράμματος αὐτοῦ παρατηροῦμεν ὅτι ὁ ὅγκος τοῦ εισερχομένου ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος κατὰ τὴν διαδρομὴν ἀναρροφῆσεως εἶναι ἴσος μὲ $U_1 - U_4$ καὶ μικρότερος τοῦ ὅγκου U_3 τῆς διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου. Τοῦτο ὀφείλεται, ὡς προανεφέρθη (παράγρ. 14.2), εἰς τὸν ἀέρα ὑψηλῆς πίεσεως, ποῦ ἔχει παραμείνει ἐντὸς τοῦ ὅγκου διακένων κατὰ τὴν διαδρομὴν καταθλίψεως τοῦ ἐμβόλου καὶ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἐλάττωσιν τῆς ἱκανότητος συμπίεστοῦ.

Ἡ ἐλάττωσις αὐτῆ τῆς ἱκανότητος ἐκφράζεται ὡς ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις καὶ εἶναι ὁ λόγος :

$$\eta_o = \frac{\text{Ὑγκος εισερχομένου ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος εἰς τὸν κύλινδρον}}{\text{Ὑγκος διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου}}$$

(ἰδὲ ἰσότητα 232 καὶ παράδειγμα).

*Απὸ τὸ σχῆμα 14.8 ἔχομεν :

$$\eta_o = \frac{(U_1 - U_3) - (U_4 - U_2)}{(U_1 - U_3)}$$

*Αλλὰ ἐκ τῆς $P_3 U_3^K = P_4 U_4^K$ λαμβάνομεν :

$$U_4 = U_3 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{1}{K}} = U_3 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{K}} \quad (\text{σχ. 14.8})$$

όπότε :

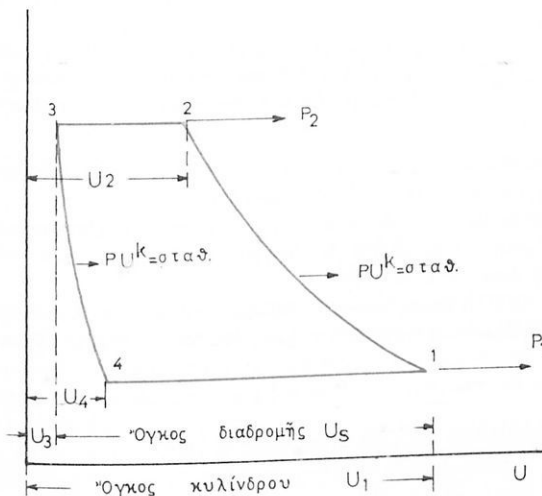
$$\eta_o = \frac{(U_1 - U_3) - U_3 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{K}} + U_3}{(U_1 - U_3)} = \frac{(U_1 - U_3) - U_3 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{K}} - 1 \right]}{U_1 - U_3}$$

$$\eta_o = 1 - \frac{U_3}{U_1 - U_3} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{K}} - 1 \right]$$

Ο λόγος $\frac{U_3}{U_1 - U_3} = \frac{\text{όγκος διακένων}}{\text{όγκος διαδρομής}} = \delta$, καλεῖται *λόγος διακένων* καὶ θὰ εἶναι :

$$\eta_o = 1 - \delta \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{K}} - 1 \right] \quad (231)$$

Παρατηροῦμεν ἐκ τῆς ἰσότητος (231) ὅτι ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ λόγου διακένων δ καὶ ἐκ τοῦ λόγου τῶν πιέσεων.



Σχ. 14.8.

Ὅσον αὐξάνει ὁ λόγος πιέσεων, τόσοι μικρότεροι πρέπει νὰ εἶναι ὁ λόγος διακένων, διὰ νὰ μὴ ἐλαττωθῇ ἡ ἀπόδοσις. Εἰς τὴν πρᾶξιν αἱ τιμαὶ τοῦ λόγου διακένων κυμαίνονται ἀπὸ 3% εἰς μερικοὺς μεγάλους παλινδρομικοὺς συμπίεστὰς καὶ πλέον τοῦ 12% εἰς ἄλλους. Αἱ περισσότεραι τιμαὶ κυμαίνονται ἀπὸ 8 ἕως 12%.

Ἐάν π.χ. εἰς τὴν ἰσότητα (231) ἡ τιμὴ τοῦ δ εἶναι 4%, ἡ $P_2 = 56 \text{ lb/in}^2$ ἀπολ., ἡ $P_1 = 14 \text{ lb/in}^2$ ἀπολ. καὶ $K = 1,3$, τότε θὰ εἶναι :

$$\eta_v = 1 - 0,04 \left[\left(\frac{56}{14} \right)^{\frac{1}{1,3}} - 1 \right] = 0,924 \quad \eta \quad 92,4\%.$$

Ἡ πραγματικὴ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις συμπίεστοῦ εἶναι μικροτέρα τῆς φαινομενικῆς, ἡ ὁποία λαμβάνεται ἐκ τῆς ἰσότητος (231) καὶ τοῦτο λόγῳ διαρροῶν τοῦ ἀέρος, καθὼς διέρχεται μέσῳ τῶν βαλβίδων καὶ τοῦ ἐμβόλου καὶ λόγῳ θερμάνσεως τοῦ εἰσερχομένου ἀέρος κατὰ τὴν ἀναρρόφησιν ἐξ αἰτίας ἀναμίξεως αὐτοῦ μὲ τὸν ἀέρα διακένων.

Ἡ πραγματικὴ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις ὑπολογίζεται μὲ βᾶσιν τὸ βᾶρος τοῦ καταθλιβομένου ἀέρος ἀπὸ τοῦ συμπίεστοῦ ἀνὰ διαδρομὴν ἢ εἰς ὠρισμένον χρόνον, ὅταν αὐτὸς μετατραπῇ εἰς ὄγκον ἐλευθέρου ἀέρος εἰς συνθήκας πίεσεως καὶ θερμοκρασίας ἀναρροφῆσεως.

Ἐλεύθερος ἀήρ εἶναι ἀήρ ὑπὸ κανονικὰς ἀτμοσφαιρικὰς συνθήκας εἰς μίαν ὠρισμένην γεωγραφικὴν περιοχὴν. Ὁρισμένος ὄγκος ἐλευθέρου ἀέρος εἰς ὕψος 2000 m δὲν ἔχει τὴν αὐτὴν μᾶζαν μὲ ἴσον ὄγκον ἀέρος εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης, διότι, ὡς γνωστόν, εἰς μεγαλύτερα ὕψη ἡ βαρομετρικὴ πίεσις εἶναι μικροτέρα. Οὕτως, ἡ πραγματικὴ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως :

$$\eta_o = \frac{\text{ὄγκος καταθλιβομένου ἐλευθέρου ἀέρος ἀνὰ λεπτόν} \\ \text{εἰς πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν ἀναρροφῆσεως}}{\text{ὄγκος διαδρομῆς ἐμβόλου συμπίεστοῦ ἀνὰ λεπτόν}} \quad (232)$$

Παράδειγμα.

Ὁ ὄγκος διαδρομῆς συμπίεστοῦ εἶναι $10 \text{ m}^3/\text{min}$. Ἡ πίεσις ἀέρος ἀναρροφῆσεως εἶναι 1 kg/cm^2 καὶ ἡ θερμοκρασία του 15°C .

Ὁ συμπίεστὴς εἰς 70 sec ἀναβιβάζει τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν τοῦ ἀέρος ἐνὸς ἀεροφυλακίου ὄγκου $1,5 \text{ m}^3$ εἰς πίεσιν 7 kg/cm^2 θλιβομετρικὴν καὶ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀέρος ἀπὸ 20°C εἰς 40°C .

Ζητεῖται : α) Τὸ βᾶρος τοῦ καταθλιβομένου ἀέρος ὑπὸ τοῦ συμπίεστοῦ ἀνὰ λεπτόν. β) Ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις τοῦ συμπίεστοῦ (ἡ σταθερὰ $R = 29,3 \text{ kgm/kg}^\circ\text{C}$).

Λύσις :

α) Ἐκ τῆς ἰσότητος (29) ἤτοι $PV = BRT$, ἔχομεν :

$$B \text{ τελικόν} = \frac{8 \times 10.000 \times 1,5}{29,3 \times 313} = 13 \text{ kg}$$

$$B \text{ ἀρχικόν} = \frac{1,033 \times 10.000 \times 1,5}{29,3 \times 293} = 1,8 \text{ kg}.$$

Ἐπομένως τὸ βᾶρος τοῦ καταθλιβομένου ἀέρος εἰς 70 sec θὰ εἶναι ἡ διαφορὰ $13 - 1,8 = 11,2 \text{ kg}$ καὶ εἰς 1 min $B = \frac{60}{70} \times 11,2 = 9,6 \text{ kg/min}$.

β) Μετατρέπομεν τὸ βᾶρος τοῦ καταθλιβομένου ἀέρος ἀνὰ min εἰς ὄγκον ἐλευθέρου ἀέρος ὑπὸ συνθήκας ἀναρροφῆσεως, οὕτω :

$$U = \frac{BRT}{P} = \frac{9,6 \times 29,2 \times 288}{10\,000} = 8,072 \text{ m}^3/\text{min}$$

ὁπότε ἐκ τῆς ἰσότητος (232) ἔχομεν ὅτι ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις :

$$\eta_o = \frac{8,072}{10} = 0,8072 \quad \eta \quad 80,72 \, \%$$

14.9 Ἀπόδοσις συμπίεστοῦ.

Χαμηλὴ βαρομετρικὴ πίεσις καὶ ὑψηλὴ θερμοκρασία (ὅπως συμβαίνει εἰς τὰς τροπικὰς χώρας) ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἐλάττωσιν τῆς ἱκανότητος τοῦ συμπίεστοῦ λόγῳ ἐλαττώσεως τῆς καταθλιβομένης μάζης ἀέρος.

Ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις, ὅταν ἀναφέρεται εἰς τυπικὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν, ἐλαττοῦται κατὰ 3% περίπου διὰ κάθε 300 m (1000 ft) ὕψους ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης καὶ κατὰ 1% ἀνὰ 5° C αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀναρροφουμένου ἀέρος. Ἡ θεωρητικὴ ἀπαιτουμένη ἰσχὺς διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπίεστοῦ εὐρίσκεται μὲ βάσιν τὸ θεωρητικὸν διάγραμμα ὡς αἱ ἰσότητες (218) καὶ (219).

Εἰς ἓνα συμπίεστὴν ἡ ἀπαιτουμένη ἰσχὺς χορηγεῖται ἀπὸ ἐξωτερικὸν κινήτηρα, ὁ ὁποῖος δύναται νὰ εἶναι ἠλεκτρικὸς, ἀτμομηχανὴ ἢ M.E.K.

Ἡ ἵπποδύναμις, ποὺ πραγματικῶς λαμβάνει ὁ συμπίεστὴς ἀπὸ τὸν κινήτηρα διὰ τὴν κίνησιν του, εἶναι ἡ πραγματικὴ ἵπποδύναμις τοῦ συμπίεστοῦ (Brake Horse Power). Λόγῳ τῶν τριβῶν ἡ πραγματικὴ ἵπποδύναμις εἶναι πάντοτε μεγαλυτέρα τῆς θεωρητικῆς ἢ τῆς ἐνδεικτικῆς.

Ἡ ἐνδεικτικὴ ἀπαιτουμένη ἵπποδύναμις τοῦ συμπίεστοῦ δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$IHP = \frac{P_m LAN}{4500} \quad (233)$$

$$IHP = \frac{P_m LAN}{33\,000} \quad (234)$$

ὅπου P_m εἶναι ἡ μέση ἐνεργὸς πίεσις, ὡς αὕτη εὐρίσκεται ἐκ τοῦ δυναμοδεικτικοῦ διαγράμματος τοῦ συμπίεστοῦ εἰς kg/cm^2 (ἢ lb/in^2)· L ἡ διαδρομὴ ἐμβόλου εἰς m (ἢ ft)· A ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἐμβόλου εἰς cm^2 (ἢ in^2)· N ὁ ἀριθμὸς κύκλων ἀνὰ λεπτὸν (ἢ ὁ ἀριθμὸς στροφῶν ἀνὰ λεπτὸν εἰς ἀεροσυμπιεστὰς ἀπλῆς ἐνεργείας).

Αἱ ἐντὸς παρενθέσεων διαστάσεις ἀφοροῦν εἰς τὴν ἰσότητα (234). Διὰ μηχανὴν ἄνευ τριβῶν ἡ BHP καὶ IHP θὰ ἦσαν ἴσαι.

Εἰς πραγματικὸν συμπίεστὴν ἡ διαφορὰ $IHP - BHP$ εἶναι ἡ ἵπποδύναμις, ποὺ χάνεται λόγῳ τριβῶν, καὶ ὁ λόγος $\frac{BHP}{IHP}$ εἶναι ἡ μηχανικὴ ἀπόδοσις τοῦ συμπίεστοῦ.

14.10 Στροβιλοσυμπιεσταὶ (Turbo - Compressors).

Αὗτοί λαμβάνουν τὴν θέσιν τῶν συνήθων παλινδρομικῶν, ἰδίως, ὅταν χρειάζεται μέγας ὀγκος ἀέρος ἄνω τῶν $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ καὶ διὰ πιέσεις κατα-

θλίψεως από 5 έως 7 kg/cm², όπως απαιτείται εις εγκαταστάσεις όρυχείων και κίνησιν διαφόρων εργαλείων άέρος.

Οί στροβιλοφυσητήρες (Turbo - Blowers) έχουν μικρόν βαθμόν συμπίεσεως με παροχήν από 15 m³ άέρος ανά λεπτόν και άνω, είναι κατάλληλοι εις πολλές εφαρμογάς, όπως π.χ. δι' άέρα έκκαπνισμού αύλων λεβήτων, διὰ τήν παροχήν άέρος σαρώσεως και ύπερπληρώσεως εις μηχανάς Diesel κ.λπ.

Η άρχή λειτουργίας ενός στροβιλοσυμπιεστού βασίζεται εις τήν μετατροπήν τής κινητικής ένεργείας του άέρος εις δυναμικήν, όταν άήρ μεγάλης ταχύτητος όδηγείται μέσω πτερυγίων, τά όποια έχουν μορφήν άποκλίνοντος άκροφυσίου, με άποτέλεσμα, νά έλαττώνεται ή ταχύτης και νά αύξάνεται ή πίεσις του άέρος, καθώς αύτός διέρχεται μέσω του άποκλίνοντος άκροφυσίου.

Συνήθως οί στροβιλοσυμπιεστοί είναι πολλαπλών φάσεων και κατάλληλοι διὰ μεγάλους όγκους άέρος όχι όμως και δι' ύψηλās πιέσεις.

14. 11 Άσκήσεις.

1) Νά εύρεθῇ ή άπαιτουμένη ίπποδύναμις διὰ τήν κίνησιν άεροσυμπιεστού, ό όποίος άναρροφεί άέρα άτμοσφαιρικής πίεσεως και θερμοκρασίας 15° C και τόν συμπίεζι εις 6 άτμοσφαιράς. Με τήν πίεσιν αύτήν ό άήρ όδηγείται έντός του άεροφυλακίου. Βάρος καταθλιβομένου άέρος 9 kg/min. Η συμπίεσις άκολουθεί τόν νόμον $PV^{1.25} = σταθ.$ Η μηχανική άπόδοσις συμπιεστού 80%. (Απ.: 45 HP)

2) Νά ύπολογισθῇ ή διάμετρος του κυλίνδρου και ή διαδρομή του έμβόλου έντός συμπιεστού διπλής ένεργείας 50 IHP, ό όποίος άναρροφεί άέρα πίεσεως 15 lb/in² άπολ. και θερμοκρασίας 60° F και τόν καταθλίβει εις πίεσιν 90 lb/in² άπολ. Ο νόμος συμπίεσεως είναι $PV^{1.2} = σταθ.$

Στροφαί 100/min. Μέση ταχύτης έμβόλου 500 ft/min. Διάκενον δέν λαμβάνεται ύπ' όψιν. (Απ.: Διάμετρος 11,58 in. Διαδρομή 2,5 ft)

3) Άήρ ύπό πίεσιν 1 kg/cm² άπολ. και θερμοκρασίαν 10° C άναρροφείται από τόν κύλινδρον χαμηλής πίεσεως συμπιεστού δύο φάσεων και συμπίεζεται άδιαβατικώς μέχρι πίεσεως 6,5 kg/cm² άπολ. Μετά τήν συμπίεσίν του ό άήρ ψύχεται ύπό σταθεράν πίεσιν εις τούς 20° C και όδηγείται εις τόν κύλινδρον ύψηλής πίεσεως, έντός του όποίου συμπίεζεται έκ νέου μέχρι πίεσεως 39 kg/cm² άπολ. και έν συνεχεία καταθλίβεται με τήν πίεσιν αύτήν έντός του άεροφυλακίου.

Όγκος άπορροφουμένου άέρος ύπό συνθήκας άναρροφήσεως 23 m³/h.

Ζητείται ή άπαιτουμένη ίπποδύναμις διὰ τήν κίνησιν του συμπιεστού.

(Απ.: 4,3 HP).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 15

ΜΗΧΑΝΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ (Μ.Ε.Κ.)

15.1 Εισαγωγή.

Αί Μ.Ε.Κ. σήμερον εἶναι αἱ πλέον διαδεδομέναι προωστήριαι ὡς κύριαι μηχαναὶ εἰς τὸ Ἐμπορικὸν Ναυτικόν.

Ἡδη εἰς προηγούμενα κεφάλαια ἐξητάσαμεν τοὺς θεωρητικοὺς κύκλους Otto, Diesel, Dual καὶ Joule (Κεφάλ. 5). Αἱ ἐπικρατοῦσαι θερμοκρασίαι καὶ ἡ ροὴ θερμότητος μέσω τῶν τοιχωμάτων ὡς καὶ ἡ σύγκρισις τῆς ἀποδόσεως τῶν διαφόρων κύκλων ἐξητάσθησαν ἐπίσης (παράγρ. 2·18, 7·16 καὶ 7·17).

Τὰ πραγματικὰ διαγράμματα καὶ ἡ περιγραφὴ τῶν διχρόνων ἢ τετραχρόνων μηχανῶν δὲν ἐξετάζονται ἐνταῦθα, ἐπειδὴ ἀναφέρονται εἰς τὸ εἰδικὸν μάθημα τῶν Μ.Ε.Κ.

15.2 Ἴσχύς. Μέση ἐνεργὸς πίεσις.

Ἡ ἵπποδύναμις μιᾶς Μ.Ε.Κ. εὐρίσκεται συναρτήσῃ τοῦ μεγέθους καὶ τῆς ταχύτητος τῆς μηχανῆς ἀπὸ τὴν σχέσιν :

$$HP = \frac{N \cdot P_m \cdot L \cdot A \cdot \eta}{4500} \quad (235)$$

$$\eta \cdot HP = \frac{N \cdot P_m \cdot L \cdot A \cdot \eta}{33\,000} \quad (236)$$

Εἰς τὰς ἀνωτέρω ἰσότητας :

N εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν κυλίνδρων τῆς μηχανῆς.

P_m ἡ μέση ἐνεργὸς πίεσις εἰς kg/cm^2 (ἢ lb/in^2).

L τὸ μῆκος τῆς διαδρομῆς τοῦ ἐμβόλου εἰς m (ἢ ft).

A ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἐμβόλου εἰς cm^2 (ἢ in^2).

η ὁ ἀριθμὸς τῶν ἐργαζομένων διαδρομῶν, αἱ ὁποῖαι ἀποδίδουν ἔργον ἀνὰ min . Αἱ ἐντὸς παρενθέσεως διαστάσεις ἰσχύουν διὰ τὴν ἰσότητα (236).

Ἡ μέση ἐνεργὸς πίεσις P_m , ἐφ' ὅσον διατηρηθῇ σταθερὰ καθ' ὅλην τὴν ἐργαζομένην διαδρομὴν, θὰ παραγάγῃ ἔργον ἴσον μὲ τὸν κύκλον τῆς μηχανῆς (παράγρ. 12·5).

Αί διαδρομαί η τοῦ ἐμβόλου ποὺ ἀποδίδουν ἔργον εἶναι ἴσαι :

α) Μὲ τὸν ἀριθμὸν στροφῶν εἰς μίαν δίχρονον ἀπλῆς ἐνεργείας μηχανήν.

β) Μὲ τὸ διπλάσιον τοῦ ἀριθμοῦ στροφῶν εἰς μίαν δίχρονον διπλῆς ἐνεργείας μηχανήν.

γ) Μὲ τὸ ἥμισυ τοῦ ἀριθμοῦ στροφῶν εἰς μίαν τετράχρονον ἀπλῆς ἐνεργείας μηχανήν.

Μὲ τὰς ἰσότητας (235) καὶ (236) εὐρίσκομεν τὴν ἐνδεικτικὴν ἵπποδύναμιν μιᾶς μηχανῆς. Τὴν ἐνδεικτικὴν P_m τὴν λαμβάνομεν ἀπὸ τὸ δυναμοδεικτικὸν διάγραμμα τῆς μηχανῆς.

Ἐὰν εἰς τὰς ἰσότητας αὐτὰς τεθῇ ὡς τιμὴ τῆς HP ἡ πραγματικὴ ἵπποδύναμις (BHP), ἡ ὁποία μετρεῖται ἐπὶ τοῦ ἄξονος τῆς μηχανῆς, τότε εὐρίσκεται μία τιμὴ P_m , ἡ ὁποία λέγεται *πραγματικὴ μέση πίεσις*.

Ἀπὸ τὴν ἰσότητα (163) ἔχομεν ὅτι :

$$P_m = \frac{\text{παραγόμενον ἔργον ἀνὰ κύκλον}}{\text{ὄγκος διαδρομῆς ἐμβόλου}}, \text{ ἑπομένως ἡ } P_m \text{ μᾶς}$$

δίδει ἐπίσης καὶ τὸ παραγόμενον ἔργον ἀνὰ μονάδα ὄγκου διαδρομῆς μιᾶς μηχανῆς.

Δεδομένου τώρα ὅτι αἱ διάφοροι μηχαναὶ διαφέρουν ἢ μίαν ἀπὸ τὴν ἄλλην ὡς πρὸς τὴν ταχύτητα λειτουργίας, τὴν διάμετρον, τὴν διαδρομὴν καὶ τὸν ἀριθμὸν κυλίνδρων, ἡ P_m θεωρεῖται ὡς χαρακτηριστικὸν μέτρον τῆς ἱκανότητος μιᾶς μηχανῆς διὰ παραγωγὴν ἰσχύος.

15.3 Ἀπόδοσις M.E.K.

Γενικῶς, ὡς ἤδη ἔχομεν ἀναφέρει (ἰσότης 65), θερμικὴ ἀπόδοσις μηχανῆς εἶναι ὁ λόγος :

$$\eta_{\theta} = \frac{\text{θερμικὴ ἐνέργεια ποὺ μετετράπη εἰς χρήσιμον ἔργον}}{\text{χορηγηθεῖσα θερμικὴ ἐνέργεια}}$$

ὅπου ἀριθμητὴς καὶ παρονομαστὴς λαμβάνονται κατὰ τὴν αὐτὴν χρονικὴν περίοδον καὶ εἰς τὰς αὐτὰς μονάδας.

Οὕτως, εὐρίσκομεν τὴν ἐνδεικτικὴν, ὁλικήν, μηχανικὴν καὶ σχετικὴν ἀπόδοσιν ὡς κατωτέρω :

α) Ἡ *ἐνδεικτικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις* εὐρίσκεται μὲ βάσιν τὴν ἐνδεικτικὴν ἵπποδύναμιν.

$$\eta_e = \frac{IHP \cdot 632}{B \cdot \Theta} \quad (237)$$

$$\eta_e = \frac{\text{IHP} \cdot 2545}{B \cdot \Theta} \quad (238)$$

όπου : IHP είναι η ένδεικτική ίπποδύναμις της μηχανής.

B ή κατανάλωσις τοῦ καυσίμου εἰς kg (ἢ lb) ἀνὰ ὥραν.

Θ ἡ θερμαντικὴ ἰκανότης τοῦ καυσίμου εἰς kcal ἀνὰ kg (ἢ BTU ἀνὰ lb). Αἱ ἐντὸς παρενθέσεως διαστάσεις ἀφοροῦν τὴν ἰσότητα 238.

β) Ἡ ὀλικὴ ἀπόδοσις η με βάσιν τὴν πραγματικὴν ίπποδύναμιν

$$\eta = \frac{\text{BHP} \cdot 632}{B \cdot \Theta} \quad (239)$$

$$\eta_e = \frac{\text{BHP} \cdot 2545}{B \cdot \Theta} \quad (240)$$

όπου : BHP εἶναι ἡ πραγματικὴ ίπποδύναμις τῆς μηχανῆς.

γ) Μηχανικὴ ἀπόδοσις.

Ὡς γνωστὸν, ἡ διαφορὰ IHP — BHP εἶναι ἡ ίπποδύναμις ποὺ χάνεται εἰς τριβὰς καὶ διὰ τὴν μηχανικὴν ἀπόδοσιν ἰσχύει ἡ ἰσότης (176),

ἡ ὁποία εἶναι γενικὴ δι' ὅλας τὰς μηχανάς, ἥτοι : $\eta_\mu = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}}$.

δ) Σχετικὴ ἀπόδοσις.

Καὶ ἐνταῦθα θὰ ἰσχύη ἡ ἰσότης (177), ἥτοι :

$$\eta_\sigma = \frac{\eta_e}{\eta_\theta} = \frac{\text{ένδεικτικὴ ἀπόδοσις}}{\text{ἰδανικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις}}$$

με βάσιν τὴν ένδεικτικὴν ἀπόδοσιν

$$\eta_e \quad \eta_\sigma = \frac{\eta}{\eta_\theta} = \frac{\text{ὀλικὴ ἀπόδοσις}}{\text{ἰδανικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις}} \quad (241)$$

με βάσιν τὴν ὀλικὴν ἀπόδοσιν.

15.4 Εἰδικὴ κατανάλωσις καυσίμου. Εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος.

Κατὰ τὰς δοκιμὰς τῶν μηχανῶν εἰς τὴν πρᾶξιν περισσότερον χρησιμοποιοῦνται οἱ ὅροι *εἰδικὴ κατανάλωσις καυσίμου* (κατανάλωσις ἀνὰ ὠριαῖον ἵππον) παρὰ θερμικὴ ἀπόδοσις. Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις καυσίμου β ἀνὰ ὠριαῖον ένδεικτικὸν καὶ ὠριαῖον πραγματικὸν ἵππον εἶναι ἀντιστοίχως :

$$\beta = \frac{B}{\text{IHP}} \quad \eta \quad \beta = \frac{B}{\text{BHP}} \quad (242)$$

όπου : B εἶναι ἡ κατανάλωσις καυσίμου εἰς kg ἢ lb ἀνὰ ὥραν.

Αί ισότητες (242) ἐν συνδυασμῷ μὲ τὰς ισότητες (237) ἕως καὶ (240) λαμβάνουν ἐπίσης τὴν μορφήν :

$$\beta = \frac{632}{\Theta \cdot \eta_e} \quad \eta \quad \beta = \frac{2545}{\Theta \cdot \eta_e} \quad (\text{ἀναλόγως τῶν μονάδων}) \quad (243)$$

$$\text{καὶ} \quad \beta = \frac{632}{\Theta \cdot \eta} \quad \eta \quad \beta = \frac{2545}{\Theta \cdot \eta} \quad (\text{ἀναλόγως τῶν μονάδων}) \quad (244)$$

Ἡ κατανάλωσις θερμότητος h_k εὐρίσκεται ἀπὸ τὰς ισότητες (155) καὶ (157) (παράγρ. 11·11) καὶ εἶναι :

$$h_k = \frac{632}{\eta_e} \quad (\eta \quad h_k = \frac{2545}{\eta_e}) \quad (245)$$

$$\eta \quad h_k = \frac{632}{\eta} \quad (\eta \quad h_k = \frac{2545}{\eta}) \quad (246)$$

Ἡ (245) ἐκφράζεται εἰς kcal (ἢ BTU) ἀνὰ ὥριαῖον ἐνδεικτικὸν ἵππον καὶ ἡ (246) ἀνὰ ὥριαῖον πραγματικὸν ἵππον.

Παράδειγμα 1ον.

Ζητεῖται ἡ μέση πραγματικὴ πίεσις βενζινομηχανῆς ὀκυλίνδρου, τετραχρόνου, 3000 στρ./min καὶ ἰσχύος 80 BHP. Διάμετρος κυλίνδρου 3,25 in καὶ διαδρομὴ 4 in.

Λύσις :

$$\text{Ἐκ τῆς ισότητος 236 ἔχομεν :} \quad P_m = \frac{\text{BHP} \cdot 33\,000}{N \cdot L \cdot A \cdot \eta}$$

$$\text{Ἐπειδὴ ἡ μηχανὴ εἶναι τετράχρονος :} \quad \eta = \frac{3000}{2} = 1500$$

$$\text{καὶ} \quad P_m = \frac{80 \times 33\,000}{6 \times \frac{4}{12} \times \frac{3,14}{4} (3,25)^2 \times 1500} = 106 \text{ lb/in}^2$$

Παράδειγμα 2ον.

Μηχανὴ Ντῆζελ ἔχει εἰδικὴν κατανάλωσιν καυσίμου 150 g ἀνὰ ὥριαῖον BHP. Θερμαντικὴ ἱκανότης τοῦ καυσίμου 10 000 kcal/kg.

Ζητεῖται ἡ ὀλικὴ ἀπόδοσις τῆς μηχανῆς καὶ ἐκ τῆς ἀποδόσεως ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος.

Λύσις :

Ἐκ τῆς ισότητος (239) ἔχομεν ὅτι ἡ ὀλικὴ ἀπόδοσις εἶναι :

$$\eta = \frac{1 \times 632}{0,15 \times 10\,000} = 0,421 \quad \eta \quad 42,1 \%$$

Ἐκ τῆς ισότητος (245) ἔχομεν εἰδικὴν κατανάλωσιν θερμότητος :

$$h_k = \frac{632}{0,421} = 1500 \text{ kcal/BHP.}$$

Παράδειγμα 3ον.

Μηχανή Ντίζελ έχει ολικήν απόδοσιν 40%. Το καύσιμον που καταναλίσκει είναι θερμαντικής ικανότητος 10 000 kcal/kg.

Ζητείται : ή ειδική κατανάλωσις καυσίμου της μηχανής ανά ώριαϊον BHP.

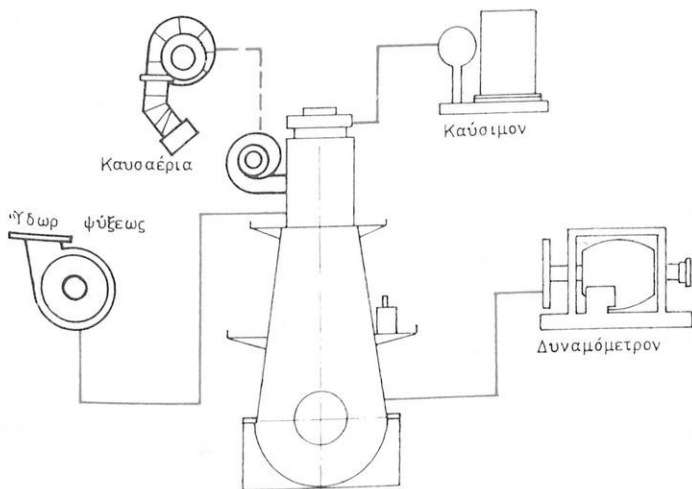
Λύσις :

Έκ της ισότητος (244) έχομεν :

$$\beta = \frac{632}{10\,000 \times 0,4} = \frac{632}{4000} = 0,158 \quad \eta \quad 158 \text{ g ανά ώριαϊον BHP.}$$

15.5 Θερμικόν ισοζύγιον MEK

Έστω ότι έχομεν μίαν εγκατάστασιν MEK (σχ. 15.5). Ένέργεια



Σχ. 15.5.

εισάγεται εντός της μηχανής υπό μορφήν πετρελαίου. Ένέργεια αποβάλλεται από το θερμαίνόμενον ύδωρ ψύξεως και τα θερμά καυσαέρια. Μηχανική ενέργεια απορροφείται από το δυναμόμετρον.

α) Εισαγομένη ενέργεια.

Έστω ότι B είναι το βάρος του καταναλισκομένου υπό της μηχανής καυσίμου ανά λεπτόν εις kg (ή lb) και Θ ή θερμαντική ικανότης του καυσίμου kcal ανά kg (ή BTU ανά lb).

Η εισαγομένη ενέργεια = B · Θ. εις kcal/min (ή BTU/min).

β) Ένέργεια αποβαλλομένη με ύδωρ ψύξεως.

Έστω ότι B_υ είναι το βάρος κυκλοφορούντος ύδατος ψύξεως ανά λεπτόν εις kg (ή lb) · t₁ ή θερμοκρασία εισαγωγής ύδατος ψύξεως εις °C (ή °F).

t_2 ή θερμοκρασία εξαγωγής ύδατος ψύξεως εις $^{\circ}\text{C}$ (ή $^{\circ}\text{F}$). Τότε ή αποβαλλομένη ενέργεια με τὸ ὕδωρ ψύξεως = $B_u (t_2 - t_1)$ εις kcal (ή BTU/min).

γ) Ἐνέργεια αποβαλλομένη με τὰ θερμὰ καυσαέρια.

Αὕτῃ ὑπολογίζεται, ὡς ἔχει ἤδη αναφερθῇ εις τὴν παράγραφον 10.8.

δ) Ἡ ἀποδιδόμενη ἐνέργεια.

Εἶναι ἡ BHP τῆς μηχανῆς, ἡ ὁποία μετρεῖται τῇ βοήθειά τοῦ δυναμομέτρου. Μετατρέπεται εις kcal (ή BTU) ἀνὰ λεπτόν, ἥτοι :

$$\frac{\text{BHP} \cdot 632}{60} = \text{kcal/min} \quad \eta \quad \frac{\text{BHP} \cdot 2545}{60} = \text{BTU/min.}$$

ε) Ἀποβαλλομένη ἐνέργεια δι' ἀκτινοβολίας κ.λπ.

Αὕτῃ δὲν ὑπολογίζεται, εὐρίσκεται δι' ἀφαιρέσεως ὅλων τῶν ἀπωλειῶν ἐκ τῆς χορηγουμένης ἐνεργείας, ὁφείλεται δὲ εις ἀκτινοβολίαν καὶ τυχόν ἄκαυστα συστατικά ἐντὸς τῶν καυσαερίων.

Βάσει τῶν ἀνωτέρω καταρτίζεται ὁ Πίναξ 15.5.1 ἰσοζυγίου θερμότητος.

Π Ι Ν Α Ξ 15.5.1

Ἴσοζύγιον θερμότητος MEK (Βάσις χρονικὴ ἀνὰ λεπτόν)

1	Ἐνέργεια χορηγουμένη με τὸ καύσιμον	kcal	100 %
2	Ἐνέργεια ἀποβαλλομένη με τὸ ὕδωρ ψύξεως	kcal	— %
3	Ἐνέργεια ἀποβαλλομένη με τὰ καυσαέρια	kcal	— %
4	Ἀποδιδόμενη ἐνέργεια εις δυναμόμετρον	kcal	— %
5	Ἀποβαλλομένη ἐνέργεια δι' ἀκτινοβολίας κ.λπ.	kcal	— %
εἶναι ἡ διαφορά 1 — (2 + 3 + 4)			
* Ἀθροισμα		2 + 3 + 4 + 5	100 %

Παράδειγμα.

Κατὰ τὰς δοκιμὰς παραλαβῆς μιᾶς μηχανῆς Diesel εις τὸ δοκιμαστήριον τοῦ ἐργοστασίου κατασκευῆς ἐγίνοντο αἱ κάτωθι μετρήσεις :

Κατανάλωσις πετρελαίου 100 lb/min. Κυκλοφορία ὕδατος ψύξεως 16 200 lb/min. Αὕξησις θερμοκρασίας ὕδατος κυκλοφορίας 25 $^{\circ}$ F.

BHP (μετρηθεῖσα ἐπὶ τοῦ δυναμομέτρου) 17 500. Μέση θερμοκρασία καυσαερίων 812 $^{\circ}$ F. Θερμοκρασία ἀέρος εἰσαγωγῆς 60 $^{\circ}$ F. Θερμοκρασία, με τὴν ὁποίαν ψεκάζεται τὸ καύσιμον, 60 $^{\circ}$ F. Ἡ ὀγκομετρικὴ ἀνάλυσις τῶν καυσαερίων εἶναι :

$$\text{CO}_2 = 11,34 \% \quad \text{CO} = 0,71 \% \quad \text{O}_2 = 5,06 \% \quad \text{καὶ} \quad \text{N}_2 = 82,89 \%$$

Ἡ θερμαντικὴ ἰκανότης τοῦ καυσίμου εἶναι 18 500 BTU/lb. Τὸ καύσιμον περιέχει κατὰ βάρος 0,85 C καὶ 0,12 H.

Ζητεῖται : α) Τὸ θερμικὸν ἰσοζύγιον τῆς μηχανῆς. β) Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις καυσίμου. γ) Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος.

Λύσις :

α) Χορηγούμενη ενέργεια : $100 \times 18\,500 = 1\,850\,000 \text{ BTU/min.}$

β) Ένέργεια αποβαλλομένη με ύδωρ κυκλοφορίας : $16\,200 \times 25 = 405\,000 \text{ BTU/min.}$

γ) Ένέργεια αποβαλλομένη με τὰ καυσαέρια.

Μετατρέπομεν τὴν ὀγκομετρικὴν ἀνάλυσιν τῶν καυσαερίων εἰς ἀνάλυσιν βάρους (παράγρ. 10·4).

Συστατικά	Ὀγκομετρικὴ ἀνάλυσις	M.B.	Ἀναλογία βαρῶν	Ἀνάλυσις κατὰ βάρος
CO ₂	0,1134	44	4,9896	0,1662
CO	0,0071	28	0,1988	0,0066
O ₂	0,0506	32	1,6192	0,0540
N ₂	0,8289	28	23,2092	0,7732
	1,0000		30,0168	1,0000

Εὐρίσκομεν τὸ βάρος τῶν ξηρῶν καυσαερίων ἀνὰ lb καιομένου καυσίμου μετὰ τὴν ἰσότητα (128) ἥτοι :

$$B_K = \frac{0,85}{0,273 \times 0,1662 + 0,49 \times 0,0066} = 17,65 \text{ lb.}$$

Ἡ θερμότης ἡ αποβαλλομένη μετὰ ξηρὰ καυσαέρια ἀνὰ lb καυσίμου εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (131) καὶ εἶναι :

$$Q_1 = C_p \cdot B_K (t_2 - t_1) = 0,24 \times 17,65 (812 - 62) = 3177 \text{ BTU/lb καυσίμου.}$$

Ἡ θερμότης ἡ αποβαλλομένη μετὰ H₂O τῶν καυσαερίων εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (132) καὶ εἶναι ἴση μετὰ :

$$Q_2 = B_2 (i_1 - p_2) \text{ ὅπου } B_2 = 9 \cdot H = 9 \times 0,12 = 1,08 \text{ lb ὕδρατμου ἀνὰ lb καυσίμου. τὸ } i_1 = 1150 + 0,5 (812 - 212) = 1450 \text{ BTU/lb}$$

$$\text{καὶ τὸ } p_2 = 62 - 32 = 30 \text{ BTU/lb}$$

$$\text{ὁπότε } Q_2 = 1,08 (1450 - 30) = 1533,6 \text{ BTU.}$$

Συνολικῶς αποβαλλομένη θερμότης μετὰ καυσαέρια εἶναι τὸ ὅθροισμα :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3177 + 1533,6 = 4710,6 \text{ BTU ἀνὰ lb καιομένου καυσίμου ἢ}$$

$$Q = 4710,6 \times 100 = 471\,060 \text{ BTU/min.}$$

$$\delta) \text{ Ἀποδιδομένη ἐνέργεια εἶναι : } \frac{17\,500 \times 2545}{60} = 741\,974 \text{ BTU/min.}$$

ε) Ἀποβαλλομένη ἐνέργεια δι' ἀκτινοβολίας εἶναι ἴση μετὰ :

$$1\,850\,000 - (405\,000 + 471\,060 + 741\,974) = 231\,966 \text{ BTU/min.}$$

ΠΙΝΑΞ 15.5.2

Ίσολογισμού θερμότητας (Ύπολογισμός εις χρόνον ανά min)

1 Χορηγούμενη ενέργεια με καύσιμον	1 850 000 BTU	100 %
2 Ύνέργεια αποβαλλομένη με ὕδωρ ψύξεως	450 000 BTU	21,89 %
3 Ύνέργεια αποβαλλομένη με καυσαέρια	471 060 BTU	25,4 %
4 Ἀποδιδόμενη ενέργεια	741 974 BTU	40,1 %
5 Ἀποβαλλομένη ενέργεια δι' ἀκτινοβολίας κ.λπ.	231 966 BTU	12,61 %
Σύνολον : 2 + 3 + 4 + 5 = 100 %		

Ἐκ τοῦ Πίνακος 15.5.2 παρατηροῦμεν ὅτι ἡ ἀπόδοσις τῆς μηχανῆς Ντῆζελ κυμαίνεται εἰς τὰ 40 %. Ἡ ἀπόδοσις αὕτη εἶναι μεγαλυτέρα ἀπὸ οἰανδήποτε ἄλλην θερμικὴν μηχανὴν ἐν τῇ πράξει.

Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις καυσίμου τῆς μηχανῆς εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (242) καὶ εἶναι :

$$\beta = \frac{100 \times 60}{17\,500} = 0,342 \text{ lb ἀνὰ ὥριαον BHP.}$$

Ἡ εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος (245) καὶ εἶναι :

$$h_k = \frac{2545}{0,401} = 6347 \text{ BTU ἀνὰ ὥριαον BHP.}$$

Συνήθως εἰς ἓν πλοῖον MEK τὰ ὑψηλῆς θερμοκρασίας καυσαέρια ἐξαγωγῆς χρησιμοποιοῦνται ὡς καύσιμον εἰς βοηθητικὸν λέβητα διὰ τὴν παραγωγὴν ὕδατος, χρησιμοποιουμένου εἰς βοηθητικὰς χρήσεις καὶ κίνησιν στροβιλοκινήτων βοηθητικῶν μηχανημάτων.

