ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ "Ο ΗΦΑΙΣΤΟΣ„

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΥΠΟ

ΚΩΝΣΤ. ΛΑΖΟΥ

ΔΙΠΛ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ—ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑΙ

1946

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΥΠΟ ΤΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ
ΚΩΝΣΤ. ΛΑΖΟΥ
ΔΙΠΛΩΜ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.-

Ἀθῆναι 1947

ΠΑΝ ΓΝΗΣΙΟΝ ΑΝΤΙΤΥΠΟΝ ΦΕΡΕΙ ΤΗΝ ΥΠΟΓΡΑΦΗΝ ΤΟΥ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ Α!

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

1.) Γενικαὶ ἰδιότητες τῶν ἀερίων

α) Ὡς εἶναι γνωστόν ἐκ τῆς φυσικῆς σῶμά τι λέγεται ἀέριον ἢ εὑρίσκεται εἰς ἀεριώδη κατάστασιν, ὅταν δέν ἔχει οὔτε ὡρισμένον ὄγκον, οὔτε ὡρισμένον σχῆμα, ὅπως εἶναι ὑπο τάς συνήθεις περιστάσεις ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀήρ, ἀλλα τείνει διαρκῶς νά ἐξογκωθῆ, ἤτοι ποσότης ὁσονδήποτε μικρά τοῦ σώματος αὐτοῦ τείνει νά καταλάβῃ ὁλόκληρον τόν χῶρον τοῦ κλειστοῦ δοχείου, εἰς τό ὁποῖον εὑρίσκεται.

Λόγῳ τῆς τάσεως των πρός ἐξόγκωσιν τά ἀέρια πιέζουσι τας παρειάς τῶν δοχείων ἐντός τῶν ὁποίων εὑρίσκονται. Τάς πιέσεις αὐτάς τῶν ἀερίων ἀντιλαμβανόμεθα ἐκ πολλῶν συνήθων ἐφαρμογῶν ὅπως π.χ. ἡ ἐξόγκωσις τῶν σφαιρῶν (Μπαλονιῶν) τῶν παιδίων διά τῆς ἐμφυσήσεως ἀέρος εἰς αὐτάς, ἡ ἐξόγκωσις τῶν ἐλαστικῶν τῶν ποδηλάτων, ἡ ἐκτίναξις τῶν πωμάτων τῶν ἀφρωδῶν οἴνων κ.λ.π.-

Τά ἀέρια ἔχουν βάρος ὡς καί τά ὑγρά τοῦτο δέ φαίνεται ἐκ τοῦ ἑξῆς πειράματος. Ἐάν ζυγίσωμεν δι᾽ἀκριβοῦς ζυγοῦ σφαῖραν παιδός κατ᾽ἀρχάς μέν ἐξογκωμένην (δι᾽ἐμφυσήσεως ἐντός αὐτῆς ἀέρος) ἔπειτα δέ ῥυτιδωμένην (διά τῆς ἀφαιρέσεως τοῦ ἀέρος) θά ἴδωμεν ὅτι ἡ σφαῖρα εἰς τήν αην περίπτωσιν εἶναι ἐλαφρῶς βαρυτέρα παρα εἰς τήν βαν ἡ διαφορά δ᾽αὐτή τοῦ βάρους δέν δύναται νά παριστᾷ ἄλλο τι παρά τό βάρος τοῦ ἀέρος πού περιεῖχε ἡ σφαῖρα ὅταν ἦτο ἐξογκωμένη.

Τά ἀέρια ἐν ἀντιθέσει πρός τά ὑγρά εἶναι <u>συμπιεστά</u> ἤτοι ὅταν πιέζονται ἐλαττοῦνται πολύ κατ᾽ὄγκον.

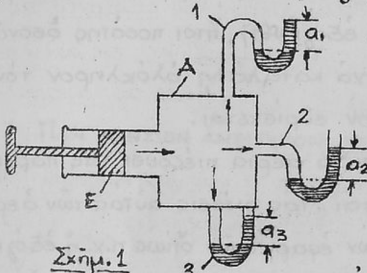
Τά ἀέρια ὅπως καί τά ὑγρά πιέζουν καθέτως τάς παρειάς τοῦ δοχείου εἰς τό ὁποῖον εὑρίσκονται.

Τό σύνολον τῶν πιέσεων, τάς ὁποίας ἐξασκεῖ τό ἀέριον ἐφ᾽ὅλων τῶν τοιχωμάτων τοῦ δοχείου, εἰς τό ὁποῖον εὑρίσκεται ἔχει συνισταμένην ἴσην πρός τό βάρος τοῦ ἀερίου, ὅπως καί εἰς τήν περίπτωσιν τῶν ὑγρῶν.

β) <u>Ἀρχὴ τοῦ Πασκάλ</u>: Ἡ ἀρχὴ τοῦ Πασκάλ ἡ ὁποία εἶναι γνωστὴ ἐκ τῆς φυσικῆς ἰσχύει καὶ διὰ τὰ ἀέρια ὅπως καὶ διὰ τὰ ὑγρά.

Ἡ ἀρχὴ λέγει: Πᾶσα πίεσις ἐξασκουμένη ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας ἢ ἐντὸς τῆς μάζης ἑνὸς ἀερίου μεταδίδεται μὲ τὴν αὐτὴν ἔντασιν καθ' ὅλας τὰς διευθύνσεις.

Τὴν ἀρχὴν αὐτὴν δυνάμεθα νὰ ἐπαληθεύσωμεν διὰ τοῦ ἑξῆς πειράματος. Ἐντὸς δοχείου Α ἀνοίγομεν ὀπὰς τῆς αὐτῆς διαμέτρου καὶ εἰς αὐτὰς ἐφαρμόζομεν σωλῆνας 1,2,3, κεκαμπυλωμένους ὡς φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 1 καὶ τῆς αὐτῆς τομῆς, οἱ ὁποῖοι περιέχουν ὕδωρ. Ἐὰν διὰ τοῦ ἐμβόλου Ε πιέσωμεν τὸ ἐντὸς τοῦ δοχείου ἀέριον τότε θὰ ἴδωμεν, ὅτι τὸ ὕδωρ θὰ ἀνέλθη εἰς τὰ ἐξωτερικὰ κατακόρυφα τμήματα ὅλων τῶν σωλήνων καὶ μάλιστα κατὰ τὸ αὐτὸ ὕψος εἰς ὅλους ἤτοι: $a_1 = a_2 = a_3$. Ἐκ τούτου φαίνεται ὅτι ἡ πίεσις τὴν ὁποίαν ἠσκήσαμεν διὰ τοῦ ἐμβόλου ἐπὶ τοῦ ἀερίου μετεδόθη καθ' ὅλας τὰς διευθύνσεις καὶ μὲ ἴσην ἔντασιν.



<u>Σχῆμ. 1</u>

γ) <u>Θεμελιῶδες Θεώρημα</u>: Γνωρίζομεν ἐκ τῆς ὑδροστατικῆς ὅτι ἐὰν P καὶ P' αἱ πιέσεις εἰς δύο σημεῖα τῆς μάζης ἑνὸς ὑγροῦ, τὰ ὁποῖα εὑρίσκονται εἰς τὴν κατακόρυφον μεταξύ των ἀπόστασιν ἴσην πρὸς Η τότε ἡ διαφορὰ τῶν πιέσεων εἶναι $P' - P = H.d$ ἔνθα d = ἡ πυκνότης τοῦ ὑγροῦ.

Τοῦτο εἶναι τὸ θεμελιῶδες θεώρημα τῆς ὑδροστατικῆς.

Τοῦτο ἰσχύει κατὰ τὴν προσέγγισιν καὶ εἰς τὰ ἀέρια ἀλλ' ὄχι πάντοτε λόγῳ τῆς μεγάλης συμπιεστικότητος. Δύναται ὅμως νὰ ἐφαρμοσθῇ ὅταν ἡ κατακόρυφος ἀπόστασις Η δὲν εἶναι μεγάλη.

Ἤτοι διὰ μικρὰς κατακορύφους ἀποστάσεις Η ἔχομεν καὶ διὰ τὰ ἀέρια:

$$P' - P = H.d \quad (1)$$

Ἡ σχέσις (1) λέγει: Ἡ διαφορὰ τῶν πιέσεων μεταξὺ δύο σημείων ἀερίου ἐν ἰσορροπίᾳ εὑρισκομένου εἶναι ἴση πρὸς τὸ βάρος τῆς στήλης ἐκ τοῦ ἀερίου ἐχούσης ὡς βάσιν τὴν μονάδα τῆς ἐπιφανείας καὶ ὕψος τὴν κατακόρυφον ἀπόστασιν μεταξὺ τῶν σημείων.

Προκειμένου περὶ ἀερίων μὴ περιοριζομένων ἐντὸς ὡρισμένου χώρου ὡς ἡ ἀτμόσφαιρα τὸ θεώρημα δὲν δύναται νὰ ἐφαρμοσθῇ εἰς πάντα τὰ σημεῖα τοῦ ἀερίου.

2) Ἀτμόσφαιρα

α) Γενικά: Τὸ στρῶμα τῶν ἀερίων τὸ ὁποῖον περιβάλλει τὴν Γῆν καὶ τὴν παρακολουθεῖ πανταχοῦ ὀνομάζεται ἀτμόσφαιρα.

Ἡ ἀτμόσφαιρα ἀποτελεῖται κυρίως ἐκ δύο ἀερίων τοῦ ὀξυγόνου εἰς ἀναλογίαν 23.2% κατὰ βάρος ἢ 21% κατ' ὄγκον καὶ ἄζωτον εἰς ἀναλογίαν 75.5% κατὰ βάρος ἢ 78,06% κατ' ὄγκον. Πλὴν ὅμως τῶν ἀερίων τούτων περιέχει εἰς ἐλαχίστας ποσότητας σπάνια τινὰ ἀέρια στοιχεῖα ὅπως τὸ ἀργόν, τὸ κρυπτόν, τὸ νέον, τὸ ξένον, τὸ ἥλιον ὡς καὶ μεταβλητὴν ποσότητα ὑδρατμῶν (0.75% κατὰ μέσον ὅρον εἰς βάρος) ἐπίσης δὲ 0,0003% περίπου κατ' ὄγκον διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος καὶ μικρὰς ποσότητας ἄλλων σωμάτων.

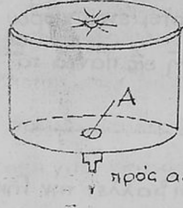
Τὸ ὕψος τῆς ἀτμοσφαίρας ὑπεράνω τῆς ἐπιφανείας τῆς θαλάσσης δὲν εἶναι ἀκριβῶς γνωστόν, φαίνεται ὅμως ἐκ τινῶν ἀστρονομικῶν παρατηρήσεων ὅτι εἶναι μερικαὶ ἑκατοντάδες χιλιομέτρων.

β) Ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις: Πᾶν σῶμα εὑρισκόμενον ἐντὸς τῆς ἀτμοσφαίρας δέχεται πίεσιν κάθετον ἐπὶ ἑκάστου σημείου τῆς ἐπιφανείας τ8.

Τοῦτο φαίνεται ἐκ διαφόρων πειραμάτων ὡς τὰ κάτωθι:

1ον Ἐὰν γεμίσωμεν πλήρως ποτήριον δ'ὕδατος ὥστε τὸ ὕδωρ νὰ τρέχει ἐκ τῶν χειλέων του καὶ ἀφοῦ θέσωμεν ἐπὶ τοῦ στομίου του φύλλον χάρτου τὸ ἀνατρέψωμεν ὥστε τὸ στόμιόν του νὰ ἔλθῃ πρὸς τὰ κάτω, θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι το ὕδωρ δὲν χύνεται διότι ἡ ἀτμόσφαιρα πιέζει τὸν χάρτην ἐκ τῶν κάτω πρὸς τὰ ἄνω καὶ τὸν κρατᾶ ἐπικολλημένον ἐπὶ τῶν χειλέων τοῦ δοχείου.

2ον Ἑνὸς κυλίνδρου κλείομεν καλῶς τὸ στόμιον διὰ λεπτῆς μεμβράνης Σχημ.2. Ἐὰν ἀφαιρέσωμεν διὰ μιᾶς ἀεραντλίας τὸν ἐντὸς τοῦ δοχείου ἀέρα μέσῳ μιᾶς ὀπῆς Α τοῦ πυθμένος αὐτοῦ θὰ ἴδωμεν ὅτι κατ' ἀρχὰς μὲν κυλαίνεται ἡ μεμβράνη ὀλίγον κατ' ὀλίγον ὡς νά πιέζεται ἔξωθεν τέλος δέ θραύεται.

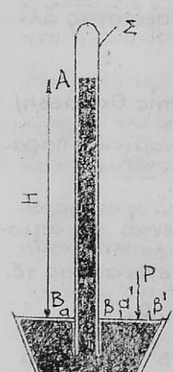


Σχῆμ. 2

Τοῦτο ἐξηγεῖται ὡς ἑξῆς: πρίν ἀφαιρεθῆ ὁ ἀήρ ἡ μεμβράνη ἐπιέζετο μέ τήν αὐτήν πίεσιν ἔσωθεν καί ἔξωθεν καί ἐπειδή αἱ πιέσεις αὗται εὑρίσκοντο ἐν ἰσορροπίᾳ δέν ἐγίνοντο ἀντιληπταί. Ὅταν ὅμως ἀφῃρέσαμεν τόν ἐντός ἀέρα ἡ μεμβράνη ἐπιέζετο μόνον ἀπό τόν ἐξωτερικόν ἀέρα καί ἐθραύσθη.

3) <u>Μέτρησις τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως</u> – <u>Βαρόμετρα</u>

Πρῶτος ὁ Τορικέλλι (Torricelli) εὗρε τό μέγεθος τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως διά τοῦ ἑξῆς πειράματος: Ἔλαβε ὑάλινον σωλῆνα Σ (Σχῆμ 3) μήκους περίπου ἑνός μέτρου ἀνοικτόν κατά τό ἕνα ἄκρον καί κλειστόν κατά τό ἄλλον. Τόν σωλῆνα τοῦτον ἐγέμισε μέ ὑδράργυρον καί ἀφοῦ ἔκλεισε μέ τόν δάκτυλόν του τό ἀνοικτόν ἄκρον του τόν ἀνέτρεψεν καί ἐβύθισε τό ἄκρον τοῦτο ἐντός λεκάνης μέ ὑδράργυρον. Κατόπιν ἀπέσυρεν τόν δάκτυλόν του καί παρετήρησεν ὅτι ὁ ὑδράργυρος δέν κατέπεσεν ὅλος εἰς τήν λεκάνην ἀλλά παρέμεινε ἐντός τοῦ σωλῆνος μία στήλη ὑδραργύρου κατακορύφου ὕψους B ἴσου πρός 76 περίπου ἑκατοστά εἰς τήν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης.



Σχῆμ 3

Τοῦτο ἐξηγεῖται ὡς ἑξῆς: Ὁ χῶρος τοῦ σωλῆνος ἄνωθεν τοῦ ὑδραργύρου εἶναι κενός ἀέρος καί ἐπομένως δέν ἐξασκεῖται ἐπί τοῦ ὑδραργύρου οὐδεμία πίεσις εἰς τό σημεῖον A.

Τοὐναντίον ἡ ἀτμόσφαιρα πιέζει ἔξωθεν τήν ἐπιφάνειαν τοῦ ὑδραργύρου τῆς λεκάνης καί ἡ πίεσις αὐτή μεταδίδεται κατά τήν ἀρχήν τῆς ὑδροστατικῆς εἰς ὅλην τήν μᾶζαν τοῦ ὑδραργύρου καί ἐπομένως ἐπί τῆς ἐπιφανείας αβ τοῦ σωλῆνος, ἡ πίεσις δέ αὐτή συγκρατεῖ τήν ὑδραργυρικήν στήλην AB.

Τό ὕψος τῆς στήλης AB θά εἶναι τό αὐτό ὁποιαδήποτε καί ἄν εἶναι ἡ μορφή τοῦ σωλῆνος Σ κυλινδρικόν ἤ μή εὐθύγραμμον ἤ καμπυλόγραμμον

Ἐάν ἡ βάσις αβ τοῦ σωλῆνος εἶναι $1cm^2$ τοτε ἐπειδή ὅσον πιέζει ἡ στήλη ΑΒ τοῦ ὑδραργύρου τήν βάσιν αβ τοῦ σωλῆνος ἐξ ἴσου θα πιέζη καί ἡ ἀτμόσφαιρα μίαν ἐπιφάνειαν α'β' ἴσην πρός $1cm^2$ καί εὑρισκομένην εἰς τό αὐτό ὕψος μέ τήν αβ ἕπεται ὅτι ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις θά ἰσοῦται μέ τό βάρος στήλης ὑδραργύρου ἐχούσης βάσιν ἴσην πρός $1cm^2$ καί ὕψος ἴσον πρός Α.Β.

Ἐάν τό ΑΒ = 76 cm (παρά τήν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης) τοτε ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἶναι $P = 1 \cdot 76 \cdot 13{,}6 = 1033\ gr/cm^2$ (Διότι $1 \cdot 76 = 76 cm^3$ εἶναι ὁ ὄγκος τῆς στήλης τοῦ ὑδραργύρου καί 13,6 gr. εἶναι το βάρος $1 cm^3$ ὑδραργύρου) Γράφομεν $1033\ gr/cm^2$ διότι ἡ πίεσις τῶν 1033 gr. ἐξασκεῖται ἐπί ἐπιφανείας $1cm^2$.

Ἐάν ἀντί τοῦ ὑδραργύρου λάβωμεν ὕδωρ τότε τό ὕψος τῆς στήλης ΑΒ θά εἶναι ἴσον περίπου πρός 10,3 m (Διότι $10{,}3 \cdot 100 \cdot 1 = 1030\ cm^3$ = ὄγκος στήλης ὕδατος καί $1030 \cdot 1 = 1030$ gr. = βάρος στήλης ὕδατος διότι $1 cm^3$ ὕδατος ζυγίζει 1 gr. ἄρα $P \cong 1030$ gr.).

Ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις δέν μένει σταθερά ἀλλά μεταβάλλεται μετά τοῦ ὕψους ἀπό τῆς ἐπιφανείας τῆς θαλάσσης. Κατά μέσον ὅρον εἰς τήν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης τό ὕψος τῆς ὑδραργυρικῆς στήλης εἶναι 76 cm., ὅταν δέ ἀνερχόμεθα εἰς ὕψος ἄνωθεν τῆς θαλάσσης κάθε $10\frac{1}{2}$ μετρα τό ὕψος τῆς ὑδραργυρικῆς στήλης ἐλατοῦται κατά μέσον ὅρον κατά 1 m.m.

Αὐτό ὅμως ἰσχύει μόνον διά μικρά ὕψη. π.χ. Ἐάν ἀνερχόμεθα εἰς λόφον καί παρατηρηθῆ πτῶσις τῆς βαρομετρικῆς στήλης κατα 10 m/m δυνάμεθα νά εἴπωμεν ὅτι ἀνήλθομεν κατά προσέγγισιν εἰς ὕψος 10.500 = 105 m ἀπό τῆς θέσεως ἐκκινήσεώς μας.

Ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις μεταβάλλεται ἐπίσης μετά τοῦ καιροῦ.

Ἀσκήσεις

1) Εἰς τό πείραμα τοῦ Τορικέλλη ἀντί ὑδραργύρου μεταχειριζόμεθα πετρέλαιον εἰδικοῦ βάρους 0.8. Νά εὑρεθῆ πόσον μῆκος πρέπει νά ἔχη τό ἐκτός τῆς λεκάνης τμῆμα τοῦ σωλῆνος διά νά δυνάμεθα νά μετρήσωμεν μέ τό ὄργανον τοῦτο ἀτμοσφαιρικάς πιέσεις ἕως

780 mm. ὑδραργύρου.

<u>Λύσις</u>: Ἡ μεγίστη ἀτμοσφαιρική πίεσις τήν ὁποίαν θέλομεν νά μετρήσωμεν εἶναι $P = 780 \cdot 1 \cdot 13.6 = 1060,8$ gr. Ἡ πίεσις αὕτη θά ἰσορροπῇ τήν στήλην εἰς πετρέλαιον ἀγνώστου ὕψους X εἰς cm καί διατομῆς $1 cm^2$

Τό βάρος τῆς στήλης αὐτῆς εἶναι ἴσον πρός $1 \cdot X \cdot 0.8$ ἤτοι $1 \cdot X \cdot 0.8 = 1060.8$ ἤ $X = \frac{1060.8}{0.8} = 1326$ cm. ἤ $X = 13,26$ m.

2) Τό ἀνθρώπινον σῶμα ἔχει συνολικήν ἐξωτερικήν ἐπιφάνειαν ἴσην πρός $1.10 \, m^2$. Νά εὑρεθῇ μέ πόσην πίεσιν πιέζεται τοῦτο ἐξωτερικῶς ὑπό τῆς ἀτμοσφαίρας, ὅταν ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἶναι 760 m/m ὑδραργ.

<u>Λύσις</u> Ὡς ἴδομεν ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις ἡ ἀντιστοιχοῦσα εἰς ὕψος 760 m/m ὑδραργύρου εἶναι $P = 1033 \, gr/cm^2$ ἤτοι ἕκαστον cm^2 τῆς ἐπιφανείας τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος πιέζεται ἐξωτερικῶς μέ 1033 gr.

Ἐπειδή ὅμως $1 m^2 = 10.000 \, cm^2$ τότε ἡ συνολική ἐξωτερική πίεσις ἐπ' αὐτοῦ εἶναι ἴση πρός $1033 \cdot 1.10 \cdot 10000 = 11,363.000$ gr. $= 11.363$ kg $= 11.363$ τόνους

<u>Σημείωσις</u> Ἡ πίεσις αὕτη εἶναι τεραστία ἐντούτοις ὁ ἄνθρωπος δέν τήν ἀντιλαμβάνεται διότι μέ τήν αὐτήν πίεσιν πιέζεται τό σῶμα του ἐσωτερικῶς. Γίνεται δηλαδή τό ἴδιον ὡς καί εἰς τό παράδειγμα 2ον τῆς σελίδος 5 ὅπως ἡ ἐλαστική μεμβράνη πιέζεται μέ ἴσας πιέσεις ἐσωτερικῶς καί ἐξωτερικῶς.

<u>ΒΑΡΟΜΕΤΡΑ</u>

<u>Βαρόμετρα</u> εἶναι ὄργανα διά τῶν ὁποίων μετρῶμεν τήν ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν

Ἁπλοῦν καί ἀκριβές βαρόμετρον ἀποτελεῖ ὁ σωλήν τοῦ Τορικέλλη τοῦ Σχήμ. 3, ἔχει ὅμως τό μειονέκτημα ὅτι εἶναι δυσμετακόμιστον.

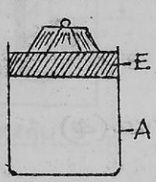
Ἐπί τῆς αὐτῆς ἀρχῆς κατεσκευάσθησαν πλεῖσται τύποι ὑδραργυρικῶν βαρομέτρων εἰς τά ὁποῖα κατεβλήθη προσπάθεια νά εἶναι εὐμετακόμιστα

Ἐκτός τῶν βαρομέτρων τούτων κατεσκευάσθησαν καί τά λεγόμενα μεταλλικά βαρόμετρα τῶν ὁποίων θά περιγράψωμεν μόνον τήν ἀρχήν ἐπί τῆς ὁποίας στηρίζονται: Ἕνα μεταλλικόν τύμπανον κλειστόν πανταχόθεν καί κενόν ἀέρος ἔχει τήν ἄνω του ἐπιφάνειαν κυματοειδῆ.