15.6 Ὁγκομετρικὴ ἀπόδοσις MEK

Ὑπάρχουν διάφορα αἷτια, πού ἐπιδρῶν εἰς τὴν ἀπώλειαν ἰσχύος τῶν MEK, ὅπως π.χ. αἱ μηχανικαὶ τριβαί, τὸ ὅτι ἡ καῦσις δὲν εἶναι ἀκαριαία ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον εἰς τὸν κύκλον Otto, οὔτε ὑπὸ σταθεράν πίεσιν εἰς τὸν κύκλον Diesel. Ἐπίσης τὸ γεγονὸς ὅτι ἡ καῦσις δὲν εἶναι τελεία, μερικὰ ἀκανστα στοιχεῖα ἐξέρχονται μετὰ τὴν ἐξαγωγὴν. Ἄλλος παράγων ἀπώλειας εἶναι ὁ χρόνος καὶ τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον διὰ τὴν ἀντλησιν τοῦ ἐργαζομένου μέσου ἐντὸς καὶ ἐκτὸς τοῦ κυλίνδρου, ἀπώλεια ἡ ὁποία γίνεται μεγαλυτέρα εἰς ὑψηλὰς ταχύτητας. Εἰς πολυκυλίνδρους μηχανὰς ἐπίσης ἡ ὑπαρξις τοῦ κοινοῦ ὀχετοῦ μετὰ τὰς ἀτελείας του ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα ἀπώλειας ὀφειλομένης εἰς τὴν μὴ διανομὴν τῆς αὐτῆς ἀναλογίας ἀέρος-καυσίμου εἰς ἕκαστον κύλινδρον.

Ἐφ' ὅσον ὅλοι οἱ ἄλλοι παράγοντες παραμένουν οἱ αὐτοί, ἡ ἰσὺς μῖα MEK ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ μίγματος καυσίμου-ἀέρος (εἰς τὴν ὀρθὴν ἀναλογίαν), πού εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον. Οἰαδήποτε αἰτία, ἡ ὁποία προκαλεῖ ἐλάττωσιν τοῦ βάρους τοῦ εἰσέρχομένου καυσίμου εἰς τὴν

μηχανήν, ελαττώνει καὶ τὴν ἰσχύν τῆς μηχανῆς κάτω τῶν ὁρίων, ποὺ δύναται αὐτὴ νὰ ἐργασθῇ. Οὕτως :

α) Εἰς τὴν πραγματικὴν μηχανήν ἡ τριβὴ τοῦ ἀέρος καὶ ὁ στραγγαλισμός του πέριξ τῶν βαλβίδων καὶ διόδων ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα πείσιν ἀναρροφῆσεως μικροτέραν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς καὶ ἐπομένως τὸ βάρος $(B = \frac{PU}{RT})$ τοῦ εἰσέρχομένου ἀέρος θὰ εἶναι μικρότερον, ἀπὸ ἐκεῖνον τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πίεσεως.

β) Αἱ ἐσωτερικαὶ ἐπιφάνειαι τῶν διόδων τῆς μηχανῆς εἶναι σχετικῶς θερμαὶ καὶ ἐπομένως τὸ εἰσέρχόμενον μίγμα (ἢ ὁ ἀήρ) θερμαίνεται, καθὼς εἰσέρχεται εἰς τὸν κύλινδρον. Ἀποτέλεσμα τῆς αὐξήσεως αὐτῆς τῆς θερμοκρασίας του εἶναι καὶ ἡ διαστολὴ, ἡ αὐξησις δηλαδὴ τοῦ ὅγκου του (Νόμος Gay-Lussac) καὶ ἐπομένως ἐλάττωσις τοῦ βάρους του δι' ἓνα ὠρισμένον ὅγκον, ποὺ δύναται ὁ ἀήρ (ἢ τὸ μίγμα) νὰ καταλάβῃ.

γ) Τὰ ἀέρια τῆς καύσεως, τὰ ὅποια ἔχουν παραμένει ἐντὸς τῶν διακένων τοῦ κυλίνδρου, εὐρίσκονται εἰς πείσιν ἀνωτέραν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς εἰς τὸ τέλος τῆς διαδρομῆς ἐξαγωγῆς καὶ θὰ πρέπει ἐπομένως νὰ ἐκτονωθοῦν εἰς τὴν πείσιν εἰσαγωγῆς, πρὶν εἰσέλθῃ νέον μίγμα ἢ ἀήρ εἰς τὸν κύλινδρον.

δ) Ἡ πίεσις τῆς ἀτμοσφαίρας ἐλαττοῦται μὲ τὴν αὐξησιν τοῦ ὑψομέτρου καὶ ἐπομένως τὸ βάρος μίγματος (ἢ ἀέρος) θὰ εἶναι μικρότερον ἀπὸ ἐκεῖνο, ποὺ θὰ εἰσῆρχετο εἰς μηχανήν εὐρισκομένην εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης.

Βάσει τῶν ἀνωτέρω ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις μιᾶς μηχανῆς ἐσωτερικῆς καύσεως καθορίζεται ὡς ὁ λόγος :

$$\eta_o = \frac{\text{Βάρος ἀέρος ἀναρροφούμενου ὑπὸ τῆς μηχανῆς εἰς ὄγκον διαδρομῆς } U_s}{\text{Βάρος ἀέρος ποὺ θὰ ἦδύνατο νὰ καταλάβῃ τὸν αὐτὸν ὄγκον εἰς } P_\alpha \text{ καὶ } T_\alpha} \quad (247)$$

ὅπου P_α καὶ T_α ἀντιστοίχως ἡ πίεσις καὶ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος εἰς τὴν εἰσαγωγὴν.

$$\text{Ἡ τιμὴ τοῦ παρονομαστοῦ ἐκ τῆς ἰσότητος (29) εἶναι: } B = \frac{P_\alpha U_s}{RT_\alpha}.$$

Αἱ τιμαὶ τοῦ ἀριθμητοῦ καὶ τοῦ παρονομαστοῦ εἰς τὴν ἰσότητα (247) πρέπει νὰ ἐκφράζωνται μὲ τὰς αὐτὰς μονάδας καὶ εἰς τὸν αὐτὸν χρόνον.

Συνήθως λαμβάνεται βάρος ἀέρος ἀνὰ κύκλον ἢ ἀνὰ λεπτόν. Ὁ ὅγκος διαδρομῆς U_s ἀνὰ κύκλον εἶναι, ὡς γνωστόν, ὁ ὅγκος εἰς μίαν διαδρομὴν τοῦ ἐμβόλου. Ὁ ἀριθμὸς αὐτὸς πολλαπλασιαζόμενος μὲ τὸν ἀριθμὸν τῶν κύκλων ἀνὰ λεπτόν μας δίδει τὸν ὄγκον διαδρομῆς U_s ἀνὰ λεπτόν.

Εἰς μίαν ὠρισμένην μηχανήν ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὴν ταχύτητα. Ἐὰν π.χ. ἡ ρύθμισις τῶν βαλβίδων μιᾶς μηχανῆς εἶναι τοιαύτη, ὥστε νὰ ἔχωμεν μεγίστην ὀγκομετρικὴν ἀπόδοσιν εἰς τὰς 1200 στρ. /min, τότε, κατὰ γενικὸν κανόνα, ἐφ' ὅσον αὐξηθῇ ἡ ταχύτης, ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις θὰ ἐλαττωθῇ λόγῳ αὐξήσεως τοῦ στραγγαλισμοῦ τοῦ ἀέρος κατὰ τὴν εἰσαγωγὴν.

Ἡ ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις μιᾶς μηχανῆς, ὡς εὐρίσκεται διὰ τῆς ἰσότητος (247), δύναται νὰ γίνῃ μεγαλυτέρα τῆς μονάδος, ἐφ' ὅσον χρησιμο-

ποιηθῇ ἡ ὑπερτροφοδότησις τῆς μηχανῆς, δηλαδή χρησιμοποιηθῇ στροβιλοφυσητήρ, ὁ ὁποῖος θὰ καταθλίβῃ εἰς τὴν ἀναρρόφησιν τῆς μηχανῆς ἀέρα ὑπὸ πίεσιν μεγαλυτέραν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς.

Ἡ σημασία τῆς ὀγκομετρικῆς ἀποδόσεως μιᾶς μηχανῆς MEK γίνεται περισσότερον ἀντιληπτή, ἐὰν ληφθῇ ὑπ' ὄψιν ὅτι μία μηχανὴ μὲ ὑπερτροφοδότησιν ἔχει ἰσχύϊν 15 ἕως 20% μεγαλυτέραν ἀπὸ ἄλλην ἄνευ ὑπερτροφοδότησεως καὶ μὲ τὰ αὐτὰ κατὰ τὰ ἄλλα χαρακτηριστικά.

15.7 Ἀποτέλεσμα τῆς μεταβολῆς τῆς εἰδικῆς θερμότητος.

Εἶδομεν εἰς παράγραφον 3.15 ὅτι, ἐφ' ὅσον τὰ ἄκρα ὅρια θερμοκρασιῶν εἶναι μεγάλα, ὅπως συμβαίνει εἰς τὰς μηχανὰς Ντῆτζελ, ἡ ὀγκομετρικὴ θερμότης, καὶ ἐπομένως καὶ ἡ εἰδικὴ θερμότης τῶν καυσασερίων, δὲν εἶναι σταθερά, ἀλλὰ αὐξάνεται μὲ τὴν θερμοκρασίαν.

Ἡ αὐξησης αὐτῇ τῆς εἰδικῆς θερμότητος ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἐλάττωσιν τῆς θερμικῆς ἀποδόσεως καὶ τῆς P_{im} εἰς τὰς μηχανὰς Ντῆτζελ.

Ἡ εἰδικὴ θερμότης αὐξάνει περισσότερον κατὰ τὴν περίοδον τῆς καύσεως ἀπὸ τὴν περίοδον τῆς συμπίεσεως καὶ παραμένει ὑψηλὴ κατὰ τὴν περίοδον τῆς ἐκτονώσεως. Ἐπίσης ἡ εἰδικὴ θερμότης τῶν παραγῶγων τῆς καύσεως CO_2 καὶ H_2O εἶναι μεγαλυτέρα τῆς τοῦ ἀέρος πρὸ τῆς καύσεως, ἀκόμη καὶ μὲ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν.

Εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς τοῦ κύκλου μιᾶς μηχανῆς εἶναι κυρίως χρήσιμος ἡ μέση εἰδικὴ θερμότης μεταξὺ δύο τιμῶν θερμοκρασιῶν καὶ ὄχι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ρευστοῦ εἰς μίαν ὠρισμένην θερμοκρασίαν.

Τὸ ἀποτέλεσμα τῆς αὐξήσεως τῶν εἰδικῶν θερμοτήτων μὲ τὴν θερμοκρασίαν εἶναι ὅτι δι' ἓν ὠρισμένον ποσὸν θερμότητος (ἢ καυσίμου), ποὺ χορηγεῖται ἀνὰ κύκλον, αἱ λαμβανόμεναι θερμοκρασίαι θὰ εἶναι μικρότεραι ἀπὸ τὰς ὑπολογισθείσας εἰς τοὺς τυπικοὺς κύκλους ἀέρος (Κεφάλ. 5). Κατ' ἀκολουθίαν ἡ πίεσις, μετὰ τὴν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον καῦσιν, καὶ ὁ ὄγκος, μετὰ τὴν ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν καῦσιν, θὰ εἶναι μικρότερα ἀπὸ τὰ ὑπολογισθέντα εἰς τὸν τυπικὸν κύκλον ἀέρος.

Ἐπίσης ἡ τιμὴ τοῦ ἐκθέτου τῆς ἀδιαβατικῆς μειοῦται καὶ ἐνῶ διὰ τὸν ψυχρὸν ἀέρα εἶναι $\gamma = 1,4$, διὰ τὸν θερμὸν ἀέρα καὶ καυσασέρια κατέρχεται εἰς 1,3.

Ἀποτέλεσμα τῶν ἀνωτέρω εἶναι ὅτι ἡ P_{im} , τὸ ἔργον ἀνὰ κύκλον καὶ ἡ θερμικὴ ἀπόδοσις ἐλαττοῦνται μὲ τὴν αὐξησην τῆς εἰδικῆς θερμότητος.

Ἡ μεταβολὴ τῆς εἰδικῆς θερμότητος εἶναι ὁ σπουδαιότερος παράγων τῆς διαφορᾶς εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς μεταξὺ τῶν τυπικῶν διαγραμμάτων κύκλου ἀέρος καὶ τοῦ κύκλου ἀέρος - καυσίμου. Ἡ διαφορά αὐξάνει, ὅσον περισσότερον καύσιμον χορηγεῖται εἰς τὸν κύκλον. Οὕτως, εἰς ἑλαφρὰ φορτία αἱ διαφοραὶ εἶναι μικραὶ, ἐνῶ εἰς πλήρη φορτία εἶναι μεγαλυτέραι.

15.8 Γενικὰ περὶ ἀerioστροβίλων.

Ὁ ἀerioστροβίλος ἔχει πολλὰ πλεονεκτήματα. Δι' ὠρισμένας ὁμως ἐφαρμογὰς τὸ βασικὸν μειονέκτημά του εἶναι ἡ χαμηλὴ θερμικὴ ἀπόδοσις

του, αν συγκριθῇ με τὰς ἄλλας MEK ἢ με τὰς συγχρόνους ὑψηλῆς πίεσεως καὶ ὑψηλῆς θερμοκρασίας ἐγκαταστάσεις ἀτμοστροβίλων.

Ὁ λόγος τῆς χαμηλῆς ἀποδόσεως εἶναι ὅτι τὰ ὑλικά τῆς κατασκευῆς του δὲν εἶναι ἀκόμη εἰς θέσιν νὰ ἀνταπεξέλθουν εἰς λίαν ὑψηλὰς συνεχεῖς θερμοκρασίας.

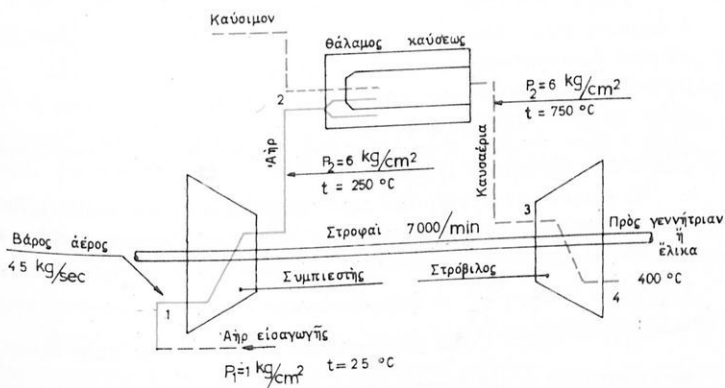
Διὰ τὴν καλὴν ἀπόδοσιν τοῦ ἀεριοστροβίλου θὰ πρέπει :

α) Ἡ θερμοκρασία εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς ἐκτονώσεως νὰ εἶναι ὑψηλὴ (πρὸ ὀλίγων ἀκόμη ἑτῶν ἡ μεγίστη ἐπιτρεπομένη ἦτο 420° ἕως 480° C).

β) Ἡ ἀπόδοσις τοῦ συμπιεστοῦ νὰ εἶναι λίαν ὑψηλὴ.

Ἡ ἀνάπτυξις τῆς μεταλλουργίας, κατὰ τὰ τελευταῖα ἔτη (χρησιμοποίησις κράματος κοβαλτιοχρωμίου - νικελιοχάλυβος διὰ τὰ πτερύγια τοῦ στροβίλου) ἐπιτρέπουν τὴν πραγματοποίησιν μεγαλυτέρων θερμοκρασιῶν, 600°C καὶ ἐνίοτε 800°C ἢ καὶ 1000°C , ἐφ' ὅσον εἶναι παραδεκτὴ ἡ μικρὰ ζωὴ τοῦ μηχανήματος, ὅπως π.χ. διὰ στρατιωτικούς σκοπούς.

Σήμερον ἔχει ἐπιτευχθῇ ἡ κατασκευὴ ἐνὸς στροβιλοσυμπιεστοῦ ἀξονικῆς ροῆς λίαν ὑψηλῆς ἀποδόσεως καὶ τοῦτο συντέεινεν εἰς τὴν εὐρυτέραν χρῆσιν τῶν ἀεριοστροβίλων. Εἰς βοηθητικά μηχανήματα ὁ ἀεριοστροβίλος ἔχει εὐρεῖαν χρῆσιν, ὅπως π.χ. οἱ στροβιλοφυσητῆρες διὰ τὴν ὑπερτροφοδότησιν τῶν παλινδρομικῶν MEK. Οἱ στροβιλοφυσητῆρες αὗτοι κινοῦνται ἀπὸ τὰ καυσάερια ἐξαγωγῆς τῆς κυρίας μηχανῆς.



Σχ. 15.8α.

Ἡ χρησιμοποίησις ἀεριοστροβίλων ἐπιβάλλεται εἰς μέρη, ὅπου δὲν ὑπάρχει ἀρκετὸν ὕδωρ διὰ ψύξιν τῶν μηχανῶν ἢ ὅπου ἡ ἀπλότης τοῦ μηχανήματος προηγείται τῆς ἀποδόσεως.

Ἡ λειτουργία μιᾶς ἀπλῆς ἐγκαταστάσεως ἀεριοστροβίλου εἶναι ὡς κάτωθι (με ἀριθμητικὰ δεδομένα μηχανῆς 5700 BHP) :

Περὶ τὰ 45 kg αέρος ἀνὰ sec εἰσέρχονται ἐντὸς τοῦ στροβιλοσυμπιεστοῦ

καταστάσεως σημείου 1 (σχ. 15·8α) με πίεσιν $P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$ και θερμοκρασίαν 25°C .

Μετά την συμπίεσιν (σημείον 2) εις πίεσιν περίπου $P_2 = 6 \text{ kg/cm}^2$ καί θερμοκρασίαν 250°C περίπου, ὁ ἀήρ εισέρχεται εἰς τὸν θάλαμον καύσεως, ὅπου ἐν μέρος εισέρχεται ἐσωτερικῶς τοῦ θαλάμου διὰ τὴν καυσίν τοῦ καυσίμου καὶ ἐν ἄλλο περίξ τοῦ θαλάμου, διὰ νὰ μὴ ἀνέρχεται ἡ θερμοκρασία τῆς καύσεως πέραν τῶν ἐπιτρεπομένων ὁρίων. Τὸ καύσιμον ψεκάζεται ἐντὸς τοῦ θαλάμου καύσεως. Κατὰ τὴν καυσίν ἡ θερμοκρασία ἀνέρχεται εἰς 750°C περίπου (1400°F) καὶ ἐν συνεχείᾳ ὁ ἀήρ (καὶ ἀέρια καύσεως) εισέρχονται εἰς τὸν ἀεριοστρόβιλον (σημείον 3) καὶ ἐνεργεῖ ἀκριβῶς, ὅπως ὁ ὕδρατμος εἰς τὸν ἀτμοστρόβιλον.

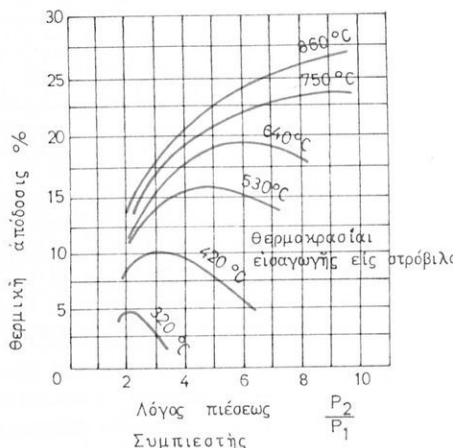
Ἡ θερμοκρασία ἐξαγωγῆς τῶν καυσαερίων εἶναι 400°C περίπου (σημείον 4). Στροφαὶ τοῦ μηχανήματος περίπου 7000/min.

Τὸ ἔργον, ποὺ δίδει ὁ ἀεριοστρόβιλος, δέον νὰ εἶναι ἀρκετόν, ὥστε νὰ κινή καὶ τὸν συμπίεστην καὶ μίαν γεννήτριαν ἢ ἑλικά. Φανερόν εἶναι ὅτι ἡ ἐκκίνησις τοῦ ἀεριοστρόβιλου ἀπαιτεῖ μίαν ἄλλην ἐξωτερικὴν ἰσχύϊν.

Ὁ κύκλος λειτουργίας τοῦ ἀεριοστρόβιλου εἶναι τοῦ Joule (ἢ Brayton) καὶ ἐξητάσθη εἰς τὴν παράγραφον 5·9. Ἡ ἀπόδοσις τοῦ πραγματικοῦ κύκλου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὰ ὅρια θερμοκρασιῶν ἐν συνδυασμῷ μὲ τὸν λόγον τῶν πιέσεων $\frac{P_2}{P_1}$ εἰς τὸν συμπίεστην.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 15·8β παρατηροῦμεν ὅτι δι' ἐκάστην τιμὴν θερμοκρασίας εἰσαγωγῆς εἰς τὸν ἀεριοστρόβιλον ὑπάρχει μία τιμὴ τοῦ $\frac{P_2}{P_1}$, ἡ ὁποία δίδει τὴν μεγίστην θερμικὴν ἀπόδοσιν τῆς μηχανῆς.

Ἐπομένως, ἡ πραγματικὴ θερμικὴ ἀπόδοσις τοῦ ἀεριοστρόβιλου δὲν αὐξάνει ἀπεριορίστως, ὅσον αὐξάνει ὁ λόγος τῶν πιέσεων, ὅπως συμβαίνει εἰς τὸν ἰδανικὸν θεωρητικὸν κύκλον.



Σχ. 15·8β.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 16

ΨΥΚΤΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ

16.1 Γενικά.

Τεχνητή ψύξις είναι ή ικανότης διατηρήσεως τῆς θερμοκρασίας ἑνὸς σώματος κάτω τῆς θερμοκρασίας τῆς ἀτμοσφαίρας.

Τὸ σῶμα δυνατόν νὰ εἶναι ἀήρ, ὁ ὅποῖος ψύχεται εἰς ἓν σύστημα κλιματισμοῦ, τὸ περιεχόμενον ἑνὸς ψυκτικοῦ θαλάμου ἢ δοχεῖον παραγωγῆς πάγου. Εἰς τὴν πρακτικὴν ἐφαρμογὴν τῆς ἢ τεχνητῆς ψύξεως ἔχει σκοπὸν *τὴν ἐπίτευξιν χαμηλῆς θερμοκρασίας ἀλλὰ καὶ τὴν διατήρησίν τῆς.*

Ἐὰν τοποθετήσωμεν ἓν δοχεῖον μὲ ὕδωρ ἐπὶ μιᾶς κολώνας πάγου, τότε ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος κατέρχεται κάτω τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος καὶ διατηρεῖται χαμηλή, ὅσον ὑπάρχει πάγος.

Πάντως ἔστω καὶ ἂν διαθέσωμεν ἀπεριόριστον ποσότητα πάγου, ἡ χαμηλότερα θερμοκρασία τοῦ ὕδατος τοῦ δοχείου θὰ εἶναι ἐκείνη τοῦ πάγου.

Ὅταν τὸ ὕδωρ ἀποκτήσῃ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ πάγου, παύει καὶ ἡ ροὴ θερμότητος ἀπὸ αὐτὸ πρὸς τὸν πάγον λόγῳ μὴ ὑπάρξεως διαφορᾶς θερμοκρασίας. Ἐπομένως, τὸ ὕδωρ δὲν δύναται νὰ παγώσῃ, διότι ἀπαιτεῖται πρὸς τοῦτο ἀφαίρεσις καὶ ἄλλης θερμότητος ἀπὸ αὐτό, τῆς *λανθανούσης θερμότητος πήξεως.*

Εἶναι ἐπομένως φανερόν ὅτι τὸ ἀνωτέρω σύστημα εἶναι ἄχρηστον, ὅταν ἀντικειμενικὸς σκοπὸς εἶναι ἡ παραγωγή πάγου ἢ ἀπόκτησις θερμοκρασίας κάτω ἐκείνης τοῦ πάγου.

Ἀμφότεροι οἱ ἀντικειμενικοὶ σκοποὶ ἐπιτυγχάνονται διὰ τῆς χρησιμοποίησεως ἑνὸς καταλλήλου *ψυκτικοῦ κύκλου.*

16.2 Ἰδανικὴ ψύξις. Ἀντίστροφος κύκλος Carnot.

Συμφώνως πρὸς τὸν δεῦτερον θερμοδυναμικὸν νόμον, θερμότης ἀφ' ἑαυτῆς οὐδέποτε ρεῖ ἀπὸ μίαν περιοχὴν εἰς ἄλλην, ἡ ὁποία εὑρίσκεται εἰς ὑψηλότεραν θερμοκρασίαν.

Ὁ ἀντικειμενικὸς σκοπὸς ἑνὸς ψυκτικοῦ κύκλου εἶναι *νὰ ἀπορροφῇ θερμότητα ἀπὸ σῶμα, ποὺ εὑρίσκεται εἰς χαμηλὴν θερμοκρασίαν καὶ νὰ τὴν ἀποβάλλῃ εἰς ἄλλο σῶμα, ποὺ εὑρίσκεται εἰς ὑψηλότεραν θερμοκρασίαν.* Διὰ

να επιτευχθῇ τοῦτο ἀπαιτεῖται δαπάνη ἐνεργείας, ἡ ὁποία ἄλλοτε δαπανᾶται ὡς μηχανικὸν ἔργον καὶ ἄλλοτε ὡς θερμότης.

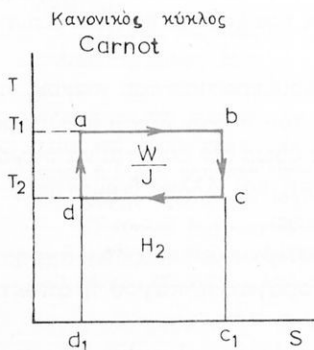
Ἡ μεταφορὰ αὐτὴ τῆς θερμότητος ἀπὸ χαμηλὴν εἰς ὑψηλὴν θερμοκρασίαν πραγματοποιεῖται ὑπὸ διαφόρων κύκλων, εἰς τοὺς ὁποίους τὸ ἐργαζόμενον μέσον ἢ ὀρθότερον ὁ *ψυκτικὸς φορεὺς* εὐρίσκεται ἐναλλάξ εἰς χαμηλὰς καὶ ὑψηλὰς θερμοκρασίας.

Ὅταν ἡ θερμοκρασία τοῦ ψυκτικοῦ φορέως εἶναι μικροτέρα ἀπὸ ἐκείνην τοῦ σώματος, πού θέλομεν νὰ ψύξωμεν, τότε θερμότης ἀπὸ τὸ σῶμα ρεῖ πρὸς τὸν ψυκτικὸν φορέα. Ὅταν ἡ θερμοκρασία τοῦ ψυκτικοῦ φορέως εἶναι μεγαλυτέρα ἀπὸ τὴν περιβάλλουσαν ἀτμόσφαιραν, τότε θερμότης ἀποβάλλεται πρὸς τὸ περιβάλλον.

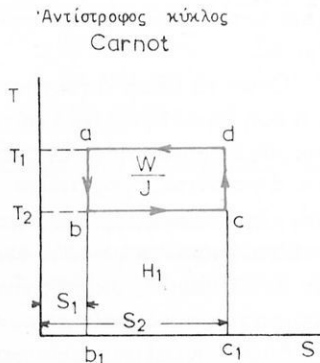
Εἰς τὰ πλεῖστα τῶν ψυκτικῶν συστημάτων ἡ μεταβολὴ αὐτὴ τῆς θερμοκρασίας τοῦ ψυκτικοῦ φορέως πραγματοποιεῖται διὰ καταναλώσεως μηχανικῆς ἐνεργείας, δηλαδὴ διὰ δαπάνης ἔργου ἐπὶ τοῦ ψυκτικοῦ φορέως.

Οὕτως, αἱ ἐναλλαγαὶ ἐνεργείας εἰς ἓνα ψυκτικὸν κύκλον λαμβάνουν χώραν κατὰ ἀντίθετον σειρὰν ἀπὸ τὰς ἀντιστοίχους ἐναλλαγὰς ἐνὸς κύκλου κινητηρίας μηχανῆς καὶ διὰ τοῦτο συχνὰ ἓν ψυκτικὸν σύστημα ὀνομάζεται καὶ *ἀντλία θερμότητος*.

Ἡ ἀντιστροφή τῆς σειρᾶς τῶν ἀλλαγῶν εἰς ἓνα κύκλον Carnot δίδει μίαν ἐξαιρετικὴν εἰκόνα τῶν βασικῶν ἀπαιτήσεων οἰουδήποτε συστήματος μηχανικῆς ψύξεως.



Σχ. 16.2α.



Σχ. 16.2β.

Εἰς τὸ σχῆμα 16.2α ἔχομεν τὸν κανονικὸν κύκλον Carnot. Θερμότης λαμβάνεται ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον ὑπὸ ὑψηλὴν θερμοκρασίαν T_1 κατὰ μήκος τῆς ἀλλαγῆς ab , καὶ ἀποβάλλεται ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον ὑπὸ χαμηλὴν θερμοκρασίαν T_2 κατὰ τὴν cd .

Τὸ ἔργον W/J τοῦ κύκλου αὐτοῦ εἶναι, ὡς γνωστόν, ἡ διαφορὰ:

$$\frac{W}{J} = \text{χορηγηθεῖσα θερμότης} - \text{ἀποβληθεῖσα θερμότης} = H_1 - H_2.$$

Εἰς τὸ σχῆμα 16.2β ἔχομεν τὸν ἴδιον κύκλον Carnot, ἀλλὰ μὲ θερ-

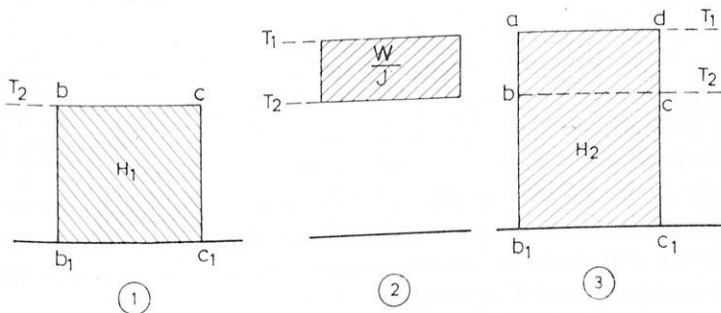
μοδυναμικὰς ἀλλαγὰς, πού πραγματοποιοῦνται κατ' ἀντίστροφον σειράν. Εἰς τὸν ἀντίστροφον κύκλον θερμότης ἀπορροφῆται ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον κατὰ τὴν ἀλλαγὴν bc ὑπὸ χαμηλὴν θερμοκρασίαν T_2 (σχ. 16·2β).

Ἡ θερμότης αὕτη καταθλίβεται εἰς τὴν ὑψηλὴν θερμοκρασίαν T_1 μέσω τῆς ἀδιαβατικῆς συμπίεσεως cd καὶ ἀποβάλλεται ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον εἰς τὴν ὑψηλὴν θερμοκρασίαν T_1 κατὰ τὴν ἀλλαγὴν da . Ἡ ἀλλαγὴ ab παριστᾷ τὴν *ισοεντροπικὴν ἐκτόνωσιν* διὰ νὰ κλείσῃ ὁ κύκλος.

Σημειοῦται ὅτι εἰς ἀμφοτέρους τοὺς κύκλους τὸ H_1 καὶ H_2 παριστοῦν χορηγηθεῖσαν καὶ ἀποβληθεῖσαν θερμότητα, μολονότι αἱ ἐπιφάνειαι, πού παριστοῦν τὰ ποσὰ αὐτὰ, ἔχουν *ἀνταλλαγὴν* λόγω τοῦ ἀντιστρόφου τῶν κύκλων.

Εἰς τὸν κύκλον τοῦ σχήματος 16·2β παράγεται χρήσιμον ἔργον ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενον μέσον κατὰ τὴν *ισοεντροπικὴν* ab καὶ *ισοθερμοκρασιακὴν* bc , ἀλλὰ τὸ οὕτω παραγόμενον ἔργον εἶναι μικρότερον ἀπὸ ἐκεῖνο, πού ἀπαιτεῖται διὰ τὰς ἀντιστοίχους ἀλλαγὰς συμπίεσεως cd καὶ da .

Κατόπιν τούτου ἀπαιτεῖται ἡ χορήγησις ἔργου ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν διὰ τὴν πραγματοποίησιν τοῦ ἀντιστρόφου κύκλου.



Σχ. 16·2γ.

Εἰς τὸ σχῆμα 16·2γ ἐμφαίνονται τὰ σχετικὰ μεγέθη τῶν ἀπαιτουμένων ποσῶν ἐνεργείας. Οὕτως, εἰς τὸ (1) εἶναι ἡ ἐπιφάνεια bcc_1b_1 πού παριστᾷ τὴν ἐνέργειαν, πού λαμβάνομεν λόγω τῶν ἀλλαγῶν ab καὶ bc . Εἰς τὸ (3) εἶναι ἡ ἐπιφάνεια ab_1c_1d , πού παριστᾷ τὴν ἀπαιτουμένην ἐνέργειαν διὰ τὰς ἀλλαγὰς cd καὶ da . Ἐπομένως διὰ νὰ πραγματοποιηθῇ ὁ κύκλος ἀπαιτεῖται νὰ δοθῇ ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν ἐνέργεια ὑπὸ μορφήν μηχανικοῦ ἔργου (ἢ θερμότητος) ἴσον μὲ τὴν ἐπιφάνειαν (2) τοῦ σχήματος 16·2γ.

Οὕτω δι' ἓνα ἀναστρεφόμενον κύκλον τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον W/J διὰ τὴν πραγματοποίησίν του ἰσοῦται μέ :

$$\frac{W}{J} = H_2 - H_1 \quad (248)$$

Συμπεράσματα.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτουν τὰ ἐξῆς συμπεράσματα, πού μᾶς δίδει ὁ ἰδανικὸς ψυκτικὸς κύκλος Carnot :

α) Ἡ θερμότης ἀπορροφείται ἀπὸ τὸν κύκλον ὑπὸ σταθερὰν χαμηλὴν θερμοκρασίαν καὶ ἀντλείται μέσω μιᾶς ἰσοεντροπικῆς συμπίεσεως εἰς τὴν περιοχὴν ὑψηλῆς θερμοκρασίας.

β) Ἡ θερμότης ἀποβάλλεται ὑπὸ σταθερὰν ὑψηλὴν θερμοκρασίαν καὶ μέσω μιᾶς ἰσοεντροπικῆς ἐκτονώσεως κλείει ὁ κύκλος.

γ) Διὰ τὰ νὰ πραγματοποιηθῇ ὁ κύκλος ἀπαιτεῖται ἡ δαπάνη ἐνεργείας ἀπὸ ἐξωτερικὴν πηγὴν.

16.3 Ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα. Ψυκτικὸς τόννος. Συντελεστὴς λειτουργίας ψυκτικῆς ἐγκαταστάσεως.

Ἀποτέλεσμα τῆς πραγματοποιήσεως ἑνὸς ψυκτικοῦ κύκλου εἶναι ἡ ἀφαίρεσις θερμότητος ἀπὸ μίαν περιοχὴν χαμηλῆς θερμοκρασίας. Τὴν ἀφαιρουμένην αὐτὴν θερμότητα ἀπορροφεῖ τὸ ἐργαζόμενον μέσον, δηλαδὴ ὁ ψυκτικὸς φορεὺς, ὅπως θὰ ἐξηγηθῇ λεπτομερέστερα βραδύτερον.

Οὕτως, εἰς τὸ σχῆμα 16.2β καὶ 16.2γ(3) ἡ ἐπιφάνεια $hch_{1c_1} = H_1$ παριστᾷ τὸ χρήσιμον ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα, ποὺ πραγματοποιεῖ ὁ κύκλος. Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀπορροφεῖται (ἀπὸ τὴν περιοχὴν χαμηλῆς θερμοκρασίας) ἀνὰ μονάδα βάρους ψυκτικοῦ φορέως, ποὺ κυκλοφορεῖ εἰς τὸν κύκλον, ὀνομάζεται *ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα* (ΨA).

Ὁ ἀντικειμενικὸς σκοπὸς τῶν κύκλων λειτουργίας τῶν κινητηρίων μηχανῶν εἶναι ἡ παραγωγὴ τοῦ μηχανικοῦ ἔργου καὶ ἡ ἱκανότης τῶν συστημάτων αὐτῶν μετρεῖται μὲ τὸ παραγόμενον ἔργον ἀνὰ μονάδα χρόνου ἢ εἰς ἴππους.

Ἡ ψυκτικὴ ἱκανότης ἑνὸς συστήματος μετρεῖται μὲ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ δύναται νὰ ἀφαιρέσῃ εἰς ὠρισμένον χρόνον ἀπὸ ἓν σῶμα χαμηλῆς θερμοκρασίας. Οὕτως, ἡ ἱκανότης ἑνὸς ψυκτικοῦ συστήματος μετρεῖται εἰς ψυκτικούς τόννους.

Ψυκτικὸς τόννος (ΨT) εἶναι μονὰς ψυκτικῆς ἱκανότητος καὶ ἀντιπροσωπεύει ἀφαίρεσιν θερμότητος 288 000 BTU εἰς ἓν 24ωρον.

Ἡ μονὰς αὕτῃ καθωρίσθη ἀπὸ τὴν American Society of Refrigerating Engineers ὡς ἐξῆς :

Ἡ λαυθάνουσα θερμότης τήξεως τοῦ πάγου ἀπὸ θερμοκρασίαν 32°F εἰς ὕδωρ 32°F εἶναι 144 BTU. Εἰς τόννος πάγου ἔχει 2000 lb (short-ton)· ἐπομένως εἰς τόννος πάγου χρειάζεται $144 \times 2000 = 288\,000$ BTU διὰ τὰ τακὴ ἀπὸ θερμοκρασίαν 32°F εἰς ὕδωρ 32°F.

Φυσικὸν ἐπακόλουθον τῶν ἀνωτέρω εἶναι ὁ ΨT νὰ ἰσοῦται ἐπίσης μὲ 12 000 BTU/h ἢ 200 BTU/min. Μία ψυκτικὴ ἐγκατάστασις, ποὺ ἀφαιρεῖ

ἀπὸ τοὺς ψυκτικούς θαλάμους 200 BTU/min ἢ 12000 BTU/h ἢ 288000 BTU ἂν 24ωρον λέγομεν ὅτι εἶναι ἰκανότητος ἐνὸς ψυκτικοῦ τόννου.

Ἡ συμπεριφορὰ ἐνὸς κύκλου ἢ συστήματος κρίνεται μὲ βάσιν τὴν ἰκανότητά του εἰς τὴν πραγματοποίησιν τοῦ σκοποῦ του. Ἡ ἀπόδοσις τῶν κινητηρίων κύκλων, ὡς ἐξητάσθησαν εἰς τὸ Κεφάλαιον 5, δίδεται ἐκ τῆς ἰσότητος (65) ἥτοι :

$$\eta_{\theta} = \frac{\text{θερμότης ποὺ μετατρέπεται εἰς ἔργον}}{\text{χορηγηθεῖσα θερμότης}}.$$

Ἡ ἀπόδοσις αὕτη, ὡς εἶδομεν, εἶναι εἰς συντελεστής, ὁ ὁποῖος πολλαπλασιαζόμενος ἐπὶ τὴν χορηγηθεῖσαν ἐνέργειαν, δίδει τὸ χρήσιμον ἀποτέλεσμα, ποὺ πρέπει νὰ ἀναμένεται ἀπὸ τὸν κύκλον.

Ἡ συμπεριφορὰ ἐνὸς ψυκτικοῦ κύκλου καθορίζεται μὲ παρομοίαν βάσιν, ἥτοι μὲ ἓνα συντελεστήν, ὁ ὁποῖος εὐρίσκεται διὰ τῆς διαιρέσεως τοῦ χρησίμου ἀποτελέσματος τοῦ κύκλου, ποὺ εἶναι τὸ *ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα*, διὰ τῆς ἐνεργείας ἣ ὁποία ἀπαιτεῖται διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ αὐτό.

Ὁ συντελεστής αὐτὸς ὀνομάζεται *συντελεστής λειτουργίας (ΣΛ)* τοῦ κύκλου καὶ εἶναι :

$$\Sigma\Lambda = \frac{\text{ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα}}{\text{ἀπαιτούμενον ἔργον}} = \frac{J(\Psi A)}{W} \quad (249)$$

Διὰ τὸν ἀναστρεφόμενον κύκλον Carnot ὁ ΣΛ καθορίζεται μὲ ὅρους θερμοκρασίας μόνον. Πράγματι ἐκ τοῦ σχήματος 16.2β ἔχομεν :

$$\Psi A = \text{ἐπιφάνεια } bcc_1b_1 = T_2(S_2 - S_1)$$

$$\frac{W}{J} = \text{ἐπιφάνεια } abcd = (T_1 - T_2)(S_2 - S_1).$$

$$\text{Ἐπομένως} \quad \Sigma\Lambda = \frac{T_2(S_2 - S_1)}{(T_1 - T_2)(S_2 - S_1)} \quad \eta$$

$$\Sigma\Lambda = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (250)$$

Εἰς τοὺς ψυκτικούς κύκλους, ἰδανικοὺς καὶ πρακτικούς, ποὺ θὰ ἐξετασθοῦν περαιτέρω, θὰ ἴδωμεν πῶς καθορίζεται τὸ ΨΑ καὶ τὸ δαπανώμενον μηχανικὸν ἔργον, τὸ ὁποῖον διὰ κύκλους μηχανικῆς ψύξεως εἶναι τὸ ἀπαιτούμενον διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπιεστοῦ, ποὺ θὰ συμπίεση τὸν ψυκτικὸν φορέα ἀπὸ τὴν χαμηλὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν εἰς τὴν ὑψηλὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν.

Παράδειγμα.

Ψυκτική εγκατάσταση αφαιρεί από τους ψυκτικούς θαλάμους 10 000 BTU/min. Εισ τὸ κύκλωμα κυκλοφοροῦν 170 lb ψυκτικοῦ φορέως ἀνὰ λεπτόν καὶ ἡ ἀπαιτούμενη ἵπποδύναμις διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπιεστοῦ εἶναι 60 HP. Ὁ ψυκτικὸς φορεὺς ἀφαιρεῖ θερμότητα ἀπὸ περιοχὴν (ψυκτικὸς θαλάμους) θερμοκρασίας 20° F καὶ τὴν ἀποβάλλει εἰς περιοχὴν θερμοκρασίας 80° F (περιβάλλον).

Ζητεῖται : α) Ἡ ἰκανότης τῆς εγκαταστάσεως εἰς ΨΤ. β) Τὸ ΨΑ εἰς BTU/lb. γ) Ὁ ΣΛ τῆς πραγματικῆς εγκαταστάσεως. δ) Ὁ ΣΛ, ἐὰν ἡ ψύξις ἦτο ἰδανικὴ κύκλου Carnot.

Λύσις

$$\alpha) \text{ Ἰκανότης ψύξεως} = \frac{\text{ἀπορροφουμένη θερμότης BTU/min}}{200 \text{ BTU/min ἀνὰ ΨΤ}} = \frac{10000}{200} = 50 \text{ ΨΤ}$$

$$\beta) \Psi A = \frac{\text{ἀπορροφουμένη θερμότης BTU/min}}{\text{βάρος ψυκτικοῦ φορέως εἰς lb/min}} = \frac{10000}{170} \quad \eta \quad \Psi A = 58,8 \text{ BTU/lb}$$

$$\gamma) \text{ Ἀπαιτούμενον μηχανικὸν ἔργον } \frac{W}{J} = \frac{\text{HP} \cdot 2545}{\text{βάρος ψυκτικοῦ φορέως ἀνὰ min} \times 60}$$

$$\eta \quad \frac{W}{J} = \frac{60 \times 2545}{170 \times 60} = 14,97 \text{ BTU/lb ψυκτικοῦ φορέως}$$

$$\Sigma \Lambda = \frac{\text{ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα}}{\text{ἀπαιτούμενον ἔργον εἰς μονάδας θερμότητος}} = \frac{58,8}{14,97} \quad \eta \quad \Sigma \Lambda = 3,93$$

$$\delta) \quad \Sigma \Lambda \text{ Carnot} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$T_2 = 20 + 460 = 480^\circ \text{ F} \quad T_1 = 80 + 460 = 540^\circ \text{ F}$$

$$\text{καὶ} \quad \Sigma \Lambda \text{ Carnot} = \frac{480}{540 - 480} = 8$$

16.4 Μηχανικὴ ψύξις διὰ συμπίεσεως ἀτμῶν. Ἀναστρεφόμενος κύκλος Rankine.

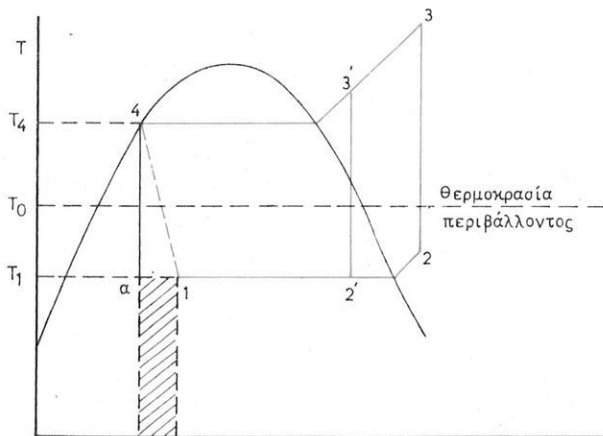
Εἰς τὸν ἀναστρεφόμενον κύκλον Carnot καθωρίσθησαν αἱ προϋποθέσεις διὰ τὴν ἐπίτευξιν τῆς πλέον ἀποδοτικῆς ψύξεως, δηλαδὴ μὲ τὸν μέγιστον συντελεστὴν λειτουργίας. Διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ ἡ ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν ἀπορρόφησης καὶ ἀποβολῇ θερμότητος ἀπὸ τὸν ψυκτικὸν φορέα (ὡς ὀρίζει ὁ Carnot), πρέπει ὁ φορεὺς νὰ εὑρίσκεται εἰς κατὰστασιν ἀτμοῦ καὶ ποτὲ εἰς κατὰστασιν ἀερίου.

Ὁ ἀντίστροφος κύκλος Rankine εἶναι ἡ βάση, ἐπὶ τῆς ὁποίας πραγματοποιεῖται εἰς τὴν πρᾶξιν ὁ πρακτικὸς κύκλος ψύξεως διὰ συμπίεσεως ἀτμῶν, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 16.4.

Εἰς τὸν ἀντίστροφον κύκλον Rankine ἀπορροφεῖται λαμβάνουσα θερμότης ἀπὸ τὸν ψυκτικὸν φορέα ὑπὸ σταθερὰν χαμηλὴν θερμοκρασίαν (ἀλλαγὴ 1-2') καὶ μὲ ἀποτέλεσμα τὴν αὐξήσιν τοῦ βαθμοῦ ξηρότητος ἐνὸς καταλλήλου ἀτμοῦ, ὁ ὁποῖος χρησιμοποιεῖται πρὸς τὸν σκοπὸν αὐτόν.

Ἐν συνεχείᾳ ὁ ἀτμὸς συμπίεζεται μέσω συμπιεστοῦ ἀδιαβατικῶς (ὅπως εἰς κύκλον Carnot) κατὰ τὴν 2' - 3'. Ἡ τελικὴ πίεσις μετὰ τὴν ἀδιαβατικὴν

συμπίεσιν πρέπει να είναι τόση, ώστε η θερμοκρασία κορεσμού (T_4 εις τὸ σχῆμα), ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν πίεσιν αὐτήν, νὰ εἶναι ἀρκετὰ ὑψηλοτέρα ἀπὸ ἐκείνην τοῦ περιβάλλοντος (T_0 εἰς τὸ σχῆμα).



Σχ. 16.4.

S

Τοῦτο εἶναι βασικὸν εἰς ἓνα ψυκτικὸν κύκλον, ὥστε ὁ ψυκτικὸς φορεὺς νὰ δύναται νὰ ἀποβάλλῃ θερμότητα εἰς τὸ περιβάλλον.

Ἀπὸ τὸ σημεῖον 3' (τέλος τῆς συμπίεσεως) ὁ ψυκτικὸς φορεὺς ἀποβάλλει θερμότητα πρὸς τὸ περιβάλλον, πρῶτον τὴν αἰσθητὴν ὑπερθερμάνσεως καὶ ἐν συνεχείᾳ τὴν λανθάνουσαν, ἕως ὅτου ὑγροποιηθῇ εἰς σημεῖον 4 (ἀλλαγὴ 3' - 4).

Διὰ νὰ κλείσῃ ὁ κύκλος ἀντὶ τῆς ἀδιαβατικῆς ἐκτονώσεως 4 - α (ὅπως εἰς Carnot), ἡ ὁποία εἰς τὴν πρᾶξιν ἐπιτυγχάνεται δυσχερῶς, ἐκτελεῖται στραγγαλισμὸς τοῦ ὑγροῦ μέσω ἐκτονωτικῆς βαλβίδος (ἀλλαγὴ 4 - 1).

Οὕτως ἡ χαμηλὴ θερμοκρασία T_1 (εἰς τὸ σχῆμα) ρυθμίζεται ἀναλόγως μὲ τὴν τελικὴν πίεσιν μέσω μειωτῆρος πίεσεως, ὁ ὁποῖος ἀντικαθιστᾷ τὸ ἔμβολον καὶ τὸν κύλινδρον, ποὺ θὰ ἐχρειάζετο διὰ νὰ ἐπιτευχθῇ ἡ ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ 4 - α.

Εἰς τὴν πρᾶξιν διὰ λόγους ἀσφαλείας λειτουργίας τῆς ἐγκαταστάσεως καὶ διὰ νὰ ἀποφευχθῇ ὁ κίνδυνος εἰσόδου εἰς τὸν συμπιεστήν μεγάλης ποσότητος ὑγροῦ ἀτμοῦ χαμηλῆς πίεσεως, ὁ ψυκτικὸς φορεὺς ὑπερθερμαίνεται ἐλαφρῶς, πρὶν εἰσελθῇ εἰς τὸν συμπιεστήν (σημεῖον 2) καὶ οὕτως ἡ ἀδιαβατικὴ συμπίεσις θὰ εἶναι ἡ 2 - 3 ἀντὶ τῆς 2' - 3'.

Τὸ $\Psi A = H_1 = i_2 - i_1 = \text{kcal/kg}$ (ἢ BTU/lb).

Ἀποβληθεῖσα θερμότης $H_2 = i_3 - i_4 \text{ kcal/kg}$ (ἢ BTU/lb).

Ἀπαιτούμενον ἔργον $\frac{W}{J} = H_2 - H_1 = (i_3 - i_4) - (i_2 - i_1)$.

Ἐπειδὴ ὁμως ἀπὸ τὸ 4 ἕως τὸ 1 ἔχομεν στραγγαλισμόν, θὰ εἶναι $i_4 = i_1$ (σταθερὰ ὀλική θερμότης, παράγρ. 8.7).

Ἐπομένως $\frac{W}{J} = (i_3 - i_4) - (i_2 - i_1)$ καὶ ἀπαιτούμενον ἔργον :

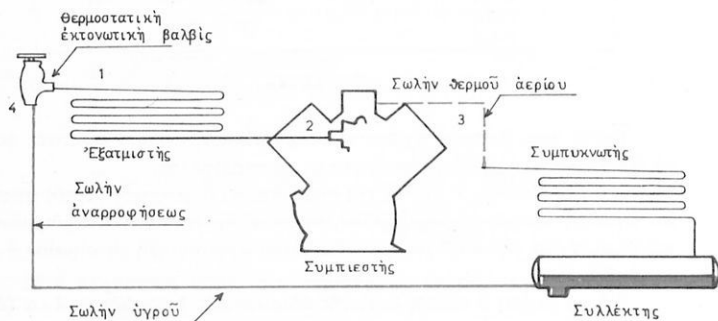
$$\frac{W}{J} = i_3 - i_2 \text{ kcal/kg (ἢ BTU/lb)}$$

$$\text{καὶ ὁ } \Sigma \Delta = \frac{i_2 - i_1}{i_3 - i_2}$$

16.5 Βασικὰ ἐξαρτήματα διὰ τὴν πραγματοποίησιν ψυκτικοῦ κύκλου διὰ συμπίεσεως.

Τὰ βασικὰ ἐξαρτήματα διὰ τὴν πραγματοποίησιν ψυκτικοῦ κύκλου διὰ συμπίεσεως εἶναι :

Ὁ συμπίεστής· ὁ συμπυκνωτής μετὸν συλλέκτην ὑγροῦ· ἡ ἐκτονωτικὴ βαλβὶς καὶ ὁ ἐξατμιστής, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 16.5.



Σχ. 16.5.

Ἡ ὅλη λειτουργία τοῦ συστήματος γίνεται ὡς κάτωθι : (οἱ ἀριθμοὶ τοῦ σχήματος 16.5 εἶναι ἀντίστοιχοι μετὰ τοῦ σχήματος 16.4 τοῦ ἀντιστροφῶν κύκλου Rankine). Εἰς τὸ σημεῖον 2 ὁ συμπίεστής ἀναρροφεῖ ψυκτικὸν φορέα καὶ τὸν συμπιέζει ἀδιαβατικῶς μετὰ ἀποτέλεσμα αὐξήσιν τῆς πίεσεώς του τόσο, ὥστε ἡ θερμοκρασία κορεσμοῦ τοῦ φορέως (ἀντίστοιχος τῆς πίεσεως αὐτῆς) νὰ εἶναι ἀρκετὰ μεγαλυτέρα τῆς τοῦ περιβάλλοντος (σημεῖον 3). Τὸ θερμὸν ὑψηλῆς πίεσεως ἀέριον εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ, περίξ τοῦ ὁποῦ κυκλοφορεῖ ὕδωρ ἢ ἀήρ χαμηλοτέρας θερμοκρασίας τῆς τοῦ ψυκτικοῦ φορέως, ὅποτε αὐτὸς ἀποβάλλει τὴν θερμότητα ἐπερθερμάνσεως καὶ τὴν λαμβάνουσα θερμότητά του καὶ ὑγροποιεῖται ἐντὸς τοῦ συλλέκτου.

Ἀπὸ τὸν συλλέκτην τὸ ὑγρὸν ὑψηλῆς σχετικῶς θερμοκρασίας καὶ πίεσεως ὁδηγεῖται πρὸς τῆς ἐκτονωτικῆς βαλβίδος (σημεῖον 4). Ὁ ὑγρὸς τώρα

ψυκτικός φορέας διερχόμενος διὰ τῆς ἔκτονωτικῆς βαλβίδος ὑφίσταται στραγγαλισμὸν, μερικὴν ἀτμοποίησησιν ἐντὸς τῆς βαλβίδος (ἀλλαγὴ 4-1) καὶ εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ ἑξατμιστοῦ (σημεῖον 1) εἰς κατάστασιν λίαν ὑγροῦ ὕδρα-
 τμοῦ μὲ περίπου $x = 0,2$.

Ἐν μέρος δηλαδὴ τῆς λανθανούσης θερμότητος ἀτμοποίησεως ἀπορροφεῖται ἐντὸς τῆς ἔκτονωτικῆς βαλβίδος. Τὸ μέρος αὐτὸ τῆς λανθανούσης θερμότητος παρίσταται διὰ τῆς γραμμοσκιασμένης ἐπιφανείας κάτωθεν τῆς γραμμῆς α-1 εἰς τὸ σχῆμα 16·4. Τὸ τμήμα αὐτὸ δὲν δίδει ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα ἀλλὰ εἶναι ἐκεῖνο, ποὺ προκαλεῖ πτώσιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ ψυκτικοῦ φορέως ἀπὸ τὴν ἀντίστοιχον τῆς ὑψηλῆς πιέσεως εἰς ἐκείνην τῆς χαμηλῆς πιέσεως.

Ἀπὸ τὸ σημεῖον 1 ὁ ψυκτικὸς φορέας, ὡς ἀτμός, εὐρισκόμενος εἰς θερμοκρασίαν κατωτέραν τῆς τοῦ ψυκτικοῦ θαλάμου ἀπορροφεῖ λανθάνουσαν θερμότητα καὶ ὅσον προχωρεῖ καθίσταται ξηρότερος ἀτμός, ξηρὸς ἀτμός καὶ τέλος ἀπορροφεῖ καὶ μικρὸν ποσὸν θερμότητος ὑπερθερμάνσεως, ὥστε εἰς τὸ σημεῖον 2, ποὺ θὰ εἰσέλθῃ εἰς τὸν συμπιεστήν, νὰ εἶναι ἐλαφρῶς ὑπέρθερμος.

Ὡς ἀνεφέραμεν καὶ εἰς τὴν προηγούμενην παράγραφον, ἡ μικρὴ αὐτὴ ὑπερθερμάνσις κρίνεται ἀπαραίτητος διὰ λόγους ἀσφαλείας διὰ νὰ ἐξασφαλίζεται ὅτι δὲν θὰ εἰσέλθῃ ἐντὸς τοῦ συμπιεστοῦ πολὺ ὑγρὸς ἀτμός μὲ κίνδυνον ὑγροποίησης τοῦ κατὰ τὴν συμπίεσιν μὲ ὅλα τὰ ἐπακόλουθα ζημιῶν.

Ἡ λειτουργία τῆς θερμοστατικῆς ἔκτονωτικῆς βαλβίδος βασίζεται εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ψυκτικοῦ φορέως εἰς τὸ σημεῖον 2.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τεῖνῃ νὰ αὐξηθῇ, τότε ἀνοίγει ἡ βαλβὶς καὶ ἐπιτρέπει περισσότερον ψυκτικὸν φορέα νὰ εἰσέλθῃ εἰς τὸν ἑξατμιστήν.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τεῖνῃ νὰ ἐλαττωθῇ, τότε κλείει ἡ ἔκτονωτικὴ βαλβὶς καὶ ὀλιγωτέρα ποσότης ψυκτικοῦ φορέως εἰσέρχεται εἰς τὸν ἑξατμιστήν, ἕως ὅτου ἐπιτευχθῇ κατάστασις ἰσορροπίας.

Λεπτομέρειαι περὶ τῆς λειτουργίας τῆς βαλβίδος εἶναι ἐκτὸς τοῦ σκοποῦ τοῦ παρόντος βιβλίου καὶ ἀναφέρονται εἰς τὰς ψυκτικὰς μηχανὰς ὡς ἰδιαι-
 τερον μάθημα.

Πάντως, ἀνακεφαλαιοῦντες, ἀπὸ θερμοδυναμικῆς πλευρᾶς εἶδομεν ὅτι :

Ὁ σκοπὸς τοῦ *συμπιεστοῦ* εἶναι :

α) Νὰ ἀπορροφῇ τὸν ψυκτικὸν φορέα εἰς χαμηλὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν καὶ νὰ τὸν καταθλίβῃ εἰς ὑψηλὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν.

β) Νὰ διατηρῇ χαμηλὴν τὴν πίεσιν τοῦ ψυκτικοῦ φορέως ὡς ἀτμοῦ ἐντὸς τοῦ ἑξατμιστοῦ κατὰ τρόπον, ὥστε ἡ θερμοκρασία του νὰ εἶναι καὶ νὰ διατηρῇται μικροτέρα τῆς τοῦ ψυκτικοῦ θαλάμου.

γ) Νὰ κυκλοφορῇ τὸν ψυκτικὸν φορέα εἰς τὸ σύστημα.

Ὁ σκοπὸς τοῦ *συμπυκνωτοῦ* εἶναι νὰ ἐξέρχεται μέσω αὐτοῦ ἡ θερμότης ἀπὸ τὸ σύστημα εἰς τὸ περιβάλλον (ὑψηλὴ θερμοκρασία).

Ὁ σκοπὸς τῆς *ἐκτονωτικῆς βαλβίδος* εἶναι νὰ ἐλαττώνῃ τὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν τοῦ ψυκτικοῦ φορέως, πρὶν αὐτὸς εἰσέλθῃ εἰς τὸν ἑξα-

τμιστήν, καὶ νὰ διατηρῇ κανονικὴν ροὴν αὐτοῦ ἀναλόγως τῶν ἀναγκῶν τοῦ φορτίου.

Ὁ σκοπὸς τοῦ *ἐξατμιστοῦ* εἶναι νὰ ἀπορροφῆται μέσω αὐτοῦ ἡ θερμότης ἐντὸς τοῦ συστήματος (χαμηλὴ θερμοκρασία).

16.6 Ὑδροποίησης ἀερίων καὶ ἀτμῶν. Ψυκτικοὶ φορεῖς.

Τὸ ἐργαζόμενον μέσον εἰς ἓνα ψυκτικὸν κύκλον ὀνομάζεται *ψυκτικός φορεὺς*. Ἀπὸ πρακτικῆς πλευρᾶς δυνάμεθα νὰ ὀρίσωμεν ὅτι: *Ψυκτικὸς φορεὺς εἶναι ρευστόν, πὸν ἀπορροφεῖ θερμότητα δι' ἀτμοποιήσεώς του εἰς χαμηλὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν καὶ ἀποβάλλει θερμότητα διὰ συμπυκνώσεώς του εἰς ὑψηλότεραν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν.* Αἱ θερμοδυναμικαὶ ιδιότητες, ὅπως ἐξητάσθησαν εἰς τοὺς ὑδρατμούς, δηλαδὴ ὀλικὴ θερμότης (ἐνθαλπία), λαυθάνουσα θερμότης, βαθμὸς ξηρότητος, εἰδικὸς ὄγκος, πίεσις, θερμοκρασία καὶ ἐντροπία, ἰσχύουν καὶ διὰ τοὺς ψυκτικούς φορεῖς τοὺς εὕρισκομένους εἰς κατάστασιν ἀτμοῦ. Ἡ μόνη διαφορὰ εἶναι ὅτι, ἐνῶ διὰ τὸν ὑδρατμὸν ὡς ἀρχὴ μετρήσεως τῆς θερμότητος καὶ ἐντροπίας λαμβάνεται ὕδωρ θερμοκρασίας 0°C ἢ 32°F , προκειμένου περὶ ψυκτικῶν φορέων ὡς τοιαύτη θερμοκρασία λαμβάνεται τὸ -40°C , εἰς τὸ ὁποῖον, ὡς γνωστόν, ἀντιστοιχεῖ -40°F .

Δηλαδὴ ψυκτικὸς φορεὺς εἰς κατάστασιν ὑγροῦ, θερμοκρασίας -40°C θεωρεῖται ὅτι δὲν περιέχει καθόλου θερμότητα καὶ ἔχει μηδὲν ἐντροπίαν.

Βασικὸν χαρακτηριστικὸν ἑνὸς ψυκτικοῦ φορέως εἶναι ἡ ἱκανότης του νὰ δύναται νὰ ὑδροποιηθῇ ὑπὸ συνθήκας θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος.

Ἀπὸ τὴν Φυσικὴν εἶναι γνωστὸν ὅτι οὐδὲν ἀέριον ὑδροποιεῖται, ἐὰν ἡ θερμοκρασία του δὲν κατέλθῃ κάτωθεν τῆς *κριτικῆς* (ἰδὲ καὶ παράγρ. 8.1). Διὰ νὰ εἶναι ἐπομένως εὐκόλος ἡ συμπύκνωσις ἑνὸς ψυκτικοῦ φορέως εἶναι βασικὸν νὰ ἔχη αὐτὸς ὑψηλὴν κριτικὴν θερμοκρασίαν.

Οὕτω τὸ ὑδρογόνον μὲ κριτικὴν θερμοκρασίαν -241°C εἶναι ἀδύνατον νὰ ὑδροποιηθῇ ὑπὸ ἀτμοσφαιρικᾶς συνθήκας θερμοκρασιῶν, ὅσον καὶ ἐὰν συμπιεσθῇ, διότι ἡ θερμοκρασία του πρέπει νὰ κατέλθῃ κάτω τῶν -241°C , ἐνῶ ἡ ἀμμωνία μὲ κριτικὴν θερμοκρασίαν $+130^{\circ}\text{C}$ ὑδροποιεῖται εὐκόλως.

Γενικῶς εἰς καλὸς ψυκτικὸς φορεὺς δὲν πρέπει νὰ ἐπιδρᾷ διαβρωτι-

κῶς εἰς τὰς σωληνώσεις, συμπιεστήν κ.λπ., πρέπει νὰ εἶναι ἀβλαβῆς εἰς τοὺς ἀνθρώπους καὶ τὰ τρόφιμα, νὰ μὴ ἀπαιτῇ ὑψηλὰς πιέσεις διὰ τὴν συμπύκνωσίν του, ἐνῶ συγχρόνως ὁ ὄγκος τοῦ συμπιεστοῦ ἀνὰ ψυκτικὸν τόννον νὰ εἶναι μικρὸς, δηλαδὴ ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ψυκτικοῦ φορέως νὰ εἶναι μικρὸς εἰς χαμηλὴν θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν.

Τέλος ὁ ψυκτικὸς φορεὺς πρέπει νὰ μὴ ἀναφλέγεται, νὰ ἔχη μεγάλην λανθάνουσαν θερμότητα ἀτμοποιήσεως καὶ νὰ ἔχη θετικὴν πίεσιν (ἄνω τῆς ἀτμοσφαιρικῆς) εἰς χαμηλὰς θερμοκρασίας.

Διὰ νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ σύγκρισις, τὰ χαρακτηριστικὰ τῶν ψυκτικῶν φορέων καθορίζονται μὲ βάσιν 50°F χαμηλὴν θερμοκρασίαν ἀτμοποιήσεως καὶ 86°F ὑψηλὴν θερμοκρασίαν συμπυκνώσεως.

Εἰς τὸν Πίνακα 12 τοῦ Παραρτήματος ἀναφέρονται οἱ πλέον ἐν χρήσει ψυκτικοὶ φορεῖς καὶ τὰ χαρακτηριστικὰ των.

Τρεῖς ἀπὸ τοὺς πλέον ἐνδιαφέροντας ψυκτικούς φορεῖς εἶναι ἡ ἀμμωνία, τὸ Freon 12 καὶ τὸ Freon 22.

16·7 Ἀμμωνία, Freon 12 καὶ Freon 22.

Ἀμμωνία

Ἡ ἀμμωνία μὲ τὴν μεγαλύτεραν λανθάνουσαν θερμότητα ἀπὸ ὅλους τοὺς ψυκτικούς φορεῖς εἶναι κατάλληλος ψυκτικὸς φορεὺς καὶ διὰ τὰς μεγάλας βιομηχανικὰς ἐγκαταστάσεις ψύξεως. Ἐχει ἰσχυρὰν χαρακτηριστικὴν ὁσμὴν, ἐπιδρᾷ βλαβερῶς εἰς τὸ ἀναπνευστικὸν σύστημα καὶ τοὺς ὀφθαλμούς καὶ εἶναι λίαν τοξικὴ. Εἰς τὴν φυσικὴν κατάστασίν της ἡ ἀμμωνία εἶναι ἀτμός, διαλύεται δὲ ἐντὸς ὕδατος εἰς μεγάλας ποσότητες. Χρησιμοποιεῖται ἐπίσης εἰς ψυκτικὰς ἐγκαταστάσεις, ὅπου ὁ κύκλος γίνεται δι' ἀπορροφῆσεως καὶ ὄχι διὰ συμπίεσεως ἀτμοῦ (παράγρ. 16·11).

Εἰς συνθήκας ἀτμοσφαιρικῆς θερμοκρασίας ἡ ἀμμωνία ὡς ἀτμός ἢ ἀέριον δὲν καίεται εἰς τὸν ἀέρα, ὅταν ὁμως θερμανθῇ, καίεται μὲ πρασινοκιτρίνην φλόγα. Ὅταν θερμανθῇ εἰς θερμοκρασίαν ἄνω τῶν 1600°F , διασπᾶται εἰς τὰ συστατικά της (ἄζωτον καὶ ὕδρογόνον) καὶ ὑπὸ ὠρίσμενας συνθήκας τὰ ἀέρια αὐτὰ σχηματίζουν χαρακτηριστικὸν ἐκρηκτικὸν μίγμα ἀζώτου, ὕδρογόνου καὶ ἀτμῶν ἀμμωνίας, τὸ ὁποῖον ἔχει προκαλέσει πολλάκις ἰσχυρὰς ἐκρήξεις εἰς ψυκτικὰς ἐγκαταστάσεις μὲ ἀμμωνίαν.

Ἀτμός ἀμμωνίας οὐδέποτε πρέπει νὰ ἔρχεται εἰς ἐπαφὴν μὲ ἐρυθροπυρωμένον μέταλλον ἢ κοινὴν φλόγα, διότι ὑπάρχει κίνδυνος νὰ γίνῃ διάσπασις τῶν ἀτμῶν, ἀνάφλεξις τῶν ἐκ τῆς διασπάσεως ἀερίων καὶ ἐκρηξις.

Ἡ ἀμμωνία εἴτε ὑγρὰ εἴτε ὡς ἀτμός δὲν ἐπιδρᾷ χημικῶς ἐπὶ ὀρειχάλκου ἢ παρομοίων κραμάτων. Ἐὰν ὁμως περιέχῃ καὶ ὕδρατμούς ὕδατος, παράγεται ὕδροξείδιον τῆς ἀμμωνίας, ποῦ εἶναι λίαν διαβρωτικὸν διὰ τὸν χάλυβα, ὀρειχάλκον καὶ ὀλιγώτερον διὰ τὸν χάλυβα.

Πάντως διὰ πρακτικὰς ἐφαρμογὰς γίνεται παραδεκτὸν ὅτι ὁ χάλυβ

καὶ ὁ σίδηρος δὲν ἐπηρεάζονται αἰσθητῶς. Οἱ ἀτμοὶ τῆς ἀμμωνίας εἶναι πολὺ ἐλαφροὶ καὶ διαφεύγουν εὐκόλως ἀπὸ μὴ στεγανὰς ἐνώσεις, διὰ τοῦτο ἰδιαιτέρα προσοχὴ πρέπει νὰ δίδεται εἰς τοὺς συνδέσμους τῶν διαφόρων σωληνώσεων.

Δεδομένου ὅτι ἡ ἀμμωνία ἔχει δυσάρεστον καὶ δριμεῖαν ὁσμὴν, ἡ ἐλαχίστη διαρροὴ γίνεται ἀντιληπτὴ, ἀλλὰ ὁ ἐντοπισμὸς τῆς δὲν εἶναι εὐκόλος. Πάντοτε πρέπει νὰ ὑπάρχῃ διαθέσιμον ὕδωρ μὲ κατάλληλον σωλῆνα, ὥστε νὰ ρίπτεται ὕδωρ καὶ νὰ ἀπορροφῇται ἡ ἀμμωνία, ὅταν ἐντοπισθῇ σημαντική διαρροή.

Ἡ ἀμμωνία ἔχει εἰς τοὺς 5°F εἰδικὸν ὄγκον $8,150\text{ft}^3/\text{lb}$, πίεσιν $34,27\text{lb}/\text{in}^2$ ἀπολ. καὶ λαμβάνουσιν θερμότητα $595\text{ BTU}/\text{lb}$.

Ἡ κριτικὴ πίεσις τῆς εἶναι $1651\text{ lb}/\text{in}^2$, ἡ κριτικὴ θερμοκρασία τῆς εἶναι $+266^{\circ}\text{F}$ καὶ ἡ θερμοκρασία βρασμοῦ εἰς ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν -28°F . Εἰς τὸν Πίνακα 13 τοῦ Παρατήματος δίδονται τὰ χαρακτηριστικὰ τῆς ἀμμωνίας εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ.

Freon 12.

Εἰς ἀπὸ τοὺς πλέον ἐν χρήσει συγχρόνους ψυκτικοὺς φορεῖς εἰς οἰκιακὰ ψυγεῖα, βιομηχανικὰς ἐγκαταστάσεις ψύξεως, κλιματισμοῦ καὶ ἰδίως εἰς ψυκτικὰς ἐγκαταστάσεις πλοίων εἶναι τὸ Freon 12. Τὸ χημικὸν ὄνομα εἶναι διχλωροδιφθορομεθάνιον (CCl_2F_2), ἔχει δὲ διαφόρους βιομηχανικὰς ὀνομασίας μὲ ἐπικρατεστέραν τὸ Freon 12.

Εἶναι ἀχρουν, σχεδὸν ἄοσμον, δὲν εἶναι δηλητηριῶδες, οὔτε εὐφλεκτον, δὲν εἶναι διαβρωτικὸν καὶ θεωρεῖται ὡς ὁ *καλύτερος* ψυκτικὸς φορεὺς ἰδίως δι' ἐγκαταστάσεις, ὅπου τὸ προσωπικὸν δὲν εἶναι πολὺ εἰδικευμένον.

Εἰς ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν τὸ F12 ἔχει θερμοκρασίαν βρασμοῦ $-21,6^{\circ}\text{F}$, εἰς τοὺς 5°F ἔχει λαμβάνουσιν θερμότητα ἀτμοποιήσεως $69,5\text{ BTU}/\text{lb}$, πίεσιν $26,5\text{ lb}/\text{in}^2$ ἀπολ. καὶ εἰδικὸν ὄγκον $1,485\text{ ft}^3/\text{lb}$. Ἡ κριτικὴ πίεσις εἶναι $582\text{ lb}/\text{in}^2$ καὶ ἡ κριτικὴ θερμοκρασία του $232,6^{\circ}\text{F}$. Εἰς τὸν Πίνακα 14 τοῦ Παρατήματος δίδονται τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ Freon 12 εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ.

Freon 22.

Τοῦτο ἀνήκει εἰς τὴν αὐτὴν κατηγορίαν ψυκτικῶν φορέων μὲ τὸ Freon 12 ἔχει ὅλα τὰ πλεονεκτήματά του, ἀλλὰ διαφέρει εἰς ὠρισμένα χαρακτηριστικά.

Τὸ χημικὸν ὄνομά του εἶναι μονοχλωριοδιφθορομεθάνιον (CHClF_2).

Εἰς ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν τὸ F 22 ἔχει σημεῖον βρασμοῦ $-41,4^{\circ}\text{F}$. Οὕτως, ἐὰν εἰς μίαν ἐγκατάστασιν ψύξεως ἀπαιτῆται θερμοκρασία -40°F , τὸ F 22 πλεονεκτεῖ ἐναντι τοῦ F 12, διότι τὸ σύστημα θὰ λειτουργῇ εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν μὲ ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν, ἐνῶ μὲ τοὺς αὐτοὺς ὅρους τὸ F 12 εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν θὰ λειτουργῇ μὲ πίεσιν πολλὴν κάτω τῆς ἀτμοσφαιρικῆς (ἐν κενῷ). Ἐὰν ὑπάρχῃ διαρροὴ εἰς τὴν χαμηλὴν πίεσιν, τότε ὁ ἀήρ τοῦ περιβάλλοντος καὶ ἡ ὑγρασία θὰ εἰσέλθῃ ἐντὸς τοῦ συστήματος ποὺ λειτουργεῖ μὲ F 12, ἐνῶ τοῦτο δὲν θὰ συμβῇ μὲ τὸ F 22.

Ἐπομένως, μολονότι ἀκριβότερον προτιμᾶται εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν τὸ F 22 ἀπὸ τὸ F 12.

Τὰ ἄλλα χαρακτηριστικά τοῦ F 22 εἶναι :

Εἰς τοὺς 5°F ἔχει εἰδικὸν ὄγκον : $1,246 \text{ ft}^3/\text{lb}$, πίεσιν $43 \cdot \text{lb}/\text{in}^2$ καὶ λανθάνουσα θερμότητα $93,5 \text{ BTU}/\text{lb}$.

Συγκρίνοντας τὴν ἀμμωνίαν, τὰ F 12 καὶ F 22 ἀπὸ πλευρᾶς εἰδικοῦ ὄγκου εἰς τοὺς 5°F, βλέπομεν ὅτι ὁ ὄγκος συμπιεστοῦ διὰ τὸ αὐτὸ βάρος κυκλοφορίας ψυκτικοῦ φορέως εἶναι πολὺ μεγαλύτερος μὲ ἀμμωνίαν, ἐνῶ ὁ μικρότερος ὄγκος συμπιεστοῦ εἶναι μὲ F 22. Εἰς τὸν Πίνακα 15 τοῦ Παραρτήματος ἐμφαίνονται τὰ χαρακτηριστικά τεσσάρων ἐκ τῶν πλέον ἐν χρήσει ψυκτικῶν φορέων τῆς ομάδος Freon.

Ἐκ τούτων τὸ F 12 εἶναι τὸ πλέον ἐν χρήσει, ἐνῶ τὸ F 22 χρησιμοποιεῖται, ὅταν ἀπαιτοῦνται πολὺ χαμηλαὶ θερμοκρασίαι καὶ θάλαμοι ταχείας καταψύξεως. Τὸ F 11 εἶναι Freon χαμηλῆς πίεσεως καὶ χρησιμοποιεῖται εἰς μεγάλας μονάδας κλιματισμοῦ, ποὺ χρησιμοποιοῦν κεντρόφυγας συμπιεστάς. Τὸ Freon 113 εἶναι πολὺ χαμηλῆς πίεσεως καὶ χρησιμοποιεῖται μὲ κεντρόφυγας συμπιεστάς εἰς ἐγκαταστάσεις κλιματισμοῦ μεγάλης ἱκανότητος εἰς ψυκτικούς τόνους.

16·8 Λανθάνουσα θερμότης καὶ ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα.

Εἶναι φανερόν ὅτι ὅσον μεγαλύτεραν λανθάνουσαν θερμότητα ἀτμοποίησεως (λ) εἰς τὴν χαμηλὴν θερμοκρασίαν ἔχει εἷς ψυκτικὸς φορεὺς, τόσον μεγαλύτερον ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα (ΨA) θὰ δίδῃ.

Δὲν μετατρέπεται ὅμως ὁλόκληρος ἡ λανθάνουσα θερμότης εἰς ΨA . Ἐν μέρος αὐτῆς ἀπορροφεῖται κατὰ τὴν δίοδον τοῦ ὑγροῦ ψυκτικοῦ φορέως μέσω τῆς ἐκτονωτικῆς βαλβίδος. Ἡ λανθάνουσα αὐτῇ θερμότης ἀπορροφεῖται ἀπὸ τὸ ἴδιον τὸ ὑγρὸν. Μέρος δηλαδὴ τῆς αἰσθητῆς θερμότητος τοῦ ὑγροῦ μεταβάλλεται εἰς λανθάνουσαν ἀτμοποίησεως, ἐνῶ ἡ ὀλικὴ θερμότης παραμένει σταθερά, διότι τὸ ὑγρὸν ὑφίσταται στραγγαλισμόν. Ἀποτέλεσμα τούτου εἶναι ἡ αὔξηση τοῦ βαθμοῦ ξηρότητος τοῦ φορέως ἀπὸ $\chi = 0$ (ὑγρὸν εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ) εἰς περίπου $\chi = 0,2$ καὶ ἡ πτώσις τῆς θερμοκρασίας του εἰς ἐκείνην τῆς χαμηλῆς πίεσεως.

Ὡς πολὺ ὑγρὸς ἀτμός μὲ περίπου $\chi = 0,2$ εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐξατμιστήν, ἀπορροφεῖ τὰ ὑπόλοιπα $0,8$ τῆς λανθανούσης θερμότητος, ἀτμοποιεῖται πλήρως καὶ τέλος ὑφίσταται μικρὰν ὑπερθέρμανσιν.

Ἐπομένως $\Psi A = 0,8 \cdot \lambda + \text{θερμότης ὑπερθερμάνσεως}$.

Ἡ θερμότης ὑπερθερμάνσεως εἶναι πολὺ μικρά καὶ ἐλάχιστον ρόλον παίζει εἰς τὸ ΨA . Ἐκεῖνο ποὺ ἐνδιαφέρει εἶναι ἡ λανθάνουσα θερμότης.

Π.χ. εις μίαν ἐγκατάστασιν κλιματισμοῦ με F12, χαμηλὴν πίεσιν 37 lb/in² ἀπολ. καὶ ὑπερθέρμανσιν 10°F, τὸ ΨΑ εὐρίσκεται ὅτι εἶναι 61,29 BTU/lb. Ἐκ τούτων αἱ 60 BTU ὀφείλονται εἰς τὴν λανθάνουσαν θερμότητα καὶ μόνον αἱ 1,29 BTU/lb ὀφείλονται εἰς τὴν θερμότητα ὑπερθερμάνσεως.

Παράδειγμα.

Εἰς ψυκτικὴν ἐγκατάστασιν με ἀμμωνίαν ἡ θερμοκρασία τῆς ὑγρᾶς ἀμμωνίας εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ πρὸ τοῦ ἐκτονωτοῦ εἶναι 76°F, μετὰ τὸν ἐκτονωτὴν ἡ θερμοκρασία πίπτει εἰς τοὺς 10°F καὶ ἐν συνεχείᾳ ἡ ἀμμωνία εἰς κατάστασιν πολὺ ὑγροῦ ἀτμοῦ εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐξατμιστὴν, ἀπὸ τὸν ὁποῖον καὶ ἐξέρχεται εἰς κατάστασιν ξηροῦ ὕδατος.

Ζητεῖται.: α) Ἡ λανθάνουσα θερμότης ἀτμοποιήσεως καὶ τὸ ΨΑ. β) Ὁ βαθμὸς ξηρότητος τῆς ἀμμωνίας, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐξατμιστὴν.

Λύσις :

α) Ἀπὸ τὸν Πίνακα 13 τοῦ Παραρτήματος παρατηροῦμεν ὅτι εἰς θερμοκρασίαν 76°F ἡ πίεσις εἶναι 128,3 lb/in² θλιβ. καὶ ἡ θερμότης τῆς ὑγρᾶς ἀμμωνίας $\rho = 127,4$ BTU/lb. Μετὰ τὸν στραγγαλισμὸν μέσω τῆς ἐκτονωτικῆς βαλβίδος καὶ πτώσιν τῆς θερμοκρασίας εἰς 10°F ἡ πίεσις εἶναι 23,8 lb/in² θλιβ. Εἰς τὴν πίεσιν αὐτὴν εὐρίσκεται ἀπὸ τοὺς πίνακας ὅτι ἡ λανθάνουσα θερμότης ἀτμοποιήσεως εἶναι : $\lambda = 561,1$ BTU/lb.

Διὰ νὰ εὕρωμεν τὸ ΨΑ σκεπτόμεθα ὡς ἑξῆς :

Ἡ θερμότης τῆς ὑγρᾶς ἀμμωνίας εἰς $t = 10^\circ\text{F}$ εἶναι $\rho = 53,8$ BTU/lb (ἀπὸ τοὺς πίνακας) ἐνῶ, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐξατμιστὴν, ἡ ὅλική θερμότης τῆς ἀμμωνίας πρέπει νὰ εἶναι ἡ αὐτὴ μετὰ τὴν πρὸ τοῦ στραγγαλισμοῦ, ἥτοι 127,4 BTU/lb.

Τοῦτο σημαίνει ὅτι $127,4 - 53,8 = 73,6$ BTU/lb λανθανούσης θερμότητος ἀπερροφήθη ἐντὸς τοῦ ἐκτονωτοῦ ἀπὸ τὸ ἴδιον τὸ ὑγρὸν (με ἀποτέλεσμα τὴν ψύξιν του), χωρὶς αὐτὴ νὰ δίδῃ ΨΑ.

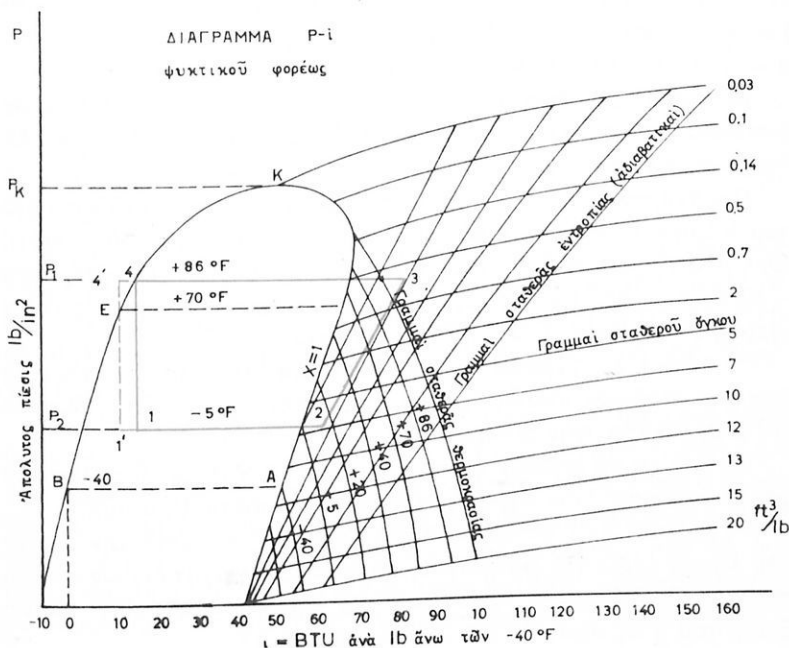
Ἐπομένως $\Psi\text{A} = 561,1 - 73,6 = 487,5$ BTU/lb.