Ὅταν ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις αὐξάνεται ἡ κυματοειδής ἐπιφάνεια κοιλαίνεται καί συμπαρασύρει μοχλόν, ὁ ὁποῖος συνδέεται καταλλήλως μέ δείκτην κινούμενον ἐνώπιον ὑποδιῃρουμένου κύκλου, ὅταν δέ ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις ἐλαττοῦται ἕνα ἰσχυρόν ἐλατήριον ἕλκει ἔξωθεν τήν κυματοειδῆ ἐπιφάνειαν καί τήν κυρτώνει καί ὁ δείκτης κινεῖται ἀντιθέτως. Ὁ δείκτης οὕτως δεικνύει τάς αὐξομειώσεις τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως.

Τά βαρόμετρα αὐτά βαθμολογοῦνται διά συγκρίσεως πρός τά ὑδραργυρικά. Δέν εἶναι δέ τόσον ἀκριβῆ εἶναι ὅμως εὐμετακόμιστα καί τά μόνα εὔχρηστα διά τά ταξείδια καί ἰδίως εἰς θάλασσαν καί τρικυμίαν. Συνήθως χρησιμοποιοῦνται ὄχι διά τήν εὕρεσιν τῆς ἀπολύτου τιμῆς τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως ἀλλά διά τήν μέτρησιν τῶν μεταβολῶν αὐτῆς ἐκ τῆς ὁποίας δύνανται νά ἐξαχθοῦν προγνωστικά διά τόν καιρόν. Πρός τοῦτο δέ ἔχουν δύο δείκτας ἐκ τῶν ὁποίων ὁ εἷς (ὁ μέλας) κινεῖται μεταβαλλομένης τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως καί ὁ ἄλλος (ὁ ἐπίχρυσος) μένει σταθερός. Ἐάν θέλομεν νά μετρήσωμεν τάς μεταβολάς τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως τοποθετοῦμεν τόν ἐπίχρυσον δείκτην ὥστε νά συμπέσῃ μέ τόν μέλανα. Ἐάν μετά παρέλευσιν χρόνου τινός ὁ μέλας δείκτης μετακινηθῇ λόγῳ μεταβολῆς τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως τότε δυνάμεθα νά προσδιορίσωμεν τήν μεταβολήν αὐτήν ἐκ τῆς ἀποστάσεως μεταξύ τῶν δεικτῶν (ὁ ἐπίχρυσος ἔμεινε εἰς τήν θέσιν του).

4) Ἐλαστικότης τῶν ἀερίων - Νόμος τοῦ Μποϊλ-Μαριότ (Boyle-Mariotte)



Σχῆμ. 4

Ἐάν ἕνα δοχεῖον κυλινδρικόν Α (Σχῆμ.4) κλείεται ἀεροστεγῶς ὑπό ἐμβόλου Ε δυνάμεθα πιέζοντες τό ἔμβολον νά ἐλαττώσωμεν τόν ὄγκον τοῦ ἐντός τοῦ δοχείου περιεχομένου ἀερίου.

Ἐάν π.χ. ἐπί τοῦ ἐμβόλου τοποθετήσωμεν ἕνα βάρος 1kg. τότε τό ἔμβολον θά εἰσχωρήσῃ μέχρι τινός ἐντός τοῦ κυλίνδρου καί τό ἀέριον θά ἔχῃ ὄγκον μικρότερον. Τό ἔμβολον Ε πιέζεται ἐκ τῶν ἔξω μέν ὑπό τοῦ βάρους του καί τοῦ βάρους 1kg. ἐπιπροσθέτως δέ ὑπό τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως ἐκ δέ τῶν ἔσω ὑπό τῆς πιέσεως ἤ τάσεως τοῦ ἀερίου. Ὅταν τό ἔμβολον σταματήσῃ αἱ ἔξωθεν καί ἔσωθεν δυνάμεις θά εἶναι ἴσαι.

Ἐάν τώρα θέσωμεν καί ἄλλο βάρος ἐπί τοῦ ἐμβόλου τότε τοῦτο κατέρχεται ἀκόμη περισσότερον ἐντός τοῦ δοχείου καί ὁ ὄγκος τοῦ ἀερίου ἐλαττοῦται ἀκόμη περισσότερον. Τώρα τό ἀέριον πιέζεται μέ μεγαλυτέραν δύναμιν ὑπό τοῦ ἐμβόλου ἀντωθεῖ ὅμως καί τοῦτο τό ἔμβολον ἐκ τῶν ἔσω πρός τά ἔξω μέ μεγαλυτέραν δύναμιν. Ἤτοι τό ἀέριον ἀπέκτησεν μεγαλυτέραν τάσιν καί διά νά εἰσχωρήσῃ βαθύτερον τό ἔμβολον ἐντός τοῦ δοχείου πρέπει νά θέσωμεν κι'ἄλλα βάρη ἐπ'αὐτό.

Πρῶτοι ὁ Μπόϊλ καί Μαριότ παρετήρησαν ὅτι ὑπό τήν αὐτήν θερμοκρασίαν ὅταν ὁ ὄγκος ἑνός ἀερίου γίνῃ τό $\frac{1}{2}$ τοῦ ἀρχικοῦ του ἡ τάσις τοῦ ἀερίου διπλασιάζεται, ὅταν γίνῃ τό $\frac{1}{3}$ ἡ τάσις τριπλασιάζεται καί οὕτω καθεξῆς. Ἤτοι ἀληθεύει ὁ ἑξῆς νόμος τῶν Μπόϊλ καί Μαριότ (Boyle-Mariotte)

Οἱ ὄγκοι τούς ὁποίους καταλαμβάνει ὡρισμένη ποσότης ἑνός ἀερίου ὑπό σταθεράν θερμοκρασίαν εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογοι τῶν πιέσεων τάς ὁποίας τοῦτο ὑφίσταται.

Ἤτοι ἐάν ὁ ὄγκος ἑνός ἀερίου ἀπό V γίνῃ V' καί ἡ πίεσίς του ἀπό P γίνῃ P' τότε θά ἔχωμεν $\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P}$ ....(2)

Ὁμοίως ἐάν ὁ ὄγκος τοῦ ἀερίου λαμβάνει διαδοχικῶς τάς τιμάς V_1, V_2, V_3 ...... καί ἡ πίεσίς του τάς τιμάς P_1, P_2, P_3 .... τότε θά ἔχωμεν:

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$, $\frac{P_2}{P_3} = \frac{V_3}{V_2}$, $\frac{P_3}{P_4} = \frac{V_4}{V_3}$ ....(3)

ἐκ τῶν σχέσεων δέ τούτων λαμβάνομεν:

$P_1 V_1 = P_2 V_2$, $P_2 V_2 = P_3 V_3$, $P_3 V_3 = P_4 V_4$ .... ἤ

$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 =$ ....= σταθερά ποσότης (4)

Ἤτοι ὁ νόμος δύναται νά διατυπωθῇ καί ὡς ἑξῆς:

Τό γινόμενον τῆς πιέσεως (τάσεως) ὡρισμένης ποσότητος ἀερίου ἐπί τόν ὄγκον του εἶναι ποσότης σταθερά ὅταν ἡ θερμοκρασία εἶναι ἡ αὐτή.

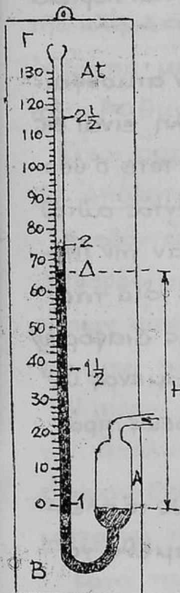
Ἐάν τήν σταθεράν αὐτήν ποσότητα καλέσωμεν K τότε ὁ νόμος γράφεται $PV = K$..............(5)

Κατόπιν πειραμάτων τά ὁποῖα ἔγιναν μέχρι πιέσεων 3000 ἀτμοσφαιρῶν εὑρέθη ὅτι ὁ νόμος οὗτος δέν ἐπαληθεύεται εἰς πολὺ μεγάλας πιέσεις, ἡ ἀκρίβεια δι' αὐτοῦ εἶναι διάφορος διά τά διάφορα ἀέρια.

5) Μανόμετρα ἤ Θλιβόμετρα

Μανόμετρα ἤ θλιβόμετρα εἶναι τά ὄργανα διά τῶν ὁποίων μετρῶμεν τάς πιέσεις, τάς ὁποίας ἐξασκοῦν τά ρευστά (ὑγρά ἤ ἀέρια). Ὑπάρχουν διάφοροι τύποι μανομέτρων, ἐξ ὧν θά περιγράψωμεν ἐν συντομίᾳ τούς χαρακτηριστικωτέρους.

α) Μανόμετρον ἀνοικτόν



Σχῆμ. 5

Τό ὄργανον τοῦτο (Σχῆμ. 5) ἀποτελεῖται ἐξ ὑαλίνου σωλῆνος ΑΒΓ κεκαμένου εἰς δύο κατακόρυφα σκέλη ἀνίσου ὕψους καί διαμέτρου καί περιέχοντα ὑδράργυρον.

Τό σκέλος Α τῆς μεγαλιτέρας διαμέτρου συγκοινωνεῖ μέ τό ἀέριον τοῦ ὁποίου ζητοῦμεν τήν πίεσιν, τό δέ σκέλος Γ εἶναι ἀνοικτόν εἰς τήν ἀτμόσφαιραν.

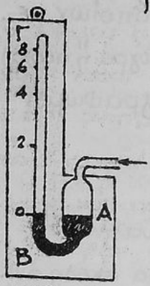
Ἐάν ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου εἶναι ἴση πρός τήν ἀτμοσφαιρικήν τότε ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ὑδραργύρου καί εἰς τά δύο σκέλη εὑρίσκεται ἐπί τοῦ αὐτοῦ ὁριζοντίου ἐπιπέδου. Ἐάν ὅμως ἡ πίεσις αὐτοῦ εἶναι μεγαλυτέρα τῆς ἀτμοσφαιρικῆς τότε ὁ ὑδράργυρος πιεζόμενος εἰς τό σκέλος Α περισσότερον παρά εἰς τό Γ ἀνέρχεται εἰς τό σκέλος Γ μέχρις ἑνός σημείου Δ.

Τότε ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου εἶναι μεγαλυτέρα τῆς ἀτμοσφαιρικῆς κατά τό βάρος τῆς στήλης ὑδραργύρου ἐπιφανείας 1 cm^2 καί ὕψους Η. Βαθμολογημένη κλίμαξ δίδει τό ὕψος τοῦτο ἤ τάς ἀντιστοίχους πιέσεις.

Τό 0 τῆς κλίμακος ἀντιστοιχεῖ εἰς τό ὁριζόντιον ἐπίπεδον εἰς τό ὁποῖον εὑρίσκεται ἡ στάθμη τοῦ ὑδραργύρου καί εἰς τά δύο σκέλη ὅταν ἡ τάσις τοῦ ἀερίου ἰσοῦται πρός τήν ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν.

Ἕνα τοιοῦτον μανόμετρον ὕψους 300 m περίπου ἔχει ἐγκατασταθῆ εἰς τόν Πύργον τοῦ Ἄϊφελ τῶν Παρισίων. Δι' αὐτοῦ μετρῶνται πιέσεις έως 400 ἀτμοσφαιρῶν μετά μεγάλης ἀκριβείας καί βαθμολογοῦνται ἄλλα μανόμετρα διά συγκρίσεως.

β) Μανόμετρον κλειστόν



Σχῆμ 6

Τό ὄργανον τοῦτο ἀποτελεῖται πάλιν ἐξ ὑαλίνου σωλῆνος ΑΒΓ (Σχῆμ 6) κεκαμμένου εἰς δύο κατακόρυφα σκέλη ἀνίσων διαμέτρων καί ὕψους καί περιέχοντα ὑδράργυρον. Τό σκέλος τῆς μεγάλης διαμέτρου συγκοινωνεῖ μέ τό ἀέριον τοῦ ὁποίου ζητεῖται ἡ πίεσις τό δέ μικρᾶς διαμέτρου εἶναι κλειστόν ἄνωθεν καί περιέχει ποσότητα ἀέρος.

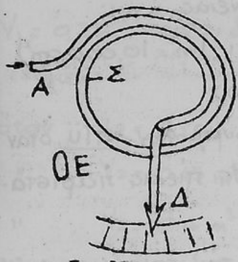
Ὅταν τό ἀέριον ἔχει πίεσιν ἴσην πρός τήν ἀτμοσφαιρικήν τότε ἡ στάθμη τοῦ ὑδραργύρου καί εἰς τά δύο σκέλη εἶναι εἰς τό αὐτό ἐπίπεδον. Ὅταν ὅμως ἔχῃ μεγαλυτέραν πίεσιν τότε ὁ ὑδράργυρος ἀνέρχεται εἰς τό σκέλος Γ καί συμπιέζει τόν ἐντός αὐτοῦ ἀέρα μέχρις ὅτου οὗτος ἀποκτήσῃ πίεσιν ἰσορροποῦσαν τήν πίεσιν τοῦ ἀερίου. Ἐπί τοῦ σκέλους τούτου ὑπάρχει κλίμαξ διά τῆς ὁποίας ἀναγιγνώσκομεν τήν πίεσιν τοῦ ἀερίου εἰς τάς διαφόρους θέσεις εἰς τάς ὁποίας ἀνέρχεται ὁ ὑδράργυρος πιεζόμενος ὑπ' αὐτοῦ. Ἡ βαθμολογία τῆς κλίμακος γίνεται διά συγκρίσεως πρός ἀνοικτόν μανόμετρον.

Εἶναι μικροτέρας ἀκριβείας τοῦ ἀνοικτοῦ ἔχει ὅμως τό πλεονέκτημα ὅτι μέ μικρότερον ὕψος τοῦ σκέλους Γ δυνάμεθα νά μετρήσωμεν μεγάλας πιεσεις.

Ὅταν τό κλειστόν σκέλος Γ δέν περιέχει ἴχνος ἀέρος τότε τό μανόμετρον αὐτό χρησιμοποιεῖται διά πιέσεις μικροτέρας τῆς ἀτμοσφαιρικῆς.

γ) Μεταλλικόν Μανόμετρον τοῦ Bourdon.

Τό μανόμετρον τοῦτο ἀποτελεῖται συνήθως ἀπό ἕνα μεταλλικόν ἐλαστικόν σωλῆνα Σ (Σχῆμα 7) τομῆς ἐλλειπτικῆς Ε κεκαμένον ὡς δεικνύει τό σχῆμα. Τό ἕν ἄκρον Α στερεῶς στερεωμένον ἐπί τῆς βάσεως τοῦ μανομέτρου συγκοινωνεῖ μέ τον χῶρον τοῦ ὁποίου πρόκειται νά μετρηθῇ ἡ πίεσις, τό δέ ἄλλο καταλήγει εἰς δείκτην Δ κινούμενον ἐνώπιον βαθμολογημένης κλίμακος. Ὅταν ἡ πρός μέτρησιν πίεσις τοῦ ἀερίου αὐξάνῃ ἡ τομή τοῦ σωλῆνος τείνει νά γίνῃ κυκλική τόσον περισσότερον ὅσον μεγαλυτέρα ἡ αὔξησις τῆς πιέσεως, καί αἱ σπεῖραι τοῦ σωλῆνος Σ ἀνοίγουν καί ὁ δείκτης μετακινεῖται ἐνώπιον



Σχῆμ 7

τῆς κλίμακος. Ὅταν ἡ πίεσις πίπτει τότε αἱ σπεῖραι κλείνουν καί ὁ δείκτης μετακινεῖται κατ᾽ ἀντίθετον διεύθυνσιν. Τό μανόμετρον τοῦτο βαθμολογεῖται διά συγκρίσεως πρός ἀνοικτόν μανόμετρον.

Εἶναι ὄργανον ὄχι μεγάλης ἀκριβείας εἶναι ὅμως εὔχρηστον.

6) Ἀπόλυτος καί Θλιβομετρική πίεσις - Τεχνική ἀτμόσφαιρα

Σχεδόν ὅλα τά μανόμετρα εἶναι βαθμολογημένα νά δεικνύουν διαφοράν μεταξύ τῆς πιέσεως εἰς τό ἐσωτερικόν αὐτῶν (ἡ πρός μέτρησιν πίεσις) καί τῆς πιέσεως εἰς τό ἐξωτερικόν αὐτοῦ (ἀτμοσφαιρική πίεσις).

Ἡ πίεσις ἡ ἐπικρατοῦσα εἰς τό ἐσωτερικόν τοῦ μανομέτρου λέγεται ἀπόλυτος ἤ πραγματική πίεσις τοῦ ρευστοῦ, ἡ δέ πίεσις τήν ὁποίαν δεικνύει τό μανόμετρον λέγεται <u>θλιβομετρική ἤ μανομετρική πίεσις.</u>

Κατά ταῦτα ἡ ἀπόλυτος πίεσις ἑνός ρευστοῦ εἶναι μεγαλυτέρα τῆς μανομετρικῆς αὐτοῦ πιέσεως κατά μέγεθος ἴσον πρός τήν ἐπικρατοῦσαν ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν.

Ἤτοι ἄν Pa εἶναι ἡ ἀπόλυτος πίεσις, Pd ἡ θλιβομετρική πίεσις καί A ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις τότε

$$\left.\begin{array}{l} Pa = Pd + A \\ \text{ἤ} \quad Pd = Pa - A \end{array}\right\} \quad (6)$$

Ἐάν τό Pd εἶναι θετικόν τότε λέγομεν ὅτι τό ρευστόν ἔχει <u>ὑπερπίεσιν</u> ἐάν δέ εἶναι ἀρνητικόν λέγομεν ὅτι ἔχει <u>ὑποπίεσιν</u>

Εἰς τάς τεχνικάς ἐφαρμογάς λαμβάνομεν ὡς μονάδα τῆς ἀπολύτου ἤ θλιβομετρικῆς πιέσεως τήν <u>τεχνικήν ἀτμόσφαιραν</u>

παριστάμενην μέ τό σύμβολον at, ἡ ὁποία ἰσοῦται μέ πίεσιν ἑνός χιλιογράμμου ἀνά τετραγωνικόν ἑκατοστόν ἐπιφανείας ἤτοι:

$$1\ at = 1\,Kg/cm^2 = 10.000\ kg/m^2 \text{ (διότι } 1m^2 = 10.000\,cm^2)$$

$$\text{ἤ } 1\ at = 735.5\ mm \text{ στήλης ὑδραργύρου}$$

Ὅταν πρόκειται περί ὑπερπιέσεως θέτομεν τό σύμβολον <u>atü</u>, ὅταν δέ περί ὑποπιέσεως τό σύμβολον <u>atu</u>. Ἡ ἀπόλυτος πίεσις παρίσταται μέ τό σύμβολον <u>ata</u>.

Γνωρίζομεν ὅτι ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις παρά τήν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης εἶναι $1033\ gr/cm^2$ ἤτοι διαφέρει κατά τι τῆς τεχνικῆς ἀτμοσφαίρας.

<u>Παραδείγματα</u>: 1) Εἰς χῶρον ὅπου ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἶναι 774 mm στήλης ὑδραργύρου δεικνύει τό μανόμετρον τοῦ λέβητος 9.4 atü. Νά εὑρεθῇ ἡ ἀπόλυτος πίεσις τοῦ ἀτμοῦ τοῦ λέβητος.

<u>Λύσις</u>: Ἔχομεν ὅτι $Pa = Pd + A$

ἀλλά $A = \dfrac{774 \cdot 13.6}{1.000} = 1.052\ kg/cm^2 = 1.052\ at$ καί

$Pd = 9.4\ a.$

ἄρα $Pa = 9.4 + 1{,}052 = 10.452\ ata.$

<u>Σημείωσις</u>: τό A εὑρίσκεται καί ὡς ἑξῆς $A = \dfrac{774}{735{,}5} = 1{,}052\ at$

2) Εἰς χῶρον ὅπου ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἶναι 690 mm στήλης ὑδραργύρου δεικνύει τό μανόμετρον τοῦ ψυγείου ἀτμομηχανῆς 0.8 atu (ὑποπίεσιν).

Νά εὑρεθῇ ἡ ἀπόλυτος πίεσις τοῦ ψυγείου.

<u>Λύσις</u> $Pa = Pd + A$

$A = \dfrac{690}{735{,}5} = 0{,}938\ at$ καί $Pd = -0.8\ at$

ἄρα $Pa = 0{,}938 - 0{,}8 = 0.138\ ata$

3) Ἐντός τοῦ κυλίνδρου τοῦ σχήμ. 4 εὑρίσκεται ἀέριον πιέσεως $P = 750\ mm$ στήλης ὑδραργύρου καί ὄγκου $V = 0.2\ m^3$. Διά τῆς ἀλλαγῆς τῆς θέσεως τοῦ ἐμβόλου Ε ὁ ὄγκος τοῦ ἀερίου λαμβάνει διαδοχικῶς τάς ἑξῆς τιμάς $V = 0.1,\ 0.15,\ 0.4,\ 1\,m^3$.

Νά εὑρεθοῦν αἱ ἀντίστοιχοι τιμαί τῆς πιέσεως τοῦ ἀερίου διά τάς ἀνωτέρω τιμάς τοῦ ὄγκου του εἰς τεχνικάς ἀτμοσφαίρας.

Λύσις: Θά ἐφαρμόσωμεν τόν νόμον τοῦ Boyle-Mariotte ἤτοι $P_1 V_1 = P_2 V_2$. Ἐδῶ $P_1 = 750$ mm ὑδραργύρου $= \frac{750}{735.5} = 1.02$ at καί $V_1 = 0.2 m^3$. εἶναι δέ γνωστόν ἐάν το V_2 λυομεν πρός P_2 καί ἔχομεν:

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{1.02 \cdot 0.2}{V_2}$$

ὅταν $V_2 = 0.1 m^3$ τότε $P_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{0.1} = 2.04$ at

" $V_2 = 0.15 m^3$ " $P_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{0.15} = 1.36$ at

" $V_2 = 0.4 m^3$ " $P_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{0.4} = 0.51$ at

" $V_2 = 1 m^3$ " $P_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{1} = 0.204$ at

4) Ἐάν ἡ ατμοσφαιρική πίεσις εἶναι $A = 765$ m.m. ὑδραργύρου νά εὑρεθῆ ποία ἐκ τῶν πιέσεων τοῦ προηγουμένου παραδείγματος εἶναι ὑπερπίεσις καί ποία ὑποπίεσις.

Λύσις: Ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἰς τεχνικάς ἀτμοσφαίρας εἶναι ἴση πρός $A = \frac{765}{735.5} = 1.04$ at.

Ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου ὡς εὑρέθη εἰς τό προηγούμενο παράδειγμα εἶναι ἡ ἀπόλυτος πίεσις αὐτοῦ ἤτοι $Pa = 0.204$ 0.51 0.02 1.36 2.04at

Ἐάν Pd ἡ ὑπερπίεσις τότε $Pd = Pa - A$ (ἴδε σελίδα 13 ἐξίσωσις 6) Οὕτω διά $Pa = 0.204$ at τοτε $Pd = 0.204 - 1.04 = -0.8$ at ὑποπίεσις.

Διά $Pa = 0.51$ τότε $Pd = 0.51 - 1.04 = -0.53$ at ὑποπίεσις

-"- $Pa = 1.02$ " $Pd = 1.02 - 1.04 = -0.02$ at -"-

" $Pa = 1.36$ " $Pd = 1.36 - 1.04 = 0.32$ at ὑπερπίεσις

" $Pa = 2.04$ " $Pd = 2.04 - 1.04 = 1$ at -"-

5) Τό ἀέριον παραδείγματος 3 ἔχει πάλιν εἰς μίαν θέσιν τοῦ ἐμβόλου Ε ὄγκον $V = 0.2 m^3$ καί πίεσιν $P = 750$ mm ὑδραργύρου.

Νά εὑρεθῆ ὁ νέος ὄγκος τοῦ ἀερίου ὅταν διά μετακινήσεως τοῦ ἐμβόλου Ε ἡ πίεσις αὐτοῦ γίνῃ ἀντιστοίχως 0.2 0.5 1.25 2at.

Λύσις: Θά ἐφαρμόσωμεν πάλιν τόν νόμον τοῦ Boyle-Mariotte ἤτοι $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Ἐδῶ $P_1 = \frac{750}{735.5} = 1.02$ at καί $V_1 = 0.2 m^3$ εἶναι δέ γνωστόν καί τό P_2. Λύομεν ὡς πρός V_2 ἤτοι $V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$

οὕτω διά $P_2 = 0.2 at$ $V_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{0.2} = 1.02\ m^3$

" " $P_2 = 0.5 at$ $V_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{0.5} = 0.408\ m^3$

" " $P_2 = 1.25 at$ $V_2 = \frac{1.02 \cdot 0.2}{1.25} = 0.163\ m^3$

" " $P_2 = 2 at$ $V = \frac{1.02 \cdot 0.2}{2} = 0.102\ m^3$

1) Ἀρχή Ἀρχιμήδους

Ἡ ἀρχή ἀρχιμήδους ἐφαρμόζεται καί εἰς τά ἀέρια ὅπως καί εἰς τά ὑγρά.

Ἤτοι. Πᾶν σῶμα εὑρισκόμενον ἐντός ἀερίου τινός ὑφίσταται ἄνωσιν ἴσην πρός τό βάρος τοῦ ἐκτοπιζομένου ἀερίου

Ἤτοι. Ἐάν ἕνα σῶμα εἶναι ὁλόκληρον ἐντός ἀερίου τότε ἐάν τό βάρος του εἶναι μεγαλύτερον ἀπό τό βάρος ἴσου ὄγκου ἀερίου τό σῶμα θά βυθισθῇ εἰς τό ἀέριον ὅπως π.χ. λίθος ἀφιέμενος ἐλεύθερος εἰς τόν ἀέρα καταπίπτει, ἐάν εἶναι ἴσον πρός τό βάρος ἴσου ὄγκου ἀερίου τό σῶμα θά αἰωρεῖται εἰς τό ἀέριον καί ἄν εἶναι μικρότερον ἴσου ὄγκου ἀερίου τό σῶμα θά ἀνέλθῃ ὅπως π.χ. ὁ καπνός, τά ἀερόστατα κ.λ.π.

Ἐπί τῆς ἀρχῆς αὐτῆς κατασκευάσθησαν τά ἀερόστατα καί ἀερόπλοια διά τῶν ὁποίων ὁ ἄνθρωπος ἔκανε ἔναρξιν διά τήν κατάκτησιν τοῦ ἀέρος.-

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ Β.

ΘΕΡΜΟΤΗΣ

1) Ὁρισμός

Πλησιάζοντες διάφορα σώματα π.χ. πυράν, τεμάχια πάγου τεμάχια σιδήρου κλπ. αἰσθανόμεθα ἄλλοτε τό αἴσθημα τοῦ θερμοῦ καί ἄλλοτε τοῦ ψυχροῦ.

Ἡ αἰτία ἡ ὁποία προκαλεῖ τό αἴσθημα τοῦ θερμοῦ ἤ τοῦ ψυχροῦ καλεῖται θερμότης.

Ἡ θερμότης ἐπιδρῶσα ἐπί διαφόρων σωμάτων ἐπιφέρει διάφορα ἀποτελέσματα π.χ. σῶμα στερεόν π.χ. ὁ κηρός δι' ἐπιδράσεως της θερμότητος δύναται νά μεταβληθῆ εἰς ὑγρόν ἤτοι νά τακῆ. Ἐπίσης σῶμα ὑγρόν ὅπως τό ὕδωρ διά τῆς θερμότητος μεταβάλλεται εἰς ἀέριον (ἀτμόν) ἤτοι ἐξαεροῦνται.

Ἐπίσης διά τῆς θερμότητος ἐπέρχεται ἡ μεταβολή τοῦ ὄγκου καί τῶν διαστάσεων τῶν σωμάτων στερεῶν ὑγρῶν καί ἀερίων ἤτοι ἡ διαστολή ἤ συστολή αὐτῶν.

2) Διαστολή τῶν σωμάτων

Πάντα σχεδόν τά σώματα στερεά, ὑγρά καί ἀέρια, θερμαινόμενα αὐξάνουσι κατά τάς διαστάσεις αὐτῶν ἤτοι διαστέλλονται.

Τά ἀέρια διαστέλλονται περισσότερον ὅλων καί τά στερεά ὀλιγώτερον.

Λέγομεν πάντα σχεδόν διότι ὑφίστανται καί ἐξαιρέσεις ἐκ τῶν ὁποίων ἄλλαι εἶναι πραγματικαί· οὕτως ὁ ἰωδιοῦχος ἄργυρος, τό ὕδωρ ὁ ἀδάμας ὑπό ὡρισμένας περιστάσεις θερμαινόμενα συστέλλονται καί ἄλλαι φαινομενικαί ὀφειλόμεναι εἰς μεταβολάς τῆς φύσεως τοῦ σώματος ὅπως π.χ. τό ξύλον, ἡ ἄργιλλος, τά ὁποῖα θερμαινόμενα συστέλλονται διότι χάνουν μέρος τοῦ ὕδατος τό ὁποῖον περιέχουν.

Ἡ διαστολή τῶν σωμάτων ἀποδεικνύεται διά διαφόρων πειραμάτων, τά ὁποῖα δέν θά περιγράψωμεν.

3) Θερμοκρασία

Ὁ βαθμός τῆς θερμάνσεως ἑνός σώματος λέγεται θερμοκρασία αὐτοῦ.

Ὅταν σῶμα τι θερμαίνεται λέγομεν ὅτι ἡ θερμοκρασία του αὐξάνει, ὅταν δέ ψύχεται λέγομεν ὅτι ἡ θερμοκρασία του ἐλλατοῦται.

Ὅταν ὅμως ἕνα σῶμα θερμαίνεται τότε ὁ ὄγκος του αὐξάνει (πλήν τῶν ἐξαφέσεων) καί ὅταν ψύχεται ὁ ὄγκος του ἐλλαττοῦται.

Ἑπομένως ἐκ τῶν μεταβολῶν τοῦ ὄγκου ἑνός σώματος δυνάμεθα νά συμπεράνωμεν ἐάν τοῦτο ἐθερμάνθη ἤ ἐψύχθη ἤτοι ἐάν ἡ θερμοκρασία του ηὔξησεν ἤ ἠλαττώθη.

Ἐάν ὁ ὄγκος τοῦ σώματος μένει ἀμετάβλητος τότε ἡ θερμοκρασία του μένει σταθερά. Τοιουτοτρόπως διά τῆς ἐξετάσεως τοῦ ὄγκου ἑνός σώματος δυνάμεθα νά προσδιορίσωμεν τήν θερμοκρασίαν αὐτοῦ. Ὅταν ὅμως πρόκειται περί δύο ἤ περισσοτέρων σωμάτων πῶς θά ἐξακριβώσωμεν ἐάν αὐτά ἔχοον τήν αὐτήν ἤ διαφόρους θερμοκρασίας;

Ἐάν δύο σώματα Α καί Β τιθέμενα πλησίον ἀλλήλων δέν ὑφίστανται οὐδεμίαν μεταβολήν τοῦ ὄγκου των τότε λέγομεν ὅτι τά σώματα αὐτά ἔχουν ἴσας θερμοκρασίας. Ἐάν ὅμως τοῦ ἑνός ἐξ αὐτῶν π.χ. τοῦ Α ὁ ὄγκος αὐξηθῇ τότε θά παρατηρήσωμεν ὅτι ὁ ὄγκος τοῦ Β θά ἐλαττωθῇ: τότε λέγομεν ὅτι τό δεύτερον σῶμα Β εἶχε μεγαλυτέραν θερμοκρασίαν ἀπό τό πρῶτον Α.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγομεν ὅτι: Ὁ ὄγκος ὡρισμένου βάρους σώματος τινός ὑπό τήν αὐτήν ἐξωτερικήν πίεσιν ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς θερμοκρασίας του. Γενικῶς ὁ ὄγκος αὐξάνει ἤ ἐλαττοῦται ἤ μένει σταθερός, ὅταν ἡ θερμοκρασία αὐξάνει ἤ ἐλαττοῦται ἤ μένει σταθερά.

Διά πειραμάτων ἐξηκριβώθη ὅτι ὑπάρχουν ἐν τῇ φύσει σώματα ὁποῖα ὑπό καταλλήλους συνθήκας διατηροῦν τήν αὐτην πάντοτε θερμοκρασίαν.

Οὕτω ἡ θερμοκρασία τοῦ τηκομένου πάγου διατηρεῖται σταθερά. ἐπίσης καί οἱ ἀτμοί τοῦ βράζοντος ὕδατος ἔχουν σταθεραν θερμοκρασίαν καθ᾽ ὅλην τήν διάρκειαν τοῦ βρασμοῦ καί ἡ θερμοκρασία αὐτή εἶνα ἡ αὐτή πάντοτε ἐάν ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἶναι ἡ αὐτή.

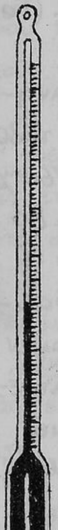
Τοιαῦται θερμοκρασίαι σταθεραί εἶναι πολλαί εἰς τήν φύσιν καί δυνάμεθα νά σχηματίσωμεν ὁλόκληρον κλίμακα σταθερῶν θερμοκρασιῶν, ἑκάστη τῶν ὁποίων θά παρίσταται δι᾽ ἑνός ἀριθμοῦ

Μία τῶν κλιμάκων θερμοκρασιῶν εἶναι ἡ ἑκατοντάβαθμος κλίμαξ θερμοκρασιῶν τοῦ Κελσίου. Εἰς αὐτήν τό 0 τῆς κλίμακος ἀντιστοιχεῖ εἰς τήν θερμοκρασίαν τοῦ τηκομένου πάγου καί τό 100 εἰς τήν θερμοκρασίαν τῶν ἀτμῶν τοῦ ζέοντος ὕδατος ὑπό ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν 760 mm ὑδραργύρου.

4) Θερμόμετρα

α) Ὁρισμός: Θερμόμετρα εἶναι τὰ ὄργανα, διὰ τῶν ὁποίων μετρῶμεν τὴν θερμοκρασίαν τῶν σωμάτων.

β) Ὑδραργυρικὰ θερμόμετρα: Τὸ μᾶλλον ἐν χρήσει θερμόμετρον εἶναι τὸ ὑδραργυρικόν. Τοῦτο ἀποτελεῖται ἐκ σωλῆνος ὑαλίνου ἐσωτερικῆς διαμέτρου πολὺ μικρᾶς καὶ τῆς αὐτῆς καθ' ὅλον του τὸ μῆκος κλειστὸν κατὰ τὸ ἓν ἄκρον του καὶ ἀπολήγοντος εἰς τὸ ἄλλον του ἄκρον εἰς δοχεῖον κυλινδρικὸν ἢ σφαιρικὸν δοχεῖον πλῆρες ὑδραργύρου (Σχῆμ 8)



Ὅταν ὁ ὑδράργυρος τοῦ δοχείου θερμαίνεται διαστέλλεται καὶ ἀνέρχεται ἐντὸς τοῦ σωλῆνος, ὁ ὁποῖος εἶναι τελείως κενὸς ἀέρος. Τοὐναντίον ὅταν ὁ ὑδράργυρος ψυχθῇ συστέλλεται καὶ κατέρχεται εἰς τὸν σωλῆνα.

Κατὰ μῆκος τοῦ σωλῆνος ὑπάρχουν χαραγαὶ εἰς ἴσας μεταξύ των ἀποστάσεις φέρουσαι ἀριθμοὺς ἀντιστοιχοῦντας εἰς τὰς διαφόρους θερμοκρασίας.

Τὸ 0 τῆς κλίμακος χαράσσεται εἰς τὸ σημεῖον τοῦ σωλῆνος, εἰς τὸ ὁποῖον θὰ σταθῇ ὁ ὑδράργυρος ὅταν τὸ δοχεῖον τοῦ θερμομέτρου εἰσαχθῇ ἐντὸς τηκομένου πάγου.

Ὁ δὲ ἀριθμὸς 100 χαράσσεται εἰς τὸ σημεῖον εἰς τὸ ὁποῖον θὰ σταθῇ ὁ ὑδράργυρος ὅταν τὸ θερμόμετρον τοποθετηθῇ ἐντὸς ἀτμῶν ζέοντος ὕδατος ὑπὸ ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν 760 mm ὑδραργύρου.

Σχῆμ 8

Τὸ μεταξὺ 0 καὶ 100 διάστημα χωρίζεται εἰς 100 ἴσα μέρη μέρη καὶ προεκτείνεται ἡ ὑποδιαίρεσις αὐτὴ καὶ κάτω τοῦ 0 καὶ ἄνω τοῦ 100.

Τοὺς ἀριθμοὺς τοὺς ἀντιστοιχοῦντας εἰς τὰς χαραγὰς ἄνω τοῦ 0 τοὺς συνοδεύομεν μὲ τὸ σημεῖον + καὶ τοὺς κάτωθι τοῦ 0 τοὺς συνοδεύομεν μὲ τὸ σημεῖον −. Οὕτω τὴν θερμοκρασίαν τῶν 10 βαθμῶν ὑπὲρ τὸ 0 σημειοῦμεν διὰ +10°.

Ἡ θερμοκρασία, ποὺ δύναται νὰ δείξῃ τὸ ὑδραργυρικὸν θερμόμετρον δέν δύναται νά εἶναι χαμηλοτέρα τῶν −39° περίπου διότι εἰς τήν θερμοκρασίαν αὐτήν στερεοποιεῖται ὁ ὑδράργυρος (πήγνυται) οὔτε ὑψηλοτέρα τῶν +360°, εἰς τήν ὁποίαν οὗτος ζέει. (βράζει). Ἡ κλίμαξ αὕτη ὡς καί προηγουμένως ἀνεφέραμεν εἶναι ἡ κλίμαξ Κελσίου. Εἰς τήν κλίμακα αὐτήν ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγιοῦς ἀνθρώπου εἶναι +37°.

Διά τούς ἄνω τοῦ 0 βαθμούς συνήθως παραλείπομεν τό σύμβολον +.

<u>Ἄλλαι κλίμακες</u>. Ἐκτός τῆς κλίμακος Κελσίου ὑπάρχουν καί ἄλλαι κλίμακες ὡς τοῦ Ρεωμύρου καί Φαρενάϊτ. (Ferenheit).

Εἰς τήν κλίμακα τοῦ Ρεωμύρου τό 0 τῆς κλίμακος ἀντιστοιχεῖ εἰς τήν θερμοκρασίαν τοῦ τηκομένου πάγου, καί τό 80 εἰς τήν θερμοκρασίαν τοῦ ζέοντος ὕδατος ὑπό πίεσιν 760 $^{mm}/_{m}$ ὑδραργύρου. Ἤτοι οἱ 100 βαθμοί Κελσίου ἀντιστοιχοῦν εἰς 80 βαθμούς Ρεωμύρου καί εἷς βαθμός Κελσίου εἰς $\frac{80}{100}=\frac{4}{5}$ βαθμούς Ρεωμύρου. Δηλαδή διά νά μετατρέψωμεν βαθμούς Κελσίου εἰς βαθμούς Ρεωμύρου πολλαπλασιάζομεν αὐτούς ἐπί τό κλάσμα $\frac{4}{5}$ καί ἀντιστρόφως διά νά μετατρέψωμεν βαθμούς Ρεωμύρου εἰς Κελσίου πολλαπλασιάζομεν αὐτούς ἐπί $\frac{5}{4}$. Ἤτοι $°R=\frac{4°}{5}C$ καί $°C=\frac{5°}{4}R$ (°C = βαθμοί Κελσίου, °R = βαθμοί Ρεωμύρου). Εἰς τήν Ἀγγλίαν καί Ἀμερικήν γίνεται χρῆσις τῆς κλίμακος τοῦ Φαρενάϊτ.

Εἰς τήν κλίμακα αὐτήν ἡ θερμοκρασία τοῦ ζέοντος ὕδατος παρίσταται διά τοῦ ἀριθμοῦ +212. Ἡ θερμοκρασία 0° τῆς κλίμακος Κελσίου ἀντιστοιχεῖ εἰς τήν θερμοκρασίαν +32° τῆς κλίμακος Φαρενάϊτ. Ἄρα 1 βαθμός Κελσίου (C) ἀντιστοιχεῖ πρός $\frac{180}{100}=\frac{9}{5}$ βαθμούς Φαρενάϊτ. (F). Ἐπομένως διά νά μετατρέψωμεν βαθμούς C εἰς βαθμούς F πολλαπλασιάζομεν τούς βαθμούς C ἐπί $\frac{9}{5}$ καί εἰς τό ἐξαγόμενον προσθέτομεν τόν ἀριθμόν 32 ἤτοι $°F=°C\cdot\frac{9}{5}+32$.

Καὶ ἀντιστρόφως διὰ νὰ μετατρέψωμεν βαθμοὺς F εἰς C ἀφαιροῦμεν πρῶτον ἀπὸ τοὺς βαθμοὺς Φαρενάϊτ τὸν ἀριθμὸν 32 καὶ ἔπειτα πολλαπλασιάζομεν τὴν διαφορὰν ἐπὶ $\frac{5}{9}$ ἤτοι $°C = (°F-32)\cdot\frac{5}{9}$.

<u>Παράδειγμα</u>: 1) Νὰ μετατραπῇ εἰς βαθμοὺς Φαρενάϊτ καὶ Ρεωμύρου ἡ θερμοκρασία 120°C (Κελσίου).

<u>Λύσις</u>: α) Σύμφωνα μὲ ὅσα ἐλέχθησαν προηγουμένως ἔχομεν: Βαθμοὶ Φαρενάϊτ $= 120\cdot\frac{9}{5} + 32 = \frac{120\cdot 9}{5} + 32 = 216 + 32 = 248$ ἤτοι οἱ 120 °C ἀντιστοιχοῦν εἰς 248° F.

β) Διὰ νὰ μετατρέψωμεν τοὺς βαθμοὺς Κελσίου εἰς Ρεωμύρου πολλαπλασιάζομεν αὐτοὺς ἐπὶ $\frac{4}{5}$ ἤτοι οἱ 120° C ἀντιστοιχοῦν πρὸς $120\cdot\frac{4}{5} = 96°$ R.

2) Νὰ μετατραποῦν οἱ 56° Ρεωμύρου εἰς βαθμοὺς Φαρενάϊτ

<u>Λύσις</u>: οἱ $56°R = 56\cdot\frac{5}{4} = 14\cdot 5 = 70°C$

ἀφ' ἑτέρου οἱ $70°C = 70\cdot\frac{9}{5} + 32 = 126 + 32 = 158°$ F.

ἤτοι οἱ 56° Ρεωμύρου ἀντιστοιχοῦν εἰς 158° Φαρενάϊτ.

3) Νὰ τραποῦν οἱ 198° Φαρενάϊτ εἰς βαθμοὺς Κελσίου καὶ Ρεωμύρου.

<u>Λύσις</u>: $198°F = (198-32)\cdot\frac{5}{9} = \frac{166.5}{9} = 92{,}3°C$

ἀφ' ἑτέρου οἱ $92{,}3°C = 92.3\cdot\frac{4}{5} = 73.8°R$

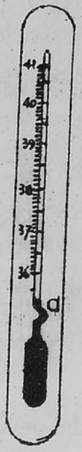
ἤτοι οἱ $198°F = 92{,}3°C = 73.8°R$

γ) <u>Ἀκροβάθμια θερμόμετρα</u> (Μεγίστων κ' Ἐλαχίστων Θερμοκρασιῶν)

Ἡ θερμοκρασία τῶν σωμάτων συνήθως δὲν μένει σταθερὰ ἀλλὰ μεταβάλλεται μετὰ τοῦ χρόνου. Διὰ νὰ εὕρωμεν ποία εἶναι ἡ μεγίστη καὶ ποία ἡ ἐλαχίστη θερμοκρασία ἑνὸς σώματος κατὰ τὴν διάρκειαν χρόνου τινὸς μεταχειριζόμεθα τὰ λεγόμενα <u>ἀκροβάθμια θερμόμετρα</u>.

Ταῦτα εἶναι μεγιστοβάθμια διὰ τὴν μέτρησιν τῆς μεγίστης θερμοκρασίας καὶ ἐλαχιστοβάθμια διὰ τὴν μέτρησιν τῆς ἐλαχίστης θερμοκρασίας.

Συνήθη μεγιστοβάθμια θερμόμετρα εἶναι τὰ τῶν ἰατρῶν, εἰς ταῦτα ὁ σωλὴν πλησίον τῆς λεκάνης τοῦ ὑδραργύρου φέρει μίαν στρέβλωσιν α Σχῆμ. 9, ἕνεκα τῆς ὁποίας ὁ ὑδράργυρος ἀνέρχεται μέν εἰς τόν σωλῆνα τοῦ θερμομέτρου ὅταν διαστέλλεται, δέν δύναται ὅμως νά κατέλθῃ εἰς τήν λεκάνην ὅταν συστέλλεται ἐκτός ἐάν τό τινάξωμεν ἀποτόμως.

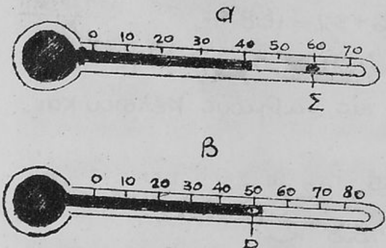


Σχῆμ 9

Οὕτω ὅταν τό θερμόμετρον τοποθετηθῇ εἰς ἀσθενῆ ἐπί ὡρισμένα λεπτά θά σημειώνῃ κατόπιν διαρκῶς τήν θερμοκρασίαν τοῦ ἀσθενοῦς.

Ἄλλος τύπος μεγιστοβαθμίου θερμομέτρου εἶναι τό μεγιστοβάθμιον θερμόμετρον Ρούτερφορδ (Rutherford).