β) Ὁ βαθμὸς ξηρότητος τῆς ἀμμωνίας, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐξατμιστὴν, θὰ εἶναι : $\chi = \frac{73,6}{561,1} = 0,133$. Δηλαδή εἰς τὸν ἐξατμιστὴν ἡ ἀμμωνία εἰσέρχεται σχεδὸν εἰς ὑγρὰν κατάστασιν (ἀλλὰ με $t = 10^\circ\text{F}$).

16.9 Διάγραμμα πίεσεως - ὀλικῆς θερμότητος ἢ ἐνθαλπίας (P - i) ψυκτικῶν φορέων. Κύκλος λειτουργίας (Ὑπερθέρμανσις καὶ Ὑπόψυξις).

Προκειμένου περὶ θερμικῶν ὑπολογισμῶν ψυκτικῶν ἐγκαταστάσεων διὰ συμπίεσεως ἀτμοῦ, ἐξυπηρετεῖ περισσότερο τὸ διάγραμμα πίεσεως-ἐνθαλπίας τοῦ ἀτμοῦ, ὁ ὁποῖος χρησιμοποιοῦται ὡς ψυκτικὸς φορεὺς εἰς τὴν ἐγκατάστασιν, ὅπως τὸ διάγραμμα Mollier (i - S)

ἐξυπηρετεῖ τοὺς θερμικοὺς ὑπολογισμοὺς τῶν κινητηρίων ἀτμομηχανῶν. Εἰς τὸ σχῆμα 16·9 παρίσταται σχεδιάγραμμα ἑνὸς διαγράμματος $P-i$, ὡς τοῦτο διαγράφεται δι' ὅλους τοὺς ψυκτικοὺς φορεῖς. Λεπτομερὲς διάγραμμα $P-i$ δι' ὑπολογισμοὺς εἰδικῶς διὰ Freon 12 εὐρίσκεται εἰς τὸ Παράρτημα.



Σχ. 16·9

Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα, ὁ κάθετος ἄξων παριστᾷ ἀπολύτους πιέσεις εἰς lb/in^2 καὶ ὁ ὀριζόντιος ἄξων τὴν ἐνθαλπίαν i τοῦ ψυκτικοῦ φορέως εἰς BTU/lb ἄνω τῶν -40°F .

Ἡ ὀριακὴ γραμμὴ εἰς τὸ ἀριστερὸν σκέλος παριστᾷ ὑγροποιημένον ψυκτικὸν φορέα εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ καὶ εἰς τὸ δεξιὸν τὸν ψυκτικὸν φορέα ὡς ἀτμὸν ξηρόν. Αἱ γραμμαὶ σταθερᾶς ἐντροπίας (ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ) εἶναι ἐλαφραὶ καμπύλαι καὶ σχηματίζουν ὀξείαν γωνίαν μετὰ τὸν ὀριζόντιον ἄξονα.

Αἱ γραμμαὶ σταθεροῦ ὄγκου εἶναι γραμμαὶ σχεδὸν ὀριζόντιαι μετὰ ἐλαφρὰν καμπύλωσιν.

Αί γραμμαὶ σταθερᾶς θερμοκρασίας εἶναι καμπύλαι, αἱ ὁποῖαι σταματοῦν ἐπὶ τοῦ σκέλους τῆς ὀριακῆς γραμμῆς $\chi = 1$ καὶ εἶναι σχεδὸν κάθετοι ἐπὶ τοῦ ὀριζοντίου ἄξονος.

Δεδομένου ὅτι ξηρὸς ἀτμὸς καὶ ὑγρὸν (εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ) τῆς αὐτῆς πίεσεως ἔχουν τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν, ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ ἐπὶ τῆς ὀριακῆς γραμμῆς $\chi = 0$ εὐρίσκεται, ἐὰν ἀπὸ τὸ ἐπιθυμητὸν σημεῖον φέρωμεν ὀριζοντίαν γραμμὴν μέχρι τοῦ σκέλους $\chi = 1$, ἐπὶ τοῦ ὁποίου καὶ ἀναγινώσκομεν τὴν θερμοκρασίαν.

Βλέπομεν εἰς τὸ διάγραμμα ὅτι εἰς τὸ σημεῖον Α ἔχομεν κατάστασιν ψυκτικοῦ φορέως ξηρὸς ἀτμὸς $t = -40^{\circ}\text{F}$ καὶ ἔναντι, εἰς τὸ σημεῖον Β, ἔχομεν ὑγρὸν ψυκτικὸν φορέα μὲ ἐπίσης : $t = -40^{\circ}\text{F}$.

Παρατηροῦμεν ὅτι, ἐὰν ἀπὸ τὸ σημεῖον Β φέρωμεν κάθετον ἐπὶ τοῦ ὀριζοντίου ἄξονος, διαβάζομεν ἐνθαλπίαν μηδὲν καὶ τοῦτο, διότι, ὡς προανεφέρθη, ἡ θερμότης τῶν ψυκτικῶν φορέων μετρεῖται ἀπὸ -40°F (ἢ -40°C) καὶ ἄνω, ὅπως ἀντιστοίχως διὰ τὸν ὑδρατμὸν μετρεῖται ἀπὸ τοὺς 32°F (ἢ 0°C) καὶ ἄνω.

Ὁ κύκλος λειτουργίας ψύξεως διὰ συμπίεσεως ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀλλαγὰς καταστάσεως, ἓνα στραγγαλισμὸν καὶ μίαν ἀδιαβατικὴν συμπίεσιν.

Οὕτως, εἰς τὸ σημεῖον 4 τοῦ σχήματος 16·9 ἔχομεν ἓνα ψυκτικὸν φορέα εἰς κατάστασιν ὑγροῦ μὲ $t = 86^{\circ}\text{F}$ καὶ πίεσιν P_1 ὑψηλὴν.

Ἡ κάθετος 4-1 (σταθερὰ ὀλικὴ θερμότης) παριστᾷ τὴν δίοδον τοῦ ὑγροῦ μέσω τῆς ἐκτονωτικῆς βαλβίδος, στραγγαλισμὸν αὐτοῦ, πτώσιν τῆς πίεσεως εἰς P_2 , πτώσιν τῆς θερμοκρασίας εἰς 5°F καὶ αὔξησιν τοῦ χ εἰς περίπου $\chi = 0,2$ (εἰς σημεῖον 1).

Εἰς τὸ σημεῖον 1 ὁ πολὺ ὑγρὸς ἀτμὸς εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ ἐξατμιστοῦ, ἀπορροφεῖ λαυθάνουσαν θερμότητα (ὑπὸ P καὶ t σταθερά), γίνεται ξηρὸς ἀτμὸς καὶ ἐξακολουθεῖ ἡ κυκλοφορία ἐντὸς τοῦ θαλάμου, ἕως ὅτου ὁ ἀτμὸς καταστῇ ἐλαφρῶς ὑπέρθερμος (σημεῖον 2). Εἰς τὸ σημεῖον 2, ὡς φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα, ἡ θερμοκρασία εἶναι περὶ τοὺς 15°F , ἄρα ὁ ψυκτικὸς φορεὺς ὑπερεθερμάνθη κατὰ 10°F .

Τὸν σκοπὸν τῆς ὑπερθερμάνσεως τὸν ἐξηγήσαμεν καὶ εἰς προηγουμένην παράγραφον καὶ τὸν ἐπαναλαμβάνομεν: Μολονότι ἡ ὑπερθερμανσις οὐδὲν ἢ ἐλάχιστον κέρδος δίδει ἀπὸ πλευρᾶς ΨΑ, εἶναι ἀπαραίτητος, διότι δι' αὐτῆς ἐξασφαλίζεται ἡ ἀσφαλὴς λειτουργία τῆς ἐγκαταστάσεως εἰς ὅτι ἀφορᾷ εἰς τὴν εἴσοδον ὑγροῦ ἐντὸς τοῦ συμπίεστοῦ. Ἐὰν ἡ συμπίεσις ἤρχιζεν ἀπὸ τὴν ὑγρὰν περιοχὴν, οὐδεὶς

ἔλεγχος θὰ ὑπῆρχεν ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὸν βαθμὸν ξηρότητος τοῦ ψυκτικοῦ φορέως, ποὺ θὰ εἰσῆρχετο εἰς τὸν συμπίεστήν καὶ θὰ ὑφίστατο πιθανότης σοβαρῶν βλαβῶν μέχρι καὶ θραύσεως τοῦ συμπίεστοῦ, ἐὰν εἰσῆρχετο πολὺ ὑγρὸν ἐντὸς αὐτοῦ.

Κατὰ τὴν 2 ἕως 3 ὁ ψυκτικὸς φορεὺς ὡς ἀέριον πλεόν συμπιέζεται ἀδιαβατικῶς καὶ ἡ πίεσις του φθάνει τὴν ἀρχικὴν P_1 . Ἀπὸ τὸ σημεῖον 3 ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ὁ ψυκτικὸς φορεὺς εἰσέρχεται εἰς τὸν συμπυκνωτήν, ἀποβάλλει πρῶτον τὴν θερμότητα ὑπερθερμάνσεως, ἐν συνεχείᾳ τὴν λανθάνουσαν συμπυκνώσεως ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν P_1 καὶ $t = 86^\circ\text{F}$ (σχ. 16·9) καὶ ὑγροποιεῖται εἰς τὸ σημεῖον 4, ὁπότε ὁ κύκλος ἐπαναλαμβάνεται.

Υπόψυξις.

Εἰς τὸ σημεῖον 4 ὁ ψυκτικὸς φορεὺς εἶναι εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ, δηλαδὴ ἔχει θερμοκρασίαν βρασμοῦ ἀντίστοιχον μὲ τὴν πίεσιν του καὶ οὕτως εἰς τὴν κατάστασιν αὐτὴν, μόλις εἰσέλθῃ εἰς τὴν ἐκτονωτικὴν βαλβίδα καὶ ἐντὸς αὐτῆς, ὑφίσταται μερικὴν ἐξάτμισιν καὶ πτώσιν τῆς θερμοκρασίας του.

Ἐὰν ὁμως εἰς μίαν ἐγκατάστασιν ἡ ἀπόστασις μεταξὺ συλλέκτου ὑγροῦ καὶ ἐκτονωτικῆς βαλβίδος εἶναι τόση, ὥστε λόγω τριβῶν κ.λπ. νὰ ἐπέρχεται πτώσις πιέσεως τοῦ ὑγροῦ ἐντὸς τοῦ σωλῆνος, ὁ ὁποῖος ὁδηγεῖ εἰς τὴν ἐκτονωτικὴν βαλβίδα, τότε ὑπάρχει κίνδυνος ἡ μερικὴ ἐξάτμισις τοῦ ὑγροῦ νὰ ἀρχίσῃ ἐντὸς τοῦ σωλῆνος, ἐνῶ δὲν ἔχει ἀκόμη φθάσῃ τοῦτο εἰς τὴν ἐκτονωτικὴν βαλβίδα. Τοῦτο εἶναι σοβαρὰ ἀνωμαλία καὶ ἀπώλεια τῆς ἐγκαταστάσεως καὶ ἀντιμετωπίζεται μὲ *υπόψυξιν*.

Μὲ τὴν υπόψυξιν ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ ἐντὸς τοῦ συλλέκτου κατέρχεται εἰς τὴν θερμοκρασίαν ἐκείνην, ἡ ὁποία εἶναι ἀντίστοιχος τῆς πιέσεως, ποὺ θὰ ἔχῃ τὸ ὑγρὸν, μόλις εἶναι ἕτοιμον νὰ εἰσέλθῃ εἰς τὴν ἐκτονωτικὴν βαλβίδα. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον ἀποφεύγεται ἡ μερικὴ ἀτμοποίησης ἐντὸς τοῦ σωλῆνος.

Εἰς τὸ σχῆμα 16·9 τὸ σημεῖον 4' παριστᾷ ὑγρὸν θερμοκρασίας 70°F , ἥτοι ἐγένετο υπόψυξις $86 - 70 = 16^\circ\text{F}$.

Τὸ σημεῖον Ε παριστᾷ τὸ ὑγρὸν εἰς κατάστασιν κορεσμοῦ, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὴν ἐκτονωτικὴν βαλβίδα, ὁπότε ὁ στραγγαλισμὸς ἐντὸς αὐτῆς γίνεται κατὰ τὴν Ε - 1'.

Ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα.

Ἡ διαφορὰ τῆς ὀλικῆς θερμότητος εἰς τὸ (2) καὶ ἐκείνης τοῦ σημείου (1) μᾶς δίδει τὸ ΨA , ἥτοι $\Psi A = i_2 - i_1$ εἰς BTU /lb· αἱ τιμαὶ τῶν i λαμβάνονται ἀπ' εὐθείας ἐπὶ τοῦ ὀριζοντίου ἄξονος. Παρατηροῦμεν ὅτι μία μικρὰ ὑπόψυξις βελτιώνει τὸ ΨA .

Ἀπαιτούμενον ἔργον.

Ἡ διαφορὰ τῆς ὀλικῆς θερμότητος εἰς τὸ τέλος τῆς συμπίεσεως καὶ τῆς ὀλικῆς θερμότητος εἰς τὴν ἔναρξιν αὐτῆς μᾶς δίδει τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον συμπίεστοῦ, ἥτοι :

$$\frac{W}{J} = i_3 - i_2 \quad \text{εἰς BTU /lb} \quad (251)$$

Συντελεστὴς λειτουργίας.

$$\text{Εἶναι ὁ λόγος } \Sigma \Lambda = \frac{\Psi A}{\text{ἀπαιτούμενον ἔργον}} = \frac{i_2 - i_1}{i_3 - i_2} \quad (252)$$

Ἀποβαλλομένη θερμότης.

Εἶναι ἡ διαφορὰ $i_3 - i_4$ ἢ $i_3 - i'_4$ εἰς BTU /lb ψυκτικοῦ φορέως.

16·10 Τυπικὸς κύκλος Freon 12.

Ἡ ἱκανότης ἑνὸς ψυκτικοῦ κύκλου ἀνεξαρτήτως τῶν ψυκτικῶν φορέων, ποὺ χρησιμοποιεῖ, καὶ διὰ λόγους συγκρίσεως μετρεῖται εἰς *τυπικοὺς (Standard) ψυκτικοὺς τόννους*. Ἡ τιμὴ τοῦ τυπικοῦ ψυκτικοῦ τόννου εἶναι ὥς καθωρίσθη εἰς τὴν παράγραφον 16·3, δηλαδή 12000 BTU/h ἢ 200 BTU/min, μετὰ τὴν διαφορὰν ὅτι ὁ τυπικὸς ψυκτικὸς τόννος λαμβάνεται μετὰ βᾶσιν ὅτι ἡ χαμηλὴ θερμοκρασία τῆς ἐξατμίσεως τοῦ ψυκτικοῦ φορέως εἶναι 5°F καὶ ἡ ὑψηλὴ θερμοκρασία συμπακνώσεως τοῦ ψυκτικοῦ φορέως 86°F. Ἐφ' ὅσον κατὰ τὴν λειτουργίαν ἀλλάξουν αἱ τιμαὶ τῶν θερμοκρασιῶν αὐτῶν, μεταβάλλεται καὶ ἡ ἱκανότης τῆς ἐγκαταστάσεως.

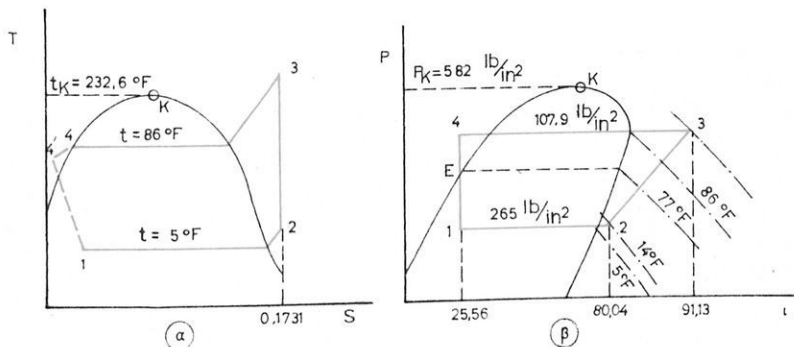
Ὁ ψυκτικὸς κύκλος, ποὺ ἐργάζεται μετὰ τὰς αὐτὰς θερμοκρασίας 5°F καὶ 86°F, ὀνομάζεται *τυπικὸς κύκλος (Standard) λειτουργίας*.

Εἰς τὸ σχῆμα 16·10α φαίνονται ὁ τυπικὸς κύκλος λειτουργίας μετὰ Freon 12 εἰς ἄξονας T-S καὶ P-i.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα βλέπομεν ὅτι ὁ τυπικὸς κύκλος τοῦ Freon 12 χαράσσεται μετὰ θερμοκρασίαν ἐξατμίσεως 5°F, εἰς τὴν ὁποίαν ἀντιστοι-

χει πίεσις $26,5 \text{ lb/in}^2$ ἀπολ., καὶ θερμοκρασία συμπυκνώσεως 86°F , εἰς τὴν ὁποίαν ἀντιστοιχεῖ πίεσις $107,9 \text{ lb/in}^2$ ἀπολ.

Ἐπίσης μὲ βάσιν τὰς θερμοκρασίας αὐτὰς δυνάμεθα νὰ ἔχωμεν καὶ ὑπερθέρμανσιν καὶ ὑπόψυξιν.



Σχ. 16·10α.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 16·10α παρατηροῦμεν ὅτι εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἔχομεν ὑπερθέρμανσιν 9°F καὶ ὑπόψυξιν ἐπίσης 9°F . Ἐπίσης βλέπομεν ὅτι τὸ F 12 εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐξατμιστὴν μὲ $i_1 = 25,56 \text{ BTU/lb}$ καὶ ἐξέρχεται μὲ $i_2 = 80,04 \text{ BTU/lb}$.

Παράδειγμα 1ον.

Εἰς ψυκτικὴν ἐγκατάστασιν κυκλοφοροῦν 23 lb/min Freon 12. Ἡ πίεσις τοῦ ἐντὸς τοῦ ἐξατμιστοῦ εἶναι 50 lb/in^2 ἀπολ. καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ F 12 εἰς τὴν ἀναρρόφησιν τοῦ συμπιεστοῦ εἶναι 50°F . Ἡ πίεσις εἰς τὸν συμπυκνωτὴν εἶναι 120 lb/in^2 ἀπολ. καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροποιημένου F 12, ὅταν εἰσέρχεται εἰς τὴν ἐκτονωτικὴν βαλβίδα, εἶναι 86°F .

Ζητεῖται : α) Ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως εἰς $^\circ\text{F}$. β) Ἡ θερμοκρασία συμπυκνώσεως. γ) Τὸ ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα. δ) Ἡ ἰκανότης τῆς ἐγκαταστάσεως εἰς ψυκτικούς τόννους. ε) Ἡ ἀπαιτουμένη ἰσχύς εἰς HP διὰ τὴν συμπίεσιν τοῦ F 12. στ) Ὁ συντελεστὴς λειτουργίας.

Λύσις :

Ὁ κύκλος λειτουργίας τῆς ψυκτικῆς εἰς διάγραμμα P - i εἶναι ὡς φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 16·10β.

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα P - i τοῦ Freon 12 (Ἰδὲ Παράρτημα) ἔχομεν :

$$i_4 = i_1 = 27,72 \text{ BTU/lb.}$$

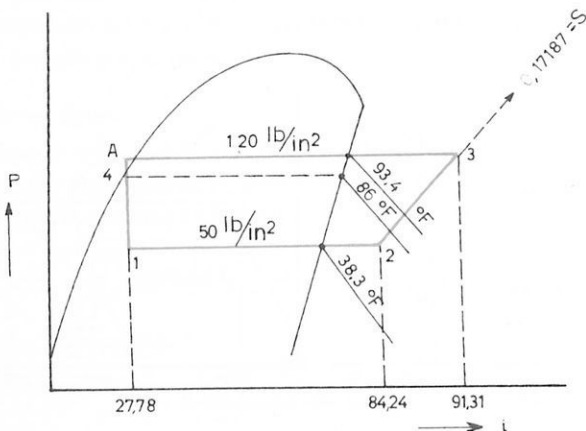
Ἐντροπία $S_2 = \text{Ἐντροπία } S_3 = 0,17187$ (2 ἕως 3 εἶναι ἀδιαβατικὴ συμπίεσις).

$$i_2 = 84,24 \text{ BTU/lb} \quad \text{καὶ} \quad i_3 = 91,31 \text{ BTU/lb.}$$

Ούτως, απαντήσεις του προβλήματος είναι :

α) Θερμοκρασία ατμοποίησης $38,3^\circ\text{F}$ (από διάγραμμα).

β) Θερμοκρασία συμπυκνώσεως $93,4^\circ\text{F}$.



Σχ. 16-10β.

Επομένως, όταν το F12 εισέρχεται εις έκτονωτικήν βαλβίδα με $t = 86^\circ\text{F}$, εύρεται εις κατάστασιν ύποψύξεως (σημείον 4).

γ) Το ψυκτικόν ἀποτέλεσμα θά είναι :

$$i_2 - i_1 = 84,24 - 27,72 = 56,52 \text{ BTU/lb κυκλοφορούντος Freon 12.}$$

δ) Ἀπὸ τοὺς ψυκτικούς θαλάμους τὸ Freon 12 ἀπορροφεῖ :

$$23 \times 56,52 = 1299,96 \text{ BTU/min. Ἀλλὰ } 1 \text{ ΨΤ} = 200 \text{ BTU/min.}$$

Επομένως ἡ ἱκανότης τῆς ἐγκαταστάσεως $= \frac{1299,96}{200} = 6,5$ ψυκτικοὶ τόννοι.

ε) Ἔργον συμπιέσεως $\frac{W}{J} = i_3 - i_2 = 91,31 - 84,24$

$$\eta \frac{W}{J} = 7,07 \text{ BTU/lb κυκλοφορούντος F 12.}$$

Ἡ ἀπαιτούμενη ἰσχύς $= 23 \times 7,07 = 162,61 \text{ BTU/min. Γνωρίζομεν ὅτι } 1 \text{ HP} = 2545 \text{ BTU/h.}$

$$\text{Επομένως ἀπαιτούμενη ἰσχύς} = \frac{162 \times 61 \times 60}{2545} = 3,83 \text{ HP.}$$

$$\begin{aligned} \text{στ) Ὁ συντελεστής λειτουργίας} &= \frac{\text{ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα}}{\text{ἀπαιτούμενον ἔργον}} = \frac{i_2 - i_1}{i_3 - i_2} = \\ &= \frac{84,24 - 27,72}{91,31 - 84,24} = 7,99. \end{aligned}$$

Παράδειγμα 2ον.

Μία ψυκτική εγκατάσταση με Freon 12 πρέπει να έχει ικανότητα 50 τόννων, όταν λειτουργεί με τον τυπικόν κύκλον, ήτοι 5°F θερμοκρασία εξατμίσεως, 86°F θερμοκρασία συμπυκνώσεως. Ἡ εγκατάσταση ἐργάζεται με 9°F ὑπερθέρμανσιν τοῦ F 12 κατὰ τὴν ἀναρρόφησίν του ἀπὸ τὸν συμπιεστήν καὶ ὑπόψυξιν 9°F μετὰ τὴν συμπύκνωσιν.

Ζητεῖται : α) Τὸ ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα. β) Τὸ βάρος τοῦ κυκλοφοροῦντος F 12 ἀνὰ λεπτόν. γ) Τὸ δαπανώμενον ἔργον BTU/lb. δ) Ὁ συντελεστὴς λειτουργίας. ε) Οἱ ἀπαιτούμενοι ἵπποι ἀνὰ ψυκτικὸν τόννον. στ) Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης εἰς συμπυκνωτὴν BTU/min. ζ) Ὁ ὄγκος διαδρομῆς τοῦ συμπιεστοῦ εἰς ft^3/min ἀνὰ ψυκτικὸν τόννον.

Λύσις :

Ἀπὸ πίνακα τοῦ F 12 ἢ τὸ διάγραμμα P - i ἔχομεν ὅτι εἰς $t = 5^{\circ}\text{F}$ ἀντιστοιχεῖ πίεσις $26,51 \text{ lb/in}^2$ ἀπολ. καὶ εἰς $t = 86^{\circ}\text{F}$ ἀντιστοιχεῖ πίεσις $107,9 \text{ lb/in}^2$ ἀπολ., ἐντροπία $S_2 = S_3 = 0,1731 \text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F}$ (ἰδὲ καὶ σχ. 16·10α). $i_1 = i_4 = 25,56 \text{ BTU/lb}$ (ἀπὸ τὸ διάγραμμα), $i_2 = 80,04$ καὶ $i_3 = 91,13 \text{ BTU/lb}$.

Οὕτως, ἀπαντήσεις τοῦ προβλήματος εἶναι :

α) Ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα :

$$\Psi\text{A} = 80,04 - 25,56 = 54,48 \text{ BTU/lb κυκλοφοροῦντος F 12.}$$

$$\text{Βάρος τοῦ F 12} = \frac{\text{θερμότης ἀπὸ F 12 ἀνὰ λεπτόν}}{\text{ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα}}.$$

Ἐπειδὴ $1 \text{ } \Psi\text{T} = 200 \text{ BTU/min}$ καὶ ἡ ικανότης τῆς εγκαταστάσεως εἶναι 50 ΨT , τότε ἡ ἀπορροφούμενη θερμότης ἀπὸ F 12 θὰ εἶναι $200 \times 50 = 10\,000 \text{ BTU/min}$.

$$\text{Ἐπομένως βάρος F 12} = \frac{10\,000}{54,48} = 183,6 \text{ lb/min.}$$

$$\gamma) \text{ Δαπανώμενον ἔργον} = i_3 - i_2 = 91,13 - 80,04 = 11,09 \text{ BTU/lb.}$$

$$\delta) \text{ Συντελεστὴς λειτουργίας : } \frac{i_2 - i_1}{i_3 - i_2} = \frac{54,48}{11,09} = 4,91.$$

Ἡ ἰσχὺς τῆς ψυκτικῆς θὰ εἶναι τὸ γινόμενον τοῦ βάρους εἰς lb τοῦ F 12 ἀνὰ λεπτόν ἐπὶ τὸ ἀπαιτούμενον ἔργον ἀνὰ lb, ἥτοι :

$$\text{ἰσχὺς} = 183,6 \times 11,09 = \text{BTU/min} \quad \eta \quad 183,6 \times 11,09 \times 60 = \text{BTU/h.}$$

Τὸ ἀνωτέρω γινόμενον θὰ εἶναι ἡ ἰσχὺς διὰ 50 ψυκτικοὺς τόννους ἢ

$$\frac{183,6 \times 11,09 \times 60}{50} = \text{BTU/h ἀνὰ ψυκτικὸν τόννον καὶ ἀφοῦ}$$

$1 \text{ HP} = 2545 \text{ BTU/h}$ θὰ εἶναι :

$$\frac{183,6 \times 11,09 \times 60}{50 \times 2545} = 0,96 \text{ HP ἀνὰ ψυκτικὸν τόννον.}$$

στ) Ἀποβαλλομένη θερμότης εἰς συμπυκνωτὴν = βάρος F 12 $\times (i_3 - i_4) = 183,6 (91,13 - 25,56) = 12\,040 \text{ BTU/min}$.

ζ) Ὁγκος διαδρομῆς = βάρος F 12 ἀνὰ λεπτόν $\times$ εἰδ. ὄγκος = ft^3/min τοῦ

συμπιεστοῦ. Ὁ εἰδικὸς ὀγκος τοῦ F 12 εἰς πίεσιν 26,5 lb/in² καὶ $t = 14^{\circ}\text{F}$ εἶναι 1,516 ft³/lb (ἀπὸ πίνακας ἢ τὸ διάγραμμα).

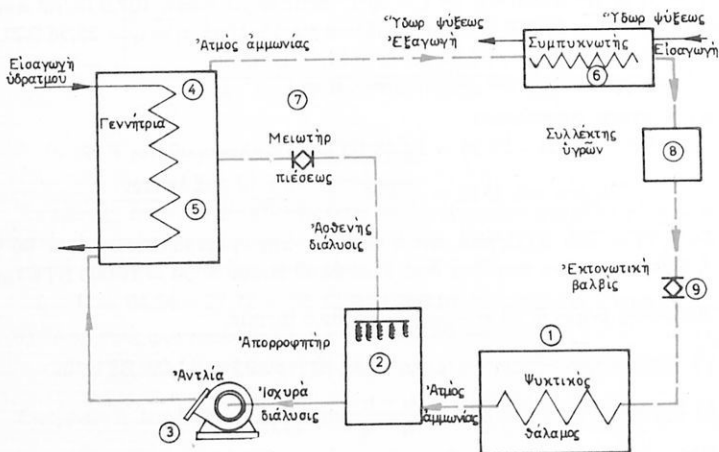
Καὶ ἐὰν θέλωμεν ὄγκον συμπιεστοῦ ἀνὰ λεπτόν, ἀνὰ ψυκτικὸν τόννον, διαιροῦμεν διὰ τῆς ἱκανότητος τῆς ψυκτικῆς εἰς ΨΤ ἤτοι :

$$\text{Ὁγκος διαδρομῆς} = \frac{183,6 \times 1,516}{50} = 5,57 \text{ ft}^3/\text{min} \text{ ἀνὰ } \Psi\text{T}.$$

16·11 Σύστημα ψύξεως δι' ἀπορροφήσεως ἀτμῶν.

Ἡ βασικὴ διαφορὰ μεταξὺ μηχανικῆς ψύξεως διὰ συμπίεσεως ἀτμῶν καὶ ἐκείνης δι' ἀπορροφήσεως εἶναι ἡ μορφή, μὲ τὴν ὁποίαν χορηγεῖται ἡ ἀπαιτουμένη ἐνέργεια διὰ τὴν ψύξιν.

Οὕτως, ἐνῶ, ὡς προανεφέρθη εἰς τὰς προηγουμένας παραγράφους, τὸ διὰ συμπίεσεως σύστημα χρησιμοποιεῖ μηχανικὸν ἔργον, τὸ δι' ἀπορροφήσεως σύστημα χρησιμοποιεῖ θερμότητα διὰ παραγωγὴν ψύξεως.



Σχ. 16·11.

Εἰς τὸ σύστημα δι' ἀπορροφήσεως ὁ ψυκτικὸς φορεὺς εἰς τὴν χαμηλὴν θερμοκρασίαν, καὶ ἀφοῦ ἐξέλθῃ ἀπὸ τὸν ἐξατμιστήν, διαλύεται ἐντὸς ἐνὸς δευτερεύοντος ἐργαζομένου ρευστοῦ, γνωστοῦ ὡς ἀπορροφητικόν. Ἐν συνεχείᾳ ἡ ὑγρὰ αὕτὴ διάλυσις καταθλίβεται μέσω ἀντλίας εἰς τὴν ὑψηλὴν πίεσιν τοῦ συμπυκνωτοῦ.

Ἐν τῷ συστήματι αὐτοῦ τοῦ εἴδους φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 16·11 καὶ χρησιμοποιοῖ ὡς πρωτεύοντα ψυκτικὸν φορέα τὴν ἀμμωνίαν καὶ ὡς ἀπορροφητικὸν τὸ ὕδωρ.

Ἡ λειτουργία γίνεται ὡς ἀκολούθως :

Ἀτμοὶ ἀμμωνίας, ὅταν ἐξέλθουν ἀπὸ τὸν ἐξατμιστήν (1), εἰσέρχονται ἐντὸς τοῦ ἀπορροφητήρος (2). Ἐντὸς τοῦ ἀπορροφητήρος ψεκάζεται

άσθενής διάλυσις ενύδρου άμμωνίας, ή όποία άπορροφεί τούς εισερχομένους άτμούς άμμωνίας και έξέρχεται έκ του άπορροφητήρος ώς Ισχυρά διάλυσις ενύδρου άμμωνίας.

Με την βοήθειαν τής αντλίας (3) ή Ισχυρά διάλυσις ενύδρου άμμωνίας αναρροφείται από τον χαμηλής πιέσεως άπορροφητήρα (2) και καταθλίβεται έντός του θαλάμου (5), ό όποίος είναι ή ύψηλής πιέσεως *γεννήτρια*.

Είς την γεννήτριαν χρησιμοποιείται σωλήνωσις με ύδρατμόν (ή και άλλη πηγή θερμότητος) διά την θέρμανσιν τής διαλύσεως.

Ή θερμοκρασία βρασμού τής διαλύσεως είναι μικροτέρα από την θερμοκρασίαν βρασμού του ύδατος και πάντως μεγαλυτέρα από τής άμμωνίας υπό την αύτην πίεσιν.

Έπομένως με την θέρμανσιν αποχωρίζεται ή άμμωνία από την διάλυσιν και από τό άνω μέρος τής γεννητριάς οδηγούνται οί άτμοί προς τον συμπυκνωτήν (6) διά συμπύκνωσιν. Ή άσθενής τώρα διάλυσις τής ενύδρου άμμωνίας μέσω του μειωτήρος πιέσεως (7) έπιστρέφει εις τον άπορροφητήρα (2).

Από τον συμπυκνωτήν ή άμμωνία συλλέγεται ως υγρόν έντός του συλλέκτου (8), έν συνεχεία διέρχεται μέσω τής έκτονωτικής βαλβίδος (9), υφίσταται στραγγαλισμόν, πτώσιν πιέσεως και θερμοκρασίας και τέλος εισέρχεται εις τον εξατμιστήν. Έντός του εξατμιστού ή άμμωνία άτμοποιείται, άπορροφεί θερμότητα από τούς ψυκτικούς θαλάμους και ούτω κλείει ό κύκλος.

Μολονότι κάποια μηχανική ενέργεια χρειάζεται διά την κίνησιν τής αντλίας, τό μέγεθος αύτης είναι πολύ μικρόν συγκρινόμενον με τό μέγεθος εκείνης, ή όποία απαιτείται εις τό σύστημα διά συμπίεσεως άτμών.

16. 12 Άσκήσεις. .

1) Μία ψυκτική έγκατάστασις έχει Ικανότητα 25 ψυκτικών τόννων. Αύτή αποβάλλει θερμότητα έντός του συμπυκνωτού 6560 BTU/min.

Ζητείται : α) Τό ποσόν τής άπορροφούμενης θερμότητος από τον ψυκτικόν φορέα εις BTU/min. β) Τό απαιτούμενον έργον εις BTU/min. γ) Ό συντελεστής λειτουργίας τής έγκαταστάσεως.

(Απ.: α) 5000 BTU/min. β) 1500 BTU/min. γ) 3,3)

2) Είς ψυκτικήν έγκατάστασιν παραγωγής πάγου κυκλοφορούν 213,5 lb Freon 12 ανά λεπτόν. Ή πίεσις εξατμίσεως είναι 30 lb/in² άπολ. και ή πίεσις συμπυκνώσεως είναι 110 lb/in² άπολ. Ή θερμοκρασία του F 12 κατά την είσοδόν του εις τον συμπιεστήν είναι 20°F και ή θερμοκρασία του κατά την είσοδον εις την έκτονωτικήν βαλβίδα 80°F.

Ή έγκατάστασις παράγει πάγον θερμοκρασίας 30°F από ύδωρ θερμοκρασίας 55°F. Με συμπίεσιν Ισοεντροπικήν νά εύρεθούν : α) Ή ένθαλπία του F 12, όταν εισέρχεται και έξέρχεται από τον εξατμιστήν και εις τό τέλος τής συμπίεσεως εις BTU/lb. β) Τό ψυκτικόν άποτέλεσμα BTU/lb. γ) Τό απαιτούμενον έργον συμπίε-

σεως BTU/lb. δ) 'Ο συντελεστής λειτουργίας. ε) 'Η απαιτούμενη ισχύς εις HP
διὰ τὴν κίνησιν τοῦ συμπιεστοῦ. στ) 'Η ἰκανότης τῆς ἐγκαταστάσεως εἰς ψυκτι-
κοὺς τόννους. η) 'Η παραγομένη ποσότης πάγου τῆς ἐγκαταστάσεως διὰ συνεχῆ
λειτουργίαν ἐπὶ 24ωρον.

(Ἀπ.: α) 26,28 – 80,73 – 91,02 BTU/lb. β) 54,45 BTU/lb. γ) 10,29 BTU/lb.
δ) 5,29. ε) 51,8 HP. στ) 58,1 ψυκτικοὶ τόννοι. ζ) 100 000 lb/24ωρον)

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 17

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣ

17.1 Εισαγωγή.

Κλιματισμός γενικῶς σημαίνει προετοιμασίαν τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος οὕτως, ὥστε νὰ διατηρῇται ἐντὸς κλειστοῦ χώρου καθαρός καὶ εἰς καθωρισμένην θερμοκρασίαν καὶ ὑγρασίαν.

Ὁ κλιματισμός περιλαμβάνει θέρμανσιν, ψύξιν, ὑγρανσιν, ξήρανσιν, κυκλοφορίαν καὶ φιλτράρισμα τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος.

Ἐντὸς ἐνὸς ἐπιβατηγοῦ πλοίου π.χ. ὁ κύριος σκοπὸς κλιματισμοῦ εἶναι νὰ δημιουργῇ συνθήκας ἀνέσεως εἰς τοὺς ἐπιβάτας καὶ τὸ πλήρωμα.

Ἐκτὸς ὁμῶς τῆς ἀνέσεως καὶ ἡ ἀπόδοσις τοῦ ἀνθρωπίνου παράγοντος ἐλαττοῦται, ὅταν ἡ θερμοκρασία καὶ ἡ ὑγρασία, ποὺ περιέχει ὁ ἀήρ, αὐξηθοῦν ἄνωθεν ὠρισμένων ὁρίων.

Ὁ κλιματισμός ἐπίσης εἶναι ἀπαραίτητος διὰ τὴν προστασίαν ὠρισμένων συσκευῶν καὶ ἰδίως ἠλεκτρικῶν καὶ ἠλεκτρονικῶν ἐξαρτημάτων.

17.2 Θεωρία τοῦ κλιματισμοῦ.

Ἡ ἀνθρωπίνη ἀνεσις ἐπηρεάζεται εἰς μέγα ποσοστὸν ἀπὸ τὸ ποσὸν τῆς ὑγρασίας, ποὺ ὑπάρχει ἐντὸς τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος. Ἡ κοινὴ ἐκφρασις δὲν εἶναι ἡ ζέστη, ἀλλὰ ἡ ὑγρασία εἶναι μία ἐνδειξις τῆς λαϊκῆς ἀναγνωρίσεως διὰ τὴν δυσφορίαν, ποὺ προκαλεῖ ὁ ὑγρὸς ἀήρ κατὰ τὰς θερμὰς ἡμέρας. Βεβαίως καὶ ὁ πολὺ ξηρὸς ἀήρ ἔχει ἀνεπιθυμήτους ἐπιδράσεις ἐπὶ τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος.

Ἄήρ κεκορεσμένος.

Ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ περιέχει μεταβαλλομένην ποσότητα ὑδρατμῶν καὶ μὲ τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας τὸ ποσὸν τῆς ὑγρασίας, ποὺ δύναται αὐτὸς νὰ ἀπορροφήσῃ, αὐξάνει. Δι' ἐκάστην τιμὴν ὁμῶς θερμοκρασίας ὑπάρχει ὠρισμένον ὄριον ποσότητος ὑγρασίας, ποὺ ὁ ἀήρ δύναται νὰ ἀπορροφήσῃ. Ὅταν ὁ ἀήρ εἰς δεδομένην θερμοκρασίαν περιέχῃ αὐτὸ τὸ μέγιστον τῆς ὑγρασίας, ὀνομάζεται κεκορεσμένος ἀήρ.

Σημεῖον Δρόσου — Ἀπόλυτος Ὑγρασία — Σχετικὴ Ὑγρασία.

Τὸ σημεῖον κορεσμοῦ τοῦ ἀέρος ὀνομάζεται σημεῖον δρόσου (παράγρ. 9.4). Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ κεκορεσμένου ἀέρος κατέλθῃ εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ σημείου δρόσου, μέρος ἀπὸ τοὺς ὑδρατμοὺς τοῦ ἀέρος συμπυκνοῦνται. Ἐξητάσαμεν ἤδη εἰς τὸ Κεφάλαιον 9 τοὺς ὅρους ἀπόλυτος ὑγρασία καὶ σχετικὴ ὑγρασία τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος (παράγρ. 9.3)· ἐπαναλαμβάνομεν ὅτι: ἀπόλυτος ὑγρασία (AY) εἶναι τὸ βάρος τῶν ὑδρατμῶν, ποὺ

περιέχεται ανά μονάδα βάρους ατμοσφαιρικού αέρος, και σχετική υγρασία (ΣΥ) είναι ο λόγος του βάρους του υδρατμού, που περιέχει ὁγκος αέρος, δια του βάρους του υδρατμού, που θα ἠδύνατο ὁ αὐτὸς ὁγκος αέρος νὰ απορροφήσῃ εἰς κορεσμὸν.

Ἡ ΣΥ ἀναφέρεται ἐπὶ τοῖς ἑκατόν, π.χ. 100%, ΣΥ σημαίνει κεκορεσμένον αέρα. Μηδὲν ΣΥ σημαίνει τελείως ξηρὸν αέρα καὶ 50% ΣΥ σημαίνει ὅτι ὁ ἀήρ εἶναι ἡμικεκορεσμένος.

Ἐπίδρασις τῆς ΣΥ.

Τὸ αἶσθημα τῆς ἀνέσεως ἢ τῆς δυσφορίας, ποὺ προκαλεῖται ἀπὸ τὴν ὑγρασίαν, εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς σχετικῆς καὶ ὄχι τῆς ἀπολύτου ὑγρασίας τοῦ αέρος.

Ἡ ὑγρασία πάντοτε μεταβαίνει ἀπὸ περιοχὰς μεγαλυτέρας πρὸς περιοχὰς μικροτέρας ὑγρασίας, ἀκριβῶς ὅπως ἡ θερμότης ρεεῖ ἀπὸ περιοχὴν ὑψηλῆς πρὸς περιοχὴν χαμηλῆς θερμοκρασίας.

Ἐὰν ὁ ἀήρ ἄνωθεν ἐνὸς ἀνοικτοῦ δοχείου μὲ ὕδωρ εἶναι κεκορεσμένος (100% ΣΥ), τότε ἐπικρατεῖ κατάστασις ἰσορροπίας καὶ τὸ ὕδωρ δὲν ἐξατμίζεται. Ἐὰν ὁ ἀήρ εἶναι μερικῶς κεκορεσμένος, τότε κάποια ἐξάτμισις τοῦ ὕδατος θὰ πραγματοποιηθῇ.

Ἐστω ὅτι ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία τοῦ αέρος εἶναι 18 g/kg ξηροῦ αέρος. Τοῦτο εἶναι τὸ πραγματικὸν βάρος τοῦ υδρατμοῦ εἰς τὸν αέρα. Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ αέρος αὐτοῦ εἶναι 25°C, τότε ἡ ΣΥ εἶναι περίπου 90% (ἰδὲ ψυχρομετρικὸν διάγραμμα εἰς Παράρτημα), δηλαδὴ ὁ ἀήρ εἶναι σχεδὸν κεκορεσμένος. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν μολονότι τὸ σῶμα δύναται νὰ ἰδρώνῃ εὐκόλως, ὁ ἰδρὼς δὲν ἐξατμίζεται ταχέως (διότι ὁ ἀήρ περιέχει ὅλην σχεδὸν τὴν ὑγρασίαν, ποὺ δύναται νὰ απορροφήσῃ), ὁπότε τὰ ἄτομα αἰσθάνονται αἶσθημα δυσφορίας.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ αέρος ἦτο 30°C, τότε ἡ ΣΥ θὰ ἦτο 64%. Εἰς τὴν περίπτωσιν δηλαδὴ αὐτὴν μολονότι ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία παραμένει σταθερά, ἡ σχετικὴ ὑγρασία εἶναι μικροτέρα εἰς τοὺς 30°C καὶ ὁ ἀήρ εἶναι ἱκανὸς νὰ απορροφήσῃ περισσοτέραν ὑγρασίαν ἀπὸ ἐκείνην τῆς θερμοκρασίας τῶν 25°C. Τὸ ἀνθρώπινον σῶμα δύναται νὰ ἐξατμίσῃ τὴν ἐπὶ πλεόν ὑγρασίαν του καὶ αἰσθάνεται ἀνετώτερα, μολονότι ὁ ἀήρ εἶναι κατὰ 5°C θερμότερος.

Ὁ ἔλεγχος ἐπομένως τῆς σχετικῆς ὑγρασίας τοῦ αέρος ἔχει μεγάλην σημασίαν διὰ τὸν κλιματισμὸν.

17.3 Θερμότης τοῦ αέρος. Ψυχρομετρικὸν διάγραμμα.

Ἡ θερμότης τοῦ αέρος διακρίνεται εἰς αἰσθητὴν, λανθάνουσαν καὶ ὀλικήν.

Ἡ αἰσθητὴ θερμότης εἶναι ἐκείνη, ποὺ μετρεῖται μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ θερμομέτρου ξηροῦ βολβοῦ (παράγρ. 9.5). Εἶναι ἡ θερμοκρασία τοῦ αέρος ἀνεξαρτήτως τῆς περιεχομένης εἰς αὐτὸν ὑγρασίας. Ἡ αἰσθητὴ δηλαδὴ θερμότης εἶναι ἡ θερμότης, ποὺ περιέχει ὁ ξηρὸς ἀήρ.

Ὁ ἀήρ πάντοτε περιέχει ποσὸν ὑγρασίας περισσώτερον ἢ ὀλιγώτερον. Περιπτώσεις τελείας ἀπουσίας ὑγρασίας ἀπὸ τὸν αέρα εἶναι σπάνιαι. Οἰαδὴ-

ποτε παρουσία ύδρατμοῦ εἰς τὸν ἀέρα περιέχει καὶ λανθάνουσιν θερμότητα, ποῦ θεωρεῖται γενικῶς ὅτι εἶναι ἡ λανθάνουσα θερμότης εἰς τὸν ἀέρα. Μῖγμα ἀέρος καὶ ύδρατμοῦ, ὅπως συνήθως εἶναι ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ, περιέχει καὶ τὴν αἰσθητὴν καὶ τὴν λανθάνουσιν θερμότητα· τὸ ἄθροισμα αὐτῶν εἶναι ἡ ὅλική θερμότης τοῦ ἀέρος (παράγρ. 9·6).

Εἰς τὸν κλιματισμὸν κατὰ τὴν ἐξέτασιν τῆς θερμότητος τοῦ ἀέρος καὶ τῶν ὄρων συμπτυκνώσεως τῆς ὑγρασίας τρεῖς διάφοροι θερμοκρασίαι παίζουν ρόλον : Ἡ θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ, ἡ θερμοκρασία ὑγροῦ βολβοῦ καὶ ἡ θερμοκρασία σημείου δρόσου.

Αἱ σχέσεις, ποῦ καθορίζουν τὰς τρεῖς αὐτὰς θερμοκρασίας, εἶναι :

α) Ὅταν ὁ ἀήρ περιέχῃ ποσότητα ὑγρασίας, ἀλλὰ δὲν εἶναι κεκορεσμένος, ἡ θερμοκρασία τοῦ σημείου δρόσου εἶναι μικροτέρα ἐκείνης τοῦ ξηροῦ βολβοῦ, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ κεῖται μεταξύ τῶν δύο.

β) Ἐφ' ὅσον ἡ ὑγρασία τοῦ ἀέρος αὐξάνει, αἱ διαφοραὶ τῶν τριῶν αὐτῶν θερμοκρασιῶν ἐλαττοῦνται.

γ) Ὅταν ὁ ἀήρ εἶναι κεκορεσμένος καὶ αἱ τρεῖς θερμοκρασίαι συμπίπτουν.

Ψυχομετρικὸν διάγραμμα.

Μὲ τὴν βοήθειαν τῶν σχέσεων, ποῦ συνδέουν τὰς θερμοκρασίας ξηροῦ βολβοῦ, ὑγροῦ βολβοῦ καὶ σημείου δρόσου, καθὼς καὶ μὲ τὴν ἀπόλυτον ὑγρασίαν, τὴν σχετικὴν ὑγρασίαν καὶ τὴν θερμότητα τοῦ ἀέρος, χαράσσεται τὸ ψυχομετρικὸν διάγραμμα (παράγρ. 9·8).

Εἰς τὸν κλιματισμὸν χρησιμοποιεῖται εὐρέως τὸ διάγραμμα αὐτὸ διὰ τοὺς διαφόρους ὑπολογισμούς.

Εἰς τὸ Παράρτημα μεταξύ τῶν ἄλλων διαγραμμάτων ὑπάρχει καὶ πληρὲς ψυχομετρικόν, ἡ χρῆσις τοῦ ὁποίου εἶναι ἀπλή.

Κατωτέρω μὲ ἀπλᾶ παραδείγματα ὑπενθυμίζομε τὴν χρῆσιν του. Μετὰ τὴν ἀνάγνωσιν τῶν παραδειγμάτων αὐτῶν συνιστάται ἡ ἐπανάληψις τοῦ παραδείγματος τῆς παραγράφου 9·8.

Παράδειγμα 1ον.

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ ἀέρος εἶναι $t_x = 70^\circ\text{F}$ καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ εἶναι $t_y = 60^\circ\text{F}$, ζητεῖται ἡ ΣΥ καὶ τὸ σημεῖον δρόσου.

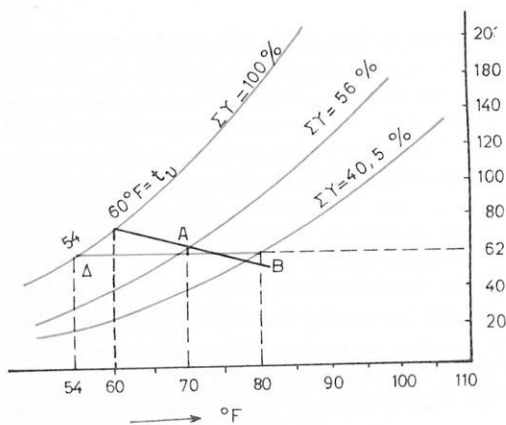
Λύσις :

Χρησιμοποιοῦντες τὸ διάγραμμα τοῦ Παραρτήματος ἔχομεν : Εἰς τὸ σημεῖον Α τομῆς τῆς $t_x = 70^\circ\text{F}$ καὶ $t_y = 60^\circ\text{F}$ ἀναγινώσκομεν ΣΥ = 56% (σχ. 17·3α).

Ἀπὸ τὸ σημεῖον αὐτὸ Α τῆς 56% ΣΥ φέρομεν ὀριζοντίαν γραμμὴν, ἕως ὅτου αὐτὴ συναντήσῃ τὴν καμπύλην σχετικῆς ὑγρασίας 100% εἰς τὸ σημεῖον Δ, εἰς τὸ ὁποῖον ἀναγινώσκομεν θερμοκρασίαν ΣΔ = 54°F .

Ἐὰν τώρα ἡ θερμοκρασία τοῦ ΣΔ πρέπει νὰ παραμείνῃ εἰς τοὺς 54°F , ἀλλὰ ἡ θερμοκρασία τοῦ ξηροῦ βολβοῦ ἔπρεπε νὰ αὐξηθῇ εἰς $t_x = 80^\circ\text{F}$, ποία θὰ ᾔτο ἡ ΣΥ;

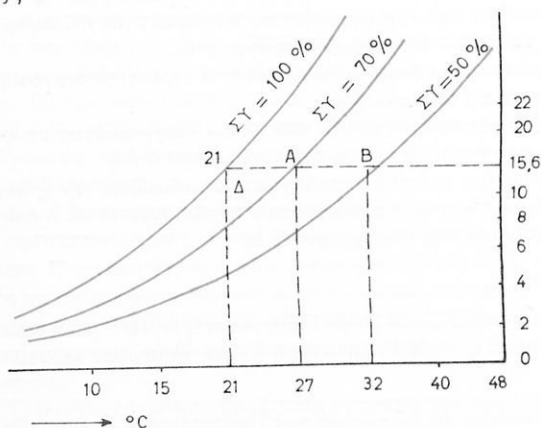
Ἀπὸ τὸ σημεῖον Δ φέρομεν ὀριζοντίαν γραμμὴν, ἕως ὅτου αὐτὴ συναντήσῃ τὴν κάθετον ἀπὸ τὴν $t_x = 80^\circ\text{F}$ εἰς τὸ σημεῖον Β. Τὸ σημεῖον αὐτὸ καθορίζει τὴν νέαν ΣΥ, ἡ ὁποία εἶναι 40,5%.



Σχ. 17·3α.

Παράδειγμα 2ον.

Ἐάν ἡ θερμοκρασία τοῦ ξηροῦ βολβοῦ $t_{\xi} = 27^{\circ}\text{C}$ καὶ τὸ $\Sigma\Delta = 21^{\circ}\text{C}$, ποία ἡ $\Sigma\Upsilon$ τοῦ ἀέρος ;



Σχ. 17·3β.

Ποία θὰ εἶναι ἡ $\Sigma\Upsilon$, ἐάν τὸ t_{ξ} αὐξηθῇ εἰς 32°C ; Ποία ἡ $\Delta\Upsilon$ τοῦ ἀέρος καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις ;

Λύσεις :

Ἡ λύσις φαίνεται εὐκόλως εἰς τὸ σχῆμα 17·3β. Παρατηροῦμεν ὅτι μὲ $\Sigma\Delta = 21^{\circ}\text{C}$ καὶ $t_{\xi} = 27^{\circ}\text{C}$ ἡ $\Sigma\Upsilon = 70\%$ (σημεῖον Α) καὶ μὲ $t_{\xi} = 32^{\circ}\text{C}$ ἡ $\Sigma\Upsilon$ κατέρχεται εἰς

52 % (σημείον Β). Ἡ ΑΥ παρέμεινεν σταθερά καὶ ἴση μὲ 15,6 g/kg ξηροῦ ἀέρος, ὅπως εὐρίσκεται ἐπὶ τοῦ καθέτου ἄξονος.

17.4 Κίνησις τοῦ ἀέρος.

Εἶναι γνωστὸν ὅτι, ἐὰν ὁ ἀήρ ἐντὸς κλειστοῦ χώρου εἶναι ἐντελῶς ἀκίνητος, ἡ ἀτμόσφαιρα τοῦ χώρου καθίσταται πνιγερὰ διὰ τοὺς εὐρισκόμενους ἐντὸς αὐτοῦ.

Ἀντιθέτως, ἀήρ, ποὺ ἀναταράσσεται, εἶναι ὑποφερτός, δὲν εἶναι πνιγερὸς ἔστω καὶ ἐὰν εἶναι θερμὸς καὶ δὲν ἀνανεώνεται.

Ἡ ἀνατάραξις τοῦ ἀέρος φέρει τρία ἀποτελέσματα, τὰ ὅποια συντελοῦν εἰς τὴν καλυτέραν ἄνεσιν : Τὸ ἓν εἶναι ἀπλοῦν αἰσθητήριον, τὸ ἄλλο ἐπιδρᾷ εἰς τὴν ὑγρασίαν καὶ τὸ τρίτον εἰς τὴν θερμοκρασίαν.

Καὶ τὰ τρία ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴν ταχύτητα κινήσεως τοῦ ἀέρος. Οὕτως :

α) Ὅταν ὁ ἀήρ ἔχῃ ἐλαφρὰν κίνησιν, ἔστω ταχύτητα ἀπὸ 7 ἕως 15m/min (20 ἕως 50 πόδες), τὰ νεῦρα ἀφῆς τοῦ δέρματος διεγείρονται καὶ παρατηρεῖται αἰσθημα μεγαλυτέρας ἀνέσεως, ἀπὸ ἐκεῖνο τοῦ ἐντελῶς ἀκινήτου ἀέρος.

β) Ἐκ τοῦ σώματος συνεχῶς ἐξατμίζεται ὑγρασία, ἔστω καὶ εἰς ποσότητα μικράν, ὥστε νὰ μὴ παρατηρητῇ ἐφίδρωσις. Ἐὰν ὁ ἀήρ εἶναι ἀκίνητος, ἡ ἐξατμιζομένη αὕτη ὑγρασία παραμένει πᾶσι τοῦ σώματος καὶ μὲ τὴν θερμότητα, ποὺ ἀποβάλλει τὸ σῶμα, μετατρέπεται εἰς θερμὸν κάλυμμα γύρω ἀπὸ αὐτό. Ἐὰν ὁ ἀήρ ἀναταράσσεται, τὰ ρεύματα μεταφορᾶς τοῦ ἀέρος παρασύρουν μακρὰ ἀπὸ τὸ σῶμα τὴν ὑγρασίαν καθὼς αὕτη ἀποδίδεται καὶ οὕτω διατηρεῖται σταθερὰ ἐξατμίσις τῆς ὑπὸ τοῦ σώματος ἀποδομένης ὑγρασίας.

γ) Τὸ ἀνθρώπινον σῶμα συνεχῶς ἀποδίδει θερμότητα εἰς τὸν πᾶσι τοῦ ἀέρα δι' ἀγωγῆς καὶ μεταφορᾶς. Ἐὰν ὁ ἀήρ εἶναι ἀκίνητος, τότε ὁ πᾶσι τοῦ σώματος ἀήρ θερμαίνεται καὶ ἡ θερμότης αὕτη δὲν μεταφέρεται μακρὰν τοῦ σώματος μὲ ρεύματα ἀέρος. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον καὶ μολονότι ἡ μέση θερμοκρασία τοῦ δωματίου εἶναι σταθερά, τὸ ἀνθρώπινον σῶμα αὐτὸ καθ' ἑαυτὸ περιβάλλεται ἀπὸ ἀέρα μεγαλυτέρας θερμοκρασίας.

17.5 Ἴσοζύγιον θερμότητος τοῦ ἀνθρώπινου σώματος.

Τὸ σῶμα παραμένει πάντοτε εἰς τὴν σταθερὰν θερμοκρασίαν τῶν 36,8° C περίπου (98,4° F). Ἐπειδὴ εἶναι βασικὸν ἡ θερμοκρασία αὕτη νὰ παραμείνῃ σταθερά, τὸ σῶμα πρέπει νὰ ἀποβάλλῃ τὴν ἐπὶ πλέον θερμότητά του εἰς τὸν ἀέρα τοῦ περιβάλλοντος.

Δεδομένου ὅτι ἡ θερμοκρασία καὶ ἡ ὑγρασία τοῦ περιβάλλοντος μεταβάλλονται, τὸ σῶμα αὐτομάτως ρυθμίζει τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ θὰ ἀποβάλλῃ.

Ἡ ἱκανότης ὁμως αὕτη, τῆς προσαρμογῆς τοῦ σώματος εἰς τὰς μεταβολὰς τοῦ περιβάλλοντος, εἶναι περιορισμένη. Ἐπὶ πλέον μολονότι τὸ σῶμα δυνατόν νὰ προσαρμόζεται εἰς ὠρισμένας ἀτμοσφαιρικὰς συνθήκας, πολλάκις τοῦτο γίνεται μὲ ἰσχυρὸν αἰσθημα δυσφορίας.

Ἀπορρόφῃσις θερμότητος ὑπὸ τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος.

Ἡ ἀπορρόφῃσις θερμότητος ὑπὸ τοῦ σώματος γίνεται δι' ἀκτινοβολίας, μεταφορᾶς καὶ δι' ἀγωγῆς καὶ εἶναι ἀποτέλεσμα φυσιολογικῶν λειτουργιῶν ἐντὸς τοῦ σώματος.

Τὸ μεγαλύτερον ποσὸν θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας τὸ σῶμα τὸ ἀπορροφεῖ ἀπὸ τὸν ἥλιον, ἀπὸ θερμάστρας καὶ ἄλλα μηχανήματα ἐν λειτουργίᾳ, θερμούς ἀτμαγωγούς σωλήνας κ.λπ.

Θερμότητα διὰ μεταφορᾶς ἀπορροφεῖ τὸ σῶμα ἀπὸ ρεύματα θερμοῦ ἀέρος μόνον.

Θερμότητα δι' ἀγωγῆς ἀπορροφεῖ τὸ σῶμα ἀπὸ ἀντικείμενα, μὲ τὰ ὁποῖα ἔρχεται εἰς ἐπαφὴν ἀπὸ καιροῦ εἰς καιρόν.

Τὸ μεγαλύτερον ποσὸν θερμότητος τοῦ σώματος εἶναι ἐκεῖνο, ποὺ παράγεται ἐντὸς τοῦ σώματος ἀπὸ τὴν καύσιν τῶν τροφῶν, ἀπὸ τριβάς, ἀσκήσεις τῶν μυῶν κ.λπ.

Ἀποβολὴ θερμότητος ἀπὸ τοῦ ἀνθρώπινου σώματος.

Ἡ ἀποβολὴ θερμότητος ἀπὸ τὸ σῶμα γίνεται μὲ δύο τρόπους: Ἀποβολὴ αἰσθητῆς θερμότητος καὶ ἀποβολὴ λανθανούσης θερμότητος.

Ἡ αἰσθητὴ θερμότης ἀποβάλλεται δι' ἀκτινοβολίας, διὰ μεταφορᾶς καὶ δι' ἀγωγῆς. Ἡ λανθάνουσα θερμότης ἀποβάλλεται δι' ἐξατμίσεως.

Τὸ σῶμα εὐρίσκεται συνήθως εἰς μεγαλυτέραν θερμοκρασίαν ἀπὸ τὰ περιβάλλοντα αὐτὸ ἀντικείμενα καὶ ἀκτινοβολεῖ θερμότητα εἰς τοὺς τοίχους τῶν δωματίων καὶ λοιπὰ ἀντικείμενα. Ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος δὲν ἐπιρρεάζει αὐτὴν τὴν ἀκτινοβολίαν, ἐκτὸς τοῦ ὅτι δυνατόν νὰ αὐξήσῃ τὴν θερμοκρασίαν τῶν ἀντικειμένων.

Ἡ ἀποβολὴ διὰ μεταφορᾶς πραγματοποιεῖται, ὅταν ἡ θερμότης ἀπὸ τὸ σῶμα μεταφέρεται ἐκτὸς αὐτοῦ διὰ ρευμάτων ἀέρος.

Ἡ ἀποβολὴ δι' ἀγωγῆς πραγματοποιεῖται μὲ ἐπαφὴν τοῦ σώματος μὲ ψυχρότερον ἀντικείμενον.

Ἡ ἀποβαλλομένη θερμότης δι' ἐξατμίσεως εἶναι ἀποτέλεσμα τοῦ ψυκτικοῦ ἀποτελέσματος, ποὺ ἔχει ἡ ἐξάτμισις τῆς ὑπὸ τοῦ σώματος παραγομένης ὑγρασίας. Ὑπὸ κανονικᾶς συνθήκας ἀέρος τὸ σῶμα ἀπελευθερώνεται ἀπὸ τὴν ἐπὶ πλέον θερμότητά του μὲ αὐτὸν τὸν τρόπον. Ἡ θερμότης ἐσωτερικῶς τοῦ σώματος εἶναι αἰσθητὴ, διὰ τῆς ἐξατμίσεως ὅμως τῆς ὑγρασίας του καθίσταται λανθάνουσα.

Ὁ βαθμὸς ἐξατμίσεως καὶ ἐπομένως ἡ ἀποβολὴ θερμότητος ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν, τὴν σχετικὴν ὑγρασίαν καὶ ταχύτητα τοῦ ἀέρος.

Ὅταν ἡ θερμοκρασία καὶ ἡ σχετικὴ ὑγρασία τοῦ ἀέρος δὲν εἶναι ὑψηλαὶ καὶ τὸ σῶμα δὲν κινῆται πολὺ, τότε τοῦτο ἀπελευθεροῦται τῆς ἐπὶ πλέον θερμότητος δι' ἀκτινοβολίας, διὰ μεταφορᾶς καὶ δι' ἀγωγῆς.

Ὅταν τὸ σῶμα ἐργάζεται ἢ ἀσκῆται, τότε ἀναπτύσσει πολὺ περισσοτέραν ἐσωτερικὴν θερμότητα καὶ ἀρχίζει ἡ ἐφίδρωσις. Ὁ ἰδρὼς ἐξατμίζεται, ὅταν ἡ ΣΥ τοῦ ἀέρος εἶναι χαμηλὴ. Ἐὰν ἡ ΣΥ τοῦ ἀέρος εἶναι ὑψηλὴ, ὁ ἰδρὼς δὲν ἐξατμίζεται ἢ ἐξατμίζεται βραδύτατα. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν

ή επί πλέον θερμότης δέν αποβάλλεται καί τὸ ἄτομον δέν αἰσθάνεται ἀνέτως.

Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀποβάλλει τὸ ἀνθρώπινον σῶμα, ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν δραστηριότητα τοῦ ἀτόμου.

Ὅταν κάθηται ἀκίνητος ἐνῆλιξ, ἀποβάλλει περίπου 95 kcal/h (ἢ 380 BTU). Ἀτομον ἐργαζόμενον εἰς πλοῖον ἀποβάλλει ἀπὸ 125 ἕως 150 kcal/h (500 ἕως 600 BTU).

Ἐρευναι ἔχουν ἀποδείξει ὅτι ἡ ἀποβολὴ θερμότητος διαιρεῖται ὡς ἀκολούθως δι' ἐλαφρὰν ἐργασίαν ἐπὶ πλοίου : 45% δι' ἀκτινοβολίας, 30% διὰ μεταφορᾶς καὶ δι' ἀγωγῆς καὶ 25% δι' ἐξατμίσεως.

Τὰ ποσοστὰ αὐτά, ἐφ' ὅσον τηροῦνται, δίδουν γενικῶς αἶσθημα ἀνέσεως εἰς τὸ ἄτομον.

Ἐὰν ὁ ἄνθρωπος ἀποβάλῃ τὸ αὐτὸ ποσὸν θερμότητος ἀλλὰ μὲ ἀναλογίας 40% δι' ἀκτινοβολίας, 50% διὰ μεταφορᾶς καὶ ἀγωγῆς καὶ 10% δι' ἐξατμίσεως, τότε δέν ἔχει τὸ αἶσθημα τῆς ἀνέσεως, αἰσθάνεται ὑγρασίαν καὶ ψύχραν. Τοῦτο εἶναι ἀποτέλεσμα ὑψηλῆς ΣΥ καὶ μεγάλης ταχύτητος τοῦ ἀέρος (φύσημα ἀπὸ ἀνεμιστήρα ἢ ρεῦμα).

Ἐὰν ἡ ἀποβολὴ τῆς θερμότητος εἶναι ἡ αὐτή, ἀλλὰ αἱ ἀναλογίαι εἶναι 30% δι' ἀκτινοβολίας, 25% διὰ μεταφορᾶς καὶ ἀγωγῆς καὶ 45% δι' ἐξατμίσεως, τότε τὸ ἄτομον αἰσθάνεται δυσφορίαν καὶ ζέστην. Τοῦτο εἶναι ἀποτέλεσμα χαμηλῆς ΣΥ καὶ ἀκίνησιος τοῦ ἀέρος.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω φαίνεται ὅτι ἐνῶ ἡ ὀλικὴ θερμότης, ποὺ ἀποβάλλει τὸ σῶμα, δυνατόν νὰ τηρῆται εἰς ἐπιθυμητὰ ὅρια, ἐν τούτοις ὑπάρχει περίπτωση νὰ προκαλῆται ζωντὸν αἶσθημα δυσφορίας εἰς τὸν ἄνθρωπον, ἀναλόγως τοῦ τρόπου ἀποβολῆς τῆς θερμότητος.

Ὁ κλιματισμὸς τοῦ ἀέρος ἐπομένως πρέπει νὰ ρυθμίζεται κατὰ τρόπον, ὥστε νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ ἀποβολὴ θερμότητος ἀπὸ τὸ σῶμα ὑπὸ κανονικὰς ἀναλογίας διὰ νὰ ὑπάρχῃ τὸ αἶσθημα τῆς ἀνέσεως.

17.6 Αἶσθημα ἀνέσεως. Ἑνεργὸς θερμοκρασία. Κλιματισμὸς κατὰ τὸν χειμῶνα. Κλιματισμὸς κατὰ τὸ θέρος.

Αἶσθημα ἀνέσεως.

Γενικῶς ἐξεταζόμενον τὸ αἶσθημα τῆς ἀνέσεως εἶναι θέμα προσωπικὸν ἐνὸς ἐκάστου ἀτόμου καὶ σπουδαῖον ρόλον παίζει ὁ ψυχολογικὸς παράγων.

Ἀτομα, ποὺ ἔχουν συνηθίσει νὰ ζοῦν εἰς πολὺ χαμηλὰς θερμοκρασίας, δέν ἔχουν τὸ αὐτὸ αἶσθημα ἀνέσεως μὲ ἄτομα, ποὺ ἔχουν συνηθίσει εἰς ὑψηλὰς θερμοκρασίας.

Ἡ εὐρεσις καὶ ὁ καθορισμὸς ἐπομένως μιᾶς ζώνης ἀνέσεως εἰς κλιματισμὸν ἔχει σκοπὸν νὰ ἱκανοποιήσῃ ὅσον τὸ δυνατόν μεγαλύτερον ἀριθμὸν ἀτόμων ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν καὶ ὀχι τὸ 100%.

Ἑνεργὸς θερμοκρασία.

Ἀπὸ τὰς προηγουμένας παραγράφους κατέστη προφανές ὅτι τρεῖς ἀλληλοεξαρτώμενοι παράγοντες παίζουν ρόλον εἰς τὴν ἀνεσιν καὶ ὑγείαν

κατά τὸν κλιματισμὸν τοῦ ἀέρος : Ἡ θερμοκρασία, ἡ ὑγρασία καὶ ἡ κίνησις τοῦ ἀέρος.

Εἰς τὴν πραγματικότητα εἰς δεδομένους συνδυασμὸς θερμοκρασίας, ὑγρασίας καὶ ταχύτητος ἀέρος δύναται νὰ προκαλέσῃ τὸ ἴδιον αἶσθημα θερμοῦ ἢ ψυχροῦ μὲ μεγαλυτέραν ἢ μικροτέραν θερμοκρασίαν, ἐὰν λάβουν ἀναλόγους τιμὰς ἡ ὑγρασία καὶ ἡ ταχύτης τοῦ ἀέρος. Ἐκεῖνο ἐπομένως ποῦ ἐνδιαφέρει, εἶναι τὸ συνδυασμένον ἀποτέλεσμα τῶν τριῶν αὐτῶν παραγόντων καὶ εἰς τὸ ὅποῖον ἀποτέλεσμα δίδεται ἡ ὀνομασία *ἐνεργὸς θερμοκρασία*. Ἡ ἐνεργὸς θερμοκρασία εἶναι ὅρος, ποῦ δὲν ἔχει σχέσιν μὲ τὰς γνωστὰς τιμὰς θερμοκρασιῶν, ὅπως π.χ. 20° C ἢ 60° F, οὔτε μετρεῖται μὲ θερμόμετρον. Εὐρίσκεται ἐπὶ ἰδικοῦ ψυχομετρικοῦ διαγράμματος, ὅταν εἶναι γνωστὴ ἡ θερμοκρασία τοῦ ξηροῦ βολβοῦ, ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ βολβοῦ καὶ ἡ ταχύτης τοῦ ἀέρος. Τὸ διάγραμμα αὐτὸ ὑπάρχει εἰς τὸ Παράρτημα, ἡ δὲ χρῆσις του εἶναι ἀπλὴ συμφώνως πρὸς τὰς ὑπαρχούσας ἐπ' αὐτοῦ ἐπεξηγήσεις.

Ἡ ἀριθμητικὴ τιμὴ τῆς ἐνεργοῦ θερμοκρασίας διὰ μίαν δεδομένην κατάστασιν ἀέρος καθορίζεται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ξηροῦ βολβοῦ τοῦ ἀέρος μὲ 100% ΣΥ καὶ μικρὰν ταχύτητα, ἡ ὅποια προκαλεῖ τὸ ἴδιον αἶσθημα θερμοῦ ἢ ψυχροῦ μὲ τὴν δεδομένην αὐτὴν κατάστασιν τοῦ ἀέρος.

Π.χ. λέγομεν ὅτι ἡ ἐνεργὸς θερμοκρασία ἔχει τιμὴν 50° F (10° C), ἐὰν ἄῃρ μὲ ὠρισμένον συνδυασμὸν θερμοκρασίας, ὑγρασίας καὶ ταχύτητος δίδῃ τὸ ἴδιον αἶσθημα θερμοῦ ἢ ψυχροῦ μὲ ἀέρα ποῦ ἔχει ΣΥ 100%, ταχύτητα 15 ἕως 20 ft/min (4,5 ἕως 7m) καὶ θερμοκρασίαν ξηροῦ βολβοῦ 50° F (10° C).

Ἐστω ὅτι ἔχομεν ταχύτητα ἀέρος 20 ft/min· τότε ἀπὸ τὸ διάγραμμα τῆς ἐνεργοῦ θερμοκρασίας (Ἰδὲ Παράρτημα) εὐρίσκεται ὅτι ἔχομεν τὸ ἴδιον αἶσθημα *θερμοῦ* μὲ τοὺς κάτωθι δύο συνδυασμοὺς θερμοκρασίας ἀέρος t_x καὶ ΣΥ :

$$t_x = 78^\circ\text{F}, \text{ ΣΥ} = 74\% \text{ (ἀντίστοιχος } t_u = 72^\circ\text{F)}$$

$$t_x = 82^\circ\text{F}, \text{ ΣΥ} = 45\% \text{ (ἀντίστοιχος } t_u = 67^\circ\text{F)}.$$

Καὶ οἱ δύο αὐτοὶ συνδυασμοὶ δίδουν τὸ ἴδιον αἶσθημα *θερμοῦ* μὲ ἀέρα $t_x = 75^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 100%, διότι ἡ ἐνεργὸς θερμοκρασία ἀπὸ τὸ διάγραμμα εὐρίσκεται ὅτι εἶναι 75° F (24° C) δι' ἀμφοτέρας τὰς περιπτώσεις.

Κατὰ τὸν ἴδιον τρόπον οἱ συνδυασμοὶ $t_x = 82^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 88% ἢ $t_x = 84^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 72% ἢ $t_x = 88^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 50% ἔχουν ἐνεργὸν θερμοκρασίαν 80° F (27° C περίπου).

Ἐστω ὅτι εἴμεθα εἰς δωμάτιον καὶ ὁ ἄῃρ ἔχει θερμοκρασίαν $t_x = 82^\circ\text{F}$, ΣΥ = 88% καὶ ταχύτητα 20 ft/min.

Δυνάμεθα νὰ αἰσθανθῶμεν κατὰ 5° F (3° C περίπου) ψυχρότερα, μεταβάλλοντες μόνον τὴν ΣΥ τοῦ ἀέρος εἰς 45%, διότι ὁ συνδυασμὸς $t_x = 82^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 45% ἔχει ἐνεργὸν θερμοκρασίαν (ΕΘ) 75° F, ὡς εἶδομεν ἀνωτέρω.

Μολονότι ὅλοι οἱ συνδυασμοὶ τῆς θερμοκρασίας, ὑγρασίας καὶ ταχύτητος τοῦ ἀέρος, ποῦ ἔχουν τὴν αὐτὴν ἐνεργὸν θερμοκρασίαν, δίδουν τὸ ἴδιον αἶσθημα θερμοῦ ἢ ψυχροῦ, δὲν δίδουν ὅλοι τὸ ἴδιον αἶσθημα ἀνέσεως.

Σχετικὴ ὑγρασία κάτω τῶν 15% προκαλεῖ *ξηράνσιν* τοῦ στόματος,

μύτης και πνευμόνων και αύξησιν του κινδύνου μόλυνσεως από μικρόβια.

Σχετική υγρασία άνω του 70% προκαλεί ὕγρανσιν τῶν ἐνδυμάτων. Διὰ καλυτέρους ὁρους ὑγιεινῆς ΣΥ ἀπὸ 40 ἕως 50% κατὰ τοὺς ψυχροὺς μῆνας καὶ 50 ἕως 60% κατὰ τοὺς θερμοὺς εἶναι ἡ πλέον κατάλληλος.

Ὑπάρχει ἐπίσης ἓνα ὄριον εἰς τὴν ἀποδεκτὴν ταχύτητα τοῦ ἀέρος. Τὸ ὄριον αὐτὸ κυμαίνεται ἀπὸ 15 ἢ 20 ἕως 100 ft/min (6 ἕως 30 m).

Γενικῶς ἐὰν ρεῦμα ἀέρος εἶναι ἀρκετὰ αἰσθητόν, τότε τοῦτο δὲν ὑποβοηθεῖ εἰς τὴν ἄνεσιν καὶ εἶναι καὶ ἐπικίνδυνον διὰ τὴν ὑγείαν.

Κλιματισμὸς κατὰ τὸν χειμῶνα.

Εἰς σύστημα κλιματισμοῦ κατὰ τὸν χειμῶνα χορηγεῖται θερμὸς ἀήρ εἰς τὰ δωμάτια ἢ τοὺς χώρους, ποὺ πρόκειται νὰ θερμανθοῦν, εἰς τοιαύτας ποσότητας, ὥστε ἡ ἐλάττωσις τῆς αἰσθητῆς θερμότητος τοῦ ἀέρος κατὰ τὴν διόδόν του μέσω τῶν χώρων νὰ καλύπτῃ τὴν ἀπώλειαν θερμότητος ἀπὸ τὰς ἐξωτερικὰς ἐπιφανείας τοῦ χώρου.

Λόγω τῶν χαμηλῶν ἐξωτερικῶν θερμοκρασιῶν κατὰ τὴν ἐποχὴν αὐτὴν ὁ ἀήρ, ὁ ὁποῖος εἰσέρχεται πρὸς ἀερισμόν, εἶναι σχετικὰ ξηρὸς καὶ χρειάζεται καὶ ὕγρανσιν ἐκτὸς τῆς θερμάνσεώς του.

Ἡ ζώνη ἀνέσεως κατὰ τὴν περίοδον τοῦ χειμῶνος εὐρίσκεται μεταξὺ περιοχῆς 63° ἕως 71°F ἐνεργοῦ θερμοκρασίας μὲ μέσση καταλληλοτέραν τιμὴν τοὺς 66°F (19°C).

Κλιματισμὸς κατὰ τὸ θέρος.

Ὁ ἀντικειμενικὸς σκοπὸς τοῦ κλιματισμοῦ κατὰ τὸ θέρος εἶναι ἡ ἐπίτευξις ἱκανοποιητικῶν ὁρίων ἀνέσεως εἰς ἐσωτερικοὺς χώρους καὶ συγχρόνως ἡ ἀποφυγὴ μεγάλης διαφορᾶς θερμοκρασίας μεταξὺ τοῦ περιβάλλοντος καὶ τῶν ἐσωτερικῶν χώρων.

Κατὰ τὸ θέρος ὁ κλιματισμὸς ἀποσκοπεῖ κυρίως εἰς τὴν ψύξιν καὶ ἀφαίρεσιν ὑγρασίας τοῦ ἀέρος ἐντὸς ἐνὸς συστήματος.

Ἡ ζώνη ἀνέσεως κατὰ τὴν περίοδον τοῦ θέρους δὲν συμπίπτει μὲ ἐκείνην τοῦ χειμῶνος· κεῖται μεταξὺ περιοχῆς 66° ἕως 75°F ἐνεργοῦ θερμοκρασίας μὲ καταλληλοτέραν τιμὴν τῶν 71°F (22°C).

Αἱ τιμαὶ αὗται καὶ διὰ τὸν χειμῶνα καὶ διὰ τὸ θέρος εἶναι ἐνδεικτικαί, ὅχι ἀπόλυτοι, διότι τὸ αἶσθημα τῆς ἀνέσεως ἐπαναλαμβάνομεν εἶναι θέμα προσωπικόν καὶ ἐξαρτᾶται καὶ αὐτὸ ἀπὸ τὸ κλίμα, εἰς τὸ ὁποῖον ἔχει συνηθίσει νὰ ζῇ τὸ άτομον.

Ὁ Πίναξ 17.6 εἶναι ἐπίσης ἐνδεικτικὸς καὶ δεικνύει τὰς θερμοκρασίας καὶ ΣΥ ποὺ συνιστῶνται εἰς κλιματισμοὺς κατὰ τὸ θέρος εἰς ἐστιατόρια, θέατρα κ.λπ.

Έπιθυμηταί θερμοκρασίαι κατά τὸ θέρος εἰς κλειστοὺς χώρους

Έπικρατοῦσαι ἐξωτερικαὶ θερμοκρασίαι		Έπιθυμηταί ἐσωτερικαὶ θερμοκρασίαι					
		t_x		t_u		ἐνεργὸς θερμοκρ.	
°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
95	35	80	27	65	18,5	73	23
90	32	78	26	64,5	18	72	22,5
85	30	77	25	64	17,5	71	22
80	27	75	24	63,5	17	70	21,5
75	24	74	23	62,5	17	69	21,5

17.7 Βασικὸς κύκλος κλιματισμοῦ διὰ ψύξιν εἰς διαμέρισμα πλοίου.

Ἐν διαμέρισμα πλοίου ἀποκτᾷ θερμότητα ἀπὸ τὸ ἀνθρώπινον προσωπικὸν καὶ τὰ ὑλικά ἐξαρτήματα ποὺ περιέχει καὶ θερμότητα, ποὺ μεταδίδεται μέσῳ τῶν μεταλλικῶν κατασκευασμάτων καὶ φρακτῶν (μπουλμέδες). Ὑγρασία προστίθεται ἀπὸ τὰ ἄτομα καὶ κάθε ἄλλην πηγὴν ὕδατος, ποὺ τυχὸν εὐρίσκεται ἐντὸς τοῦ διαμερίσματος.

Ὁ κύκλος κλιματισμοῦ διὰ τὴν ψύξιν τοῦ διαμερίσματος φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 17.7α.

Ὁ θερμὸς ὑγρὸς ἀήρ ἀπὸ τὸ διαμέρισμα ὁδηγεῖται εἰς ἀεραγωγόν, ἐντὸς τοῦ ὁποίου ἀναμιγνύεται μὲ νέον ἀέρα, ὁ ὁποῖος εἰσέρχεται ἀπὸ ἔξω.

Ὁ ἀνεμιστήρ καταθλίβει τὸν ἀέρα περίξ τῶν σωλῆνων ψύξεως, ἐντὸς τῶν ὁποίων κυκλοφορεῖ ὁ ψυκτικὸς φορεὺς, ὁ ὁποῖος ψύχει τοὺς σωλῆνας.

Οἱ ψυκτικοὶ σωλῆνες ἀπορροφοῦν θερμότητα ἀπὸ τὸν ἀέρα καὶ συγχρόνως συμπυκνώνουν τοὺς ἐπὶ πλέον ὕδατμούς. Ἡ ὕγρασία ὥς συμπύκνωμα ρεεῖ ἐντὸς δοχείου, ποὺ ὑπάρχει κάτωθεν τῶν σωλῆνων ψύξεως καὶ μέσῳ σωλῆνος ἐξέρχεται.

Ὁ ψυχρὸς καὶ ξηρότερος τῶρα ἀήρ ὁδηγεῖται ἐντὸς τοῦ διαμερίσματος, ἀπὸ τὸ ὁποῖον ἀπορροφεῖ θερμότητα καὶ ὕγρασίαν καὶ ἐπιστρέφει ἐκ νέου εἰς τοὺς σωλῆνας ψύξεως. Μῆρος τοῦ ἐντὸς τοῦ διαμερίσματος κυκλοφοροῦντος ἀέρος ἐξάγεται ἀπ' εὐθείας ἀπὸ αὐτὸ διὰ νὰ ἐπιτρίπεται ἡ ἀνανέωσις τοῦ ἀέρος· περίπου 75% τοῦ ἀέρος ἀνακυκλοφορεῖ καὶ 25% προστίθεται νέος ἀήρ εἰς τὸ σύστημα.

Παράδειγμα.

Αἱ ἀπώλειαι θερμότητος εἰς διαμερίσματα πλοίου ὑπελογίσθησαν 105 000 kcal/h. Ἐντὸς τῶν διαμερισμάτων καταθλίβεται ἀήρ θερμοκρασίας 38°C, ὁ ὁποῖος καὶ ἐξέρχεται ἀπὸ αὐτὰ μὲ θερμοκρασίαν 22°C καὶ ΣΥ 50%. Ὁ ἀήρ τοῦ περιβάλλοντος ἔχει θερμοκρασίαν 2°C καὶ ΣΥ = 100%.

Ζητείται : α) Ποίος ό άπαιτούμενος κλιματισμός του άέρος του περιβάλλοντος, ώστε να κυκλοφορή έντός των διαμερισμάτων ως άνωτέρω. β) Τό βάρος του άέρος, που πρέπει να κυκλοφορή εις τά διαμερίσματα, εις kg/h. γ) Τά ποσά θερμότητος, τά όποια άπαιτούνται διά τυχόν προθέρμανσιν και αναθέρμανσιν του άέρος και δ) τό βάρος του άπαιτουμένου ύδατος διά την ύγρανσιν του άέρος κατά τόν κλιματισμόν του.