Τοῦτο εἶναι ὑδραργυρικόν μέ τόν σωλῆνα του ὁριζόντιον (Σχῆμ 10). Ἐντός τοῦ σωλῆνος ὑπάρχει κυλινδρίσκος σιδηροῦς Σ ἐλευθέρως μετακινούμενος ἐντός αὐτοῦ. Ὅταν ὁ ὑδράργυρος διαστέλλεται συμπαρασύρει μετ' αὐτοῦ τόν κυλινδρίσκον, ὅταν ὅμως συστέλλεται δέν τον συμπαρασύρει καί τοιουτοτρόπως τόν ἀφήνει εἰς τήν θέσιν τῆς μεγίστης θερμοκρασίας.



Σχῆμ 10

Ὁ ἴδιος κατεσκεύασεν καί ἐλαχιστοβάθμιον θερμόμετρον, τό ὁποῖον εἶναι πλῆρες οἰνοπνεύματος καί εἰς τόν ὁριζόντιον αὐτοῦ σωλῆνα φέρει κυλινδρίσκον ὑάλινον P (Σχῆμ 10β) βυθισμένον ἐντός τοῦ οἰνοπνεύματος.

Ὅταν τό οἰνόπνευμα διαστέλλεται διέρχεται ἐλευθέρως μεταξύ τοῦ κυλινδρίσκου καί τῶν παρειῶν τοῦ σωλῆνος καί δέ μετακινεῖ τόν κυλινδρίσκον τοῦτον. Ὅταν ὅμως συστέλλεται συμπαρασύρει καί τόν κυλινδρίσκον οὕτως ὥστε οὗτος δεικνύει τήν ἐλαχίστην θερμοκρασίαν.

5. Πυρόμετρα

α) Γενικά: Πυρόμετρα εἶναι τά ὄργανα διά τῶν ὁποίων μετροῦμεν ὑψηλάς θερμοκρασίας.

Ἔχομεν διάφορα εἴδη τοιούτων πυρομέτρων, τά ὁποῖα στηρίζονται εἰς διαφόρους ἀρχάς.

Διά θερμοκρασίας μέχρι 360° C (κελσίου) μεταχειριζόμεθα τό κοινόν ὑδραργυρικόν θερμόμετρον. Διά θερμοκρασίας 500° ἕως 550° C δυνάμεθα νά μεταχειρισθῶμεν τό ὑδραργυρικόν θερμόμετρον ἐντός τοῦ σωλῆνος τοῦ ὁποίου ἐγκλείομεν τό ἀέριον ἄζωτον ὑπό πίεσιν 20 ἕως 30 ἀτμοσφαιρῶν ὁπότε ἀνυψοῦμεν τήν θερμοκρασίαν βρασμοῦ τοῦ ὑδραργύρου. Διά θερμοκρασίαν ἕως 750° C δυνάμεθα νά μεταχειρισθῶμεν τό ἀνωτέρω ὑδραργυρικόν θερμόμετρον ἀλλά μέ δοχεῖον ἐκ χαλαζίου, διότι ἡ ὕαλος εἰς τούς 500° ἕως 550° C μαλακώνει.

Δι' ἀνωτέρας θερμοκρασίας καί μέχρι 1500° C μεταχειριζόμεθα τά λεγόμενα ἀερικά θερμόμετρα.

Ἐπίσης εἰς ὑψηλάς θερμοκρασίας μεταχειριζόμεθα τά μεταλλικά θερμόμετρα, τά ἠλεκτρικά δι' ἀντιστάσεως, τά θερμοηλεκτρικά, τά ὀπτικά.

β) Ἀερικά θερμόμετρα:

Τά ἀερικά θερμόμετρα περιέχουν ἐντός δοχείου κλειστοῦ ἀέριον ὅπως, τό ἄζωτον, τό ὑδρογόνον, ἰδίως δέ τό ἥλιον.

Ὅταν θέσωμεν τοῦτο ἐπί τοῦ σώματος θερμοῦ τότε ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου θά αὐξηθῇ (ὡς θά ἴδωμεν ἀργότερον) καί ἡ αὔξησις τῆς πιέσεως μετρᾷ τήν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας.

Διά καταλλήλου τρόπου μετρῶμεν ταχέως καί ἀκριβῶς τήν πίεσιν τοῦ ἐγκλείστου ἀερίου καί ἐπομένως τήν θερμοκρασίαν αὐτοῦ. Ἡ κλίμαξ τοῦ θερμομέτρου ἀντί νά δεικνύῃ τάς πιέσεις τοῦ ἀερίου δεικνύει ἀμέσως τάς ἀντιστοίχους θερμοκρασίας αὐτοῦ.

γ) Θερμοηλεκτρικόν πυρόμετρον

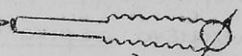
Τά πυρομετρικά ταῦτα στηρίζονται ἐπί τῆς ἑξῆς ἀρχῆς

Ἐάν λάβωμεν δύο ράβδους ἐκ διαφορετικῶν ὑλῶν π.χ.

ἀντιμονίου καί βισμουθίου καί τάς συγκολλήσωμεν μεταξύ των εἰς τό ἕν ἄκρον αὐτῶν τά δέ ἄλλα ἐλεύθερα ἄκρα αὐτῶν ἑνώσωμεν διά σύρματος, εἰς τό ὁποῖον παρεμβάλλομεν εὐαίσθητον ἀμπερόμετρον, τότε ἐάν θερμάνομεν τήν συγκόλλησιν θά ἴδωμεν ὅτι τό ἀμπερόμετρον ἀποκλείνει. Ἤτοι διά τῆς θερμάνσεως παρήχθη ἠλεκτρικόν ρεῦμα. Τό τοῦτο εἶναι ἀνάλογον τῆς θερμοκρασίας εἰς τήν ὁποίαν ἐθερμάνθη ἡ συγκόλλησις.

Τό θερμοηλεκτρικόν πυρόμετρον ἀποτελεῖται ἐκ ζεύγους ράβδων ἤτοι μιᾶς ἐκ λευκοχρύσου καί τῆς ἄλλης ἐξ ἰριδιούχου ἤ ροδιούχου λευκοχρύσου ἤ καί ἐξ ἄλλων εὐθηνοτέρων ὑλικῶν καί χρησιμοποιεῖται διά θερμοκρασίας 300° ἕως 1600°C.

Τό ἀμπερόμετρον εἶναι λίαν εὐαίσθητον ἀντί δέ νά δεικνύῃ τό ρεῦμα δεικνύει ἀπ' εὐθείας τάς θερμοκρασίας.



δ) Πυρόμετρον δι' ἠλεκτρικῆς ἀντιστάσεως

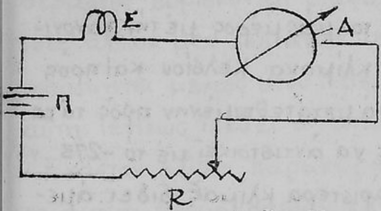
Τοῦτο στηρίζεται ἐπί τῆς ἀρχῆς ὅτι ἡ ἠλεκτρική ἀντίστασις ἑνός ἀγωγοῦ αὐξάνει αὐξανομένης τῆς θερμοκρασίας καί δή κατά ὡρισμένον νόμον. Τό πυρόμετρον δι' ὑψηλάς θερμοκρασίας τοῦ τύπου τούτου περιέχει ἠλεκτρικήν ἀντίστασιν ἐκ σύρματος ἐκ καθαροῦ λευκοχρύσου, μίαν πηγήν ἠλεκτρικοῦ ρεύματος σταθερᾶς τάσεως καί ἕν γαλβανόμετρον ἀκριβείας. Ἐάν τό σύρμα ἐκ λευκοχρύσου ἔλθῃ εἰς ἐπαφήν μέ τό θερμόν σῶμα τότε μεταβάλλεται ἡ ἠλεκτρική του ἀντίστασις καί ἡ βελόνη τοῦ γαλβανομέτρου ἀποκλίνει ἐνώπιον κλίμακος, ἡ ὁποία ἀντί νά δώσῃ τήν νέαν ἀντίστασιν τοῦ σύρματος δίδει ἀμέσως τήν θερμοκρασίαν εἰς τήν ὁποίαν ἐθερμάνθη τοῦτο.

ε) Ὀπτικόν θερμόμετρον

Τό μᾶλλον ἐν χρήσει ὀπτικόν πυρόμετρον στηρίζεται ἐπί τῆς ἀρχῆς, ὅτι ὅλα τά στερεά σώματα θερμαινόμενα εἰς μίαν καί τήν αὐτήν θερμοκρασίαν ἔχουν τό αὐτό χρῶμα.

Οὕτω πᾶν σῶμα θερμαινόμενον γίνεται κατ' ἀρχὰς φαιόν, ἔπειτα φαιοκίτρινον, ἔπειτα κυανοῦν, ἐρυθρόν, βαθὺ ἐρυθρόν ἀνοικτὸ πορτοκαλί, ἀνοικτὸν κίτρινον, λευκόν.

Τὸ πυρόμετρον περιέχει ἕνα λεπτὸν μεταλικὸν σύρμα Σ (Σχῆμ.11), τὸ ὁποῖον διὰ μιᾶς ἠλεκτρικῆς στήλης Π θερμαίνεται περισσότερον ἢ ὀλιγότερον κατὰ βούλησιν διὰ μιᾶς μεταβλητῆς ἀντιστάσεως R. ἓν ἀμπεράμετρον ἀκριβείας Α μετρᾷ τὴν ἔντασιν τοῦ ρεύματος ποὺ διατρέχει τὸ σύρμα.



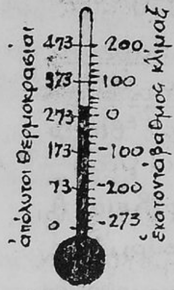
Σχῆμ 11

Διὰ μιᾶς διόπτρας σκοπεύομεν τὸ σῶμα, τοῦ ὁποίου ζητοῦμεν τὴν θερμοκρασίαν. Τὸ σύρμα Σ εὑρίσκεται ἐντὸς τῆς διόπτρας καὶ εἰς τὴν θέσιν ὅπου σχηματίζεται τὸ εἴδωλον τοῦ σκοπευομένου σώματος. Ἐὰν διὰ τῆς μεταβλητῆς ἀντιστάσεως R αὐξήσωμεν τὴν θερμοκρασίαν τοῦ σύρματος Σ ὥστε νὰ ἀποκτήσῃ τοῦτο τὸ αὐτὸ χρῶμα μὲ τὸ σκοπευόμενον σῶμα, τότε ἐξαφανίζεται ἡ εἰκὼν τοῦ σύρματος, τὴν ὁποίαν ἐβλέπαμεν διὰ τῆς διόπτρας. Τότε διὰ τοῦ ἀμπερομέτρου μετροῦμεν ἀμέσως τὴν θερμοκρασίαν εἰς τὴν ὁποίαν ἐθερμάνθη τὸ σύρμα καὶ ἡ ὁποία εἶναι ἡ αὐτὴ μὲ τὴν τοῦ σκοπευομένου σώματος. Τὰ ὄργανα τοῦτα βαθμολογοῦνται διὰ συγκρίσεως κυρίως πρὸς τὰ ἀερικὰ θερμόμετρα (τὸ ἀμπερόμετρον βαθμολογεῖται νὰ δεικνύῃ ἀντὶ τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος, τὴν ἀντίστοιχον θερμοκρασίαν, εἰς τὴν ὁποίαν ἐθερμάνθη τὸ σύρμα).

6) Μέγισται καὶ ἐλάχισται θερμοκρασίαι — Ἀπόλυτον μηδέν Ἀπόλυτοι θερμοκρασίαι

Διὰ τῶν μέχρι τοῦδε γνωστῶν μεθόδων εἰς τὴν ἐπιστήμην ἡ μεγίστη ἐπιτευχεῖσα εἰς τὴν γῆν θερμοκρασία εἶναι περίπου 3500° C. Ἡ θερμοκρασία τοῦ ἡλίου ἡ ὁποία ἐμετρήθη δι' ὀπτικῶν μεθόδων εἶναι περίπου 6000° C.

Ἡ χαμηλοτέρα ἐπιτευχθεῖσα θερμοκρασία εἶναι ἡ θερμοκρασία τῶν $-270°C$



Σχημ. 11α

Ἡ θερμοκρασία $-273°$ C. ὀνομάζεται ἀπόλυτον μηδέν.

Αἱ θερμοκρασίαι αἱ ὁποῖαι μετρῶνται ἀπό τοῦ ἀπολύτου μηδενός καί ἄνω ὀνομάζονται ἀπόλυτοι θερμοκρασίαι. Οὕτω ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία ἡ ἀντιστοιχοῦσα εἰς τούς $20°C$ εἶναι $273+20=293$ καί ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία 260 εἶναι ἀντίστοιχος πρός $-273+260=-13°C$.

Ἐάν ὁ σωλήν ὑδραργυρικοῦ θερμομέτρου ἔχει βαθμολογηθῆ πρός τό δεξιόν του μέν μέρος μέ τήν κανονικήν του ἑκατοντάβαθμον κλίμακα Κελσίου καί πρός τό ἀριστερόν μέ τήν αὐτήν κλίμακα ἀλλά μετατεθειμένην πρός τά κάτω κατά $273°$ οὕτως ὥστε τό 0 αὐτῆς νά ἀντιστοιχεῖ μέ τό -273 τῆς ἑκατονταβάθμου (Σχῆμ 11α) τότε ἡ ἀριστερά κλίμαξ διδεῖ ἀμέσως τάς ἀπολύτους θερμοκρασίας.

Γενικῶς ἐάν t εἶναι ἡ θερμοκρασία σώματος τινός μετρουμένη εἰς βαθμούς Κελσίου καί T ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία αὐτοῦ τοτε: $T = 273 + t$ ....(7)

Διά τήν μέτρησιν θερμοκρασιῶν ἕως $-39°$ C δύναται νά γίνῃ χρῆσις τοῦ ὑδραργυρικοῦ θερμομέτρου. Διά τήν θερμοκρασίαν κατωτέραν τοῦ $-39°C$ καί δή μέχρι περίπου $-100°C$ χρησιμοποιοῦνται θερμόμετρα μέ οἰνόπνευμα ἤ προτιμώτερον τολουόλην ἤ πετρελαϊκόν αἰθέρα, ὁπότε δύνανται νά μετρηθοῦν θερμοκρασίαι καί κάτω τῶν $-100°$ C (Μέ πετρελαϊκόν αἰθέρα μέχρι $-180°$ C).

Διά τάς λίαν χαμηλάς θερμοκρασίας μέχρι $-270°C$ μεταχειριζόμεθα ἀερικά θερμόμετρα περιέχοντα ἀέριον ἥλιον.

7) Ποσότης θερμότητος - Μονάδες θερμότητος.

α) Ποσότης θερμότητος: Ἐκαλέσαμεν θερμότητα τό αἴτιον, τό ὁποῖον προκαλεῖ τό αἴσθημα τοῦ θερμοῦ καί τοῦ ψυχροῦ.

Ὅταν πλησιάζομεν εἰς φλόγα ἤ εἰς πυράν ἤ ἐκτιθέμεθα εἰς τόν ἥλιον αἰσθανόμεθα τό αἴσθημα τοῦ θερμοῦ, λέγομεν δέ, ὅτι τά σώματα ταῦτα θερμαίνουν ἡμᾶς ἤ ὅτι μᾶς ἐκπέμπουν θερμότητα. Ἐάν ῥάβδον θερμήν βυθίσωμεν ἐντός ψυχροῦ ὕδατος τότε ἡ θερμοκρασία τῆς ῥάβδου θά καταπέσῃ καί τοῦ ὕδατος θά αὐξηθῇ, λέγομεν δέ ὅτι ἡ μέν θερμή ῥάβδος <u>παρέσχε θερμότητα</u> εἰς τό ὕδωρ, τό δέ ὕδωρ <u>ἐδέχθη θερμότητα</u> ἐκ τῆς ῥάβδου ἤ ὅτι ἡ θερμή ῥάβδος εἶναι πηγή θερμότητος διά τό ψυχρόν ὕδωρ.

Γενικῶς ἐάν εἰς ἕνα χῶρον πέραν τοῦ ὁποίου δέν ἐξέρχεται θερμότης εὑρίσκονται διάφορα σώματα διαφόρων θερμοκρασιῶν, τότε ἄλλων μέν σωμάτων αὐξάνεται ἡ θερμοκρασία καί ἄλλων καταπίπτει μέχρις ὅτου ἡ θερμοκρασία ὅλων τῶν σωμάτων γίνῃ ἡ αὐτή. Γενικῶς ἰσχύει ὁ κανών:

"Ἕκαστον σῶμα παραχωρεῖ θερμότητα εἰς πάντα τά σώματα τά ἔχοντα θερμοκρασίαν κατωτέραν αὐτοῦ καί δέχεται θερμότητα ἀπό πάντα τά σώματα τά ἔχοντα θερμοκρασίαν ὑψηλοτέραν αὐτοῦ." Ἤτοι πᾶν σῶμα εἶναι <u>πηγή θερμότητος</u> διά πᾶν ἄλλον χαμηλοτέρας θερμοκρασίας.

β) <u>Μονάς θερμότητος</u>

Πρός μέτρησιν τῶν ποσοτήτων θερμότητος, τάς ὁποίας δέχονται ἤ ἐκπέμπουν τά σώματα λαμβάνομεν ὡρισμένην ποσότητα θερμότητος ὡς μονάδα καί πρός αὐτήν συγκρίνομεν πᾶσαν ἄλλην ποσότητα θερμότητος.

Ὡς μονάς θερμότητος ἐλήφθη ἡ ποσότης θερμότητος, ἡ ἀναγκαία ἵνα ἀνυψώσῃ τήν θερμοκρασίαν ἑνός γραμμαρίου ὕδατος καθαροῦ ἀπό 0° C εἰς 1° C καί ἐκλήθη <u>θερμίς</u> παριστα μένη διά τοῦ cal (Calorie).

Εἰς τάς τεχνικάς ἐφαρμογάς λαμβάνομεν συνήθως ὡς μονάδα θερμότητος τήν <u>μεγάλην θερμίδα</u> ἤ θερμίδα χιλιογράμμου παριστα μένην διά Kcal (Kilocalorie), ἡ ὁποία εἶναι ἡ ποσότης τῆς θερμότητος ἡ ἀπαιτουμένη διά νά ἀνυψωθῇ ἡ θερμοκρασία ἑνός χιλιογράμμου ὕδατος ἀπό 0° C εἰς 1° C.

Ἔχομεν δέ 1 Kcal = 1000 cal.

8) Θερμοχωρητικότης τῶν σωμάτων

Ἐάν καύσωμεν 1gr. ἄνθρακος καί ἡ θερμότης, ἡ ὁποία θά παραχθῇ κατά τήν καῦσιν παραληφθῇ ὁλόκληρος ὑπό 1 Kg ὕδατος τότε ἡ θερμοκρασία του θά αὐξηθῇ κατά 8°C. Ἐνῶ ἐάν ἡ θερμότης αὐτή παραληφθῇ ὑπό 1 Kg ὑδραργύρου ἡ θερμοκρασία του θ' αὐξηθῇ κατά 240° C.

Ἐκ τούτων καί ἐξ ἄλλων πειραμάτων φαίνεται ὅτι τά διάφορα σώματα ὑπό ἴσας μάζας ἀπαιτοῦν ἀνίσους ποσότητας θερμότητος διά νά ἀνυψωθῇ ἡ θερμοκρασία των κατά τόν αὐτόν ἀριθμόν βαθμῶν.

Καλεῖται θερμοχωρητικότης ἑνός σώματος τό ποσόν τῆς θερμότητος ὁποῖον ἀπαιτεῖται διά νά αὐξηθῇ ἡ θερμοκρασία 1 Kg τοῦ σώματος κατά 1 βαθμόν π.χ. ἡ θερμοχωρητικότης 1 Kg ὕδατος εἶναι 1 Kcal ἐνῶ ἡ θερμοχωρητικότης 1 Kg ὑδραργύρου εἶναι περίπου 33 cal = 0,033 Kcal.

9) Εἰδική θερμότης στερεῶν καί ὑγρῶν

Καλεῖται εἰδική θερμότης σώματος τινός στερεοῦ ἤ ὑγροῦ ἡ ποσότης τῆς θερμότητος, ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται διά νά ἀνυψωθῇ ἡ θερμοκρασία 1 γραμμαρίου τοῦ σώματος κατά 1 βαθμόν.

Ἔστω C ἡ εἰδική θερμότης σώματος τινός. Ἐάν m εἰς gr. εἶναι ἡ μάζα τοῦ σώματος τότε ἀφοῦ διά τήν ἀνύψωσιν κατά 1 βαθμόν τῆς θερμοκρασίας 1 γραμμαρίου τοῦ σώματος ἀπαιτεῖται C ποσότης θερμότητος τότε διά τήν ἀνύψωσιν κατά 1 βαθμόν m γραμμαρίων τοῦ σώματος θά ἀπαιτηθῇ θερμότης m.C

Ἐάν ἡ θερμοκρασία τοῦ σώματος αὐτοῦ ἀπό θ γίνῃ θ' ἤτοι ἐάν ὑψωθῇ κατά θ'−θ° τότε διά τήν ἀνύψωσιν αὐτήν τῆς θερμοκρασίας ἀπαιτεῖται ποσότης θερμότητος Q ἴση πρός.

$$Q = m.C\,(\theta' - \theta) \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Ἡ εἰδική θερμότης τοῦ ὕδατος ἰσοῦται πρός 1

Παραδείγματα:

1) Χαλύβδινος ἄξων βάρους 90 Kg καί ἀρχικῆς θερμοκρα-

σίας 30° C θερμαίνεται εντός κλιβάνου μέχρι θερμοκρασίας 810° C.

Να ευρεθή το ποσόν της θερμότητος που απορροφά ούτος διά την θέρμανσίν του.

<u>Λύσις:</u> Εάν Q το ποσόν της θερμότητος τότε συμφώνως πρός την εξίσωσιν (8) σελίς 28 έχομεν $Q = m \cdot C(\theta' - \theta)$.
Ένθα m = το βάρος του άξωνος C η ειδική του θερμότης θ' η τελική του θερμοκρασία και θ η αρχική του θερμοκρασία.
Έχομεν δεδομένα: m = 90 kg θ' = 810°, θ = 30°. Αφ' ετέρου δεχόμεθα διά το χάλυβα C = 0.15 kcal/kg.

άρα $Q = 90 \cdot 0.15\,(810-30) = 90 \cdot 0{,}15 \cdot 780 = 10.530$ kcal.

2) Ο χαλύβδινος άξων του προηγουμένου παραδείγματος εξαγόμενος εκ του κλιβάνου υπό θερμοκρασίαν 780° C βυθίζεται εντός ποσότητος ύδατος βάρους 1000 kg και θερμοκρασίας 35° C.

Να ευρεθή πόσον θα ανυψωθή η θερμοκρασία του ύδατος εάν παραλείψωμεν την θέρμανσιν του δοχείου του ύδατος.

<u>Λύσις:</u> Η θερμότης την οποίαν θα χάση ο χαλύβδινος άξων κατά την ψύξιν του θα την παραλάβη το ύδωρ. Έστω θ η θερμοκρασία την οποίαν θ' αποκτήση το ύδωρ και ο άξων όταν εξισωθούν αι θερμοκρασίαι των.