Λύσις :

α) 'Η κατάστασις του άέρος κατά την έξοδον από τά διαμερίσματα του πλοίου ($t_x = 22^\circ\text{C}$ και $\Sigma Y = 50\%$) εύρίσκεται από τό ψυχομετρικόν διάγραμμα και είναι ό του σημείου Β (σχ. 17·7β). 'Επομένως ό άήρ κατά την είσοδον πρέπει να έχη κατάστασιν ως του σημείου Α ($t_x = 38^\circ\text{C}$ και $\Sigma Y = 20\%$). 'Ο άήρ του περιβάλλοντος είναι ό του σημείου Δ ($t_x = 2^\circ$ και $\Sigma Y = 100\%$).

'Επομένως από τό ψυχομετρικόν διάγραμμα έμφαίνεται ότι διά να μετατρέψωμεν την κατάστασιν τρυ άέρος από Δ εις Α άπαιτείται προθέρμανσις μέχρις 21°C (γραμμή ΔΕ), ώστε τό σημείον Ε να κείται επί της γραμμής $t_v = 11^\circ\text{C}$ του σημείου Γ, τό όποιον είναι τό σημείον δρόσου του άέρος καταστάσεως Α.

'Από τό σημείον Ε ό άήρ εισέρχεται έντός ύγραντήρος (παράγρ. 9·7) και ύπό σταθεράν $t_v = 11^\circ\text{C}$, άπορροφεί ύδωρ μέχρι $\Sigma Y = 100\%$ (σημείον Γ). 'Από τό σημείον Γ ό άήρ αναθερμαίνεται μέχρι θερμοκρασίας 38°C (σημείον Α) και έν συνεχεία όδηγείται έντός των διαμερισμάτων του πλοίου. 'Επομένως ό άπαιτούμενος κλιματισμός του άέρος είναι προθέρμανσις (κατά την ΔΕ) — ύγρανσις (κατά την ΕΓ) και αναθέρμανσις (κατά την ΓΑ).

β) 'Ο άήρ εισέρχεται εις τό διαμέρισμα με ένθαλπίαν 13,8 kcal/kg (του σημείου Α) και έξέρχεται με 10 kcal/kg (του σημείου Β)· έπομένως τό άπαιτούμενον βάρος άέρος Β εύρίσκεται έκ της ισότητος :

$$B(13,8 - 10) = 105\,000 \quad \eta \quad B = \frac{105\,000}{3,8} = 27\,631 \text{ kg/h.}$$

γ) 'Ο άήρ με ένθαλπίαν 3 kcal/kg (σημείον Δ) προθερμαίνεται μέχρις ένθαλπίας 7,4 kcal/kg (σημείον Ε)· έπομένως διά την προθέρμανσιν άπαιτούνται :

$$27\,631(7,4 - 3) = 93\,945 \text{ kcal/h.}$$

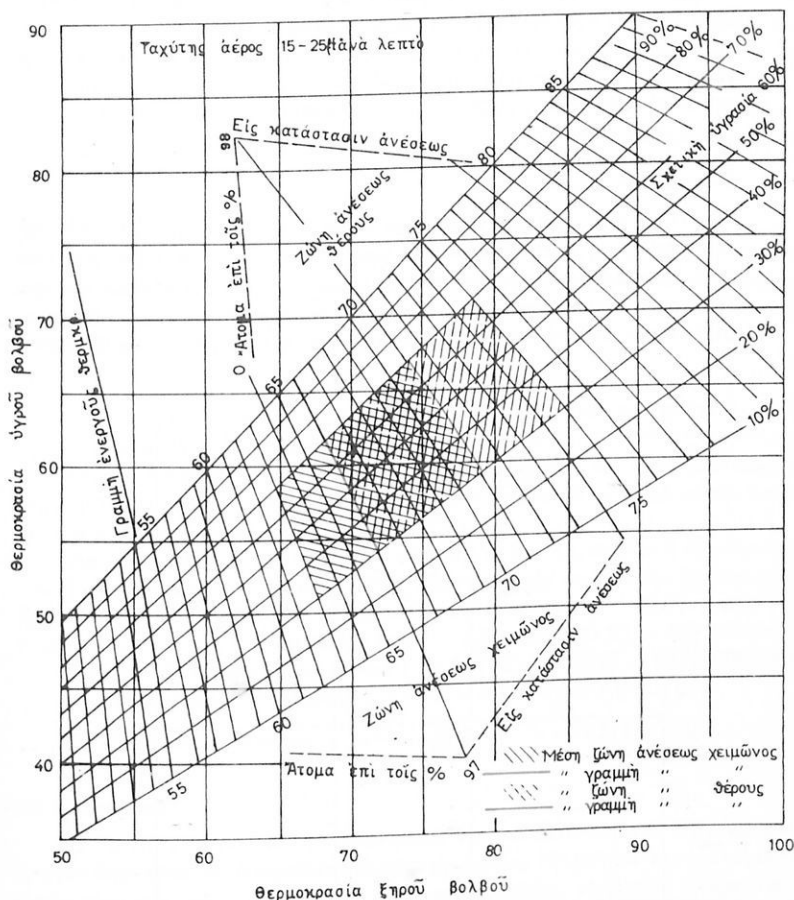
Κατά την αναθέρμανσιν ό άήρ με ένθαλπίαν 7,4 kcal/kg (σημείον Γ) αναθερμαίνεται μέχρις ένθαλπίας 13,8 kcal/kg (σημείον Α)· έπομένως διά την αναθέρμανσιν άπαιτούνται $27\,631(13,8 - 7,4) = 176\,838 \text{ kcal/h.}$

δ) 'Ο άήρ από ύγρασίαν 4 g/kg (σημείον Δ και Ε) μετά την ύγρανσιν απέκτησεν ύγρασίαν 8 g/kg (σημείον Γ)· έπομένως τό βάρος του ύδατος, που άπαιτείται διά την ύγρανσιν του άέρος, είναι $\frac{27\,631 \times 4}{1000} = 110,5 \text{ kg ύδατος ανά ώραν.}$

17·8 Διάγραμμα άνέσεως — Ζώνη άνέσεως χειμώνος — Ζώνη άνέσεως θέρους.

Εις τό σχήμα 17·8α παρίσταται διάγραμμα άνέσεως, τό όποιον έχει χαραχθή πειραματικώς διά ταχύτητα άέρος από 15 έως 20 ft/min και με

μεγάλην ομάδα ανδρών και γυναικών (ὡς πειραματόζωα) ἐνδεδυσμένων με συνήθη ἐνδύματα ἀναλόγως πρὸς τὴν ἐποχὴν.



Σχ. 17.8α.

Ζώνη ἀνέσεως χειμῶνος.

Εἰς τὸ διάγραμμα ἡ ζώνη ἀνέσεως χειμῶνος περιλαμβάνει ὅρους μεταξὺ ἐνεργοῦ θερμοκρασίας 60°F καὶ 74°F (15° ἕως 24°C), εἰς τὴν ὁποίαν ζώνην ἓνα ἢ περισσότερα ἄτομα ἡσθάνοντο ἀνέτως.

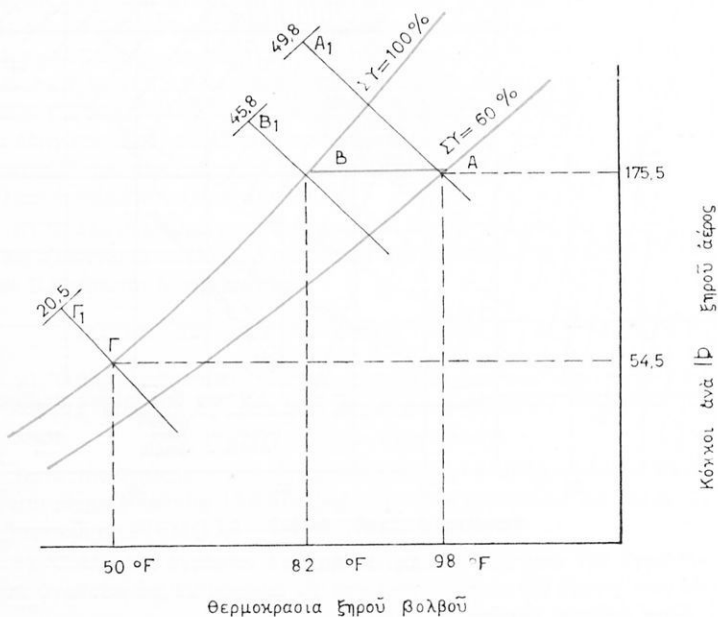
Ἡ μέση ζώνη ἀνέσεως χειμῶνος περιλαμβάνει ἀπὸ 63°F ἕως 71°F (17° ἕως 22°C) ἐνεργὸν θερμοκρασίαν, εἰς τὴν ὁποίαν τὰ 50% καὶ ἄνω τῶν ἀτόμων ἡσθάνοντο ἀνέτως.

Ἡ πλέον ἐπιθυμητὴ ἐνεργὸς θερμοκρασία εὐρέθη ὅτι ἦτο ἡ 66°F (19°C) καὶ καθιερώθη ὡς ἡ *γραμμὴ ἀνέσεως τοῦ χειμῶνος*. Εἰς αὐτὴν τὰ 97% τῶν ἀτόμων ἡσθάνοντο ἀνέτως. Ἡ γραμμὴ χωρίζει τοὺς ψυχροὺς ὅρους κλιματισμοῦ πρὸς τὰ ἀριστερὰ καὶ τοὺς θερμοὺς ὅρους κλιματισμοῦ πρὸς τὰ δεξιὰ. Μὲ τοὺς ὅρους κλιματισμοῦ, ποὺ ὑπάρχουν ἢ καθορίζονται κατὰ μῆκος τῆς γραμμῆς αὐτῆς, τὸ σῶμα εἶναι ἱκανὸν νὰ διατηρῇ τὴν θερμικὴν ἰσορροπίαν του μὲ τὸ περιβάλλον, χωρὶς τοῦτο νὰ γίνεταί αἰσθητὸν ἢ ἐλάχιστα αἰσθητὸν εἰς τὸ ἄτομον.

Ζώνη ἀνέσεως θέρους.

Ἡ ζώνη ἀνέσεως τοῦ θέρους δὲν συμπίπτει μὲ ἐκείνην τοῦ χειμῶνος.

Κατ' ἀρχὴν ὁ καθορισμὸς τῆς ζώνης ἀνέσεως τοῦ θέρους καθορίζεται πολὺ δυσκολώτερον ἀπὸ ἐκείνην τοῦ χειμῶνος λόγω τῆς ἐφιδρώσεως τῶν ἀτόμων εἰς θερμὸν καιρὸν. Κλιματισμὸς ἀέρος, ποὺ εἶναι ἀνετὸς δι' ἄτομα μὲ ξηρὸν δέρμα, δυνατόν νὰ ἀποδειχθῇ πολὺ ψυχρὸς δι' ἐκείνους ποὺ ἰδρώνουν.



Σχ. 17·8β.

Οἱ ὅροι, ποὺ πρέπει νὰ τηροῦνται εἰς διάφορα κτήρια, ἐξαρτῶνται κατὰ πολὺ ἀπὸ τὸν χρόνον ποὺ παραμένουν ἐντὸς οἱ κάτοικοι καὶ τὰς ἐπικρατούσας ἐξωτερικὰς συνθηκάς.

Εἰς τὸ διάγραμμα τοῦ σχήματος 17·8α δεικνύεται ἡ ζώνη ἀνέσεως θέρους μετὰ παραμονὴν τῶν ἀτόμων ἐπὶ 3ωρον ἐντὸς τοῦ κλιματισμένου χώρου διὰ νὰ γίνη ἡ προσαρμογὴ τοῦ σώματος.

Ἡ μέση ζώνη ἐκτείνεται ἀπὸ 66° ἕως 75°F (19° ἕως 24°C) ἐνεργοῦ θερμοκρασίας μετὰ τὴν γραμμὴν ἀνέσεως θέρους εἰς τοὺς 71°F (22°C) ἐνεργοῦ θερμοκρασίας.

Αἱ τιμαὶ αὗται ἐνεργοῦ θερμοκρασίας εἶναι περίπου κατὰ 4°F μεγαλύτεραι ἀπὸ ἐκείνας τοῦ χειμῶνος, ὅταν τὰ ἄτομα εἶναι ἐνδεδυμένα μετὰ κοινὰ χειμερινὰ ἐνδύματα.

Παράδειγμα.

100 lb/min αέρος θερμοκρασίας 98°F καὶ ΣΥ 60% ψύχονται καὶ τοὺς ἀφαιρεῖται ὑγρασία μέχρι τελικῆς θερμοκρασίας 50°F. Μετὰ τὴν χρησιμοποίησιν τοῦ ψυχομετρικοῦ διαγράμματος νὰ εὑρεθῇ: α) Ἡ ἀφαιρουμένη θερμότης BTU ἀνὰ λεπτόν καὶ β) ἡ ἀφαιρουμένη ὑγρασία εἰς lb/min.

Λύσις:

Ἡ ἀρχικὴ κατάστασις τοῦ αέρος εἰς τὸ διάγραμμα εἶναι τὸ σημεῖον Α, εἰς τὸ ὁποῖον ἔχομεν ΑΥ = 175,5 κόκκοι (σχ. 17·8β). Ἐνθαλπία $i_A = 49,8$ (σημεῖον Α₁).

Ψύχεται ὁ ἀήρ καὶ κατ' ἀρχὰς ἡ ΑΥ παραμένει σταθερά, ἕως ὅτου φθάσωμεν τὸ σημεῖον Β, ἥτοι τὸ σημεῖον δρόσου, εἰς τὸ ὁποῖον ἔχομεν ΑΥ = 175,5 κόκκοι καὶ ἐνθαλπία $i_B = 45,8$ (σημεῖον Β₁).

Ἀπὸ τὸ σημεῖον δρόσου, ἐφ' ὅσον συνεχίζεται ἡ ψύξις, ἀρχίζει ἡ συμπύκνωσις τοῦ ἐντὸς τοῦ αέρος ὕδατος καὶ ὅταν φθάσωμεν τὴν ἐπιθυμητὴν θερμοκρασίαν 50°F (σημεῖον Γ), ἔχομεν ΑΥ = 54,5 κόκκοι καὶ ἐνθαλπία $i_\Gamma = 20,2$ (σημεῖον Γ₁). Τώρα: Θερμότης ἀφαιρεθεῖσα ἀπὸ Α ἕως Β = 100 (49,8 – 45,8) = 400 BTU/min.

Θερμότης ἀφαιρεθεῖσα ἀπὸ Β ἕως Γ = 100 (45,8 – 20,5) = 2530 BTU/min.

α) Ὀλικὴ ἀφαιρεθεῖσα θερμότης = 400 + 2530 = 2930 BTU/min.

β) Ἀφαιρεθεῖσα ὑγρασία = $\frac{100 (175,5 - 54,5)}{7000} = 1,714 \text{ lb/min.}$

17·9 Ἀσκήσεις

1) Μετὰ τὴν βοήθειαν τοῦ ψυχομετρικοῦ διαγράμματος καὶ τοῦ διαγράμματος ἐνεργοῦ θερμοκρασίας νὰ εὑρεθοῦν διὰ ταχύτητα αέρος 100 ft/min δύο τουλάχιστον συνδυασμοὶ σχετικῆς ὑγρασίας καὶ θερμοκρασίας αέρος, οἱ ὅποιοι δίδουν τιμὴν ἐνεργοῦ θερμοκρασίας 65°F.

(Ἀπ.: $i_\xi = 71^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 52% καὶ $i_\xi = 72^\circ\text{F}$ καὶ ΣΥ = 40%)

2) Ἀήρ τοῦ περιβάλλοντος ἔχει θερμοκρασίαν 30°F καὶ ΣΥ 100%. Διὰ νὰ χρησιμοποιηθῇ διὰ θέρμανσιν κλειστοῦ χώρου, πρέπει νὰ μετατραπῇ εἰς ἀέρα θερμοκρασίας 100°F καὶ ΣΥ 30%. Διὰ τοῦ ψυχομετρικοῦ διαγράμματος νὰ εὑρεθῇ ἀνὰ lb αέρος: α) Ἡ ἀπαιτούμενη ποσότης θερμότητος προθερμάνσεως. β) Τὸ ἀπαιτούμενον ὕδωρ εἰς κόκκους διὰ τὴν ὑγρασιν. γ) Ἡ ἀπαιτούμενη θερμότης διὰ τὴν ἀναθέρμανσιν.
(Ἀπ.: α = 18,3 BTU, β = 70 κόκκοι, γ = 8 BTU)

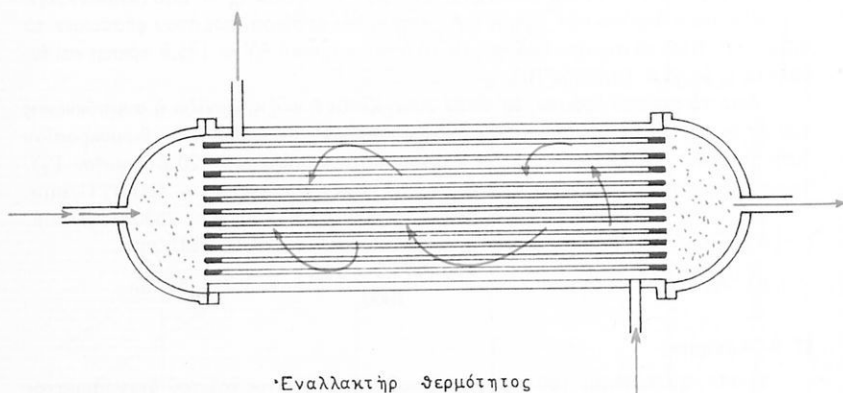
ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 18

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ

18.1 Γενικά.

Ἐξαρτήματα μεταφορᾶς θερμότητος εἰς τὰ πλοῖα θεωροῦνται ὅσα ἔχουν σκοπὸν τὴν θέρμανσιν ἢ ψύξιν ἐνὸς ρευστοῦ. Τὰ ἐξαρτήματα αὐτὰ μὲ τὴν γενικὴν ὀνομασίαν *ἐναλλακτῆρες θερμότητος* (σχ. 18.1) εἶναι οἱ προθερμαντῆρες ὕδατος καὶ πετρελαίου λεβήτων, οἱ ὑπερθερμαντῆρες ἀτμοῦ, συμπυκνωταὶ ἀτμοῦ, ψυκτῆρες ἐλαίου λιπάνσεως, βραστήρες παραγωγῆς ἀπεσταγμένου ὕδατος κ.λπ.

Ἡ θέρμανσις ἢ ἡ ψύξις ἐνὸς ρευστοῦ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα (πλὴν τῆς περιπτώσεως συμπυκνώσεως ἀτμοῦ ἢ ἀτμοποιήσεως) τὴν μεταβολὴν τῆς θερμοκρασίας τῶν δύο ρευστῶν.



Σχ. 18.1.

Κατὰ τὸν θερμικὸν ὑπολογισμὸν τῶν ἐναλλακτῆρων θερμότητος ὑπεισέρχονται πολλοὶ παράγοντες ὀφειλόμενοι μεταξὺ ἄλλων καὶ εἰς μεταβολὰς κατὰ τὴν λειτουργίαν αὐτῶν, λόγῳ κυρίως τῶν διαφόρων στερεῶν οὐσιῶν, ποὺ ἐπικάθηνται ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῶν αὐλῶν.

Ἐπὶ τῶν αὐλῶν τῶν λεβήτων ἐξωτερικῶς ἔχομεν τὴν αἰθάλην καὶ ἐσωτερικῶς καθαλαττώσεις ἐκ τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος. Οἱ αὐλοὶ τῶν συμπυκνωτῶν ἀτμοῦ ρυπαίνονται μὲ λάσπην καὶ φράσσονται ἀπὸ θαλάσσια φύκη.

Τέλος εἶναι δυνατὸς ὁ ὑπολογισμὸς ἐνὸς ἐναλλακτῆρος θερμότητος δι' ὠρισμένους ὅρους λειτουργίας, ἐνῶ εἰς τὴν πρᾶξιν ἡ μεταβολὴ τοῦ φορτίου καὶ ἡ ποσότης

ροής του ρευστού πολλάκις έχει μεγάλα διακυμάνσεις. Αί διακυμάνσεις αυτές επιδρούν επί των τιμών των θερμοκρασιών, αί όποιαι δυνατόν νά αύξηθουν έπικινδύνως. Άπότομος έλάττωσις τής ροής ύδρατμου μέσω υπερθερμαντήρος πιθανόν νά προκαλέση *κάριμο* των αύλων, έκτός εάν συγχρόνως πραγματοποιηθῇ καί άμεσος έλάττωσις τής θερμότητος, πού εισέρχεται εις τόν υπερθερμαντήρα.

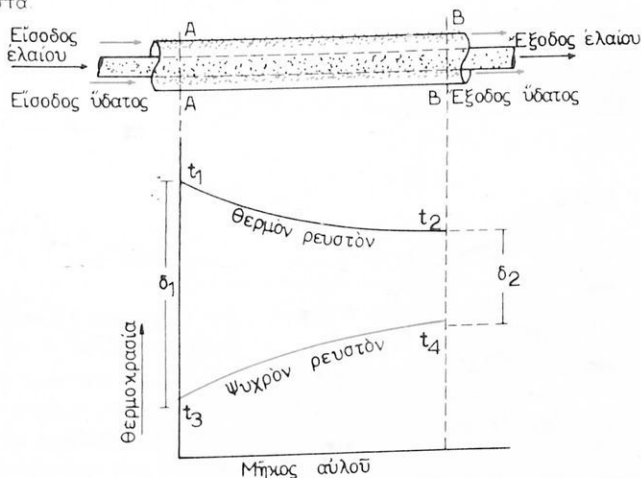
Άπαντα τά άνωτέρω έχουν ως άποτέλεσμα νά υπεισέρχωνται εις τά προβλήματα των θερμικών ύπολογισμών των έναλλακτῆρων θερμότητος πολλάι πολύπλοκοι έμπειρικά σταθεραί, αί όποιαι είναι άποτέλεσμα πειραμάτων καί μελετών λίαν ειδικευμένων εις τό θέμα τεχνικών. Άνεξαρτήτως όμως των άνωτέρω μία γενική γνώσις των συνθηκών ύπολογισμού λειτουργίας καί του τρόπου εύρέσεως του όλικού συντελεστού μεταδόσεως θερμότητος είναι λίαν βασική διά τόν χειριστήν μηχανικόν, ώστε νά δύναται αύτός νά έλέγχη τήν άπόδοσιν τής έγκαταστάσεως.

Τά έκτιθέμενα κατωτέρω όμοϋ με τά παραδείγματα, πού ακολουθούν, αναφέρονται εις πραγματικάς έγκαταστάσεις καί άφορούν εις περιπτώσεις, πού συναντώνται εις τά πλοία.

18.2 Μέση διαφορά θερμοκρασίας.

Μία γενική περίπτωση έναλλακτῆρος θερμότητος έμφαίνεται εις τό σχήμα 18.2. Είναι μία διπλή σωλήνωσις, εις τήν όποίαν τό ύδωρ ψύξεως κυκλοφορεῖ έξωτερικώς του έσωτερικού σωλήνος καί τό θερμόν έλαιον κυκλοφορεῖ έσωτερικώς αύτου.

Άς έξετάσωμεν έν τμήμα άπό Α - Α εις Β - Β (σχ. 18.2). Η θερμότης ρεῖ άπό τό έλαιον πρὸς τό ύδωρ μέσω του τοιχώματος του σωλήνος, πού διαχωρίζει τά δύο αυτά ρευστά.



Σχ. 18.2.

Κατά τήν ροήν ή θερμοκρασία του ύδατος αύξάνει, ένω ή θερμοκρασία του έλαιού έλαττωται. Τοϋτο έχει ως άποτέλεσμα τήν μεταβολήν τής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών, καθώς ταϋτα ρέουν.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν διὰ τὴν εὐρεσιν τοῦ ὁλικοῦ συντελεστοῦ U μεταφορᾶς θερμότητος ἀπαιτεῖται ἡ εὐρεσις τῆς μέσης τιμῆς διαφορᾶς θερμοκρασίας τῶν δύο ρευστῶν. Αὕτῃ εὐρίσκεται ἐκ τῆς ἰσότητος :

$$\delta_{\mu} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{l_{11} \frac{\delta_1}{\delta_2}} \quad (253)$$

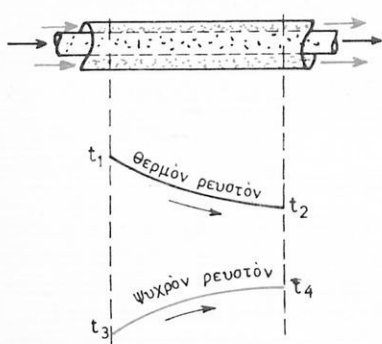
ὅπου δ_1 εἶναι ἡ μεγαλυτέρα διαφορὰ θερμοκρασίας ($= t_1 - t_3$), δ_2 ἡ μικροτέρα διαφορὰ θερμοκρασίας ($= t_2 - t_4$) καὶ l_{11} = Νεπέρειος λογάριθμος.

Ἡ ἰσότης (252) εἶναι ἀποτέλεσμα ὑπολογισμοῦ μὲ βάσιν ὅτι δὲν ὑπάρχει μεταφορὰ ἄλλης θερμότητος, ἐκτὸς ἐκείνης μεταξὺ ἐλαίου καὶ ὕδατος, ὅτι ὑπάρχει μία ὁμαλὴ αὐξομείωσις τῶν θερμοκρασιῶν τῶν δύο ρευστῶν καὶ ὅτι ὁ ὁλικὸς συντελεστής μεταφορᾶς θερμότητος καὶ αἱ εἰδικαὶ θερμότητες τῶν ρευστῶν ἔχουν σταθερὰς τιμὰς ἐντὸς τοῦ ἐξαρθήματος.

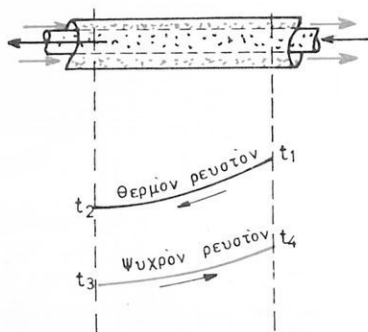
18·3 Παράλληλος καὶ ἀντίστροφος ροή.

Ἡ ἰσότης (252) εὐρέθη μὲ βάσιν τὸν ἐναλλακτῆρα θερμότητος τοῦ σχήματος 18·2, εἰς τὸν ὁποῖον τὰ ρευστὰ ἔχουν παράλληλον ροήν. Δηλαδὴ ἀμφότερα τὰ ρευστὰ εἰσέρχονται καὶ διαδρομοῦν κατὰ τὴν αὐτὴν διεύθυνσιν ἐντὸς τοῦ ἐναλλακτῆρος θερμότητος. Ἰσχύει ὅμως καὶ δι' ἀντίστροφον ροήν.

Ἀντίστροφος ροὴ ἀποκτᾶται, ὅταν ἀντιστραφῇ ἡ διεύθυνσις τοῦ ἐνὸς ρευστοῦ, ὥστε νὰ εἰσέρχεται τοῦτο ἀπὸ τὴν ἐτέραν πλευρὰν ἐκείνης, ποῦ εἰσέρχεται τὸ ἄλλο, ὅποτε ἡ ροὴ τοῦ ἐνὸς εἶναι ἀντίστροφος τοῦ ἄλλου.



Σχ. 18·3α.

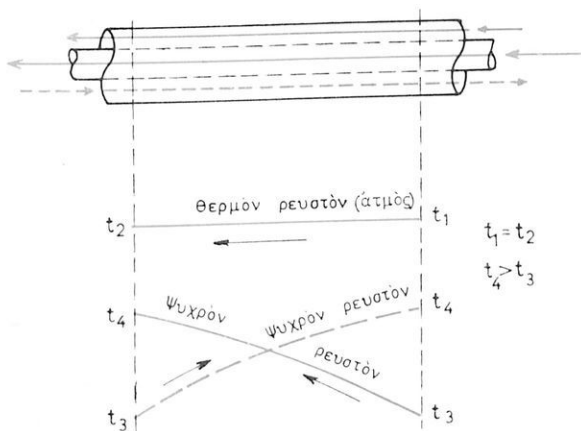


Σχ. 18·3β.

Εἰς τὸ σχῆμα 18·3α ἐμφαίνεται ἡ παράλληλος καὶ εἰς τὸ σχῆμα 18·3β ἡ ἀντίστροφος ροὴ ὁμοῦ μὲ τὰς γραφικὰς παραστάσεις μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας.

Εἰς περίπτωσιν, κατὰ τὴν ὁποίαν τὸ ἓνα ρευστὸν εἶναι ἀπὸ εἰς τὴν φάσιν τῆς συμπυκνώσεως (ἢ καὶ ἀτμοποιήσεως), ἡ ροὴ δύναται νὰ εἶναι παράλληλος, ἀντί-

στροφος ή διαμήκης μέσω των αλλών, όπως εις ένα συμπυκνωτήν (ψυγείον) ατμού. Εις τὰς περιπτώσεις αὐτὰς ἡ γραμμὴ μεταβολῆς τῶν θερμοκρασιῶν ἐμφαίνεται εις τὸ σχῆμα 18.3γ.



Σχ. 18.3γ.

Δεδομένου ὅτι ἡ θερμοκρασία τοῦ ατμοῦ κατὰ τὴν συμπύκνωσιν παραμένει σταθερά, ἡ μέση διαφορὰ θερμοκρασίας εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν εἶναι πάντοτε ἡ ἴδια, ἀνεξαρτήτως τῆς διευθύνσεως ροῆς τῶν δύο ρευστῶν.

18.4 Μεταφορὰ θερμότητος μετὰ παράλληλον καὶ ἀντίστροφον ροήν.

Ἡ γενικὴ ἰσότης μεταφορᾶς θερμότητος εἰς τοὺς ἐναλλακτῆρας θερμότητος εἶναι:

$$H = U.A. \delta_{\mu} \text{ kcal/h (ἢ BTU/h)} \quad (254)$$

Εἰς τὴν ἰσότητα (253) ἔχομεν :

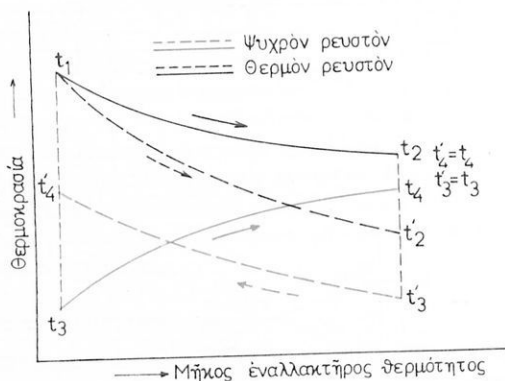
U εἶναι ὁ ὁλικὸς συντελεστὴς μεταφορᾶς θερμότητος εἰς kcal/h, m^2 , $^{\circ}C$ ἢ BTU/h, ft^2 , $^{\circ}F$, ὅπως ἀνεφέρθη καὶ εἰς παράγραφον 2.17. A εἶναι ἀντιπροσωπευτικὴ ἐπιφάνεια, ὅπως π.χ. ἡ ὁλικὴ ἐσωτερικὴ ἢ ἐξωτερικὴ ἐπιφάνεια τῶν αλλῶν εἰς m^2 ἢ ft^2 . δ_{μ} ὡς ἡ ἰσότης (252).

Ἀπὸ πρακτικῆς σκοπιᾶς ἡ παράλληλος ροὴ ἔχει δύο βασικὰ μειονεκτήματα, τὰ ὅποια εὐκόλως γίνονται ἀντιληπτά ἀπὸ τὸ σχῆμα 18.4α.

Μετὰ τὴν παράλληλον ροήν (πλήρεις γραμμαι) ὑπάρχει κατ' ἀρχὰς μεγάλη διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ τῶν ρευστῶν ($t_1 - t_3$) καὶ ἐπομένως ὑψηλὴ τιμὴ μεταφορᾶς θερμότητος εἰς τὸ σημεῖον αὐτὸ τοῦ ἐξαρτήματος. Ὅσον ὁμως συνεχίζεται ἡ ροή, αἱ θερμοκρασίαι τῶν ρευστῶν τείνουν νὰ φθάσουν μίαν κοινὴν ὁριακὴν τιμὴν καὶ ἡ διαφορὰ μεταξὺ τῶν θερμοκρασιῶν τῶν ρευστῶν ἐλαττοῦται ταχέως.

Δεδομένου ὅτι τὸ ποσὸν τῆς μεταφερομένης θερμότητος ἐπηρεάζεται βασικῶς ἀπὸ τὴν διαφορὰν θερμοκρασίας, μέρος τοῦ ἐναλλακτῆρος θερμότητος πρὸς τὸ

τέλος (κατά την διεύθυνσιν τῆς ροῆς) καθίσταται βαθμῆδὸν μὴ ἀποδοτικόν. Μὲ ἀντίστροφον ροὴν αἱ μικρότεραι καὶ μεγαλύτεραι θερμοκρασίαι τῶν ρευστῶν εἶναι ἐν παραθέσει εἰς τὰ ἀντίθετα ἄκρα τοῦ ἐξαρτήματος καὶ ἡ διαφορὰ μεταξὺ τῶν θερμοκρασιῶν τῶν ρευστῶν εἶναι ἡ μεγίστη εἰς ὁλόκληρον τὸν ἐναλλακτῆρα θερμότητος.



Σχ. 18·4α.

Ἐν δεύτερον μειονέκτημα τῆς παραλλήλου ροῆς εἶναι ὅτι ἡ μεγίστη ἱκανότης οἰουδήποτε παρομοίου ἐξαρτήματος καθορίζεται ἀπὸ τὴν ὁριακὴν κοινὴν θερμοκρασίαν τῶν δύο ρευστῶν. Οὕτως ἐκ τοῦ σχήματος 18·4α βλέπομεν ὅτι ἡ θερμοκρασία t_2 τοῦ θερμοῦ ρευστοῦ ἐλαττοῦται προοδευτικῶς καὶ ἔχει ὅριον τὴν μεγίστην θερμοκρασίαν t_4 τοῦ ψυχροῦ ρευστοῦ.

Ἀντιθέτως, μὲ ἀντίστροφον ροὴν ἡ θερμοκρασία ἐξαγωγῆς τοῦ θερμοῦ ρευστοῦ εἶναι δυνατόν νὰ πλησιάσῃ τὴν μικροτέραν θερμοκρασίαν τοῦ ψυχροῦ ρευστοῦ.

Δηλαδή ἡ θερμοκρασία t'_2 (σχ. 18·4α) εἶναι πολὺ μικρότερα τῆς t_2 καὶ ἔχει ὡς ὅριον τὴν t'_3 καὶ ὄχι τὴν t_4 ὅπως εἰς τὴν παράλληλον ροὴν. Ἐπίσης εἰς τὴν ἀντίστροφον ροὴν, ὅταν σκοπὸς τοῦ ἐναλλακτῆρος θερμότητος εἶναι ἡ θέρμανσις τοῦ ρευστοῦ χαμηλῆς θερμοκρασίας, τότε ἡ τελικὴ θερμοκρασία τοῦ t'_4 θὰ δύναται νὰ πλησιάσῃ τὴν t_1 , ἡ ὁποία εἶναι ἡ ὑψηλὴ θερμοκρασία τοῦ θερμοῦ ρευστοῦ.

Εἶναι φανερόν ὅτι ἡ λειτουργία ἐνὸς ἐναλλακτῆρος θερμότητος θὰ εἶναι πλέον ἀποδοτικὴ, ὅσον ἡ θέρμανσις ἢ ἡ ψύξις ἐνὸς ρευστοῦ πραγματοποιεῖται μὲ τὴν ἐλαχίστην δυνατὴν ἐπιφάνειαν. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται διὰ τῆς ἀντιστροφῆς ροῆς, ποῦ ἐφαρμόζεται εἰς ὅλους τοὺς συγχρόνους ἐναλλακτῆρας θερμότητος.

Παράδειγμα 1^{ον}.

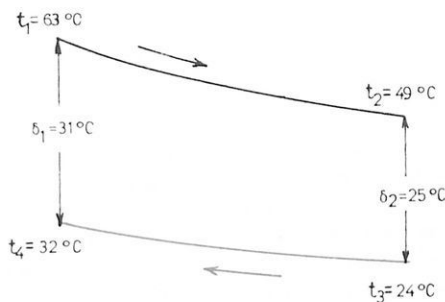
Ψυκτὴρ ἐλαίου ἀντιστροφῆς ροῆς ἔχει ψυκτικὴν ἐπιφάνειαν 24 m^2 καὶ ψύχει $30\,000 \text{ kg}$ ἐλαίου ἀνὰ ὥραν, ἀπὸ θερμοκρασίαν εἰσαγωγῆς 63°C εἰς θερμοκρασίαν ἐξαγωγῆς 49°C .

Ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος ψύξεως εἶναι 24°C εἰσαγωγῆς καὶ 32°C ἐξαγωγῆς. Ἡ ἐιδικὴ θερμότης τοῦ ἐλαίου εἶναι $0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ \text{C}$.

Ζητείται: α) 'Η τιμή τοῦ ὁλικοῦ συντελεστοῦ μεταφορᾶς θερμότητος U ὑπὸ τὰς ἀνωτέρω συνθήκας λειτουργίας εἰς $\text{kcal/h, m}^2, ^\circ\text{C}$. β) 'Η ἀπαιτούμενη ψυκτικὴ ἐπιφάνεια διὰ παράλληλον ροὴν μὲ τοὺς αὐτοὺς ὅρους λειτουργίας.

Δεδομένα :

Βάρος ἐλαίου $B = 30\,000 \text{ kg/h}$. Εἶδ. θερμότης ἐλαίου $C = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$. Ψυκτικὴ ἐπιφάνεια $A = 24 \text{ m}^2$.

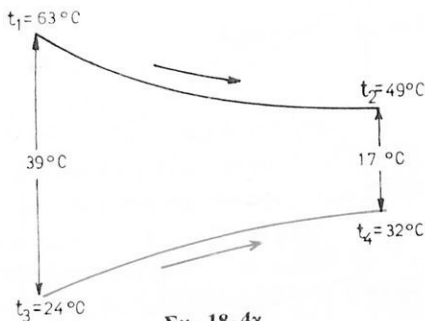


Σχ. 18.4β.

Λύσις :

α) Δι' ἀντίστροφον ροὴν (σχ. 18.4β) :

$$\begin{aligned} H &= B \cdot C (t_1 - t_2) \\ H &= 30\,000 \times 0,5 (63 - 49) \\ H &= 210\,000 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$



Σχ. 18.4γ.

$$\begin{aligned} \delta_\mu &= \frac{\delta_1 - \delta_2}{\ln \frac{\delta_1}{\delta_2}} = \frac{31 - 25}{\ln \frac{31}{25}} = 28^\circ\text{C} \\ U &= \frac{H}{A \cdot \delta_\mu} = \frac{210\,000}{24 \times 28} \\ \text{καὶ } U &= 312,5 \text{ kcal/h, m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

β) Διὰ παράλληλον ροὴν ἔχομεν (σχ. 18.4γ) :

$$H = 210\,000 \text{ kcal/h,}$$

$$U = 312,5 \text{ kcal/h, m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\delta_\mu = \frac{\delta_1 - \delta_2}{l_{11} \frac{\delta_1}{\delta_2}} = \frac{39 - 17}{l_{11} \frac{39}{17}} = 22^\circ \text{C}$$

$$\text{καὶ } A = \frac{H}{U \cdot \delta_\mu} = \frac{210\,000}{312,5 \times 22}$$

$$\text{καὶ } A = 30,5 \text{ m}^2.$$

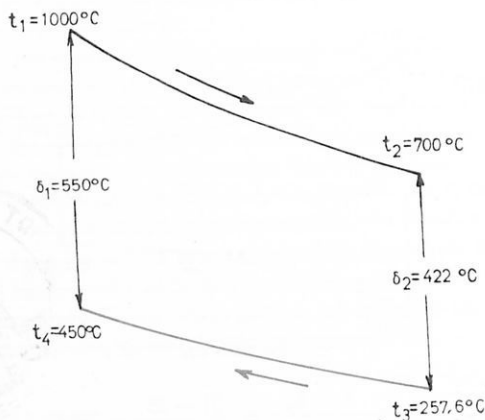
Ἦτοι ἀπαιτούμενη ἐπιφάνεια ψύξεως μεγαλύτερα τῆς ἀντιστρόφου ροῆς.

Παράδειγμα 2^{ον}.

Εἰς ὑπερθερμαντήρ ὕδρατμοῦ ἔχει θερμαινόμενη ἐπιφάνειαν 150 m^2 καὶ ἔχει ὑπολογισθῇ νὰ ὑπερθερμαίνῃ $105\,000 \text{ kg}$ ὕδρατμοῦ ἀνὰ ὥραν. Ὁ ὕδρατμος νὰ εἰσέρχεται εἰς τὸν ὑπερθερμαντήρα μὲ πίεσιν 46 kg/cm^2 ἀπόλυτον καὶ θερμοκρασίαν κορεσμοῦ καὶ νὰ ἐξέρχεται μὲ θερμοκρασίαν 450°C μὲ πτώσιν πίεσεως διὰ μέσου τοῦ ὑπερθερμαντήρος ὅχι μεγαλύτεραν τῶν 2 kg/cm^2 . Ὁ ὀλικὸς συντελεστής μεταφορᾶς θερμότητος ἔχει ὑπολογισθῇ $U = 150 \text{ kcal/h, m}^2, ^\circ \text{C}$.

Κατὰ τὴν λειτουργίαν, εἰς τὸν ὑπερθερμαντήρα εἰσέρχονται $100\,000 \text{ kg/h}$ ξηροῦ ὕδρατμοῦ πίεσεως 45 kg/cm^2 θλιβ. καὶ ἐξέρχονται ὡς ὑπέρθερμος ὕδρατμος πίεσεως 44 kg/cm^2 θλιβ. καὶ θερμοκρασίας 450°C .

Τὰ καυσάερια ἔχουν θερμοκρασίας εἰσαγωγῆς καὶ ἐξαγωγῆς 1000°C καὶ 700°C ἀντιστοίχως.



Σχ. 18.4δ.

Ζητεῖται : Ὁ πραγματικὸς ὀλικὸς συντελεστής μεταφορᾶς θερμότητος κατὰ τὴν λειτουργίαν ὡς ἀνωτέρω καὶ μὲ ἀντίστροφον ροήν.