Η θερμότης την οποίαν θα χάση ο άξων είναι ίση πρός

$$Q = 90\,C_1 \cdot (780 - \theta)$$

(Ένθα C_1 η ειδική θερμότης του χάλυβος) η δε θερμότης την οποίαν θα λάβη το ύδωρ είναι.

$$Q = 1000 \cdot C_2\,(\theta - 35)$$

(Ένθα C_2 η ειδική θερμότης του ύδατος)

$$\text{άρα} \quad 90 \cdot C_1\,(780 - \theta) = 1000 \cdot C_2\,(\theta - 35)$$

Παραδεχόμεθα διά τον χάλυβα και εις τα όρια θερμοκρασίας 0° έως 800° ότι $C_1 = 0.15$ και διά το ύδωρ μεταξύ 0° έως 100° $C_2 = 1$ άρα η άνω σχέσις γράφεται.

$$90 \cdot 0.15 \cdot (780-\theta) = 1000(\theta-35)$$

ἤ $$13.5\,(780-\theta) = 1000\,(\theta-35)$$

ἤ $$13.5 \cdot 780 - 13.5\,\theta = 1000\,\theta - 35000$$

ἤ $$10520 - 13{,}5\,\theta = 1000\,\theta - 35000$$

ἤ $$1000\,\theta + 13.5\,\theta = 35000 + 10520$$

ἤ $$1013{,}5\,\theta = 45520$$

$$t = 44{,}8^\circ C$$

Ἐπομένως ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος θά ὑψωθῇ κατά

$$44{,}8 - 35 = 9{,}8^\circ C$$

10) <u>Εἰδική Θερμότης τῶν ἀερίων</u>

Ὅταν ἕνα ἀέριον θερμαίνεται δύναται: α) νά διασταλῇ τοῦτο ἐλευθέρως ἐνῷ ἡ πίεσίς του νά παραμένῃ σταθερά καί β) νά παραμένῃ ὁ ὄγκος του σταθερός ἐνῷ ἡ πίεσίς του ν'αὐξηθῇ.

Ἀποδεικνύεται διά πειραμάτων ὅτι εἰς τάς δύο αὐτάς περιπτώσεις ποσότης 1 gr. ἐκ τοῦ ἀερίου ἀπαιτεῖ διάφορον ποσόν θερμοτητος διά νά αὐξηθῇ ἡ θερμοκρασία του κατά 1 βαθμόν ἤτοι ἡ εἰδική θερμότης αὐτοῦ εἰς τάς δύο αὐτάς περιπτώσεις δέν εἶναι ἡ αὐτή. Ἐπομένως διακρίνωμεν εἰς τά ἀέρια δύο εἰδικάς θερμότητας.

1) <u>Τήν εἰδικήν θερμότητα ὑπό σταθεράν πίεσιν</u> C_p ἡ ὁποία ἰσοῦται μέ τήν ποσοτητα θερμότητος ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται διά νά αὐξηθῇ ἡ θερμοκρασία 1gr. τοῦ ἀερίου κατά 1 βαθ. ὅταν ἡ πίεσις αὐτοῦ παραμένῃ σταθερά καί 2) <u>Τήν εἰδικήν θερμότητα ὑπό σταθερόν ὄγκον</u> C_v ἡ ὁποία ἰσοῦται μέ τήν θερμοτητα τήν ἀπαιτουμένην διά νά αὐξηθῇ ἡ θερμοκρασία 1 gr. τοῦ ἀερίου κατά ἕνα βαθμόν ὅταν ὁ ὄγκος τοῦ ἀερίου κατά τήν θερμανσίν του παραμένῃ σταθερός.

Κατωτέρω δίδομεν τούς πίνακας I καί II τῶν εἰδικῶν θερμοτήτων τῶν κυριωτέρων ἀερίων καί τῶν εἰδικῶν θερμοτητων μερικῶν στερεῶν καί ὑγρῶ.

ΠΙΝΑΞ Ι

Είδικόν βάρος - Μοριακόν βάρος και είδικαί θερμότητες τών άερίων.

Άέριον	Χημικόν σύμβολον	Βάρος $1 m^3$ είς $0^\circ C$ ύπό πίεσιν 760 m/m ύδραργύρου	Σχετική πυκνότης πρός τόν άέρα (όταν είδ. βάρος άέρος 1)	Μοριακόν Βάρος (περίπου)	Σταθερά τού άερίου R	Είδικαί θερμότητες δι' 1 kg άερίου είς $20^\circ c$ και πίεσιν $1 kg/cm^2$ Cp	Cu	Cp/Cu
Ήλιον	He	0,1785	0,158	4	212,0	1,251	0,755	
Άργόν	Hr.	0,7782	1.378	40	21,26	0,127	0,077	
Άήρ	—	1,2928	1,000	(29)	29.27	0,241	0,172	1.40
Όξυγόνον	O_2	1,4289	1,105	52	26.50	0,218	0,156	1.40
Ύδρογόνον	H_2	0,08987	0,0894	2	420,6	3,408	2.420	1.41
Άζωτον	N	1,2505	0,968	28	30,26	0,250	0,178	1,40
Μονοξείδιον άνθρ.	Co	0,2502	0,967	28	30,20	0,250	0,180	1.40
Διοξείδιον άνθρ.	Co_2	1,9768	1,529	44	19,27	0,202	0,156	1,32
Αμμωνία	NH_3	0,7709	0,596	17	49,79	0,530	0,410	
Μεθάνιον	NH_4	0,7168	0,555	16	52,90	0,531	0,406	

ΠΙΝΑΞ II

Μέση είδική θερμότης στερεών και ύγρών σωμάτων μεταξύ 0° και 100° C είς cal/gr. ή Kcal/kg.

Ἀλουμίνιον	0,22	Ψευδάργυρος	0,094	Χλωροφόρμιον	0,23
Ἀντιμόνιον	0,05	Κασσίτερος	0,056	Ὀξικόν ὀξύ	0,51
Μόλυβδος	0,031	Βισμούθιον	0,030	Γλυκερίνη	0,58
Χρυσός	0,031	Βολφράμιον	0,154	Μουρουνέλαιον	0,40
		Μπετόν	0,21	Ναφθαλίνη	0,31
Χαλκός	0,094			Ἔλαιον ἐλαίας	0,40
Μαγνήσιον	0,25	Ὕαλος	0,20	Πετρέλαιον	0,50
Μαγκάνιον	0,12	Γραφίτης	0,20	Θειϊκόν ὀξύ	0,35
Ὀρείχαλκος	0,092	Ξύλον	0,57-0,65	Πίσσα	0,50
Νικέλιον	0,11	Ξυλάνθραξ	0,20	Ὕδωρ	1,00
Λευκόχρυσος	0,032	Μάρμαρον	0,20		
Ὑδράργυρος	0,035	Λιθάνθραξ	0,31		
Σίδηρος, Χαλκός	0,115	Οἰνόπνευμα	0,58		
Ἄργυρος	0,056	Ἀμμωνία	1,00		
		Αἰθήρ	0,54		

11) Θερμιδομετρία

Ἡ Θερμιδομετρία πραγματεύεται τούς τρόπου μετρήσεως τῆς ποσότητος τῆς θερμότητος τῆς παραγομένης ἢ ἀπορροφουμένης κατά τήν παραγωγήν φαινομένου τινός.

Διά τῆς Θερμιδομετρίας εὑρίσκεται ἡ εἰδική θερμότης στερεών, ὑγρῶν καί ἀερίων. Αἱ μετρήσεις γίνονται ἐντός εἰδικῶν ὀργάνων τῶν Θερμιδομέτρων.

Ὑπάρχουν πολλαί μέθοδοι διά τήν εὕρεσιν τῆς εἰδικῆς θερμότητος τῶν σωμάτων, τῶν ὁποίων τήν περιγραφήν παραλείπομεν

Ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεων τῆς Θερμιδομετρίας

Ἐκ τῶν γινομένων διά τῶν διαφόρων μεθόδων τῆς Θερμιδομετρίας μετρήσεων εὑρέθη ὅτι: 1) Ἡ μεγαλειτέρα εἰδική θερμότης εἶναι ἡ εἰδική θερμότης τοῦ ὑδρογόνου ὑπό πίεσιν σταθεράν ἴσην πρός $Cp = 3,4$ καί κατόπιν τοῦ ὕδατος ἴση πρός 1.

2) Ἡ εἰδική θερμότης ἐξαρτᾶται ἀπό τήν μοριακήν καί φυσικήν κατάστασιν τοῦ σώματος π.χ. τοῦ ἀδάμαντος εἶναι 0,15 ἐνῶ τοῦ γραφίτου εἶναι 0,20 (καί τά δύο σώματα εἶναι καθαρός ἄνθραξ)

3) Ἡ εἰδική θερμότης εἶναι μεγαλειτέρα εἰς τήν ὑγράν κατάστασιν παρά εἰς τήν στερεάν π.χ. τοῦ πάγου εἶναι ἴση πρός 0.5 ἐνῷ τοῦ ὕδατος ἴση πρός 1. Ἐπίσης ἡ εἰδική θερμότης ἀερίου τινός εἶναι μικροτέρα ἀπό τήν εἰδικήν θερμότητα τοῦ ὑγροῦ, τό ὁποῖον τό παράγει.

4) Ἡ εἰδική θερμότης μεταβάλλεται μετά τῆς θερμοκρασίας. Διά τά στερεά μεταξύ 0° καί $100^\circ C$ εἶναι περίπου σταθερά ἄνω ὅμως τῶν $100^\circ C$ αὐξάνει τόσον περισσότερον ὅσον τό στερεόν πλησιάζει εἰς τήν κατάστασιν τῆς τήξεως.

Εἰς τάς θερμοκρασίας πλησίον τοῦ ἀπολύτου μηδενός ἡ εἰδική θερμότης ἐλαττοῦται ταχέως καί μηδενίζεται περίπου ὅταν ἡ θερμοκρασία φθάσῃ πολύ πλησίον τοῦ ἀπολύτου μηδενός ἤτοι ἐάν τότε δώσωμεν εἰς τό σῶμα ἐλάχιστον ποσόν θερμότητος αὐξάνει σημαντικά ἡ θερμοκρασία του. Διά τοῦτο εἶναι δυσκολωτάτη ἡ διατήρησις θερμοκρασιῶν πλησίον τοῦ ἀπολύτου μηδενός.

5) Ἡ εἰδική θερμότης τῶν ἀερίων ὑπό πίεσιν σταθεράν εἶναι μεγαλειτέρα τῆς εἰδικῆς θερμότητος ὑπό ὄγκον σταθερόν ἤτοι $Cp > C_v$. ὡς δεικνύει καί ὁ πίναξ I.

12) Μετάδοσις θερμότητος·

Α! Γενικά: Ὡς εἴδομεν καί εἰς τήν παράγραφον 7 ὅταν δύο σώματα διαφόρου θερμοκρασίας πλησιάσουν μεταξύ των τότε ὀλίγον κατ' ὀλίγον ἡ θερμοκρασία τοῦ θερμοτέρου θά ἐλαττωθῇ καί τοῦ ψυχροτέρου θά αὐξηθῇ μέχρις ὅτου ἡ θερμοκρασία τῶν δύο σωμάτων ἐξισωθῇ. Τοῦτο ἀπεδώσαμεν εἰς τό ὅτι τό θερμότερον σῶμα ἀποστέλλει θερμότητα εἰς τό ψυχρότερον.

B'. Τρόπος μεταδόσεως τῆς θερμότητος

Ἡ θερμότης μεταδίδεται κατά τρεῖς τρόπους ἤτοι: α) Δι' ἀκτινοβολίας β) Δι' ἀγωγιμότητος καί γ.) διά μεταφορᾶς ἤ διά ρευμάτων.

α) Μετάδοσις δι' ἀκτινοβολίας

Ἡ θερμότης δύναται νά μεταδοθῇ ἀπό ἑνός σώματος εἰς ἄλλο ἐξ ἀποστάσεως, χωρίς νά θερμανθοῦν τά ἐνδιάμεσα σώματα. Ἐπίσης δύναται νά μεταδοθῇ καί ἄν ὁ χῶρος μεταξύ τῶν σωμάτων εἶναι κενός ἀέρος (διά τοῦ κενοῦ).

Διά τοῦ τρόπου τούτου φθάνει ἡ θερμότης τοῦ ἡλίου εἰς τήν γῆν.

Ἡ μεταδιδομένη θερμότης ὀνομάζεται ἀκτινοβόλος θερμότης καί μεταδίδεται μέ μεγίστην ταχύτητα ἴση πρός τήν ταχύτητα τοῦ φωτός (300.000 χιλιόμετρα ἀνά δευτερόλεπτον).

Διά τό ποσόν τῆς θερμότητος τό ὁποῖον ἀκτινοβολεῖ ἕνα σῶμα ἰσχύει ὁ νόμος τοῦ Στέφαν (Stefan) ὁ ὁποῖος ἐκφράζεται ὑπό τοῦ τύπου,

$$Q = \sigma . F \left(T^4 - T_0^4\right) \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

Ἔνθα Q εἶναι τό ποσόν τῆς θερμότητος, πού ἀκτινοβολεῖ τό σῶμα εἰς 1H (1 ὥρα) F ἡ ἐπιφάνεια τοῦ σώματος εἰς m^2 T εἶναι ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία τοῦ ἀκτινοβολοῦντος σώματος καί T_0 ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία τοῦ περιβάλοντος τό σῶμα τοῦτο χώρου, σ δέ εἶναι ἕνας συντελεστής ἐξαρτώμενος ἐκ τῆς φύσεως τῆς ἐπιφανείας καί τοῦ ὑλικοῦ τοῦ ἀκτινοβολοῦντος σώματος.

β) Μετάδοσις δι' ἀγωγιμότητος

Ἡ θερμότης δύναται νά μεταδοθῇ ἐπίσης δι' ἀγωγιμότητος ἤτοι διά τῆς μάζης τοῦ σώματος. π.χ. ἐάν θερμάνωμεν μεταλλικήν ράβδον εἰς τό ἕν αὐτῆς ἄκρον τότε θά ἴδωμεν ὅτι μετ' ὀλίγον ἡ θερμότης μεταδίδεται ἀπό μορίου εἰς μόριον μέχρι τοῦ ἄλλου ἄκρου αὐτῆς, δηλαδή θερμαίνεται ὁλόκληρος ἡ ράβδος.

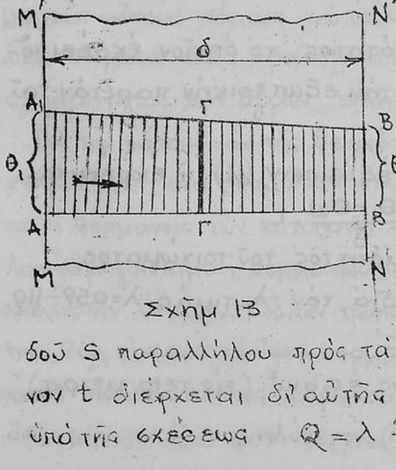
'Εκ τῶν στερεῶν σωμάτων ἄλλα μεταδίδουσι καλῶς τὴν θερμότητα διὰ τῆς μάζης αὐτῶν καὶ καλοῦνται καλοὶ ἀγωγοὶ τῆς θερμότητος (π.χ τὰ μέταλλα) καὶ ἄλλα τὴν μεταδίδουν κακῶς καὶ καλοῦνται κακοὶ ἀγωγοὶ τῆς θερμότητος. (π.χ. ξύλα, ὕαλος, μάλλινον ὕφασμα κ.λ.π. κακοὶ ἀγωγοὶ ἐπίσης τὰ ὑγρὰ καὶ τὰ ἀέρια).

Ὁ Φυσικὸς Φουριὲ (Fourier) ἐμελέτησεν θεωρητικῶς τοὺς νόμους τῆς ἀγωγιμότητος τῆς θερμότητος εἰς δύο περιπτώσεις ἤτοι: α) τὴν διάδοσιν διὰ τοιχώματος καὶ β) τὴν διάδοσιν διὰ ῥάβδου. Οἱ νόμοι τοὺς ὁποίους εὗρε οὗτος ἐπαληθεύθησαν κατόπιν πειραματικῆς.

Ἡμεῖς θὰ ἀναφέρωμεν μόνον τὴν περίπτωσιν τῆς διαδόσεως τῆς θερμότητος διὰ τοιχώματος, ἡ ὁποία ἐνδιαφέρει περισσότερον εἰς τὰς τεχνικὰς ἐφαρμογάς, ὅπως κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν λεβήτων, κατὰ τὴν μελέτην τοῦ προβλήματος τῆς ψύξεως τῶν Μ.Ε.Κ. κ.λ.π.

γ) Διάδοσις τῆς θερμότητος διὰ τοιχώματος

Ἔστω τοίχωμα ἀπεριορίστου μήκους καὶ πάχους δ περιοριζόμενον μεταξὺ τῶν δύο παραλλήλων ἐπιπέδων ΜΜ' καὶ ΝΝ' (Σχῆμ 13). Ἔστω ὅτι ἡ ἐπιφάνεια ΜΜ' τοῦ τοιχώματος ἔχει



Σχῆμ 13

σταθερὰν θερμοκρασίαν θ_1 καὶ ἡ ἐπιφάνεια ΝΝ' ἔχει σταθερὰν θερμοκρασίαν θ_2 μικροτέραν τῆς θ_1 ἤτοι $\theta_1 > \theta_2$. Τότε ἡ θερμότης ῥέει διαρκῶς ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας ΜΜ' πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν ΝΝ' ὡς δεικνύει καὶ τὸ βέλος.

Ἐὰν θεωρήσωμεν τομὴν ἐμβαδοῦ S παραλλήλου πρὸς τὰ ἐπίπεδα ΜΜ' καὶ ΝΝ' τότε εἰς χρόνον t διέρχεται δι' αὐτῆς θερμότης ἴση πρὸς Q διδομένη ὑπὸ τῆς σχέσεως

$$Q = \lambda \frac{S \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{\delta} \cdot t \quad \ldots\ldots (11)$$

Ἔνθα λ συντελεστὴς ἐξαρτώμενος ἐκ τοῦ ὑλικοῦ τοιχώματος.
Ἤτοι ἡ διερχομένη διά τινος τομῆς παραλλήλου πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ τοιχώματος θερμότης εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὸ ἐμβαδὸν τῆς τομῆς S πρὸς τὴν διαφορὰν θερμοκρασίας $\theta_1-\theta_2$ μεταξὺ τῶν δύο ἐπιφανειῶν τοῦ τοιχώματος καὶ πρὸς τὸν χρόνον t ἀντιστρόφως δὲ ἀνάλογος πρὸς τὸ πάχος τοῦ τοιχώματος δ. Ἐὰν φέρωμεν εὐθεῖαν ΑΒ κάθετον πρὸς τὸ ἐπίπεδον ΜΜ΄ καὶ ἐπὶ μὲν τοῦ ΜΜ΄ λάβωμεν τμῆμα $AA_1 = \theta_1$ ἐπὶ δὲ τοῦ ΝΝ΄ τὸ $BB_1 = \theta_2$ τότε, ἐὰν φέρωμεν τὴν A_1B_1 δι' αὐτῆς εὑρίσκομεν τὴν θερμοκρασίαν εἰς οἱονδήποτε σημεῖον τοῦ τοιχώματος: π.χ. εἰς τὸ σημεῖον Γ ἡ θερμοκρασία εἶναι ἴση πρὸς $\theta = \Gamma\Gamma_1$ (ἔνθα $\Gamma\Gamma_1$ κάθετος πρὸς τὴν ΑΒ).
Ὁ πίναξ III τῆς σελίδος 40 δίδει τὰς τιμὰς τοῦ συντελεστοῦ ἀγωγιμότητος λ διὰ διάφορα ὑλικὰ στερεά. Ἐκ μετρήσεων εὑρέθη ὅτι ἡ ἀγωγιμότης τῶν ὑγρῶν εἶναι πολὺ μικρά, πολὺ δὲ μικροτέρα εἶναι ἡ ἀγωγιμότης τῶν ἀερίων.

<u>Παράδειγμα</u>

Τοίχωμα φούρνου ἐκ πυριμάχων πλίνθων, ἐπιφανείας τοιχωμάτων $0{,}6\,m^2$ καὶ πάχους ἴσου πρὸς 15 cm ἔχει εἰς τὴν ἐσωτερικήν του παρειὰν θερμοκρασίαν 1100° C καὶ εἰς τὴν ἐξωτερικήν του θερμοκρασίαν 200° C.
Νὰ εὑρεθῇ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, τὸ ὁποῖον ἐκρέει ὡριαίως ἐκ τῆς ἐσωτερικῆς πρὸς τὴν ἐξωτερικὴν παρειὰν τοῦ τοιχώματος.

<u>Λύσις:</u> Συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν (11) ἡ ἐκρέουσα θερμότης εἶναι, $Q = \lambda . S\,\dfrac{(\theta_1-\theta_2)}{\delta}.t$

Ἔνθα λ = ὁ συντελεστὴς ἀγωγιμότητος τοῦ τοιχώματος.
Ὁ πίναξ III σελὶς 40 δίδει διὰ τὸν λ. τιμὰς $\lambda = 0.59 \div 1{,}19$.
Δεχόμεθα $\lambda = 1{,}19$ Kcal/m h°C
S = ἡ ἐπιφάνεια τοῦ τοιχώματος $= 0{,}6\,m^2$ (εἰς τετρ. μέτρα)
$\theta_1 - \theta_2 = 1100 - 200 = 900°\,C$

δ= πάκος τοιχώματος = 0.15 m (εἰς μέτρα).

κ t = ὁ χρόνος 1 ὥρ.

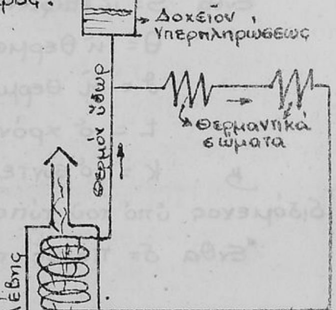
ἄρα $Q = \dfrac{1.19 \cdot \cancel{0.6} \cdot 900 \cdot 1}{\cancel{0.15}} = 1.19 \cdot 4 \cdot 900 = 4284$ Kcal

δ) Μετάδοσις τῆς θερμότητος διά μεταφορᾶς ἤ διά ῥευμάτων.-

Τά ἀέρια συνήθως θερμαίνονται διά ῥευμάτων τά ὁποῖα σχηματίζονται εἰς τήν μᾶζαν αὐτῶν. Πράγματι τό στρῶμα τοῦ ἀερίου τό εὑρισκόμενον πλησίον τῆς θερμαντικῆς πηγῆς θερμαινόμενον γίνεται ἀραιότερον (ὡς θά ἴδωμεν βραδύτερον) καί ἀνέρχεται ἐνῶ ἀέριον ἀπό ψυχρότερα στρώματα καταλαμβάνει τήν θέσιν αὐτοῦ καί οὕτω καθ' ἑξῆς. Ρεύματα ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος μεγάλης ἐντάσεως εἶναι οἱ ἄνεμοι. Καί τά ὑγρά ἐπίσης θερμαίνονται περισσότερον διά μεταφορᾶς παρά δι' ἀγωγιμότητος. Τά ῥεύματα τά σχηματιζόμενα εἰς τήν μᾶζαν ὑγροῦ θερμαινομένου ἐκ τῶν κάτω δυνάμεθα νά παρακολουθήσωμεν ἐάν ρίψωμεν ρινίσματα ξύλου ἐντός τοῦ ὑγροῦ ὁπότε ταῦτα παρασύρονται ὑπό τῶν ῥευμάτων τοῦ ὑγροῦ καί δεικνύουν τήν διεύθυνσιν αὐτῶν. Βλέπομεν ὅτι θερμόν ὑγρόν ἀνέρχεται καί ψυχρόν κατέρχεται.

Ἐάν θερμάνωμεν τό ὑγρόν ἐκ τῶν ἄνω, τότε θά παρατηρήσωμεν ὅτι ἡ θερμότης μεταδίδεται εἰς ὅλην τήν μᾶζαν τοῦ ὑγροῦ καί μέ τούς αὐτούς νόμους μέ τούς ὁποίους μεταδίδεται καί εἰς τά μεταλλικά σώματα ἀλλά βραδύτατα. Τοῦτο σημαίνει ὅτι ὁ συντελεστής ἀγωγιμότητος τῶν ὑγρῶν εἶναι λίαν μικρός.

Εἰς τήν μεταφοράν τῆς θερμότητος ἐντός ὑγρῶν διά ῥευμάτων στηρίζεται ἡ θέρμανσις τῶν κατοικιῶν διά καλοριφέρ (κεντρική θέρμανσις) μέ κυκλοφορίαν ὕδατος. Εἰς τόν τρόπον τοῦτον θερμάνσεως τό ὕδωρ θερμαίνεται ἐντός εἰδικοῦ λέβητος εὑρισκομένου ὅσον τό δυνατόν χαμηλότερον (συνήθως



Σχῆμ 13^A

εἰς τὸ ὑπόγειον) καὶ τὸ θερμὸν ὕδωρ ὁδηγεῖται διὰ σωλήνων τῇ βοηθείᾳ τῶν ρευμάτων εἰς τοὺς ἀνωτέρους ὀρόφους ὅπου ὑπάρχουν εἰς ἕκαστον δωμάτιον κατάλληλοι σωλῆνες μεγάλης ἐξωτερικῆς ἐπιφανείας (τὰ θερμαντικὰ σώματα) Σχῆμ. 13Α

Διὰ τῶν σωλήνων τούτων μεταδίδεται ἡ θερμότης τοῦ ὕδατος δι' ἀκτινοβολίας καὶ μεταφορᾶς ἐντὸς τῶν δωματίων, τὰ ὁποῖα θερμαίνει ἐνῷ τὸ ὕδωρ ψύχεται. Τὸ ψυχρὸν ὕδωρ ἐπανέρχεται δι' ἄλλων σωλήνων εἰς τὸν λέβητα ὅπου καὶ πάλιν θερμαίνεται κ.ο.κ.

ε) Μικτὴ μετάδοσις θερμότητος δι' αγωγιμότητος καὶ μεταφορᾶς.

Εἰς πλείστας περιπτώσεις ἡ θερμότης μεταδίδεται ἀπὸ ἕναν χῶρον εἰς ἄλλον μερικῶς μὲν δι' ἀγωγιμότητος μερικῶς δὲ διὰ μεταφορᾶς. Τοιαῦται π.χ. εἶναι αἱ περιπτώσεις τῆς μεταδόσεως τῆς θερμότητος τῶν θερμῶν καυσαερίων ἑνὸς λέβητος εἰς τὸ ψυχρὸν ὕδωρ αὐτοῦ, τὸ ὁποῖον θερμαινόμενον ἀτμοποιεῖται, ὡς καὶ ἡ μετάδοσις τῆς θερμότητος ἐκ τῶν θερμῶν καυσαερίων τῶν εὑρισκομένων εἰς τὸν κύλινδρον μιᾶς μηχανῆς ἐσωτερικῆς καύσεως πρὸς τὸ ὕδωρ ψύξεως. Εἰς τὰς περιπτώσεις αὐτὰς τὸ μεταδιδόμενον ποσὸν θερμότητος ἀπὸ τὸν χῶρον τῶν ἀερίων πρὸς τὸν χῶρον τοῦ ὕδατος μέσω τοῦ τοιχώματος τοῦ λέβητος ἢ τοῦ κυλίνδρου. εἶναι $Q = K \cdot S(\theta - \vartheta) \cdot t$ .... (12)

Ἔνθα S = ἡ ἐπιφάνεια τοῦ τοιχ. τοῦ λέβητος ἢ τοῦ κυλίνδρου

θ = ἡ θερμοκρασία τῶν καυσαερίων

ϑ = ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος

t = ὁ χρόνος

K = ὁ συντελεστὴς τῆς μεταφορᾶς τῆς θερμότητος διδόμενος ὑπὸ τοῦ τύπου $\frac{1}{K} = \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_2}\right)$ ...... (13)

Ἔνθα δ = πάχος τοῦ τοιχώματος,

λ_1 = ὁ συντελεστὴς μεταφορ. τῆς θερμοκρ. ἐκ τῶν καυσ. πρὸς τὸ τοίχωμα

λ = ὁ συντελεστὴς ἀγωγιμότητος τοῦ τοιχώματος

λ_2 = ὁ συντελεστὴς μεταφορᾶς τῆς θερμότ. ἐκ τοῦ τοιχ/τος εἰς τὸ ὕδωρ.

Οἱ συντελεσταὶ μεταφορᾶς λ_1 καὶ λ_2 δίδονται ὑπὸ πινάκων διὰ διαφόρους περιπτώσεις καὶ διαφόρους ταχύτητας τῶν καυσαερίων καὶ τοῦ ὕδατος.

Τοὺς πίνακας τούτους παραλείπομεν ἐνταῦθα.

Παράδειγμα: Τὸ ψυγεῖον μιᾶς Μ.Ε.Κ ἀποτελεῖται ἀπὸ σωλῆνας, ἐντὸς τῶν ὁποίων κυκλοφορεῖ τὸ πρὸς ψῦξιν ὕδωρ ἔξωθεν δὲ αὐτοῦ κυκλοφορεῖ ρεῦμα ψυχροῦ ἀέρος. Ἡ ἐπιφάνεια τῶν σωλήνων εἶναι $S = 25\,m^2$ καὶ τὸ πάχος τοῦ τοιχώματος αὐτῶν 0,2 mm. Ἡ μέση θερμοκρασία τοῦ ὕδατος εἶναι $80°C$ καὶ ἡ μέση θερμοκρασία τοῦ ἀέρος εἶναι $35°C$. Νὰ εὑρεθῇ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος τὸ ὁποῖον μεταφέρεται ὡριαίως ἀπὸ τὸ ὕδωρ εἰς τὸν ἀέρα ἐὰν εἶναι γνωστοὶ οἱ συντελεσταί:

$\lambda_1 = 265$ = συντελεστὴς μεταφορᾶς τῆς θερμότητος ἀπὸ τὸν ἀέρα εἰς τὸ τοίχωμα τῶν σωλήνων.

$\lambda_2 = 4000$ = συντελεστὴς μεταφορᾶς τῆς θερμότητος ἀπὸ τὸ τοίχωμα τῶν σωλήνων εἰς τὸ ὕδωρ.-

$\lambda = 320$ = συντελεστὴς ἀγωγιμότητος τοῦ τοιχώματος.

Λύσις: Ἔχομεν $Q = K \cdot S \cdot (\theta - \vartheta) \cdot t$

Ἔνθα $S = 25\,m^2$, $\theta = 80°C$, $\vartheta = 35°C$, $t = 1H$ καὶ

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{265} + \frac{1}{4000} + \frac{0{,}0002}{320} \text{ ἢ } K \cong 250\ Kcal/m^2 h °$$

ἄρα $Q = 250 \cdot 25 \cdot 45 = 282 \cdot 250\ Kcal.$

ΠΙΝΑΞ III

Συντελεστής άγωγιμότητος λ σωμάτων τινών μεταξύ 0°και 100°C είς Kcal/mh°C

Μέταλλα

Άλουμίνιον	175
Άργυρος	360
Χαλκός	300÷340
Νίκελ	50
Όρείχαλκος	75÷100
Σίδηρος	4÷50
Κράματα άλουμινίου	120

Δομικά ύλικά

Ξύλον { Καθέτως πρός τάς ίνας	0.14÷0.18
Ξύλον { Παραλ/λως " " "	0.30÷0.35
Άμμος	1.0
Άσβεστόλιθος	0.6÷0.8
Μάρμαρον	1.8÷3.0
Ύαλοβάμβαξ	0.064÷0.108
Άμίαντος	0.167÷0.186 =(0.2)
Πυρίμαχοι λίθοι	0.86÷1.19
Ύαλος	0.5÷0.9

Μονωτικά Ύλικά

Πυριτιοῦχοι λίθοι	200°	600°	1000°
	0.56	0.88	1.19
Λίθοι Σαμότ	0.51	0.66	0.82
" Μαγνεζίτ	1.15	1.29	1.43

13) Διαστολή τῶν σωμάτων

Α! Διαστολή τῶν στερεῶν

Ώς ἴδωμεν πάντα σχεδόν τά σώματα θερμαινόμενα διαστέλλονται. Είς τά στερεά σώματα διακρίνομεν τήν Γραμμικήν, Έπιφανειακήν, καί Κυβικήν διαστολήν.

α) Γραμμική διαστολή

Καλεῖται γραμμική διαστολή ένός στερεοῦ σώματος μεταξύ τῶν θερμοκρασιῶν θ_1 καί θ_2 ἡ αὔξησις τοῦ μήκους, τήν ὁποίαν λαμβάνει ἡ μονάς τοῦ μήκους μιᾶς έπιμήκους ῥάβδου έκ τοῦ σώματος τούτου, ὅταν ἡ θερμοκρασία της αὐξηθῆ άπό θ_1 είς θ_2.

Πειραματικῶς εὑρέθη ὅτι έάν θερμάνωμεν τήν ῥάβδον ταύτην κατά 1° τότε ἡ μονάς τοῦ μήκους αὐτῆς θά διασταλῆ κατά μῆκος ἔστω λ, έάν θερμάνωμεν ταύτην κατά 2° τότε θά διασταλῆ κατά 2λ καί γενικώς ἐάν θερμάνωμεν αὐτήν κατά θ° θά διαστολῇ αὕτη κατα θλ.

Τό μῆκος λ καλεῖται συντελεστής τῆς γραμμικῆς διαστολῆς. Ἤτοι συντελεστής τῆς γραμμικῆς διαστολῆς στερεοῦ τινός σώματος λέγεται ἡ ἐπιμήκυνσις τῆς μονάδος τοῦ μήκους μιᾶς ῥάβδου ἐκ τοῦ σώματος δι' αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας αὐτοῦ κατά 1°.

Ἐάν ἡ ράβδος ἔχει μῆκος l_0 εἰς θερμοκρασίαν 0° καί θερμανθῇ αὕτη εἰς θ° τότε ἡ μονάς τοῦ μήκους αὐτῆς θά μηκυνθῇ κατα θλ καί ὅλη ἡ ράβδος θά μηκυνθῇ κατά τμῆμα Δl ἴσου πρός $l_0 \cdot \lambda \cdot \theta$.

$$\text{ἤτοι } \Delta l = l_0 \cdot \lambda \cdot \theta \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

Ἄρα τό νέον μῆκος l_θ τῆς ῥάβδου θά εἶναι $l_0 + \Delta l$ ἤ

$$l_\theta = l_0 + l_0 \cdot \lambda \cdot \theta \quad \text{ἤ}$$

$$l_\theta = l_0 \cdot (1 + \lambda\theta) \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

Γενικῶς ἐάν ῥάβδος μήκους l_1 εἰς θερμοκρασίαν θ_1 θερμανθῇ μέχρι τῆς θερμοκρασίας θ_2 τότε τό νέον μῆκος αὐτῆς l_2 θά εἶναι: $l_2 = l_1 \left[1 + \lambda(\theta_2 - \theta_1)\right] \ldots\ldots (15^A)$

Ἐάν τό θ_2 εἶναι μεγαλείτερον τοῦ θ_1 τότε καί τό l_2 θά εἶναι μεγαλείτερον τοῦ l_1 ἤτοι θά ἔχωμεν διαστολήν. Ἐάν δέ τό θ_2 εἶναι μικρότερον τοῦ θ_1 τότε καί τό l_2 θά εἶναι μικρότερον τοῦ l_1 ἤτοι θά ἔχωμεν συστολήν.

Πειραματικῶς εὑρέθη ὅτι ὁ συντελεστής διαστολῆς λ εἶναι περίπου σταθερός εἰς τάς διαφόρους θερμοκρασίας. Ὁ πίναξ IV σελίς 42 δίδει τάς τιμάς αὐτοῦ διά τά μέταλλα διά θερμοκρασιακήν κλίμακα Κελσίου

Παραδείγματα

1) Ἐάν τό μῆκος ῥάβδου εἰς 20° C εἶναι $l_1 = 100$ cm καί ὁ συντελεστής διαστολῆς αὐτῆς εἶναι $\lambda = 0{,}0000118$ τότε ἐάν ἡ θερμοκρασία τῆς ῥάβδου γίνῃ 100° C ποῖον τό νέον μηκος τῆς ῥάβδου;

Λύσις: Τό νέον μῆκος τῆς ῥάβδου l_2 θά εἶναι συμφώνως πρός τόν τύπον 15^A. $l_2 = 100\left[1 + 0{,}0000118\,(100 - 20)\right] =$
$100(1 + 0{,}0000118 \cdot 80) = 100\,(1 + 0{,}000944) = 100 \cdot 1{,}000944 = 100{,}0944$ cm

2) Μία ράβδος μήκους 4m έχει συντελεστήν γραμμικής διαστολής $\lambda_1 = 0.0000238$. Ετέρα ράβδος εξ άλλου υλικού και μήκους 4,05 έχει τήν αυτήν θερμοκρασίαν μέ τήν προηγουμένην. Εάν καί αί δύο ράβδοι θερμανθούν κατά 600° C απόκτούν τό αυτό μήκος. Νά ευρεθή ό συντελεστής διαστολής τής $\beta^{ας}$ ράβδου.

<u>Λύσις</u>: Έστω ότι καί αί δύο ράβδοι έχουν αρχικώς θερμοκρασίαν 0° τότε τό νέον μήκος τής $α^{ης}$ ράβδου είναι:

$$l_2 = 4(1 + 0.0000238 \cdot 600) = 4.05712 \ m.$$

καί τό μήκος τής $\beta^{ας}$ ράβδου είναι

$$l_2' = 4.05(1 + \lambda \cdot 600)$$ ένθα λ συντελεστής διαστολής αυτής, αλλά κατά τό πρόβλημα $l_2 = l_2'$

άρα $4.05(1 + \lambda \cdot 600) = 4.05712$

ή $4.05 + 2430\lambda = 4.05712$

ή $2430\lambda = 0.00712$

ή $\lambda = \dfrac{0.00712}{2430} = 0.00000293$

Τό αυτό αποτέλεσμα θά ευρίσκετο εάν ελαμβάνομεν ώς αρχικήν θερμοκρασίαν οιανδήποτε άλλην θ.

ΠΙΝΑΞ IV

<u>Συντελεστής διαστολής τών κυριωτέρων μετάλλων διά κλίμακα θερμοκρασιών Κελσίου</u>

Αντιμόνιον	0,00001083	Λευκόχρυσος	0.00000975
Αλουμίνιον	0.0000238	Μόλυβδος	0.0000293
Άργυρος	0.00001968	Νικέλιον	0.0000130
Βισμούθιον	0.00001345	Πυρίτιον	0.00000763
Βολφράμιον	0.0000045	Σίδηρος (καθαρός)	0.00000930
Κοβάλτιον	0.0000181	Υδράργυρος	0.000182
Μαγκάνιον	0.0000228	Ψευδάργυρος	0.0000302
Κάδμιον	0.00002970	Χρυσός	0.00001431
Μαγνήσιον	0.0000260	Χρώμιον	0.0000084
		Χαλκός	0.0000177

ΠΙΝΑΞ V

Συντελεστής ἀπολύτου διαστολῆς ὑγρῶν τινῶν διά κλίμακα θερμοκρασιῶν Κελσίου.

Αἰθήρ	0,00160	Οἰνόπνευμα	0,00110
Βενζόλη	0.00125	Πετρέλαιον	0,00100 ἕως 0,00092
Γλυκερίνη	0.00050	Θειϊκόν ὀξύ	0.00055
Ἔλαιον ἐλαίας	0.00072	Ὑδράργυρος	0.000181
" λιπάνσεως	0,00090	Ὕδωρ.	0.00018

Ὁ συντελεστής διαστολῆς διά τά λεγόμενα ὁμοιομερῆ καί ἰσότροπα σώματα εἶναι ὁ αὐτός καθ' ὅλας τάς διευθύνσεις ἐντός αὐτῶν ἤτοι: ἄν ἀφαιρέσωμεν ἐξ ἑνός τοιούτου στερεοῦ μίαν ῥάβδον μήκους π.χ. 1 cm καθ' οἱανδήποτε διεύθυνσιν ἐντός αὐτοῦ αὐτή θά ἔχῃ τόν αὐτόν συντελεστήν γραμμικῆς διαστολῆς λ

Αὐτό δέν ἰσχύει διά τά μή ἰσότροπα σώματα.

β) Ἐπιφανειακή διαστολή

Καλοῦμεν συντελεστήν ἐπιφανειακῆς διαστολῆς σ στερεοῦ τινός τήν αὔξησιν τοῦ ἐμβαδοῦ τῆς μονάδος τῆς ἐπιφανείας τοῦ στερεοῦ ὅταν ἡ θερμοκρασία του αὐξηθῇ κατά 1°. Ὁ συντελεστής ἐπιφανειακῆς διαστολῆς εἶναι κατά μεγάλην προσέγγισιν διπλάσιος τοῦ συντελεστοῦ τῆς γραμμικῆς διαστολῆς ἤτοι: $\sigma = 2\lambda$ .... (16)

Πράγματι: Ἐάν λάβωμεν ἐκ τοῦ στερεοῦ τετράγωνον πλευρᾶς ἴσης πρός τήν μονάδα καί ὑψώσωμεν τήν θερμοκρασίαν αὐτοῦ κατά 1°, τότε ἡ ἐπιφάνειά του σύμφωνα πρός τόν ὁρισμόν θά αὐξηθῇ κατα σ καί θά γίνῃ $1+\sigma$.— Ἀφ' ἑτέρου ἑκάστη πλευρά θά αὐξηθῇ κατά λ ἤτοι θά γίνῃ $1+\lambda$ καί ἑπομένως τό νέον ἐμβαδόν τῆς ἐπιφανείας θά εἶναι: $(1+\lambda)\cdot(1+\lambda) = (1+\lambda)^2$

ἄρα $1+\sigma = (1+\lambda)^2 = 1+2\lambda+\lambda^2$ ἤ $\sigma = 2\lambda+\lambda^2$

ἢ παραλείποντες το λ^2 ὡς ἐλάχιστον λαμβάνομεν $\sigma = 2\lambda$.

Ἐάν E_1 ἡ ἐπιφάνεια στερεοῦ τινός εἰς θερμοκρασίαν θ_1 καί E_2 εἰς θερμ.κ. θ_2 τότε: $E_2 = E_1 [1+\sigma(\theta_2-\theta_1)]$ ....(17)

γ) Κυβική διαστολή

Καλοῦμεν συντελεστήν κυβικῆς διαστολῆς Κ στερεοῦ τινός τήν αὔξησιν τοῦ ὄγκου τῆς μονάδος τοῦ ὄγκου τοῦ σώματος αὐτοῦ ὅταν ἡ θερμοκρασία του αὐξηθῇ κατά 1°.

Ἀποδεικνύεται ὁμοίως ἐπίσης ὅτι οὗτος εἶναι κατά μεγάλην προσέγγισιν τριπλάσιος τοῦ συντελεστοῦ τῆς γραμμικῆς διαστολῆς ἤτοι: $K = 3\lambda$ ....(18)

Ὁμοίως ἐάν V_1 ὁ ὄγκος τοῦ στερεοῦ εἰς θερμοκρασίαν θ_1 καί V_2 ὁ ὄγκος αὐτοῦ εἰς θερμοκρασίαν θ_2 τότε πάλιν:

$$V_2 = V_1 [1+K(\theta_2-\theta_1)] \ .....(19)$$

Παραδείγματα:

1) Πόσον θά αὐξηθῇ ἡ ἐπιφάνεια ἑκάστης ἕδρας καί ὁ ὄγκος κύβου πλευρᾶς ἴσης πρός 2 cm ὅταν ὁ συντελεστής τῆς γραμμικῆς διαστολῆς αὐτοῦ εἶναι $\lambda = 0.0000238$ (ἀλουμίνιον) καί ἡ θερμοκρασία αὐξηθῇ κατά 100°C.

Λύσις:

Σύμφωνα μέ τόν τύπον 17 ἔχομεν: $E_2 = E_1 [1+\sigma\cdot(\theta_2-\theta_1)]$

ἀλλά $E_1 = 2\times2 = 4\ cm^2$, $\sigma = 2\lambda = 2\cdot 0,0000238 = 0,0000476$ καί $\theta_2-\theta_1 = 100°C$

ἄρα $E_2 = 4\cdot(1+0,0000476\cdot100) = 4(1+0,00476) = 4.01904\ cm^2$

ἄρα ἡ αὔξησις τῆς ἐπιφανείας εἶναι $\Delta E = E_2 - E_1 = 4.01904 - 4 = 0,01904\ cm^2$

Σύμφωνα μέ τόν τύπον 19 ἔχομεν $V_2 = V_1 [1+K(\theta_2-\theta_1)]$

ἀλλά $V_1 = 2^3 = 8\ cm^3$ $K = 3\lambda = 3\cdot0,0000238 = 0,0000714$ καί $\theta_2-\theta_1 = 100°C$

ἄρα $V_2 = 8(1+0.0000714\cdot100) = 8(1+0.00714) = 8.05712\ cm^3$

ἄρα ἡ αὔξησις τοῦ ὄγκου εἶναι $\Delta V = V_2 - V_1 = 8.05712 - 8 = 0,05712\ cm^3$

2) Ὀρθογωνίου παραλληλογράμου ἐκ ψευδαργύρου πλευρῶν 2 m καί 3 m τό ἐμβαδόν διά τῆς θερμάνσεως ηὐξήθη κατά 271.2 cm². Νά εὑρεθῇ ἡ αὔξησις τῆς θερμοκρασίας τοῦ ὀρθογωνίου.-

Λυσις:

Ἐάν ΔΕ ἡ αὔξησις τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὀρθογωνίου καί E_1 ἡ ἀρχική ἐπιφάνεια αὐτοῦ τότε $\Delta E = E_1 \cdot \sigma(\theta_2 - \theta_1)$

ἀλλά $\Delta E = 271.2\ cm^2$ E_1 $200 \times 300 = 60.000\ cm^2$ καί $\sigma = 2\lambda$

ἔνθα $\lambda = 0,0000302$ (ἐκ τοῦ πινακος IV) ἄρα $\sigma = 2 \cdot 0,0000302 =$ $= 0.0000604$, ἐπομένως $271,2 = 60,000 \cdot 0,0000604 \cdot (\theta_2 - \theta_1)$

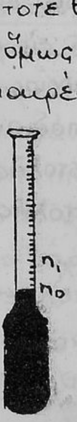
ἤ $271,2 = 3,624\ (\theta_2 - \theta_1)$ ἤ $\theta_2 - \theta_1 = \frac{271.2}{3,624} = 75^\circ C$

ἦτοι ἡ θερμοκρασία ηὐξήθη κατά $75^\circ C$.