Δεδομένα (σχ. 18.46) :

Εισαγωγή εις υπερθερμαντήρα με $P = 46 \text{ kg/cm}^2$ άπολ. το $t_3 = 257,6^\circ \text{C}$ άπό τόν Πίνακα 1. Έξαγωγή άπό υπερθερμαντήρα $P = 45 \text{ kg/cm}^2$ άπολ. $t_4 = 450^\circ \text{C}$. Θερμαιομένη έπιφάνεια $A = 150 \text{ m}^2$. Βάρος ύδρατμού $B = 100\,000 \text{ kg/h}$. Καυσάερια $t_1 = 1\,000^\circ \text{C}$ και $t_2 = 700^\circ \text{C}$.

Λύσις :

Άπό τούς Πίνακας 1 και 3 του Παραρτήματος εύρίσκομεν :

Ένθαλπία εισερχομένου άτμοϋ : $i_1 = 668 \text{ kcal/kg}$.

Ένθαλπία εξερχομένου άτμοϋ : $i_2 = 793 \text{ kcal/kg}$.

και $H = B (i_1 - i_2) = 100\,000 (793 - 668) = 10\,500\,000 \text{ kcal/kg}$

$$\delta_\mu = \frac{550 - 422}{\frac{550}{l_n \frac{422}{422}}} = 488^\circ \text{C}.$$

$$U = \frac{H}{A \cdot \delta_\mu} = \frac{10\,500\,000}{150 \times 488} \quad \text{και} \quad U = 143,4 \text{ kcal/h, m}^2, ^\circ\text{C}.$$

Παράδειγμα 3ον.

Εις οικονομητήρ λέβητος προθερμαίνει $150\,000 \text{ lb}$ ύδατος άνά ώραν άπό 232°F εις 300°F με μέσην πίεσιν 650 lb/in^2 άπόλυτον.

Τά καυσάερια εισέρχονται με θερμοκρασίαν 1350°F και εξέρχονται με θερμοκρασίαν 750°F . Έη θερμοιομένη έπιφάνεια είναι $3\,700 \text{ ft}^2$.

Ό ύπολογισθείς όλικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητος U είναι $7,5 \text{ BTU/h, ft}^2, ^\circ\text{F}$ δι' ικανότητα προθερμάνσεως $290\,000 \text{ lb/h}$ ύδατος με θερμοκρασίαν ώς άνωτέρω.

Ζητείται : Έη τιμή του U με τάς συνθήκας λειτουργίας ώς άνωτέρω και ή σύγκρισις με τόν ύπολογισθέντα.

Δεδομένα (σχ. 18.4ε) :

$P = 650 \text{ lb/in}^2$ άπολ.

Θερμοκρασία εισαγωγής ύδατος : $t_3 = 230^\circ \text{F}$

Θερμοκρασία εξαγωγής ύδατος : $t_4 = 300^\circ \text{F}$

Βάρος ύδατος : $B = 150\,000 \text{ lb/h}$.

Θερμαιομένη έπιφάνεια : $A = 3700 \text{ ft}^2$.

Καυσάερια $t_1 = 1350^\circ \text{F}$ και $t_2 = 750^\circ \text{F}$.

Λύσις :

Θερμότης εισερχομένου ύδατος : $\rho_3 = 232 - 32 = 200 \text{ BTU/lb}$.

Θερμότης εξερχομένου ύδατος : $\rho_4 = 300 - 32 = 268 \text{ BTU/lb}$

$H = B (\rho_4 - \rho_3) = 150\,000 (268 - 200) = 10\,200\,000 \text{ BTU/h}$

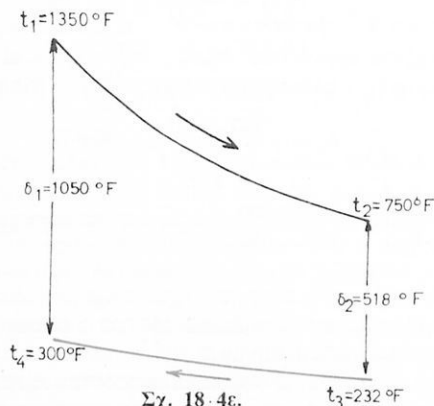
$$\delta_\mu = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\frac{\delta_1}{l_n \frac{\delta_2}{\delta_2}}} = \frac{1050 - 518}{\frac{1050}{l_n \frac{518}{518}}} = 757^\circ \text{F}$$

$$U = \frac{H}{A \cdot \delta_{\mu}} = \frac{10\,200\,000}{3700 \times 757} = 3,63 \text{ BTU/h, ft}^2, ^\circ\text{F}$$

Έφ' ὅσον διατηρηθοῦν αἱ αὐταὶ θερμοκρασίαι, ἐὰν ἡ ροὴ ὕδατος ἀύξηθῃ εἰς 290 000 lb/h, τότε ἡ τιμὴ τοῦ U θὰ εἶναι :

$$U = 3,63 \times \frac{290\,000}{150\,000} = 7 \text{ BTU/h, ft}^2, ^\circ\text{F}$$

Ἡ τιμὴ αὕτῃ πλησιάζει τὴν ὑπολογισθεῖσαν.

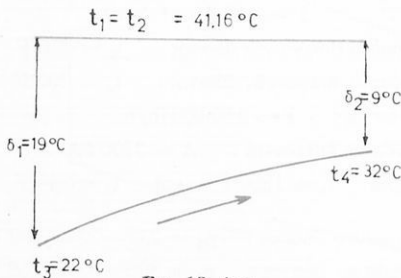


Σχ. 18.4ε.

Παράδειγμα 4^{ον}.

Εἰς συμπυκνωτὴς ὕδρατμου (ψυγείου) ἐργάζεται μετὰ τὰ ἐξῆς στοιχεῖα : Ψυκτικὴ ἐπιφάνεια 2180 m². Ἀπόλυτος πίεσις 0,08 kg/cm². Ὑδωρ κυκλοφορίας 160 000 kg/min. Θερμοκρασία εἰσαγωγῆς ὕδατος κυκλοφορίας 22°C. Θερμοκρασία ἐξαγωγῆς ὕδατος κυκλοφορίας 32°C.

Ζητεῖται : Ὁ ὁλικὸς συντελεστὴς μεταφορᾶς θερμότητος U .



Σχ. 18.4στ.

Δεδομένα (σχ. 18.4στ) :

Θερμοκρασία συμπυκνώσεως $t_1 = t_2 = 41,16^\circ\text{C}$ (ἀπὸ τὸν Πίνακα 1 Παραρτήματος διὰ $P = 0,08 \text{ kg/cm}^2$). Ὑδωρ κυκλοφορίας $t_3 = 22^\circ\text{C}$ καὶ $t_4 = 32^\circ\text{C}$.

Αύσις :

$$H = 160\,000 (32 - 22) \times 60 = 96 \cdot 10^6 \text{ kcal/h}$$

$$\delta_\mu = \frac{\delta_1 - \delta_2}{l_n \frac{\delta_1}{\delta_2}} = \frac{19 - 9}{l_n \frac{19}{9}} = 13^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{H}{A \cdot \delta_\mu} = \frac{96 \cdot 10^6}{2180 \times 13} \quad \text{και} \quad U = 3387 \text{ kcal/h, m}^2, ^\circ\text{C}.$$

Σημείωσις : Ἡ τιμὴ αὐτὴ τοῦ U εἰς τὴν πράξιν ἐλαττοῦται κατὰ 20% περίπου, λόγω ρυπάνσεως τῶν αὐλῶν τοῦ συμπυκνωτοῦ κατὰ τὴν λειτουργίαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 19

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΑΤΜΟΚΙΝΗΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΡΟΗ ΥΔΡΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΙΣΟΖΥΓΙΟΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ

19.1 Γενικά.

Διὰ τῆς μελέτης τῶν διαγραμμάτων ροῆς ὑδρατμοῦ καὶ ἰσοζυγίου θερμότητος ὁ μηχανικὸς τοῦ πλοίου ἀντιλαμβάνεται πλήρως τὸν τρόπον λειτουργίας τῆς ἐγκαταστάσεως καὶ τὰς ἐπὶ μέρους καταναλώσεις τῶν κυρίων μηχανῶν καὶ τῶν βοηθητικῶν μηχανημάτων.

Κατὰ τὴν παράδοσιν τοῦ πλοίου μετὰ τὴν κατασκευὴν του ἀπὸ τὰ Ναυπηγεῖα παραδίδονται ἐπίσης καὶ τὰ σχέδια ροῆς ὑδρατμοῦ καὶ ἰσοζυγίου θερμότητος, τὰ ὁποῖα διὰ πετρελαιοφόρον πλοῖον συνήθως εἶναι 5 (πέντε) ὡς κάτωθι :

- α) "Όταν τὸ πλοῖον πλῆι μὲ «Κανονικὴν πλήρη ἰσχύν».
- β) "Όταν τὸ πλοῖον πλῆι μὲ τὴν «Μεγίστην ἰσχύν του».
- γ) "Όταν τὸ πλοῖον πλῆι μὲ τὴν «Μεγίστην ἰσχύν του» καὶ προθερμαίνει τὸ φορτίον τοῦ πετρελαίου.
- δ) "Όταν τὸ πλοῖον πλῆι μὲ τὴν «Μεγίστην ἰσχύν του» καὶ γίνεται πλῦσιμον καὶ καθαρισμὸς τῶν δεξαμενῶν φορτίου.
- ε) "Όταν τὸ πλοῖον εὐρίσκεται εἰς τὸν λιμένα καὶ γίνεται ἐκφόρτωσις τοῦ ὑγροῦ φορτίου του.

Εἰς τὸ κεφάλαιον αὐτὸ θὰ ἐπεξηγήσωμεν λεπτομερῶς τὸ (α) μὲ σχεδιάγραμμα καὶ θὰ τοῖσιωμεν τὰς διαφορὰς τῶν ἄλλων περιπτώσεων. Οὕτως, ἐλπίζομεν ὅτι ὁ σπουδαστής, ὡς ὑπεύθυνος ἀργότερον μηχανικὸς ἐντὸς τοῦ πλοίου, θὰ εἶναι εἰς θέσιν νὰ ἀντιλαμβάνεται πλήρως τὰ ἔχοντα σχέσιν μὲ τὴν ροὴν ὑδρατμοῦ καὶ ἰσοζυγίου θερμότητος τῆς ἐγκαταστάσεως.

19.2 Μηχανήματα τῆς ἐγκαταστάσεως.

Τὸ σχεδιάγραμμα εἰς τὸ τέλος τοῦ Κεφαλαίου παρουσιάζει τὴν μηχανικὴν ἐγκατάστασιν πετρελαιοφόρου πλοίου περίπου 40 000 τόννων καὶ ἔχει τὰ ἑξῆς μηχανήματα :

Κύριαι μηχαναὶ καὶ μηχανήματα.

Οἱ ἀριθμοὶ σημειοῦνται ἐπὶ τοῦ διαγράμματος :

- 1) Στρόβιλος ὑψηλῆς πιέσεως.
- 2) Στρόβιλος χαμηλῆς πιέσεως.
- 3) Συμπυκνωτὴς ἀτμοῦ κυρίων στροβίλων (κύριον ψυγεῖον).
- 4) Ἐγχυτῆρες (τζίφάρια) δύο φάσεων κυρίου ψυγείου.

5) Στροβιλογεννήτρια 400 kW (2 εις τὸ πλοῖον· ἡ μία ἐν χρήσει) κατανάλωσις 11,68 lb ὕδρατμου ἂνὰ kWh.

6) Συμπυκνωτὴς (βοηθητικὸν ψυγεῖον) ἀτμοῦ στροβιλογεννητριάς (δύο εις τὸ πλοῖον· ὁ εἷς ἐν χρήσει).

7) Ἐγχυτῆρες (τζίφάρια) δύο φάσεων βοηθητικοῦ ψυγεῖου.

8) Ψυκτὴρ ὑγρῶν (Drain Cooler).

9) Ψυκτὴρ ἐξατμίσεων ἀπὸ συμπιεσθλίπτας στροβίλων.

10) Πρῶτος προθερμαντὴρ τροφοδοτικοῦ ὕδατος· πίεσις 6,8 lb/in² ἀπολ. θερμοκρασία 175° F.

11) Δεύτερος προθερμαντὴρ τροφοδοτικοῦ ὕδατος καὶ ἐξαεριστικὸς ὕδατος (Deaerating Feed Heater). Πίεσις 15 lb/in² θλιβομετρικὴ. Θερμοκρασία 250° F.

12) Δεξαμενὴ συλλέκτης ὑγρῶν.

12α) Κυρία τροφοδοτικὴ ἀντλία στροβιλοκίνητος (3 εις τὸ πλοῖον· ἡ μία ἐν χρήσει). Μεγίστη ἰκανότης 300 γαλλόνια ἂνὰ λεπτόν. Κανονικὴ χρῆσις 200 γαλλόνια ἂνὰ λεπτόν.

13) Ἀντλία πυρκαϊᾶς καὶ καθαρισμοῦ δεξαμενῶν φορτίου-στροβιλοκίνητος μεγίστης ἰκανότητος 450 γαλλονίων ἂνὰ λεπτόν. Κανονικὴ χρῆσις 360 γαλλόνια ἂνὰ λεπτόν μὲ BHP = 66 καὶ κατανάλωσις ἀτμοῦ 43,7 lb ἂνὰ ὥριαῖον BHP.

14) Βραστήρ χαμηλῆς πίεσεως (2 εις τὸ πλοῖον· ὁ εἷς ἐν χρήσει). Ἰκανότης 5000 γαλλόνια ἂνὰ 24ωρον.

15) Ἀντλίας ἀντλήσεως φορτίου (4 εις τὸ πλοῖον) στροβιλοκίνητοι ἰκανότης 3500 γαλλόνια ἂνὰ λεπτόν, 500 BHP (συνολικὴ) κατανάλωσις ἀτμοῦ 21 lb ἂνὰ ὥριαῖον BHP.

16) Συμπυκνωτὴς ἀτμοῦ ἐξατμίσεως ἀντλιῶν φορτίου (ἀτμοσφαιρικῆς πίεσεως) (2 ἐν χρήσει).

17) Οἰκονομητὴρ.

18) Προθερμαντὴρ ἀέρος (δι' ὕδρατμου).

19) Ὑπερθερμαντὴρ.

20) Ἀτμοθάλαμος.

21) Ἀφυπερθερμαντὴρ.

Βοηθητικαὶ χρήσεις.

22) Ἀτμογεννήτρια χαμηλῆς πίεσεως (βοηθητικὸς λέβης).

23) Προθερμαντὴρ βοηθητικοῦ λέβητος.

24) Θέρμανσις φορτίου.

"Όταν ἐκτελῆται, ἀπαιτοῦνται 22 990 lb ἀτμοῦ ἂνὰ ὥραν. Ὁ ἀτμὸς αὐτὸς χορηγεῖται ἀπὸ τὸν λέβητα χαμηλῆς πίεσεως.

25) Θέρμανσις πετρελαίου καύσεως.

Ἀπαιτοῦνται 500 lb/h ἀτμοῦ εἰς κανονικὴν ἰσχύν καὶ 670 lb/h ἀτμοῦ εἰς μεγίστην ἰσχύν.

26) Θέρμανσις διὰ καθαρισμὸν Butterworth.

Ἀπαιτοῦνται 19 550 lb/h ἀτμοῦ.

27) Ἀτμὸς διὰ μαγειρεῖα κ.λπ. χρήσεις.

Ἀπαιτοῦνται 380 lb/h ἀτμοῦ.

- 28) 'Αντλία μεταγγίσεως πετρελαίου.
'Ικανότης 200 γαλλόνια ανά λεπτόν.
- 29) 'Αντλία πυρκαϊᾶς, κυτῶν καὶ ζυγοσταθμῆσεως.
'Ικανότης 275 γαλλόνια ανά λεπτόν.
- 30) 'Αντλία κυτῶν ἀντλιοστασίου ἀντλιῶν φορτίου.
'Ικανότης 150 γαλλόνια ανά λεπτόν.
- 31) 'Αντλία ἀποστραγγίσεως (4 εἰς τὸ πλοῖον· ἡ μία ἐν χρήσει).
'Ικανότης 500 γαλλόνια ανά λεπτόν - Κατανάλωσις 1000 lb/h ἀτμοῦ εἰς 360 γαλλόνια ανά λεπτόν.
- 32) Μηχανήματα καταστρώματος :
εἰς ἐργάτης ἀγκυρῶν, τέσσαρα βαροῦλκα.
- 33) Συμπυκνωτὴς ὕδρατμοῦ (ἀτμοσφαιρικῆς πίεσεως)
- 34) Τροφοδοτικὴ ἀντλία λέβητος χαμηλῆς πίεσεως (2 εἰς τὸ πλοῖον· ἡ μία ἐν χρήσει).
- 35) 'Αντλία κινούμεναι μετ' ἡλεκτρικὸν κινητήρα (ΗΑ).
'Ικανότης 70 γαλλόνια ανά λεπτόν.

19.3 Σωληνώσεις.

Εἰς τὸ διάγραμμα ἐμφαίνονται αἱ κάτωθι σωληνώσεις.

- α) 'Υπέρθερμος ὕδρατμος.
β) 'Υδρατμός ἀπομαστεύσεως καὶ ἐξαγωγῆς.
γ) 'Αφυπέρθερμος ὕδρατμος.
δ) Κεκορεσμένος ὕδρατμος.
ε) 'Υδρατμός ἀπὸ τοὺς στυπιοθλίπτας.
στ) 'Υγρά.
ζ) Τροφοδοτικὸν ὕδωρ καὶ συμπύκνωμα.

19.4 Χαρακτηριστικὰ τοῦ πλοίου, ὅταν τοῦτο πλήη με κανονικὴν πλήρη ἰσχύν.

'Ιπποδύναμις BHP	12 500
'Εκτόπισμα μετ' πλήρης φορτίου τόννοι	36 300
Στροφαὶ ἀνά λεπτόν	100
Κατανάλωσις καυσίμου ἀνά ὥραν	6730 lb
Κατανάλωσις καυσίμου ἀνά ὥριαῖον BHP	0,538 lb
Θερμαντικὴ ἰκανότης καυσίμου BTU ἀνά lb	18 500
'Απόδοσις τοῦ λέβητος	88 %
Θερμοκρασία καυσασερίων	305 °F
Κατανάλωσις ὕδρατμοῦ κυρίων στροβίλων ἀνά ὥριαῖον BHP	6,2 lb
Φορτίον στροβιλογεννητριᾶς kW	330
'Εν λειτουργίᾳ 1 βραστήρ, παραγωγὴ 5000 γαλλόνια ἀνά 24 ὥρον.	
Θερμοκρασία εἰσαγωγῆς ἀέρος εἰς τὸν προθερμαντήρα ἀέρος 100°F καὶ ἐξαγωγῆς 267°F.	
Θερμοκρασία εἰσόδου ὕδατος ψύξεως (θαλάσσης) κυρίου καὶ βοηθητικοῦ ψυγείου 75°F.	

19·5 Ροή ύδρατμος και ισολογισμός θερμότητας (πλοϊον ως παράγρ. 19·4).

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα παρατηροῦμεν :

Σωλήνωσις ἐπερθερμόν ὕδρατμος.

Ἐκ τοῦ ὑπερθερμαντήρος (19) τοῦ λέβητος ἐξέρχονται 94 570 lb/h ὑπερθερμόν ὕδρατμος πίεσεως 600 lb/in² θλιβομετρικῆς καὶ θερμοκρασίας 850°F.

Ἀπὸ τὸν ὕδρατμόν αὐτὸν 6800 lb/h ἐπιστρέφουν εἰς τὸν ἀφυπερθερμαντήρα (21), 450 lb/h διάφοροι ἀπώλειαι καὶ ὁ ὑπόλοιπος 87 320 lb/h προχωρεῖ πρὸς τοὺς κυρίους στροβίλους καὶ στροβιλογεννήτριαν.

Ἐκ τῶν 87 320 lb/h αἱ 3850 lb/h ὁδηγοῦνται πρὸς τὴν ἠλεκτρογεννήτριαν καὶ 83 470 lb/h ἄτμου πρὸς τὴν κυρίαν μηχανὴν μέ πίεσιν 585 lb/in² θλιβ. καὶ θερμοκρασίαν 840°F.

Ἐπομένως διὰ τὸν ὑπερθερμόν ὕδρατμόν ἔχομεν :

Παραγωγή ἀπὸ λέβητα	94570 lb/h
Εἰσαγωγή εἰς κυρίους στροβίλους lb/h	83470
Δι' ἀφυπερθερμανσιν lb/h	6800
Εἰσαγωγή εἰς ἠλεκτρογεννήτριαν lb/h	3850
Διάφοροι ἀπώλειαι lb/h	450
Σύνολον lb/h	94570

Ἀτμός ἀπομαστεύσεως καὶ ἐξαγωγῆς. Στρόβιλος ΥΠ.

Ἐκ τῶν 83 470 lb/h, ποὺ εἰσέρχονται εἰς τὸν στρόβιλον ΥΠ (1), ἔχομεν τὴν ἐξῆς διανομὴν :

1215 lb/h ἀπομαστεύονται πρὸς τὸν λέβητα ΧΠ (22) εἰς πίεσιν 125 lb/in² θλιβομετρικὴν, θερμοκρασίαν 552°F καὶ $i = 1302$ BTU/lb.

150 lb/h ἐξέρχονται ἀπὸ τοὺς στυπιοθλίπτας.

82 105 lb/h ἐξέρχονται ἐκ τοῦ στροβίλου ΥΠ εἰς πίεσιν 45 lb/in² θλιβ. καὶ θερμοκρασίαν 400°F καὶ $i = 1234$ BTU/lb.

Ἐκ τῶν 82 105 lb/h ἐξαγωγῆς ὕδρατμος ἀπὸ τὸν στρόβιλον ΥΠ 6470 lb/h ἀπομαστεύονται πρὸς τὸν προθερμαντήρα ἀέρος (18) καὶ τὸν δεύτερον προθερμαντήρα τροφ. ὕδατος (11) καὶ 75 635 lb/h εἰσέρχονται εἰς τὸν στρόβιλον ΧΠ (2).

Στρόβιλος ΧΠ.

Ἐκ τῶν 76 365 lb/h ὕδρατμος, ποὺ εἰσέρχονται εἰς τὴν στρόβιλον ΧΠ (2), ἔχομεν τὴν ἐξῆς διανομὴν :

6120 lb/h εἰς πίεσιν 7,5 lb/in² ἀπολ. ἀπομαστεύονται πρὸς τὸν βραστήρα χαμηλῆς πίεσεως (14) καὶ τὸν πρῶτον προθερμαντήρα τροφοδοτικῷ ὕδατος (10).

150 lb/h ἐξέρχονται ἀπὸ τοὺς στυπιοθλίπτας.

69 353 lb/h ἄτμου εἰς πίεσιν 1,5 in Hg καὶ θερμοκρασίαν 92°F ὁδηγοῦνται εἰς τὸ κύριον ψυγεῖον (συμπυκνωτὴν) (3) διὰ συμπύκνωσιν.

Ἡλεκτρογεννήτρια.

Ἐκ τῶν 3850 lb/h ὕδρατμος, ποὺ εἰσέρχονται εἰς τὴν ἠλεκτρογεννήτριαν (5), 100 lb/h ἐξέρχονται ἀπὸ τοὺς στυπιοθλίπτας καὶ 3750 lb/h εἰσέρχονται εἰς τὸ βοηθητικὸν ψυγεῖον (6) διὰ συμπύκνωσιν.

Απομάστευσις.

Έχουμε, ως προανεφέρθη, τρεις απομαστεύσεις :

Η πρώτη γίνεται εις διαβάθμισιν του στροβίλου ΥΠ με πίεσιν 125 lb/in² θλιβ. Από αυτήν υπέρθερμος υδρατμός ($t = 552^{\circ}\text{F}$, $i = 1302 \text{ BTU/lb}$) βάρους 1215 lb/h οδηγείται προς την ατμογεννήτριαν (22) υδρατμού χαμηλής πίεσεως (βοηθ. λέβης).

Από τον στροβίλον ΥΠ ο υδρατμός εισέρχεται εις την ατμογεννήτριαν (22) με πίεσιν 120 lb/in² θλιβ. και θερμοκρασίαν 550°F και χρησιμεύει ως πηγή θερμότητος δια την παραγωγήν κεκορεσμένου υδρατμού πίεσεως 115 lb/in², ο οποίος χρησιμεύει εις βοηθητικάς χρήσεις και μηχανήματα.

Η δευτέρα απομάστευσις γίνεται από την εξαγωγήν του στροβίλου ΥΠ εις πίεσιν 45 lb/in² θλιβ.

Από αυτήν απομαστεύεται βάρος 6470 lb/h υπέρθερμος υδρατμός ($t = 400^{\circ}\text{F}$ και $i = 1234 \text{ BTU/lb}$) και εκ τούτων 4450 lb/h οδηγούνται εις τους προθερμαντήρας άερος καύσεως (18) και 2020 lb/h οδηγούνται εις τον δεύτερον (έξαεριστικόν) προθερμαντήρα του τροφοδοτικού ύδατος (11).

Η τρίτη απομάστευσις γίνεται εις τον στροβίλον ΧΠ εις πίεσιν 7,5 lb/in² άπολ.

Από αυτήν απομαστεύεται βάρος 6120 lb/h υδρατμού (ύγρος $x = 0,97$ και $i = 1103 \text{ BTU/lb}$) και εκ τούτου 1750 lb/h οδηγούνται προς τον βραστήρα ΧΠ (14) και 4370 lb/h προς τον πρώτον προθερμαντήρα (10) του τροφ. ύδατος.

Ισοζύγιον.

Συνολικώς έχομεν :

Εξαγωγή προς κύριον ψυγείον από κυρίου στροβίλους lb/h	69365
Εξαγωγή προς βοηθ. ψυγείον από ήλεκτρογεννήτριαν lb/h	3750
Εξαγωγή από στυπαιοθλίπτas συνολικώς lb/h	400
Πρώτη απομάστευσις lb/h	1215
Δευτέρα απομάστευσις lb/h	6470
Τρίτη απομάστευσις lb/h	6120
Σύνολον lb/h	87320

Εισαγωγή υδρατμού εις κυρ. στροβίλους και ήλεκτρογεννήτριαν lb/h 87320.

Αφυπέρθερμος υδρατμός.

Από τον αφυπέρθερμαντήρα (21) εξέρχονται 6800 lb/h άτμού πίεσεως 600 lb/in² θλιβ. και θερμοκρασίας 513°F . Εκ του υδρατμού αυτού 5550 lb οδηγούνται προς την κυρίαν τροφοδοτικήν άντλίαν (12α) και από αυτήν οδηγούνται ως εξαγωγή προς τον δεύτερον έξαεριστικόν προθερμαντήρα (11) του τροφοδοτικού ύδατος.

Υπολογίζονται 450 lb/h άπώλεια εις συρίκτας, έκκαπνιστάς λεβήτων, εξαγωγάς κ.λπ. 125 lb/h οδηγούνται μέσω μειωτήρος (εις $P = 275 \text{ lb/in}^2$) εις άντλίαν θαλάσσης βραστήρος (14α), 475 lb/h. Επίσης μέσω μειωτήρος (εις $P = 275 \text{ lb/in}^2$) οδηγούνται εις έγχυτήρας (4) κυρίου ψυγείου και 200 lb/h εις έγχυτήρας (7) βοηθητικού ψυγείου.

Ἐπομένως διὰ τὸν ἀφυπέρθερμον ὕδρατμόν ἔχομεν :

Ἐξέρχονται ἀπὸ τὸν λέβητα 6800 lb/h, ἥτοι :

Κίνησις κυρίας ἀντλίας lb/h	5550
Διάφοροι ἀπώλειαι lb/h	450
Ἀντλία βραστήρος lb/h	125
Ἐγχυτήρ κυρίου ψυγείου lb/h	475
Ἐγχυτήρ βοηθητικοῦ ψυγείου lb/h	200
Σύνολον lb/h	6800

Διαφυγαὶ ἀπὸ στυπαιοθλίπτας.

Ἀπὸ τοὺς στυπαιοθλίπτας τοῦ στροβίλου ΥΠ ἔχομεν διαφυγὴν lb/h	150
Ἀπὸ τοὺς στυπαιοθλίπτας τοῦ στροβίλου ΧΠ ἔχομεν διαφυγὴν lb/h	150
Ἀπὸ τοὺς στυπαιοθλίπτας τῆς στροβιλογεννητρίας ἔχομεν διαφυγὴν lb/h	100
Σύνολον lb/h	400

Αἱ διαφυγαὶ αὗται συγκεντρώνονται ἐντὸς τοῦ συμπυκνωτοῦ (9) πρὸς συμπύκνωσιν.

Υγρὰ (Drains).

Ὡς ὑγρὰ ἐννοοῦμεν τὰς διαφόρους ἐπιστροφὰς ὕδρατμοῦ εἰς ὑγρὰν σχεδὸν κατάστασιν (μὲ βαθμὸν ξηρότητος χ πολὺ μικρὸν) μετὰ τὴν ἀπόδοσιν μεγάλου μέρους τῆς θερμότητός του εἰς μηχανήμα, προθερμαντήρα κ.λπ.

Ἐκ τῶν ὑγρῶν ἄλλα μὲν ὀδηγοῦνται εἰς εἰδικὴν δεξαμενὴν συλλέκτου ὑγρῶν (12) καὶ ἄλλα εἰς κύριον ἢ βοηθητικὸν ψυγεῖον ἢ ἀλλαχοῦ.

Υγρὰ ἐκτὸς τῆς δεξαμενῆς ὑγρῶν.

Αἱ 1215 lb/h ὕδρατμοῦ, αἱ ὁποῖαι χρησιμοποιοῦνται διὰ παροχὴν θερμότητος εἰς τὴν ἀτμογεννήτριαν χαμηλῆς πιέσεως, εἰσέρχονται εἰς τὸν προθερμαντήρα τῆς ἀτμογεννητρίας (23) μὲ $t = 350^{\circ}\text{F}$ καὶ ἐξέρχονται μὲ $t = 230^{\circ}\text{F}$ καὶ καταλήγουν εἰς τὸν δεῦτερον (ἐξαεριστικὸν) προθερμαντήρα (11) τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος.

Αἱ 1750 lb/h ὕδρατμοῦ, ποὺ εἰσέρχονται εἰς τὸν βραστήρα (14), ἐπιστρέφουν ὡς ὑγρὰ εἰς τὸ βοηθητικὸν ψυγεῖον (6). Αἱ 4370 lb/h ὕδρατμοῦ, ποὺ εἰσέρχονται εἰς τὸν πρῶτον προθερμαντήρα (10) τοῦ τροφοδοτικοῦ ὕδατος, ἐπιστρέφουν ὡς ὑγρὰ μὲ θερμοκρασίαν 175°F εἰς τὸν ψυκτῆρα ὑγρῶν (8), ἀποβάλλουν μέρος τῆς θερμότητός των καὶ μὲ $t = 114^{\circ}\text{F}$ καταλήγουν εἰς τὸ κύριον ψυγεῖον (3).

Ἐκ τῶν 200 lb/h ὕδρατμοῦ, ποὺ εἰσέρχονται εἰς τοὺς ἐγχυτήρας (7) τοῦ βοηθητικοῦ ψυγείου, αἱ 75 lb (ἐκ τῆς 1ης φάσεως) ὀδηγοῦνται ὡς ὑγρὰ μὲ $t = 130^{\circ}\text{F}$ εἰς τὸ βοηθητικὸν ψυγεῖον (16). Ἐκ τῶν 475 lb/h ὕδρατμοῦ, ποὺ εἰσέρχεται εἰς τοὺς ἐγχυτήρας (4) τοῦ κυρίου ψυγείου, αἱ 200 (ἐκ τῆς 1ης φάσεως) ὀδηγοῦνται ὡς ὑγρὰ μὲ $t = 130^{\circ}\text{F}$ εἰς τὸ κύριον ψυγεῖον.

Υγρὰ ἐντὸς τῆς δεξαμενῆς ὑγρῶν.

Ἐντὸς τῆς δεξαμενῆς ὑγρῶν (12) καταλήγουν αἱ κάτωθι ἐπιστροφαὶ ὑγρῶν :

Τοῦ ἀτμοῦ προθερμάνσεως ἀέρος (18) μέ	$t = 287^{\circ}\text{F}$	βάρους 4450 lb/h
Ἐκ τῆς 2ας φάσεως ἐγχυτήρων (7) βοηθ. ψυγείου μέ	$t = 200^{\circ}\text{F}$	» 125 lb/h
Ἐκ τῆς 2ας φάσεως ἐγχυτήρων (4) κυρ. ψυγείου μέ	$t = 200^{\circ}\text{F}$	» 275 lb/h
Ἐκ τοῦ συμπυκνωτοῦ ἀτμοῦ στυπαιοθλιπτῶν (9) μέ	$t = 200^{\circ}\text{F}$	» 400 lb/h
Ἀπὸ τὴν ἀντλίαν βραστῆρος (14α) μέ	$t = 180^{\circ}\text{F}$	» 125 lb/h
Συμπλήρωμα τροφ. ὕδατος λόγω ἀπωλειῶν βάρους		900 lb/h
Σύνολον lb/h		6275

Τὰ ὑγρά αὐτὰ συνολικοῦ βάρους 6275 lb/h μέ θερμοκρασίαν 212°F ὁδηγοῦνται πρὸς τὸ κύριον τροφ. δίκτυον μεταξὺ πρώτου καὶ δευτέρου προθερμαντήρος.

Ἀπὸ τὸ σχεδιάγραμμα παρατηροῦμεν ἐπίσης ὅτι ἐκ τῆς δεξαμενῆς ὑγρῶν ὁ μὴ συμπυκνούμενος ὕδρατμος βάρους 255 lb/h ἐξέρχεται πρὸς τὸν συμπυκνωτὴν (9) τοῦ ἀτμοῦ στυπαιοθλιπτῶν, συμπυκνοῦται ἐντὸς αὐτοῦ καὶ ἐπιστρέφει ὁμοῦ μέ τὸ συμπύκνωμα τοῦ ἀτμοῦ στυπαιοθλιπτῶν εἰς τὴν δεξαμενὴν ὑγρῶν, ἥτοι σύνολον $255 + 400 = 655$ lb/h συμπυκνούμενος.

Δίκτυον τροφοδοτικοῦ ὕδατος καὶ συμπυκνώματος.

Κύριος συμπυκνωτὴς ὕδρατμοῦ (κ. ψυγείου).

Εἰς τὸ κύριον ψυγεῖον (3) εἰσέρχονται :

Ἐξατμίσεις ἀπὸ τὸν στρόβιλον ΧΠ μέ	$t = 92^{\circ}\text{F}$	βάρους 69365 lb/h
Ὑγρά ἀπὸ τὸν ψυκτῆρα ὑγρῶν (8) μέ	$t = 114^{\circ}\text{F}$	βάρους 4370 lb/h
Ὑγρά ἀπὸ ἐγχυτήρας (4) μέ	$t = 130^{\circ}\text{F}$	βάρους 200 lb/h

Σύνολον lb/h 73935

Αἱ 73935 lb/h συμπυκνώματος ἀπὸ τὸ κύριον ψυγεῖον μέ $t = 92^{\circ}\text{F}$ τῇ βοηθείᾳ ἠλεκτροκινήτου ἀντλίας (ΗΑ) διέρχεται μέσω τοῦ ἐγχυτήρος (4), ψύχουν καὶ συμπυκνώνουν τὸν ἀτμὸν τῶν ἐγχυτήρων, ἐξέρχονται μέ $t = 98,9^{\circ}\text{F}$ καὶ ὁδηγοῦνται εἰς τὸ δίκτυον τροφοδοτήσεως πρὸ τοῦ ψυκτῆρος ὑγρῶν.

Βοηθητικὸς συμπυκνωτὴς ὕδρατμοῦ (βοηθ. ψυγείου).

Εἰς τὸ βοηθητικὸν ψυγεῖον (6) εἰσέρχονται :

Ἐξατμίσεις ἀπὸ ἀτμογεννήτριαν βάρους	3750 lb/h
Ὑγρά ἀπὸ τὸν βραστῆρα βάρους	1750 lb/h
Ὑγρά ἀπὸ τὸν ἐγχυτήρα βοηθ. ψυγείου μέ	$t = 130^{\circ}\text{F}$ βάρους 75 lb/h

Σύνολον lb/h 5575

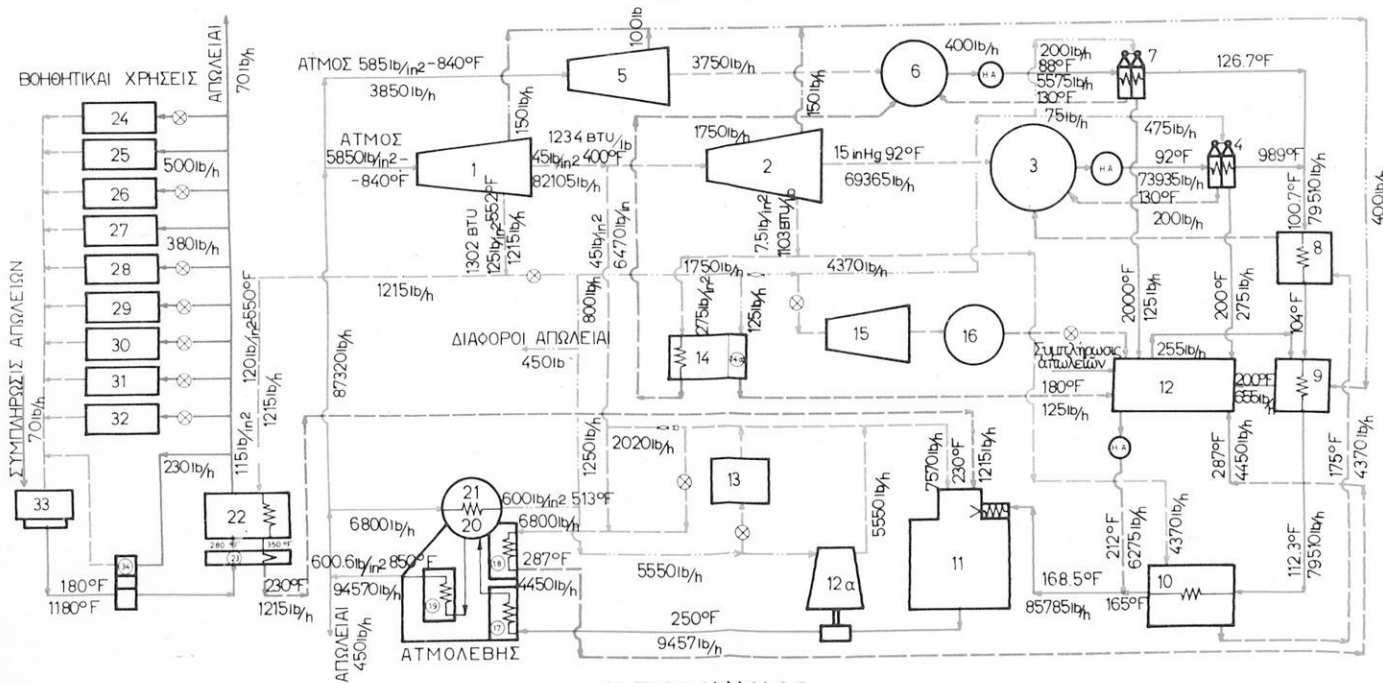
Αἱ 5575 lb/h συμπυκνώματος ἀπὸ τὸ βοηθ. ψυγεῖον μέ $t = 88^{\circ}\text{F}$ τῇ βοηθείᾳ ἠλεκτροκινήτου ἀντλίας (ΗΑ) διέρχονται μέσω τῶν ἐγχυτήρων (7), ψύχουν τὸν ἀτμὸν τῶν ἐγχυτήρων, ἐξέρχονται μέ $t = 126,7^{\circ}\text{F}$ καὶ ὁδηγοῦνται εἰς τὸ δίκτυον τροφοδοτήσεως εἰς κοινὸν ἀγωγὸν μέ τὸ συμπύκνωμα ἀπὸ τὸ κύριον ψυγεῖον.

Ψυκτῆρ ὑγρῶν.

Τὸ συμπύκνωμα ἀπὸ τὸ κύριον καὶ βοηθητικὸν ψυγεῖον συνολικοῦ βάρους :

$$73935 + 5575 = 79510 \text{ lb/h καὶ } t = 100,7^{\circ}\text{F}$$

ΡΟΗΣ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΙΣΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΝ ΠΛΗΡΗ ΙΣΧΥΝ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- _____ Υπερθερμός υδρατμός
- _____ Υδρατμός άπαιμαστεύσεως & εξαγωγής
- _____ Αφυπερθερμός υδρατμός
- _____ Κεκορεσμένος υδρατμός
- _____ Υδρατμός από συμπιεσθλιπτας
- _____ Ίγρά
- _____ Τροχοδοτικών ύδαρ και συμπύκνωμα

BHP 12.500

Ἐκτόπισμα πλήρους φορτίου 36000 Tons SW

Στροφαιὶ ἀνὰ λεπτὸν 100

Κατανάλωσις καυσίμου 6730 lb/h

Κατανάλωσις καυσίμου /ώραϊον BHP 538 lb

Θερμαντική Ικανότητα καυσίμου 18500 BTU/lb

Ἀπόδοσις λέβητος 88%

Θερμοκρασία καυσασερίων 305 °F

Ειδική κατανάλωσις ατμοῦ/ώραῖον BHP 6,2 lb

Φορτίον ηλεκτρογεννητριάς 33 kW

Θερμ. εισόδου θαλασ. ύδατος κυκλοφορίας 75 °F

Σύστημα θερμάνσεως ἐν ἀπομονώσει

Βραστήρ Χ.Π. παραγωγικότητας 5000 /24ωρον

Θερμοκρασία εισαγ. αέρος εις προθερμ. 100 °F

Θερμοκρασία έξαγ. αέρος εκ προθερμ. 267°F

⊗ Διακοπή σωληνώσεως—σύστημα απομονώσεως

⌞ ⌟ Ἀτμομειωτήρ

διέρχεται μέσω του ψυκτήρος υγρών (8), ψύχει ταύτα και συγχρόνως απορροφεί θερμότητα, ώστε εξέρχεται από αυτόν με $t = 104,1^{\circ}\text{F}$.

Συμπυκνωτής υδρατμού διαφυγών στυπαιοθλιπτών.

Το συμπύκνωμα βάρους $79\,510\text{ lb/h}$ και $t = 104,1^{\circ}\text{F}$ διέρχεται μέσω του συμπυκνωτού υδρατμού στυπαιοθλιπτών (9), ψύχει αυτόν και συγχρόνως απορροφεί θερμότητα και εξέρχεται με $t = 112,3^{\circ}\text{F}$.

Πρώτος προθερμαντήρ.