B) Διαστολή τῶν ὑγρῶν

Εἰς τά ὑγρά διακρίνομεν τήν φαινομενικήν διαστολήν ἤτοι τήν φαινομένην αὔξησιν τοῦ ὄγκου τοῦ ὑγροῦ εὑρισκομένου ἐντός βαθμολογουμένου ὀγκομετρικοῦ δοχείου, τό ὁποῖον διαστέλλεται ὀλιγώτερον τοῦ ὑγροῦ ἐάν δέν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν τήν διαστολήν τοῦ δοχείου, καί τήν ἀπόλυτον διαστολήν ἤτοι τήν πραγματικήν αὔξησιν τοῦ ὄγκου τοῦ ὑγροῦ λαμβανομένης ὑπ' ὄψιν καί τῆς διαστολῆς τοῦ δοχείου, εἰς τό ὁποῖον εὑρίσκεται.

Ἔστω π.χ. ὑάλινον δοχεῖον Σχ.14 τοῦ ὁποίου τό στόμιον εἶναι βαθμολογημένον εἰς κυβικά χιλιοστά. Ἔστω ὅτι εἰς θερμοκρασίαν 0°C τό δοχεῖον εἶναι πλῆρες ὑγροῦ μέχρι τῆς ὑποδιαιρέσεως n_0. Ἐάν θερμανθῇ τό δοχεῖον καί τό ὑγρόν κατά 1° τότε θά διασταλῇ καί τό δοχεῖον καί τό ὑγρόν, τό τελευταῖον ὅμως θά διασταλῇ περισσότερον καί θά φθάσῃ μέχρι τῆς διαιρέσεως n_1 τοῦ δοχείου.



Σχῆμ. 14

Τό ὑγρόν λοιπόν φαίνεται ὅτι διεστάλη κατά $n_1 - n_0$

Πράγματι ὅμως διεστάλη περισσότερον διότι διεστάλη καί τό δοχεῖον καί τόν ἐπί πλέον ὄγκον αὐτοῦ ἐπλήρωσε τό διασταλέν ὑγρόν.

Ἡ φαινομένη διαστολή τοῦ ὑγροῦ εἶναι $n_1 - n_0$ καί ἐάν μ. ὁ συντελεστής τῆς φαινομένης διαστολῆς τότε $n_1 = n_0(1 + \mu)$.

Ἐάν κ εἶναι ὁ συντελεστής τῆς κυβικῆς διαστολῆς τοῦ δοχείου τότε εἰς θερμοκρασίαν 1° ὁ πραγματικός ὄγκος αὐτοῦ μέχρι τῆς ὑποδιαιρέσεως η_1 εἶναι $\eta = \eta_1 (1+\kappa)$.

Ἐάν γ ὁ συντελεστής τῆς ἀπολύτου διαστολῆς τοῦ ὑγροῦ τότε ὁ πραγματικός ὄγκος τοῦ ὑγροῦ εἰς θερμοκρασίαν 1° θά εἶναι ἴσος πρός $\eta_0 (1+\gamma)$.

Πρέπει ὅμως ὁ πραγματικός ὄγκος τοῦ ὑγροῦ νά ἰσοῦται μέ τόν πραγματικόν ὄγκον τοῦ δοχείου μέχρι τῆς διαιρέσεως η_1

ἄρα $\eta_0 (1+\gamma) = \eta_1 (1+\kappa)$ καί ἐπειδή $\eta_1 = \eta_0 (1+\mu)$

τότε $\cancel{\eta_0} (1+\gamma) = \cancel{\eta_0} (1+\mu)\cdot(1+\kappa)$

ἤ $\cancel{1}+\gamma = \cancel{1}+\mu+\kappa+\kappa\mu$ ἤ παραλείποντες τό κμ ὡς ἐλάχιστον

λαμβάνομεν $\gamma = \kappa+\mu$ ....(20)

Ἤτοι ὁ συντελεστής γ τῆς ἀπολύτου διαστολῆς ὑγροῦ τινός ἰσοῦται μέ τό ἄθροισμα τοῦ συντελεστοῦ μ τῆς φαινομένης διαστολῆς αὐτοῦ καί τοῦ συντελεστοῦ κ τῆς κυβικῆς διαστολῆς τοῦ δοχείου τοῦ περιέχοντος τό ὑγρόν.

Ἔχομεν ὁμοίως τήν σχέσιν: $V_2 = V_1 \left[1+\gamma(\theta_2-\theta_1)\right]$ ......(19α)

Ὁ Πίναξ V σελίς 43 δίδει τιμάς τοῦ συντελεστοῦ ἀπολύτου διαστολῆς ὑγρῶν τινῶν.

<u>Παράδειγμα</u>

Ἐντός ὑαλίνου δοχείου ὑδραργυρικοῦ θερμομέτρου περιέχεται ὑδράργυρος 50 gr. Ὁ σωλήν τοῦ θερμομέτρου εἶναι ὑποδιῃρημένος, ἑκάστη δέ ὑδιαίρεσις ἀντιστοιχεῖ εἰς αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας κατά 1° C. Νά εὑρεθῇ ποῖος εἶναι ὁ ὄγκος τοῦ ὑδραργύρου ὁ περιεχόμενος ἀπό ὑποδιαιρέσεως εἰς ὑποδιαίρεσιν. Ὁ συντελεστής ἀπολύτου διαστολῆς ὑδραργύρου $\gamma = 0.000182$. συντελεστής κυβικῆς διαστολῆς ὑάλου $K = 0{,}000026$ (ἐκ πινάκων <u>IV</u> κ <u>V</u>)

<u>Λύσις:</u> Ἐπειδή διά τῆς θερμάνσεως διαστέλλεται τόσον ὁ ὑδράργυρος, ὅσον καί ἡ ὕαλος τοῦ θερμομέτρου διά τοῦτο ἡ αὔξησις τοῦ ὄγκου τοῦ ὑδραργύρου, τήν ὁποίαν

βλέπομεν ὀφείλεται εἰς τὴν φαινομένην διαστολὴν αὐτοῦ.

Ἐὰν μ. ὁ συντελεστὴς τῆς φαινομένης διαστολῆς τοῦ ὑδραργύρου τότε συμφώνως πρὸς τύπον (20) ἔχομεν:

$$0,000182 = \mu + 0,000026$$

$$\text{ἢ} \quad \mu = 0,000182 - 0,000026 = 0,000156$$

Ὁ ὄγκος τοῦ ὑδραργύρου τοῦ περιεχομένου εἰς τὸ δοχεῖον τοῦ θερμομέτρου εἶναι ἴσος πρὸς $V = \frac{50}{13.6} = \cancel{4.4}\ cm^3$ (11.36 εἶναι τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ὑδραργύρου)

Ἐὰν ἡ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος αὐξηθῇ κατὰ $1°C$ τότε ἡ φαινομένη διαστολὴ τοῦ ὑδραργύρου θὰ εἶναι ἴση πρὸς $\Delta V = V \cdot \mu \cdot \theta$ ἢ $\Delta V = 4.4 \cdot 0.000156 \cdot 1 = 0.000685\ cm^3$.

Ἤτοι ὁ ὄγκος τοῦ ὑδραργύρου ὁ περιεχόμενος ἀπὸ ὑποδιαιρέσεως εἰς ὑποδιαίρεσιν εἶναι ἴσος πρὸς $0.000683 = 0.686\ mm^3$

Διαστολὴ τοῦ ὕδατος

Τὸ ὕδωρ δὲν ἀκολουθεῖ ἀκριβῶς τοὺς κανόνας τῆς διαστολῆς τῶν ὑγρῶν. Τοῦτο θερμαινόμενον ἀπὸ τῆς θερμοκρασίας $0°C$ τῆς τήξεως τοῦ πάγου μέχρι τῆς θερμοκρασίας $4°C$ συστέλλεται, ἄνω δὲ τῆς θερμοκρασίας ταύτης διαστέλλεται. Ἤτοι ὡρισμένον βάρος ὕδατος εἰς τὴν θερμοκρασίαν $4°C$ ἔχει τὸν ἐλάχιστον ὄγκον ἤτοι τὴν μεγίστην πυκνότητα.

Μεταβολὴ τῆς πυκνότητος τῶν ὑγρῶν μετὰ τῆς θερμοκρασίας

Γνωρίζομεν ὅτι ἡ πυκνότης ὑγροῦ τινὸς εἶναι ὁ λόγος τοῦ βάρους πρὸς τὸν ὄγκον του.

Ἤτοι ἐὰν β. τὸ βάρος τοῦ ὑγροῦ καὶ V ὁ ὄγκος του τότε ἡ πυκνότης του εἶναι $\delta = \frac{\beta}{V}$.

Ἐὰν τὸ ὑγρὸν τὸ θερμάνομεν τότε ὁ ὄγκος θὰ αὐξηθῇ ἐνῶ τὸ βάρος θὰ μείνῃ σταθερὸν ἑπομένως ὡς φαίνεται ἐκ τῆς ἄνω σχέσεως ἡ πυκνότης του θὰ ἐλαττωθῇ.

Ἔστω V_0 ὁ ὄγκος τοῦ ὑγροῦ εἰς θερμοκρασίαν $0°C$ καὶ V_θ ὁ ὄγκος αὐτοῦ εἰς θερμοκρασίαν $\theta°$ τότε αἱ ἀντίστοιχοι πυκνοτητές δ_0 καί δ_θ τοῦ ὑγροῦ θά εἶναι:

$$\delta_0 = \frac{B}{V_0} \quad \text{καί} \quad \delta_\theta = \frac{B}{V_\theta}$$

ἄρα $\frac{\delta_1}{\delta_0} = \frac{V_0}{V_\theta}$ ἤ $\delta_\theta = \delta_0 \cdot \frac{V_0}{V_\theta}$ ἀλλά ἐάν γ ὁ συντελεστής τῆς ἀπολύτου διαστολῆς τοῦ ὑγροῦ τότε: $V_\theta = V_0(1+\gamma\cdot\theta)$, ἄρα ἡ προηγουμένη σχέσις γίνεται:

$$\delta_\theta = \delta_0 \cdot \frac{V_0}{V_0(1+\gamma\theta)} \quad \text{ἤ} \quad \delta_\theta = \frac{\delta_0}{1+\gamma\theta} \quad \ldots\ldots\ldots (21)$$

Γ) Διαστολή τῶν ἀερίων

Εἰς τά ἀέρια ἐξετάζομεν δύο περιπτώσεις:

α) Ἐάν τό ἀέριον θερμαίνεται ἐνῶ ἡ πίεσίς του μένει σταθερά καί αὐξάνει ὁ ὄγκος του ἤτοι θερμαίνεται ὑπό πίεσιν σταθεράν.

β) Ἐάν τοῦτο θερμαίνεται ἐνῶ ὁ ὄγκος του μένει σταθερός καί αὐξάνει ἡ πίεσίς του ἤτοι θερμαίνεται ὑπό ὄγκον σταθεράν.

α) Θέρμανσις ἀερίου ὑπό πίεσιν σταθεράν

Ὁ Καϊῦ Λουσσάκ (Gay-Lussac) ἐμελέτησεν πειραματικῶς τήν διαστολήν τῶν ἀερίων ὑπό πίεσιν σταθεράν καί εὗρεν τόν ἑξῆς νόμον: Ὁ συντελεστής διαστολῆς ὑπό πίεσιν σταθεράν α_p ὅλων τῶν ἀερίων εἶναι ὁ αὐτός διά μίαν μεταβολήν τῆς θερμοκρασίας μεταξύ 0° καί 100°C καί ἀνεξαρτήτως τῆς πιέσεως τοῦ ἀερίου ἔχει δέ τιμήν $\alpha_p \cong 0{,}003665 \cong \frac{1}{273}$

Ἐάν V_0 ὁ ὄγκος τοῦ ἀερίου εἰς θερμοκρασίαν 0°C καί V_θ ὁ ὄγκος αὐτοῦ εἰς θερμοκρασίαν θ τότε συμφώνως πρός τήν ἐξίσωσιν 19 (σελίς 44) ἔχομεν

$$V_\theta = V_0(1+\alpha_p\theta) \quad \ldots\ldots\ldots (22)$$

Αὐτή λέγεται καί ἐξίσωσις τοῦ Gay-Lussac.

β) Θέρμανσις ἀερίου ὑπό ὄγκον σταθερόν.

Ὁ Ζολλύ (Jolly) ἐμελέτησεν τήν θέρμανσιν τῶν ἀερίων ὑπό ὄγκον σταθερόν εὗρεν δέ ὅτι ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου αὐξάνει αὐξανομένης τῆς θερμοκρασίας, ἡ δέ αὔξησις τῆς πιέσεως ἀκολουθεῖ νόμον ὅμοιον με τόν νόμον τοῦ Gay Lussac.

Ήτοι: Εάν P_o ή πίεσις εἰς $0^\circ C$ καί P_θ ή πίεσις εἰς $\theta^\circ C$ τότε

$$P_\theta = P_o(1 + a_u\theta) \ldots\ldots (23)$$

Τό a_u ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς φύσεως τοῦ ἀερίου καί τῆς πιέσεως του.

Κατωτέρω δίδομεν τούς συντελεστάς a_u διά μερικά ἀέρια.

Ὑδρογόνον	0,003663	Μονοξείδιον ἀνθρ.	0.003667
Ἥλιον	0,003660	Διοξείδιον "	0,003726
Ἄζωτον	0,003675	Ἀμμωνία	0,003802
Ὀξυγόνον	0,003674	Ἰδανικά ἀέρια (1/273,2)	0,003660

Τέλεια ἀέρια

Καλοῦμεν τέλεια ἤ ἰδανικά ἀέρια τά ἀέρια ἐκεῖνα, τά ὁποῖα ἀκολουθοῦν ἐπακριβῶς τόν νόμον τοῦ Boyle-Mariotte ἤτοι: Pv = σταθ (ζελίς 40) καί Gay-Lussac ἤτοι $V_\theta = V_o(1 + a_p\theta)$.

Οὐδέν ἐκ τῶν πραγματικῶν ἀερίων ἀκολουθεῖ ἀκριβῶς τούς νόμους τούτους. Ἐπομένως δέν ὑπάρχουν τέλεια ἀέρια, ἀλλά πολλά τῶν πραγματικῶν ἀερίων εἰς μικράς πιέσεις καί ὑψηλάς θερμοκρασίας ἀκολουθοῦν κατά προσέγγισιν τούς νόμους τῶν τελείων ἀερίων. Εἰς τά τέλεια ἀέρια οἱ συντελεσταί a_p καί a_u εἶναι ἴσοι· ἤτοι: $a_p = a_u = a = \frac{1}{273} = 0{,}003665$.

(ἀκριβέστερα $a = a_p = a_u = \frac{1}{273.2} = 0.003660$).

Εἰς τήν πρᾶξιν λαμβάνομεν $a = \frac{1}{273}$.

Εἰδικός ὄγκος τῶν ἀερίων

Καλοῦμεν εἰδικόν ὄγκον ἑνός ἀερίου τόν ὄγκον 1 χιλιογράμμου ἐκ τοῦ ἀερίου ὑπό τινα θερμοκρασίαν καί πίεσιν.

Τόν εἰδικόν ὄγκον τοῦ ἀερίου παριστῶμεν μέ τό γράμμα v, ἐνῶ τόν ὄγκον οἱασδήποτε ποσότητος ἐκ τοῦ ἀερίου παριστῶμεν μέ τό γράμμα V.

Εἶναι φανερόν ὅτι ὁ εἰδικός ὄγκος τῶν ἀερίων μεταβάλλεται μέ τήν θερμοκρασίαν καί τήν πίεσιν αὐτῶν. Ἐάν G τό βάρος τοῦ ἀερίου ὄγκου V τότε:

$$v = \frac{V}{G} \text{ εἰς } m^3/kg \ldots\ldots\ldots (24)$$

4ου

Εἰδικὸν βάρος τῶν ἀερίων

Καλοῦμεν εἰδικὸν βάρος ἀερίου τινὸς τὸ ἀντίστροφον τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου ἢ τὸ βάρος $1m^3$ τοῦ ἀερίου. Ἐὰν γ τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ἀερίου τότε $\gamma = \frac{1}{\upsilon}$ . . . . (25)

Ἐξίσωσις τῶν τελείων ἀερίων

Ἀπὸ τοῦδε καὶ εἰς τὸ ἑξῆς προκειμένου περὶ τῶν ἀερίων θὰ θέτωμεν διὰ τὴν θερμοκρασίαν τὸ σύμβολον t.

Ὡς ἴδομεν εἰς τὰ τέλεια ἀέρια ἀκολουθοῦν τοὺς νόμους τοῦ Boyle-Mariotte $P\upsilon = K =$ σταθ. καὶ τοῦ Gay-Lussac $V_t = V_0(1+at)$ (t = ἡ τελικὴ θερμοκρασία)

Ἔστω λοιπὸν V_0 ὁ ὄγκος ἑνὸς τελείου ἀερίου καὶ P_0 ἡ πίεσις αὐτοῦ εἰς θερμοκρασίαν 0°. Ἔστω δὲ ὅτι θερμαίνομεν κατ' ἀρχὰς τὸ ἀέριον μέχρι θερμοκρασίας t διατηροῦντες τὴν πίεσιν σταθερὰν ἴσην πρὸς P_0 τότε κατὰ τὸν νόμον τοῦ Gay-Lussac ὁ ὄγκος του θὰ αὐξηθῇ καὶ θὰ γίνῃ $V' = V_0(1+at)$.

Ἐὰν ἤδη διατηροῦντες τὴν θερμοκρασίαν σταθερὰν ἴσην πρὸς t συμπιέσωμεν τὸ ἀέριον μέχρις ὅτου ἡ πίεσίς του γίνῃ ἴση πρὸς P τότε ὁ νέος του ὄγκος θὰ γίνῃ ἴσος πρὸς V συμφώνως δὲ πρὸς τὸν νόμον τοῦ Boyle-Mariotte θὰ ἔχωμεν:

$PV = P_0V'$ ἢ $PV = P_0V_0(1+at)$ ἢ $\frac{PV}{1+at} = P_0V_0$

Ὁμοίως εἰς τινα ἄλλην θερμοκρασίαν t' τὸ ἀέριον ἔχει πίεσιν P' καὶ ὄγκον V' τότε $\frac{P'V'}{1+at'} = P_0V_0$

ἤτοι γενικῶς $\frac{PV}{1+at} = \frac{P'V'}{1+at'} = P_0V_0 =$ σταθερ. . . . . . (26)

Ἡ ἐξίσωσις αὐτὴ λέγεται ἐξίσωσις τῶν τελείων ἀερίων: Ἤτοι τὸ γινόμενον τοῦ ὄγκου ἐπὶ τὴν πίεσιν ποσότητος τινὸς ἀερίου διαιρούμενον διὰ τοῦ διωνύμου τῆς θερμοκρασίας (διώνυμον τῆς θερμοκρασίας εἶναι τὸ διώνυμον $1+at$) εἶναι ποσότης σταθερά.

Ἔστω G τὸ βάρος εἰς Kg τοῦ ἀερίου υ_0 ὁ εἰδικὸς ὄγκος αὐτοῦ εἰς θερμοκρασίαν 0° καὶ υ ὁ εἰδικός του ὄγκος εἰς θερμοκρασίαν t° τότε: $\upsilon_0 = \frac{V_0}{G}$ καὶ $\upsilon = \frac{V}{G}$ ἢ $V_0 = G \cdot \upsilon_0$ καὶ $V = G \cdot \upsilon$

Ἀφ' ἑτέρου εἶναι $1 + at = 1 + \frac{1}{273} \cdot t = \frac{273+t}{273}$.

Ἐάν καλέσωμεν ὅμως διά T_o τήν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν τήν ἀντιστοιχοῦσαν εἰς 0^o_C καί T τήν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν τήν ἀντιστοιχοῦσαν εἰς t^o_C τότε εἶναι γνωστόν ὅτι:

$$T_o = 273 \quad \text{καί} \quad T = 273 + t \quad \text{ἄρα} \quad 1+at = \frac{t+273}{273} = \frac{T}{T_o},$$

Ἐάν εἰς τήν ἐξίσωσιν (26) τῶν τελείων ἀερίων ἀντικαταστήσωμεν V_o διά $v_o G$, τό V διά vG καί τό $1+at$ διά $\frac{T}{T_o}$ λαμβάνομεν $\frac{Pv}{\cancel{G}T} = \frac{P_o v_o}{\cancel{G}T_o}$ ἤ $\frac{Pv}{T} = \frac{P_o v_o}{T_o}$ ....(27)

τό δεύτερον μέλος τῆς σχέσεως αὐτῆς εἶναι σταθερός ἀριθμός διότι ἐάν λάβωμεν $T_o = 273$ καί $P_o = 760$ m.m. ὑδραργύρου τότε τό v_o δύναται νά εὑρεθῇ διά πειραμάτων καί εἶναι δι' ἕκαστον ἀέριον ἕνας σταθερός ἀριθμός.

Θέτομεν $\frac{P_o v_o}{T_o} = R$ ὁπότε τό R λέγεται σταθερά τοῦ ἀερίου.

Τότε ἡ ἐξίσωσις (27) γράφεται

$$\frac{Pv}{T} = R \quad \text{ἤ} \quad Pv = RT. \quad ....(28)$$

ἤ καί $Pv.G = GRT.$ ἤ $PV = GRT$......(29) (διότι $V = vG$)

Ἡ ἐξίσωσις 28 ἤ 29 ὀνομάζεται καί ἐξίσωσις καταστάσεως τῶν ἀερίων

Κατωτέρω δίδομεν τιμάς τῆς σταθερᾶς R καί τοῦ εἰδικοῦ βάρους P_o ($\gamma_o = \frac{1}{v_o}$) μερικῶν ἀερίων εἰς θερμοκρασίαν $0^o C$ καί πίεσιν 760 mm ὑδραργύρου.

Ἥλιον	$R = 212$	$\gamma_o = 0.1785\ kg/m^3$	Ὑδρογόνον	$R = 420.6$	$P_o = 0.08987\ kg/m^3$
Ἀήρ	$R = 29.27$	$\gamma_o = 1.2928$	Μονοξ. Ἀνθρ.	$R = 30.29$	$P_o = 1.2502$
Ὀξυγόνον	$R = 26.50$	$\gamma_o = 1.4289$	Διοξ. "	$R = 19.27$	$P_o = 1.9768$
Ἄζωτον	$R = 30.26$	$\gamma_o = 1.2505$	Μεθάνιον	$R = 52.90$	$P_o = 0.7168$

Μερικαί περιπτώσεις

1) Θέρμανσις ὑπό πίεσιν σταθεράν. Ἔστω $P = P_o$ τότε ἡ ἐξίσωσις γράφεται $\frac{P_o v}{T} = \frac{P_o v_o}{T_o}$ ἤ $\frac{v}{v_o} = \frac{T}{T_o} = \frac{v.G}{v_o G} = \frac{V}{V_o}$

ἤτοι $\frac{V}{V_o} = \frac{v}{v_o} = \frac{T}{T_o}$ .... (30)

ἤτοι ὁ λόγος τῶν ὄγκων ἰσοῦται μέ τόν λόγον τῶν ἀπολύτων θερμοκρασιῶν.

2) Θέρμανσις ὑπό ὄγκον σταθερόν. Ἔστω $V = V_o$ ἤ $v = v_o$

Τότε ἡ ἐξίσωσις 27 γράφεται $\frac{P V_0}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0}$ ἤ

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} \quad \ldots\ldots\ldots (31)$$

Ἤτοι ὁ λόγος τῶν πιέσεων ἰσοῦται μὲ τὸν λόγον τῶν ἀπολύτων θερμοκρασιῶν.

Παραδείγματα

1) Εἰς ἕνα θερμαντῆρα ἀέρος θερμαίνονται ὡριαίως $12000 m^3$ ἀέρος ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν ἀπὸ τοὺς $20°C$ εἰς τοὺς $800°C$. Πόσα κυβικὰ ἀέρος ἐξέρχονται ὡριαίως ἀπὸ τὸν θερμαντῆρα;

Λύσις: Ἔχομεν $\frac{V_2}{V_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1}$ ἔνθα $V_1 = 12000 m^3$, $T_1 = 273+20 = 293$, $T_2 = 273+800 = 1073$ ἄρα $V_2 = 12000 \frac{1073}{293} = 44000 m^3$ = ὄγκος τοῦ ἀέρος εἰς $800°C$. ἄρα ὁ ἐξερχόμενος ὡριαίως ἐκ τοῦ θερμαντῆρος ὄγκος εἶναι $V_2 = 44000 m^3$.

2) Εἰς μίαν φιάλην ὄγκου $14 dm^3$ ὑπάρχει ὀξυγόνον θερμοκρασίας $19°C$ καὶ πιέσεως 120 atd. Ποῖον τὸ βάρος τοῦ ὀξυγόνου;

Λύσις: Ἡ κατάστασις τοῦ ὀξυγόνου ὁρίζεται ὑπὸ τῆς ἐξισώσεως:

$$PV = GRT \quad \text{ἤ} \quad G = \frac{PV}{RT}.$$

Διὰ τὸ ὀξυγόνον εἶναι $R = 26.50$. Ἐδώθησαν ἐπίσης $T = 273+19 = 292$, $P = 120 at = 120.000 \, Kg/m^2$ καὶ $V = 14 dm^3 = 0.014 m^3$

ἄρα $G = \frac{120.000 \cdot 0.014}{26.50 \cdot 292} = 2.17$ Kg ὀξυγόνου

ἤτοι τὸ βάρος τοῦ ὀξυγόνου εἶναι $G = 2.17$ Kg.–

3) Εἰς ἕνα δοχεῖον περιέχεται πεπιεσμένος ἀὴρ πιέσεως 10 at καὶ θερμοκρασίας $60°C$. Ποία εἶναι ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος ὅταν ἡ θερμοκρασία καταπέσῃ εἰς $20°C$.

Λύσις: Ἐπειδὴ ὁ ὄγκος τοῦ ἀερίου κατὰ τὴν ψῦξιν δὲν μετεβλήθη θὰ ἰσχύσῃ ἡ σχέσις: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$ ἔνθα $T_1 = 60+273 = 333$, $T_2 = 20+273 = 293$ $P_1 = 10 at$ καὶ P_2 ἡ ζητουμένη πίεσις ἤτοι: $P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1} = 10 . \frac{293}{333} = 8.8$ at.

4) Ἕνας συμπιεστὴς ἀναρροφᾷ ὡριαίως $100 m^3$ ἀέρος. Ὁ ἀὴρ ἔχει ὑποπίεσιν 0.08 at, ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις εἶναι 720 mm ὑδραργύρου, ἡ θερμοκρασία $25°C$.

Νά προσδιορισθῆ τό βάρος τοῦ ἀναρροφωμένου ἀέρος καί ὁ ὄγκος, τόν ὁποῖον οὗτος καταλαμβάνει ὑπό κανονικάς συνθήκας. (ἀτμοσφαιρική πίεσις 760 mm ὑδραργύρου, θερμοκρασία 0°C).

Λύσις: $PV = GRT$ ἤ $G = \frac{PV}{RT}$

Ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος P εἶναι ἴση μέ τήν ἀτμοσφαιρικήν P_0 μεῖον τήν ὑποπίεσιν P_η.

Ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἶναι $P_0 = 720 \cdot 13.6 = 9800\ kg/m^2$

ἄρα $P = P_0 - P_\eta = 9800 - 0{,}08 \cdot 10{,}000 = 9800 - 800 = 9.000\ kg/m^2$

Ἔχομεν ἐπίσης $T = 273 + 25 = 298$, $V = 100\ m^3$ καί διά τόν ἀέρα $R = 29.27 \cong 29.3$ ἄρα $G = \frac{9.000 \cdot 100}{29{,}3 \cdot 298} = 103\ kg$

ἐάν ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος εἶναι 760 mm ὑδραργύρου ἤτοι $P = 10330\ kg/m^2$ καί ἡ θερμοκρασία 0°C ἤ $T = 273$ τότε ὁ ὄγκος τοῦ ἀέρος θά εἶναι $V = \frac{GRT}{P} = \frac{103 \cdot 29.3 \cdot 273}{10330} \cong 80 m^3$.

Πυκνότης τῶν ἀερίων

<u>Ἀπόλυτος πυκνότης</u> ἑνός ἀερίου καλεῖται τό βάρος τῆς μονάδος τοῦ ὄγκου του ($1\ cm^3$) μετρουμένου ὑπό πίεσιν 760 m/m ὑδραργύρου καί θερμοκρασίαν 0°C.

Τοῦ ἀέρος ἡ ἀπόλυτος πυκνότης εἶναι $0.001293\ gr/cm^3$.

Ὅταν μεταβάλλεται ἡ πίεσις ἤ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου μεταβάλλεται καί ἡ πυκνότης του.

Πράγματι ἔστω δ_0 ἡ πυκνότης καί V_0 ὁ ὄγκος ἑνός ἀερίου ὑπό πίεσιν $P_0 = 760$ m/m ὑδραργύρου καί θερμοκρασίαν 0° καί ἔστω δ ἡ πυκνότης αὐτοῦ ὑπό πίεσιν P καί θερμοκρασίαν t τότε, ἐάν B εἶναι τό βάρος τοῦ ἀερίου συμφώνως μέ τό ὁρισμόν τῆς πυκνότητος θά ἔχωμεν:

$$\delta_0 = \frac{B}{V_0} \quad \text{καί} \quad \delta = \frac{B}{V} \quad \text{ἤ} \quad \frac{\delta}{\delta_0} = \frac{V_0}{V} \quad \text{ἤ} \quad \delta = \delta_0 \frac{V_0}{V}.$$

Συμφώνως ὅμως πρός τήν ἐξίσωσιν τῶν τελείων ἀερίων ἔχομεν: $P_0 V_0 = \frac{PV}{1+at}$ ἤ $\frac{V_0}{V} = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{1+at}$ ἄρα

$$\delta = \delta_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{1+at} \quad \ldots\ldots \quad (32)$$

Ἤτοι ἡ ἀπόλυτος πυκνότης ἑνός ἀερίου αὐξάνει ἀντιστρόφως ἀνάλογως πρός τήν θερμοκρασίαν

Παράδειγμα

Ποία είναι ἡ ἀπόλυτος πυκνότης τοῦ ἀέρος εἰς πίεσιν 680 m/m ὑδραργύρου καί θερμοκρασίαν $-6°$.

Λύσις: Ἔχομεν $\delta = \delta_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{1+at}$ ἔνθα $\delta_0 = 0{,}001293\ gr/cm^3$ καί $t = -6°$ ἄρα $\delta = 0.001293 \cdot \frac{680}{760} \cdot \frac{1}{1-\frac{6}{273}} = 0{,}001293 \cdot \frac{680}{760} \cdot \frac{273}{267}$ ἢ $\delta = 0{,}001182\ gr/cm^3$. —

Σχετική πυκνότης

Σχετική πυκνότης ἑνός ἀερίου καλεῖται ὁ λόγος τοῦ βάρους ὄγκου τινός ἐκ τοῦ ἀερίου, πρός τό βάρος ἴσου ὄγκου ἀέρος ὑπό τήν αὐτήν θερμοκρασίαν καί πίεσιν.

Ἐάν δ_σ ἡ σχετική πυκνότης ἀερίου τινός, δ ἡ ἀπόλυτος πυκνότης αὐτοῦ καί δ' ἡ ἀπόλυτος πυκνότης τοῦ ἀέρος τότε ἀποδεικνύεται εὐκόλως ὅτι: $\delta_\sigma = \frac{\delta}{\delta'}$ ....(33)

Παράδειγμα

Ἐκ τοῦ πίνακος Ι (σελ.) βλέπομεν ὅτι $1m^3$ ὀξυγόνου εἰς 0°C καί πίεσιν 760 m/m ὑδραργύρου ζυγίζει 1.4289 kg ἐνῶ $1m^3$ ἀέρος εἰς τήν αὐτήν θερμοκρασίαν καί πίεσιν ζυγίζει 1.2928 kg ἄρα ἡ σχετική πυκνότης τοῦ ὀξυγόνου εἶναι $\delta_\sigma = \frac{1.4289}{1.2928} = 1.105$. —

Μίγματα ἀερίων

Διά τά μίγματα τῶν ἀερίων ἰσχύουν μέ τήν αὐτήν ἀκρίβειαν ὅπως καί διά τά ἁπλά ἀέρια οἱ νόμοι τοῦ Boyle-Mariotte καί Gay-Lussac ὅπως καί ἡ ἐξίσωσις καταστάσεως ἀερίων ἤτοι:

$$PV = GRT \quad (\text{διά βάρος } G\ kg)$$
$$Pv = RT \quad (\text{διά βάρος } 1\ kg)$$

Ἐπειδή ἡ σύνθεσις τῶν μιγμάτων τῶν τεχνικῶς ἐφαρμοζομένων ποικίλει μεταξύ μεγάλων ὁρίων ἡ ἑκάστοτε ἀντιστοιχοῦσα σταθερά R τοῦ μίγματος λαμβάνει διαφόρους τιμάς. Ἄρα πρέπει νά εἴμεθα εἰς θέσιν νά εὑρίσκομεν ἑκάστοτε ἐκ τῆς συνθέσεως τοῦ μίγματος τήν σταθεράν αὐτοῦ.

Εἰς τοῦτο μᾶς ὑποβοηθεῖ ὁ νόμος τοῦ Δάλτωνος (Dalton) ὁ ὁποῖος λέγει: Εἰς ἕνα μίγμα ἀερίων ἕκαστον ἐξ αὐτῶν συμπεριφέρεται ώς εάν αυτό μόνον κατείχε ολόκληρον τόν όγκον τού μίγματος. Ή πίεσις τού μίγματος είναι τό άθροισμα τών μερικών πιέσεων ενός εκάστου εκ τών αερίων.

Σημείωσις: Μερική πίεσις ενός αερίου τού μίγματος καλείται ή πίεσις τήν οποίαν θά είχε τούτο εάν κατείχε μόνον του ολόκληρον τόν όγκον τού μίγματος. Υποθέτομεν λοιπόν ότι είς τό εσωτερικόν ενός μίγματος όλα τά αέρια έχουν τόν αυτόν όγκον ήτοι τόν όγκον τού μίγματος καί τήν αυτήν θερμοκρασίαν αλλά διαφορετικήν πίεσιν.

Εάν G_1 G_2 G_3...είναι τά μερικά βάρη τών αερίων ενός μίγματος καί P_1 P_2 P_3.. αί μερικαί πιέσεις αυτών, τότε:

$G = G_1 + G_2 + G_3 \ldots$ Kg τό ολικόν βάρος τού μίγματος

$P = P_1 + P_2 + P_3 \ldots$ Kg/m² ή πίεσις τού μίγματος

Εάν R ή σταθερά τού μίγματος καί $R_1 R_2 R_3 \ldots$ αί σταθεραί ενός εκάστου εκ τών αερίων μίγματος, τότε θά έχωμεν

$$P_1 V = G_1 R_1 T$$

$$P_2 V = G_2 R_2 T$$

$$P_3 V = G_3 R_3 T$$

αθροίζομεν: $(P_1 + P_2 + P_3 + \ldots) V = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 + R_3 \ldots) T$

επειδή δέ $P_1 + P_2 + P_3 + \ldots = P$ θά έχωμεν

$$PV = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \ldots) T$$

Αλλά παρεδέχθημεν ότι καί δι' ολόκληρον τό μίγμα ισχύει ή σχέσις $PV = GRT$

άρα $GRT = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 \ldots) T$ ή $R = \frac{G_1}{G} R_1 + \frac{G_2}{G} R_2 + \frac{G_3}{G} R_3 \ldots$

Εάν $g_1 = \frac{G_1}{G}$ = ή κατά βάρος αναλογία τού πρώτου αερίου

$g_2 = \frac{G_2}{G}$ = " " " " δευτέρου "

$g_3 = \frac{G_3}{G}$ = " " " " " τρίτου "

Τότε ή προηγουμένη σχέσις γράφεται $R = g_1 R_1 + g_2 R_2 + g_3 R_3 \ldots$ (34)

αφ' ετέρου $g_1 + g_2 + g_3 + \ldots = \frac{G_1}{G} + \frac{G_2}{G} + \frac{G_3}{G} + \ldots \frac{G_1 + G_2 + G_3}{G} = \frac{G}{G} = 1$

Εάν απεναντίας παραδεχθώμεν ότι όλα τά αέρια τού μίγματος έχουν τήν αυτήν πίεσιν P τότε, έκαστον αέριον θά κατέχη με-ρος τοῦ ὄγκου τοῦ μίγματος. Ἔστωσαν $V_1, V_2, V_3, \ldots$ οἱ μερικοὶ ὄγκοι τῶν ἀερίων τοῦ μίγματος ὑπό τὴν πίεσιν τοῦ μίγματος P τότε:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots\ldots$$

ἐάν $r_1 = \frac{V_1}{V}$ = ἡ κατ' ὄγκον ἀναλογία τοῦ πρώτου ἀερίου

$r_2 = \frac{V_2}{V}$ = " " " " " δευτέρου "

$r_3 = \frac{V_3}{V}$ = " " " " " τρίτου "

. . . .

τότε $r_1 + r_2 + r_3 + \ldots\ldots = \frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} + \frac{V_3}{V} + \ldots\ldots = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{V} = \frac{V}{V} = 1$

ἀφ' ἑτέρου δέ $PV_1 = G_1 R_1 T_1$, $PV_2 = G_2 R_2 T_1$, $PV_3 = G_3 R_3 T_1$ .... (35)

Ὑπολογισμός τῶν ἀναλογιῶν κατ' ὄγκον ἐκ τῶν ἀναλογιῶν κατά βάρος καί ἀντιστρόφως

Ἔστωσαν $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \ldots$ τά εἰδικά βάρη τῶν ἀερίων τοῦ μίγματος

καί $\upsilon_1, \upsilon_2, \upsilon_3 \ldots\ldots$ οἱ εἰδικοί ὄγκοι αὐτῶν

εἰς τήν θερμοκρασίαν καί τήν πίεσιν τοῦ μίγματος.

Τότε $\gamma_1 = \frac{1}{\upsilon_1}$, $\gamma_2 = \frac{1}{\upsilon_2}$, $\gamma_3 = \frac{1}{\upsilon_3}$ . . . .

Ἐάν θεωρήσωμεν $1 m^3$ ἐκ τοῦ μίγματος τότε τά γινόμενα $r_1\gamma_1$, $r_2\gamma_2$, $r_3\gamma_3$ ..... παριστοῦν τά μερικά βάρη τῶν ἀερίων πού περιέχονται εἰς τόν ὄγκον αὐτοῦ τοῦ μίγματος, ὅποτε τό βάρος τοῦ μίγματος ὄγκου $1 m^3$ εἶναι ἴσον πρός $r_1\gamma_1 + r_2\gamma_2 + r_3\gamma_3 + \ldots\ldots = \gamma$ (γ = εἰδικόν βάρος μίγματος = βάρος $1 m^3$).

Ἄρα ἡ ἀναλογία κατά βάρος τοῦ πρώτου ἀερίου εἶναι.

$$g_1 = \frac{r_1\gamma_1}{\gamma} = \frac{r_1\gamma_1}{r_1\gamma_1 + r_2\gamma_2 + r_3\gamma_3}$$

τοῦ $\beta^{ου}$ $$g_2 = \frac{r_2\gamma_2}{\gamma} = \frac{r_2\gamma_2}{r_1\gamma_1 + r_2\gamma_2 + r_3\gamma_3} \qquad (36)$$

τοῦ $\gamma^{ου}$ $$g_3 = \frac{r_3\gamma_3}{\gamma} = \frac{r_1\gamma_1}{r_1\gamma_1 + r_2\gamma_2 + r_3\gamma_3}$$

Ἐκ τῶν σχέσεων τούτων εὑρίσκομεν τάς ἀναλογίας κατά βάρος ἐκ τῶν ἀναλογιῶν κατ' ὄγκον τῶν ἀερίων τοῦ μίγματος.

Ἀντιστρόφως Ἐάν λάβωμεν 1 kg βάρους μίγματος τότε $g_1\upsilon_1$, $g_2\upsilon_2$, $g_3\upsilon_3$ .... παριστοῦν τούς ὄγκους τῶν μερικῶν ἀερίων τοῦ μίγματος τῶν περιεχομένων εἰς 1 kg τοῦ μίγματος καί ὁ λικός ὄγκος v τοῦ μίγματος εἶναι $v = g_1 v_1 + g_2 v_2 + g_3 v_3 \ldots\ldots =$ εἰδικός ὄγκος μίγματος.

Ἄρα ἡ ἀναλογία κατ' ὄγκον τοῦ πρώτου ἀερίου θὰ εἶναι:

$$r_1 = \frac{g_1 v_1}{v} = \frac{g_1 v_1}{g_1 v_1 + g_2 v_2 + g_3 v_3}$$

$$\text{τοῦ } \beta^{ου} \quad r_2 = \frac{g_2 v_2}{v} = \frac{g_2 v_2}{g_1 v_1 + g_2 v_2 + g_3 v_3} \qquad (37)$$

$$\text{τοῦ } \gamma^{ου} \quad r_3 = \frac{g_3 v_3}{v} = \frac{g_3 v_3}{g_1 v_1 + g_2 v_2 + g_3 v_3}$$

Ἐκ τῶν σχέσεων τούτων εὑρίσκομεν τὰς ἀναλογίας κατ' ὄγκον ἐκ τῶν ἀναλογιῶν κατὰ βάρος τοῦ μίγματος.

<u>Συμπεράσματα:</u> 1) ἐὰν μᾶς δίδονται αἱ κατὰ βάρος ἀναλογίαι $g_1, g_2, g_3 \ldots$ τότε.

$$P_1 V = G_1 R_1 T, \quad P_2 V = G_2 R_2 T, \quad P_3 V = G_3 R_3 T. \qquad PV = GRT.$$

$$\text{ἄρα } P_1 = \frac{G_1 R_1}{GR} \cdot P = g_1 \cdot \frac{R_1}{R} \cdot P = \frac{g_1 R_1}{g_1 R_1 + g_2 R_2 + g_3 R_3 +} \cdot P \ldots\ldots\ldots (38)$$

(P_1 εἶναι ἡ μερικὴ πίεσις τοῦ α^{ου} ἀερίου R_1 R_2 R_3..... αἱ σταθεραὶ τῶν ἀερίων καὶ P ἡ πίεσις τοῦ μίγματο). Ὅμοιαι σχέσεις ἰσχύουν καὶ διὰ τὰ ἄλλα ἀέρια.

2) ἐὰν μᾶς δίδονται αἱ κατ' ὄγκον ἀναλογίαι r_1, r_2, r_3, τότε πάλιν:

$$PV_1 = G_1 R_1 T. \qquad \text{(ἐξίσωσις 35 σελὶς 55)}$$

$$\text{καὶ} \quad P_1 V = G_1 R_1 T.$$

$$\text{ἄρα } \frac{P_1}{P} = \frac{V_1}{V} \text{ ἢ } P_1 = P \cdot \frac{V_1}{V} = r_1 \cdot P \ldots\ldots\ldots\ldots (39)$$

(ὅπου P_1 = ἡ μερικὴ πίεσις ἑνὸς ἀερίου, r_1 ἡ κατ' ὄγκον ἀναλογία αὐτοῦ καὶ P ἡ πίεσις τοῦ μίγματος). ὅμοιαι σχέσεις ἰσχύουν καὶ διὰ τὰ ἄλλα ἀέρια.

<u>Παραδείγματα:</u> 1) Ὁ ἀτμοσφαιρικὸς ἀὴρ ἀποτελεῖται ἀπὸ 23.1% μέρη βάρους ὀξυγόνου (O_2) καὶ ἀπὸ 76.9% μέρη βάρους ἀζώτου (N_2). Ποία ἡ μερικὴ πίεσις τοῦ ὀξυγόνου καὶ ἀζώτου δι' ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν 750 $^{m}/_{m}$ ὑδραργύρου.

<u>Λύσις</u> Διὰ τὸ ὀξυγόνον ἔχομεν $P_1 = g_1 \frac{R_1}{R} \cdot P$ (ἐξίσωσις 38) ἔνθα P_1 ἡ μερικὴ πίεσις τοῦ ὀξυγόνου, R_1 ἡ σταθερὰ τοῦ ὀξυγόνου καὶ P ἡ πίεσις τοῦ ἀέρος καὶ R ἡ σταθερὰ αὐτοῦ.

Ἐκ τοῦ πίνακος I λαμβάνομεν $R_1 = 26.5$, $R = 29.27$

ἔχομεν προσθέτως $P = \frac{750}{735.5} \cdot 10.000\ kg/m^2$ καὶ $\frac{\xi_1}{\xi} = \frac{23.1}{100} = 0.231$

Ἄρα $P_1 = 0.231 \cdot \frac{26.5}{29.27} \cdot \frac{750}{735.5} \cdot 10.000 = 2130\ kg/m^2 = 0.231\ ata.$

ὁμοίως διὰ τὸ ἄζωτον ἔχομεν: $P_2 = \xi_2 \frac{R_2}{R} \cdot P = 0.739 \cdot \frac{30.26}{29.27} \cdot \frac{750}{735.5} \cdot$
$\cdot 10.000 = 8090\ kg/m^2 = 0.809\ ata.$ —

($R_2 = 30.26$ = σταθερὰ διὰ τὸ ἄζωτον)

2) Εἰς τὴν ὡς ἄνω σύνθεσιν τοῦ ἀέρος ποία εἶναι ἡ κατ' ὄγκον ἀναλογία τοῦ ὀξυγόνου καὶ τοῦ ἀζώτου τοῦ μίγματος

<u>Λύσις</u>: διὰ τὸ ὀξυγόνον ἔχομεν $r_1 = \frac{\xi_1 v_1}{\xi_1 v_1 + \xi_2 v_2}$

ἔνθα v_1 καὶ v_2 ἀντιστοίχως οἱ εἰδικοὶ ὄγκοι ὀξυγόνου καὶ ἀζώτου.

Ἡ τρίτη στήλη τοῦ πίνακος I δίδει τὰ εἰδικὰ βάρη τῶν ὡς ἄνω ἀερίων ἐπειδὴ δὲ $v = \frac{1}{\gamma}$ εὑρίσκομεν ἐκ τούτων τοὺς εἰδικοὺς ὄγκους.

Οὕτω $v_1 = \frac{1}{1.4289} = 