Το συμπύκνωμα βάρους $79\,510\text{ lb/h}$ και $t = 112,3^{\circ}\text{F}$ εισέρχεται εις τον πρώτον προθερμαντήρα (10) (εις τον οποίον εισέρχεται υδρατμός με $P = 6,8\text{ lb/in}^2$ άπολ. και $t = 175^{\circ}\text{F}$) και εξέρχεται με $t = 165^{\circ}\text{F}$.

Εύθως μετά την εξοδόν του από τον πρώτον προθερμαντήρα το συμπύκνωμα άναμιγνύεται με βάρος 6275 lb/h υγρών με $t = 212^{\circ}\text{F}$, τὰ όποια έρχονται από την δεξαμενήν συλλογής υγρών, όποτε τώρα το όλον συμπύκνωμα έχει βάρος :

$$79\,510 + 6275 = 85\,785\text{ lb/h, ένώ ή θερμοκρασία του άνηλθεν εις } 166,5^{\circ}\text{F}.$$

Δεύτερος εξαεριστικός προθερμαντήρ (άναμίξεως).

Εις τον δεύτερον (εξαεριστικόν) προθερμαντήρα (11) εισέρχονται :

Συμπύκνωμα από πρώτον προθερμαντήρα και δεξαμενήν υγρών με $t = 168,5^{\circ}\text{F}$ συνολικού βάρους	85785 lb/h
Ύδρατμός από 2αν άπομάστευσιν με $t = 275^{\circ}\text{F}$ βάρους	2020 lb/h
Έξατμίσεις από κυρίαν τροφοδ. άντλίαν βάρους	5550 lb/h
Ύγρα από την άτμογεννήτριαν ΧΠ με $t = 230^{\circ}\text{F}$ βάρους	1215 lb/h
Σύνολον lb/h	94570

Εις τον προθερμαντήρα αυτόν ή πίεσις είναι 15 lb/in^2 και το όλον συμπύκνωμα, ως άνωτέρω, άποκτá θερμοκρασίαν 250°F .

Κύριοι λέβητες.

Το συμπύκνωμα βάρους $94\,570\text{ lb/h}$ και $t = 250^{\circ}\text{F}$ καταθλίβεται μέσω τής κυρίας άντλίας τροφοδοτήσεως (12α) εις τους λέβητας με πίεσιν 700 lb/in^2 θλιβ., διέρχεται μέσω του οίκονομητήρος (17), άνέρχεται περαιτέρω ή θερμοκρασία του και εισέρχεται εις τον άτμοθάλαμον (20) προς άτμοποίησιν. Ό άτμός τώρα εισέρχεται εις τον προθερμαντήρα (19), υπερθερμαίνεται και $94\,570\text{ lb/h}$ υδρατμού με $P = 600\text{ lb/in}^2$ και $t = 850^{\circ}\text{F}$ εξέρχονται από τον υπερθερμαντήρα και ό κύκλος έπαναλαμβάνεται.

Κεκορεσμένος υδρατμός (ύγρός). Τροφοδοτικόν δίκτυον άτμογεννητρίας ΧΠ. Κεκορεσμένος υδρατμός.

Ή άτμογεννήτρια ΧΠ παράγει υγρόν υδρατμόν. Ή θερμότης δια την άτμοποίησιν του ύδατος εις αύτήν λαμβάνεται από τον υπερθερμον υδρατμόν, ό όποίος άπομαστεύεται από τον στρόβιλον ΥΠ.

Θερμοδυναμική

Ἡ ἀτμογεννήτρια παράγει ἀτμὸν πίεσεως 115 lb/in² θλιβ. διὰ τὰς βοηθητικὰς χρήσεις καὶ μηχανήματα, ὡς ταῦτα ἀναφέρονται μὲ τοὺς ἀριθμοὺς 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 καὶ 34 εἰς τὸ σχεδιάγραμμα (παράγρ. 19·2).

Ὡς ὑποτίθεται ὅτι πλέει τώρα τὸ πλοῖον μὲ κανονικὴν πλήρη ἰσχύϊν ἐκ τῆς ἀτμογεννητρίας χορηγεῖται ἀτμός :

Διὰ κίνησιν τῆς τροφοδ. ἀντλίας (34)	230 lb/h
Διὰ κουζίαν κ.λπ. (27)	380 lb/h
Διὰ θέρμανσιν πετρελαίου καύσεως (25)	500 lb/h
Διάφοροι ἀπώλειαι	70 lb/h
Σύνολον lb/h ἀτμοῦ	1180

Τροφοδοτικὸν ὕδωρ - Συμπύκνωμα (βοηθ. λέβητος).

Αἱ ἐξατμίσεις τῶν μηχανημάτων, ὡς ἀνωτέρω, ὁμοῦ μὲ τὸ συμπλήρωμα ὕδατος 70 lb/h διὰ κάλυψιν τῶν ἀπωλειῶν, ἥτοι 1180 lb/h εἰσέρχονται εἰς τὸν συμπυκνωτὴν (33) ἀτμοσφαιρικῆς πίεσεως.

Αἱ 1180 lb συμπυκνώματος μὲ $t = 180^{\circ}\text{F}$ καταθλίβονται ἀπὸ τὴν τροφοδοτικὴν ἀντλίαν (34) εἰς τὸν προθερμαντῆρα (23), ἀνέρχεται ἡ θερμοκρασία του εἰς $t = 280^{\circ}\text{F}$ καὶ καταλγεί εἰς τὴν ἀτμογεννήτριαν (22).

Ὡς θερμαῖνον σῶμα τοῦ ἐναλλακτῆρος θερμότητος (23) εἶναι ἡ ἐξαγωγή τοῦ ὕδρατμοῦ, ὁ ὁποῖος ἐχρησιμοποιεῖται ὡς πηγὴ θερμότητος εἰς τὴν ἀτμογεννήτριαν.

Ὁ ὕδρατμος αὐτὸς εἰσέρχεται εἰς τὸν ἐναλλακτῆρα θερμότητος (23) σχεδὸν ξηρὸς μὲ $t = 350^{\circ}\text{F}$, ἀποβάλλει θερμότητα καὶ ὑγροποιεῖται μὲ $t = 230^{\circ}\text{F}$, ἐνῶ συγχρόνως ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος τροφοδοτήσεως τῆς ἀτμογεννητρίας ἀνέρχεται ἀπὸ 180°F εἰς 280°F .

Τὰ ὑγρά τώρα ἀπὸ τὸν ἐναλλακτῆρα θερμότητος (23) βάρους 1215 lb/h καταλήγουν εἰς τὸν δεῦτερον (ἐξαεριστικὸν) προθερμαντῆρα (11) τροφοδοτικοῦ ὕδατος.

19·6 Ροὴ ὕδρατμοῦ, ὅταν τὸ πλοῖον πλέη μὲ μεγίστην ἰσχύϊν.

Χαρακτηριστικὰ πλοῖον.

Εἰς τὴν πλήρη ἰσχύϊν ἡ μηχανὴ ἀναπτύσσει 13 750 BHP μὲ 103 στρ/min. Κατανάλωσις καυσίμου 7430 lb/h ἢ 0,540 lb ἀνὰ ὥριαϊον BHP. Ἀπόδοσις λέβητος 87,7%. Τὰ λοιπὰ ὡς εἰς παράγραφον 19·4.

Ροὴ ὕδρατμοῦ.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἔχομεν τὰς ἐξῆς διαφορὰς ἀπὸ τὰ ἀναφερόμενα εἰς παράγραφον 19·5.

Παραγωγή ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ 104 005 lb/h. Ἀπώλειαι 500 lb/h.

Παραγωγή ἀφυπερθέρμου ὕδρατμοῦ 7050 lb/h.

Εἰσαγωγή εἰς στρόβιλον ΥΠ 92 445 lb/h.

Εἰσαγωγή εἰς στροβιλογεννήτριαν 4010 lb/h.

Κατὰ τὰ λοιπὰ μὲ μικροδιαφορὰς εἰς τὰς ποσότητας ὡς τὰ ἀναφερόμενα εἰς παράγραφον 10·5.

19.7 Ροή ύδρατμοῦ, ὅταν τὸ πλοῖον πλέη μὲ μεγίστην ἰσχὺν καὶ γίνεται καθαρισμὸς δεξαμενῶν φορτίου Butterworth.

Χαρακτηριστικά πλοίου.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ κατανάλωσις καυσίμου αὐξάνει εἰς 9050 lb/h ἢ 0,658 ἀνὰ ὥρια ὀν BHP. Ἀπόδοσις λέβητος 87,4 %. Κατὰ τὰ λοιπὰ ὡς εἰς παράγραφον 19.6.

Ροή ύδρατμοῦ.

Αἱ βασικαὶ διαφοραὶ μὲ τὰ ἀναφερόμενα εἰς παράγραφον 19.5 εἶναι :

Παραγωγή ὑπερθερμοῦ ύδρατμοῦ 130 000 lb/h.

Παραγωγή ἀφυπερθερμοῦ ύδρατμοῦ 34 350 lb/h. Ἀπὸ τὰς 34 350 lb ἀφυπερθερμὸς ύδρατμοῦ αἱ 23 280 lb ὁδηγοῦνται εἰς τὴν ἀτμογεννήτριαν ΧΠ μέσω μειωτῆρος εἰς $P = 200 \text{ lb/in}^2$ καὶ $t = 478^\circ\text{F}$, ἐνῶ ἀπομονοῦται ἡ πρώτη ἀπομάστευσις ἐκ τοῦ στροβίλου ΥΠ.

Ἡ ἀτμογεννήτρια ΧΠ τροφοδοτεῖ μὲ 196 550 lb/h ὑγροῦ ύδρατμοῦ τὸ σύστημα Butterworth καθαρισμοῦ τῶν δεξαμενῶν.

19.8 Ροή ύδρατμοῦ, ὅταν τὸ πλοῖον πλέη μὲ μεγίστην ἰσχὺν καὶ γίνεται θέρμανσις τοῦ ὑγροῦ φορτίου του.

Τὰ χαρακτηριστικά πλοίου ὡς εἰς παράγραφον 19.7.

Καὶ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἀπομονοῦται ἡ πρώτη ἀπομάστευσις καὶ χορηγεῖται ύδρατμὸς διὰ τὴν ἀτμογεννήτριαν μέσω τοῦ ἀφυπερθερμαντήρος.

Ἡ ἀτμογεννήτρια κεκορεσμένου ύδρατμοῦ τροφοδοτεῖται μὲ 25 740 lb/h ύδρατμοῦ (μέσω μειωτῆρος) εἰς $P = 200 \text{ lb/in}^2$ καὶ $t = 475^\circ\text{F}$.

Ἡ ἀτμογεννήτρια ΧΠ μὲ τὴν σειρὰν τῆς χορηγεῖ 22 990 lb/h κεκορεσμένου ύδρατμοῦ διὰ τὴν θέρμανσιν τοῦ φορτίου.

19.9 Ροή ύδρατμοῦ. Πλοῖον εἰς τὸν λιμένα. Ἐκφόρτωσις ὑγροῦ φορτίου.

Κατὰ τὴν ἐν ἔρμῳ λειτουργίαν, ὡς ἀνωτέρω, εὐρίσκεται ἐν λειτουργίᾳ :

1 Λέβης - Κατανάλωσις 4050 lb/h πετρελαίου

1 Ἡλεκτρογεννήτρια (5) μὲ φορτίον 209 kW

Βοηθητικὸν ψυγεῖον (6) μὲ τὸν ἐγγυτήρα του (7)

Ψυκτὴρ ὑγρῶν (8)

Συμπυκνωτὴς ύδρατμοῦ ἀπὸ στυπιοθλίπτας (9)

Ὁ 1ος προθερμαντήρ (10)

Ὁ 2ος ἐξαεριστικὸς προθερμαντήρ (11)

Ἡ τροφοδοτικὴ ἀντλία τοῦ λέβητος (12α)

Αἱ ἀντλίας ἐξαγωγῆς φορτίου (15)

Συμπυκνωτὴς ἐξατμίσεων ἀντλιῶν φορτίου (16)

Ἡ ἀτμογεννήτρια ΧΠ (22)

Κουζίνα κ.λπ. (27)

Ἡ ἀντλία κυτῶν τῶν ἀντλιοστασίων ἀντλιῶν φορτίου (30) μὲ κατανάλωσιν 600 lb/h ύδρατμοῦ.

Αἱ δύο ἀντλῖαι ἀποστραγγίσεως (31) μὲ κατανάλωσιν 7620 h ὕδρατμοῦ.
 Τὰ βαροῦλκα καταστρώματος (32) μὲ κατανάλωσιν 2500 h ὕδρατμοῦ.
 Ἡ τροφοδοτικὴ ἀντλία ἀτμογεννητρίας (34).

Παραγωγή ὑπερθέρμου ὕδρατμοῦ 62 760 lb/h. Παραγωγή ἀφυπερθέρμου ὕδρατμοῦ 60 000 lb/h, ἐκ τοῦ ὁποίου αἱ 42 000 lb χρησιμοποιοῦνται διὰ τὴν κίνησιν τῶν ἀντλιῶν φορτίου καὶ αἱ 12 100 lb ὁδηγοῦνται εἰς τὴν ἀτμογεννήτριαν μέσω μειωτῆρος μὲ $P = 170 \text{ lb/in}^2$ καὶ $t = 550^\circ\text{F}$.

Σημείωσις : Ἀπαντὰ τὰ ἀναφερόμενα εἰς τὸ Κεφάλαιον 19 ἐλήφθησαν ἀπὸ στοιχεῖα πετρελαιοφόρου πλοίου ἐν ἐνεργείᾳ. Οἰκοθεν νοεῖται ὅτι ἕκαστον πλοῖον θὰ ἔχῃ τὸ ἰδικόν του διάγραμμα «Ροῆς ἀτμοῦ καὶ ἰσοζυγίου θερμότητος», τὸ ὁποῖον ὅμως θὰ διαφέρει ἀπὸ τὸ παρὸν εἰς λεπτομερείας ἀναλόγως μὲ τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ πλοίου καὶ τὸν κατασκευαστὴν του.

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

A = Έπιφάνεια	K = Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
α = Απόλυτος ατμοσφαιρική πίεσις	Έκθέτης πολυτροπικής αλλαγής
$A.Y.$ ή AY = Απόλυτος ύγρασία ατμοσφαιρικού αέρος	$^{\circ}K$ = Θερμοκρασία ΚΕΛΒΙΝ
B = Βάρος	K_E = Κινητική ενέργεια
BHP = Πραγματική ίπποδύναμις	K_p = Όγκομετρική θερμότης αερίου υπό σταθεράν πίεσιν
C = Διεθνής σταθερά αερίων	K_v = Όγκομετρική θερμότης αερίου υπό σταθερόν ὄγκον
Ειδική θερμότης	L = Διαδρομή ἐμβόλου
$^{\circ}C$ = Βαθμός θερμοκρασίας Κελσίου	λ = Λανθάνουσα θερμότης ξηροῦ ὑδρατμοῦ
C_p = Ειδική θερμότης αερίων υπό σταθεράν πίεσιν	l_{η} = Νεπέρειος Λογάριθμος
C_v = Ειδική θερμότης αερίων υπό σταθερόν ὄγκον	M = Μᾶζα
d ή D = Διάμετρος	Μοριακὸν βάρος
E = Μεταβολή ἐσωτερικῆς ἐνεργείας αερίου	N = Στροφάι
Έσωτερικὴ ἐνέργεια ὑδρατμοῦ	η = Βαθμός ἀποδόσεως
$E.\Theta.$ ή $E\Theta$ = Ένεργὸς θερμοκρασία	P = Πίεσις
E_k = Ειδικὴ κατανάλωσις	P_{κ} = Κρίσιμος πίεσις
$^{\circ}F$ = Βαθμός θερμοκρασίας Φαρενάϊτ	P_{m} = Μέση ἐνεργὸς πίεσις
g = Γραμμάριον	R = Χαρακτηριστικὴ σταθερά αερίου
Έπιτάχυνσις τῆς βαρύτητος	$^{\circ}R$ = Βαθμός θερμοκρασίας Rankine
H = Ποσὸν θερμότητος	R_{κ} = Θερμικὴ ἀντίστασις
HP = Ίππος	r = Βαθμός ἐκτονώσεως ή συμπίεσεως
HP_h = Ώριαῖος Ίππος	S = Έντροπία
h_{κ} = Ειδικὴ κατανάλωσις θερμότητος	SHP = Ἀτρακτοῖππον
i = Όλικὴ θερμότης ὑδρατμοῦ (ἐνθαλπία)	$\Sigma.\Delta.$ ή $\Sigma\Delta$ = Σημεῖον Δρόσου
IHP = Ένδεικτικὴ ίπποδύναμις	$\Sigma.\Lambda.$ ή $\Sigma\Lambda$ = Συντελεστὴς λειτουργίας
J = Μηχανικὸν ἰσοδύναμον θερμότητος	$\Sigma.Y.$ ή ΣY = Σχετικὴ ὑγρασία
	T = Θερμοκρασία ἀπόλυτος Kelvin ή Rankine
	t = Θερμοκρασία σχετικὴ
	t_{ξ} = Θερμοκρασία ξηροῦ βολβοῦ
	t_v = Θερμοκρασία ὑγροῦ βολβοῦ

U = Όγκος
 Όλικός συντελεστής μεταφοράς
 θερμότητος

$\bar{U}$ = Όγκομετρική μονάς Mol

κ = Συντελεστής μεμβράνης υγρού

ν = Είδικός όγκος

U_s = Όγκος διαδρομής έμβολου

V = Ταχύτης

V_κ = Κρίσιμος ταχύτης

W = Μηχανικόν έργον

X = Πάχος

χ = Βαθμός ξηρότητος ύδρατμοῦ

ξ = Έξωτερικόν έργον ατμοποιήσεως

γ = Έκθέτης αδιαβατικής έκτονώσεως

Θ = Θερμαντική Ικανότης

θ = Χρόνος

ρ = Πυκνότης

Βαθμός καύσεως

Αίσθητή θερμότης ὕδατος εἰς κα-
 τάστασιν κορεσμοῦ

$\Psi.T.$ ἢ ΨT = Ψυκτικός Τόννος

$\Psi.A.$ ἢ ΨA = Ψυκτικόν ἀποτέλεσμα

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΝ

(Οἱ ἀριθμοὶ ἀναφέρονται εἰς σελίδας)

- Ἀγωγιμότης 27
- Ἀδιαβατική ἀλλαγὴ ἀερίων 73, 80, 143
- Ἀδιαβ. ἀλλαγὴ εἰς ἄξονας T-S 129
- Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑδρατμοῦ 154
- Ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις ὑδρατμοῦ 165
- Ἀέριον 13
- Ἀεριοστρόβιλοι 310
- Ἀεροσυμπιεσταὶ 284
- Ἀεροσυμπιεστῆς - Ἀπόδοσις 299
- Ἀεροσυμπιεστῆς - Ὀγκομετρικὴ ἀπόδοσις 296
- Ἀεροσυμπιεστῆς - Ὅροι μεγίστης ἀποδόσεως 293
- Ἀεροσυμπιεστῆς τριῶν φάσεων 295
- Ἀῆρ κεκορεσμένος 337
- Αἶσθημα ἀνέσεως 343
- Αἰσθητὴ θερμότης ὕδατος 115
- Ἀκροφύσια 253, 255, 257
- Ἀκροφύσιον δι' ὕγρὰ 258
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων 62, 64
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων εἰς ἄξονας T-S 141
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων ἀδιαβατικῇ ἢ ἀδιάθετος ἢ ἰσοτροπικῇ 73, 80, 143
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων ἰσοθερμοκρασιακῇ ἢ ἰσοθερμικῇ 70, 80, 142
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων πολυτροπικῇ 78, 79, 80, 81, 143
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων ὑπερβολικῇ 70, 72
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 66, 142
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ἀερίων ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 64
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ὑδρατμοῦ ἰσοθερμοκρασιακῇ 157
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ὑδρατμοῦ ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν 154
- Ἀλλαγαὶ καταστάσεως ὑδρατμοῦ ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον 152
- Ἀμμωνία 323, 334
- Ἀναθέρμανσις ὑδρατμοῦ 214
- Ἀναστρεφόμενος κύκλος Rankine 318
- Ἀναστρέψιμος λειτουργία 63
- Ἀναστρεψιμότης 63, 89
- Ἀναστρεψιμότης θερμικῇ 89
- Ἀναστρεψιμότης θερμοδυναμικῇ 87
- Ἀναστρεψιμότης μηχανικῇ 88
- Ἀνοικτὸς θερμικὸς κύκλος 86
- Ἀντίστροφος κύκλος Carnot 313
- Ἀντλία 86
- Ἀπόδοσις ἀτμολέβητος 201
- Ἀπόδοσις ἐνδεικτικῇ 248, 302
- Ἀπόδοσις ἐσωτερικῇ ἀτμοστροβίλου 275
- Ἀπόδοσις θερμικῇ ἀεριοστροβίλων 312
- Ἀπόδοσις ἰδανικῇ 87
- Ἀπόδοσις κύκλου Carnot 92
- Ἀπόδοσις κύκλου Diesel 101, 102
- Ἀπόδοσις κύκλου Dual 105, 106
- Ἀπόδοσις κύκλου Otto 97, 98
- Ἀπόδοσις κύκλου Rankine 211
- Ἀπόδοσις M.E.K. 302
- Ἀπόδοσις μηχανικῇ 249, 303
- Ἀπόδοσις ὀγκομετρικῇ 296, 308
- Ἀπόδοσις ὀλικῇ 248, 303
- Ἀπόδοσις παλινδρομικῆς μηχανῆς 247
- Ἀπόδοσις πραγματικῇ στροβίλου 279
- Ἀπόδοσις συμπιεστοῦ 299
- Ἀπόδοσις σχετικῇ 248, 303
- Ἀπόλυτος μηδὲν θερμοκρασίας 18, 42, 47, 51
- Ἀπόλυτος ὑγρασία ἀέρος 174, 175, 337
- Ἀπομάστευσις 220, 221, 266, 270, 273, 366
- Ἀπορροφητικὸν ψυκτικῆς 334
- Ἀπώλεια λόγῳ διακένων παλινδρομικῆς 240
- Ἀπώλεια λόγῳ στραγγαλισμοῦ ὑδρατμοῦ 240, 276
- Ἀπώλεια λόγῳ τοιχωμάτων κυλίνδρου 239
- Ἀπώλεια ταχύτητος ἐξαγωγῆς ὑδρατμοῦ 276
- Ἀπολεσθεῖσα ποσότης 240
- Ἀρχικὴ συμπτύκνωσις 240
- Ἀτμολέβητες 200
- Ἀτμὸς 13
- Ἀτμοστρόβιλοι 253

Άτμοσφαιρικός αήρ - Άπαιτούμενη ποσότης διὰ καύσιν 193
 Άτμοσφαιρικός αήρ - Κλιματισμός 337
 Άτμοσφαιρικός αήρ - Ύπολογισμός ἐπὶ πλέον βάρους διὰ καύσιν 195
 Αφυπέρθερμος ὕδρατμος 336

Βαθμός API 188

Βαθμός εἰσορῆς 234
 Βαθμός ἐκτονώσεως 71, 234
 Βαθμός ἐλευθερίας κινήσεως τῶν μορίων τῶν αερίων 51
 Βαθμός ξηρότητος ατμοῦ 112, 116
 Βαθμός ξηρότητος ὕδρατμου - Μέτρησις 169, 170, 171
 Βαθμός συμπίεσεως 71
 Βαρομετρικὴ πίεσις 174
 Βασικά ἐξαρτήματα ψυκτικοῦ κύκλου διὰ συμπίεσεως 320
 Brake Horse Power 280

Δεξαμενὴ - Συλλέκτης ἀποβαλλομένης θερμότητος 86, 132

Δεύτερον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα 94
 Διάγραμμα ἀνέσεως 348
 Διάγραμμα ἐνεργοῦ θερμοκρασίας 344
 Διάγραμμα ἐντροπίας καὶ θερμοκρασίας (T-S) ὕδρατμου 148
 Διάγραμμα Mollier (i-S) ὕδρατμου 151, 163
 Διάγραμμα P-i ψυκτικῶν φορέων 326
 Διάγραμμα P-u ὕδρατμου 151
 Διάγραμμα συμπίεστοῦ 287
 Διάγραμμα T-S 128, 161, 162, 210, 216
 Διάγραμμα ψυχρομετρικὸν 183
 Διατομὴ λαίμου καὶ ἐξόδου ἀκροφυσίου 263
 Διατομικὸν αέριον 52, 54
 Διεθνὴς σταθερὰ αερίων 50
 Δυναμοδείκτης 241

Ἐγκατάστασις ἀτμοκινήτου πλοίου 362

Εἰδικὴ θερμότης 20
 Εἰδικὴ θερμότης αερίων 21, 310
 Εἰδικὴ θερμότης μίγματος αερίων 59
 Εἰδικὴ κατανάλωσις θερμότητος 226, 281, 303
 Εἰδικὴ κατανάλωσις ὕδρατμου 226, 281
 Εἰδικὸς ὄγκος 13, 19
 Εἰδικὸς ὄγκος ὕδρατμου 120
 Ἐκθέτης K συμπίεσεως 289
 Ἐκτονωτικὴ βάλβις 320, 321
 Ἐλατήριο δυναμοδείκτου 242
 Ἐλευθέρᾳ ἄνευ ἀντιστάσεως ἐκτό-

νωσις αερίου 81
 Ἐλεύθερος αήρ 298
 Ἐναλλακτὴρ θερμότητος 352
 Ἐνέργεια 4
 Ἐνέργεια δυναμικὴ 5
 Ἐνέργεια ἐσωτερικὴ 7, 13, 14, 46, 124
 Ἐνέργεια ἐξωτερικὴ αερίων 17, 51
 Ἐνέργεια θερμικὴ 5, 12, 13, 15-17
 Ἐνέργεια κινητικὴ 6, 260
 Ἐνέργεια μετατρέψιμος καὶ μὴ μετατρέψιμος 131, 133, 145
 Ἐνέργεια μηχανικὴ 4, 5, 12, 13
 Ἐνεργὸς θερμοκρασία 343
 Ἐνθαλπία 13, 125
 Ἐνθαλπία μίγματος αέρος ὕδρατμου 181
 Ἐντροπία 13, 128
 Ἐντροπία ἀτμοποιήσεως 139
 Ἐντροπία - Μαθηματικὴ ἔκφρασις 136
 Ἐντροπία - Μεταβολὴ αὐτῆς κατὰ τὰς ἀλλαγὰς καταστάσεως αερίων 137, 138
 Ἐντροπία ξηροῦ ὕδρατμου 139
 Ἐντροπία ὑγροῦ ὕδρατμου 139
 Ἐντροπία ὕδατος 138
 Ἐντροπία ὕδατος - ὕδρατμου 148
 Ἐντροπία ὑπερθέρμου ὕδρατμου 139
 Ἐντροπία ὡς δείκτης τῆς μὴ μετατρεψίμου ἐνεργείας 133
 Ἐξαρτήματα μεταφορᾶς θερμότητος 352
 Ἐξατμιστὴς 320, 322
 Ἐξατμιστικὴ ἱκανότης λέβητος 200
 Ἐξισώσεις καύσεως 190
 Ἐξωτερικὴ λανθάνουσα θερμότης 123
 Ἐξωτερικὸν ἔργον ἀτμοποιήσεως 122
 Ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς μοριακῆς θερμότητος 54
 Ἔργον ἀντλίας 209, 272
 Ἔργον ἀπαιτούμενον συμπίεστοῦ 288
 Ἔργον ἐξωτερικὸν ἀτμοποιήσεως 122
 Ἔργον μηχανικὸν 8
 Ἔργον ροῆς 9
 Ἐσωτερικὴ ἰσχὺς ἀτμοστροβίλου 275

Ζώνη ἀνέσεως θέρους 350

Ζώνη ἀνέσεως χειμῶνος 349

Ἡχητικὴ ταχύτης 260

Θερμαινομένη ἐπιφάνεια λέβητος 200

Θερμαντικὴ ἱκανότης καυσίμου 188, 199, 201

Θερμικὴ ἀντίστασις 28

Θερμικὴ ἐνέργεια αερίων 51

Θερμικὴ μηχανὴ 12, 86

Θερμική πτώσις 260, 265
 Θερμικοί κύκλοι 85
 Θερμικόν Ισοζύγιον λέβητος 202
 Θερμικόν Ισοζύγιον Μ.Ε.Κ. 305
 Θερμικόν περιεχόμενον 125
 Θερμοδυναμικά μέσα 12, 86
 Θερμοδυναμική Τεχνική 1, 8
 Θερμοδυναμικός ή θερμικός κύκλος μηχανής 85, 87
 Θερμοκρασία 13, 14, 16, 17, 18, 22
 Θερμοκρασία αποβαλλομένη από τὸ ἀνθρώπινον σῶμα 342
 Θερμοκρασία απομαστεύσεως 273
 Θερμοκρασία ατμοποίησης 113
 Θερμοκρασία ἐνεργός 343
 Θερμοκρασία θέρους εἰς κλειστοὺς χώρους 346
 Θερμοκρασία κριτική 322
 Θερμοκρασία - Μέση διαφορὰ κινουμένου ρευστοῦ 352
 Θερμοκρασία ὑγροῦ καὶ ξηροῦ βολβοῦ 179, 182, 185
 Θερμοκρασία ὑπερθερμάνσεως 119
 Θερμοκρασίαι λειτουργίας μηχανῶν 132
 Θερμότης 13
 Θερμότης ἀέρος 338
 Θερμότης αἰσθητή 15, 338
 Θερμότης αἰσθητή ὕδατος 115
 Θερμότης ἀποβαλλομένη με καυσάε-
 ρια 197
 Θερμότης ἀποβαλλομένη με καυσάε-
 ρια 197
 Θερμότης ἀπορροφωμένη ὑπὸ τοῦ ἀν-
 θρώπινου σώματος 342
 Θερμότης ατμοποίησης ὕδατος 118
 Θερμότης εἰδική 20, 21, 59, 310
 Θερμότης - εἰδική κατανάλωσις 226,
 281, 303
 Θερμότης ἐστίας λέβητος 201
 Θερμότης λανθάνουσα 15, 17, 313,
 325, 338
 Θερμότης λανθάνουσα ὕδατος 116
 Θερμότης ὀλική μίγματος ἀέρος ὕδρα-
 τμοῦ 181
 Θερμότης ὀλική ὕδατος 115
 Θερμότης ὀλική ὕδατος 117
 Θερμότης ὑπερθερμάνσεως 119
 Θεωρητικὸν διάγραμμα παλινδρομι-
 κῆς ἀτμομηχανῆς 233
 Ἰδανικαὶ λειτουργίαι 63
 Ἰδανικὴ ἀπόδοσις θερμικοῦ κύκλου 87
 Ἰπποδύναμις παλινδρομικῆς μηχανῆς
 247
 Ἴππος 9
 Ἴππος ὥριαῖος 10

Ἰσοδύναμον μοριακὸν βάρος μίγματος
 ἀερίων 59
 Ἰσοζύγιον θερμότητος ἀνθρώπινου
 σώματος 341
 Ἰσοζύγιον θερμότητος ἀτμοκινήτου
 πλοίου 362, 365
 Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ καταστά-
 σεως ὕδατος 157
 Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἢ Ἰσόθερμος ἀλλαγὴ
 ἀερίων 70, 80, 142
 Ἰσόθερμος συμπίεσις 290
 Ἰσότης διατηρήσεως ἐνεργείας 63
 Ἰσότης συνεχείας ροῆς 254
 Ἰσχύς 9, 277, 299, 301

Καθορισμός τῆς τιμῆς Κυ ἀερίων 53
 Καθορισμός τῆς τιμῆς τοῦ ἐκθέτου Κ
 πολυτροπικῆς ἀλλαγῆς 81
 Καμπύλη κορεσμοῦ 244
 Καταστάσεις ἐνὸς σώματος 111
 Καυσάε-
 ρια - Βάρος ἀνὰ μονάδα καιο-
 μένου καυσίμου 194
 Καυσάε-
 ρια - Ὑπολογισμός ἀποβαλλο-
 μένης θερμότητος 197
 Καῦσις ἀερίων κατ' ὄγκον 198
 Κενόμετρα 3
 Κενὸν 3, 4
 Κιλομόριον 49
 Κίνησις τοῦ ἀέρος 341
 Κινητικὴ θεωρία ἀερίων 51
 Κλειστὸς θερμικὸς κύκλος 86
 Κλίμαξ ἐλατηρίου δυναμοδείκτου 242
 Κλιματισμὸς ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος 337
 Κλιματισμὸς κατὰ τὸ θέρος 345
 Κλιματισμὸς κατὰ τὸν χειμῶνα 345
 Κρίσιμος λόγος 259
 Κρίσιμος ταχύτης 260
 Κριτικὴ θερμοκρασία 150, 210, 224,
 322
 Κριτικὴ πίεσις 151, 210, 224
 Κριτικὸν σημεῖον 112
 Κριτικὸν σημεῖον ὕδατος 150
 Κύκλος Carnot 91, 145
 Κύκλος Carnot ἀντίστροφος 313
 Κύκλος Carnot εἰς διάγραμμα Τ - S 130
 Κύκλος Diesel 100, 144, 146, 301
 Κύκλος Diesel εἰς ἄξονας Τ - S 144
 Κύκλος Dual εἰς ἄξονας Τ - S 144
 Κύκλος Dual ἢ μικτὸς 104, 301
 Κύκλος κλιματισμοῦ εἰς πλοῖον 346
 Κύκλος λειτουργίας ψυκτικῆς 326
 Κύκλος Joule (ἀεριοστροβίλων) 107,
 301, 312
 Κύκλος Otto 96
 Κύκλος Otto εἰς ἄξονας Τ - S 144
 Κύκλος Rankine 208, 221, 228, 230

Κύκλος Rankine αναθερμαινόμενος 216
 Κύκλος Rankine άνευ έκτονώσεως 222
 Κύκλος Rankine άτελοϋς έκτονώσεως 222
 Κύκλος Rankine αυτόαναθερμαινόμενος 219
 Κύκλος Rankine - Βελτίωσις άποδόσεως 222
 Κύκλος Rankine εις άξονας P-υ και T-S 210
 Κύκλος Rankine εις διάγραμμα Mollier 212
 Κύκλος Rankine με αναθερμανσιν 214
 Κύκλος Freon - 12 330

Λειτουργία άνευ ροής 63
 Λιθρομόριον 49

Μαθηματική έκφρασις τής έντροπίας 136

Μεμβράναι ρευστοϋ 33
 Μερικαί πιέσεις άέρος ύδρατμοϋ 174
 Μερικαί πιέσεις μίγματος άέριων 57
 Μέση διαφορά θερμοκρασίας 353
 Μέση ένεργός πιέσις 234, 236, 248, 301
 Μετάδοσις θερμότητος 26
 Μετάδοσις θερμότητος δι' άγωγής 30
 Μετάδοσις θερμότητος δια μεταφοράς 31
 Μετάδοσις θερμότητος μέσω τοιχώματος που διαχωρίζει δύο ρευστά 33
 Μετατρέψιμος και μη μετατρέψιμος ένεργεια 131, 133, 145
 Μεταφορά θερμότητος δι' άκτινοβολίας 38
 Μεταφορά θερμότητος και έπικρατοϋσαι θερμοκρασίαι εις κύλινδρον μηχανής Diesel 35
 Μεταφορά θερμότητος με παράλληλον και άντίστροφον ροήν 355
 Μηχαναί αναφλέξεως δια συμπίεσεως 105

Μηχαναί έκρήξεως 105
 Μηχαναί έσωτερικής καύσεως 301
 Μηχαναί σταθεράς πιέσεως Diesel 68, 100, 301
 Μηχαναί σταθεροϋ όγκου Otto 66, 96, 301
 Μηχανή 12, 86
 Μηχανήματα έγκαταστάσεως άτμοκινήτου πλοίου 362
 Μηχανική ψύξις δια συμπίεσεως 318
 Μηχανικόν έργον 8
 Μηχανικόν έργον άντλίας 209
 Μηχανικόν έργον - Γενική ισότης κατά

την άλλαγήν καταστάσεως άέριων 69
 Μηχανικόν ισοδύναμον τής θερμότητος 24
 Μίγμα άέρος και ύδρατμοϋ 173
 Μίγματα άέριων 56
 Mol 49, 192
 Μονάδες θερμότητος 20
 Μόρια 2
 Μοριακή θερμότης 51

Νόμος τοϋ Avogadro 48
 Νόμος τών Boyle - Mariotte 41, 56, 173
 Νόμος τοϋ Charles 42
 Νόμος τοϋ Dalton 56
 Νόμος τοϋ Fourier 27
 Νόμος τοϋ Gay - Lussac 42, 56, 173
 Νόμος τοϋ Joule 46
 Νόμος τοϋ Regnault 46, 456
 Νόμος τής ύποβαθμίσεως τής ένεργείας 134

Ξηρός ύδρατμός 113

Όγκομετρική άνάλυσις καυσαερίου 192
 Όγκομετρική άπόδοσις άεροσυμπιεστοϋ 296
 Όγκομετρική άπόδοσις M.E.K. 308
 Όγκομετρική θερμότης 50
 Όγκος διαδρομής 97, 235
 Όγκος έστίας 200
 Οικονομικός παράγων άπομαστεύσεως 274
 Όλική θερμότης ύδατος 115
 Όλική θερμότης ύδρατμοϋ 117
 Όλική πιέσις μίγματος άέριων 57
 Όλικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητος U 34, 36, 355, 357, 359, 360, 361

Παλινδρομική άτμομηχανή 228
 Παλινδρομική μηχανή - Πραγματικόν διάγραμμα 241
 Παλινδρομικός συμπιεστής 284
 Πετρέλαιον ναυτικών έγκαταστάσεων 188
 Πηγή θερμικής ένεργείας 86
 Πίεσις 2, 13
 Πίεσις κριτική 151, 210
 Πίνακες ύδρατμοϋ 118
 Πολλαπλή έκτόνωσις 250
 Πολυτροπική άλλαγή άλλαγή άέριων 78 - 81, 143

Προεισαγωγή 240
 Προεξαγωγή 240
 Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος 24

Ρεύματα μεταφορᾶς 32
 Ροή ρευστῶν ἀντίστροφος 354
 Ροή ρευστῶν παράλληλος 354
 Ροή ὑδρατμοῦ εἰς ἀτμοκίνητον πλοῖον 365

Σημεῖον ἀναφλέξεως 189
 Σημεῖον δρόσου 176, 337
 Σημεῖον καύσεως 190
 Shaft Horse Power 280
 Σταθερά ροῆς 254
 Στραγγαλισμός ὑδρατμοῦ 159, 165, 169
 Στρόβιλος ἀντιδράσεως 254
 Στρόβιλος δράσεως 254
 Στροβιλοσυμπιεσται 299, 311
 Σύγκρισις ἀδιαβατικῆς ἰσοθερμοκρασιακῆς καὶ πολυτροπικῆς καμπύλης 80
 Σύγκρισις κύκλου Carnot καὶ Diesel 144
 Σύγκρισις κύκλου Otto καὶ Diesel 146
 Συμπιέσις ἀδιαβατική, ἰσόθερμος καὶ πολυτροπική 290
 Συμπιεστής δύο φάσεων 290
 Συμπιεστής ψυκτικῆς 321
 Συμπυκνωτῆς ψυκτικῆς 321
 Συντελεστής ἀναθερμάνσεως ὑδρατμοῦ 277
 Συντελεστής ἀτμοποιήσεως 201
 Συντελεστής διαγράμματος 246
 Συντελεστής θερμικῆς ἀγωγιμότητος 28
 Συντελεστής λειτουργίας ψυκτικῆς ἐγκαταστάσεως 316, 330
 Συντελεστής μεμβράνης ρευστῶν 33, 36
 Συντελεστής τριβῆς ὑδρατμῆς 265
 Σχετικὴ ὑγρασία ἀέρος 174, 337
 Σχηματισμός ὑδρατμοῦ 113

Ταχύτης ὑδρατμοῦ καὶ ἀερίου μέσω ἀκροφυσίου 260

Τέλεια ἀέρια 41
 Τεχνικὴ ἀτμόσφαιρα 2
 Τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ μεμβράνης ρευστοῦ καὶ τοῦ U 36
 Τίτλος ὑδρατμοῦ 112, 116
 Τριατομικὸν ἀέριον 53, 54

Ύγρασία ἀέρος 178
 Ύγρασία ἀπόλυτος 174, 337
 Ύγρασία σχετικὴ 174, 337
 Ύγροποιήσις ἀερίων καὶ ἀτμοῦ 322
 Ύγρὸς ὑδρατμός 113, 114
 Ύδρατμοὶ 111
 Ύδρατμός - Παραγωγή ἄνω τοῦ κριτικού σημείου 224
 Ύδρογόνον 322
 Ύπερβολικὴ ἀλλαγὴ ἀερίων 70, 72
 Ύπερθέρμανσις 112, 326
 Ύπερθέρμος ὑδρατμός 113, 115, 119, 245
 Ύπόφυξις 326, 329

Freon - 12 324
 Freon - 22 324
 Φυσικὰ ἀέρια 41

Χαρακτηριστικὰ θερμοδυναμικῶν μέσων 13
 Χαρακτηριστικὰ πλοίου μετὰ πλήρη ἰσχύιν 364
 Χαρακτηριστικὴ ἰσότης ἀερίων 44
 Χαρακτηριστικὴ σταθερὰ ἀερίου 44, 50, 67, 68
 Χαρακτηριστικὴ σταθερὰ μίγματος 59

Ψυκτικὴ ἐγκατάστασις - Συντελεστής λειτουργίας 316
 Ψυκτικοὶ κύκλοι 313
 Ψυκτικὸν ἀποτέλεσμα 316, 325, 330
 Ψυκτικὸς τόννος 316
 Ψυκτικὸς φορεὺς 314, 322
 Ψυκτικὸς φορεὺς - Διάγραμμα P-ι 326
 Ψῦξις δι' ἀπορροφήσεως ἀτμοῦ 334
 Ψῦξις ἐνδιάμεσος συμπιεστοῦ 290
 Ψυχομετρικὸν διάγραμμα 338
 Ψυχρόμετρον 179

ΠΑΡΟΡΑΜΑΤΑ

Σελ. 160 σχ. 13.3α (α) και (β). Να μη ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν αἱ μπλέ γραμμαὶ εἰς τὰ σχήματα.



0020560392

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΒΟΥΛΗΣ

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΕΚΤΥΠΩΣΙΣ - ΒΙΒΛΙΟΔΕΣΙΑ : Α/ΦΩΝ Γ. ΡΟΔΗ - ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ 59 - ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΝ

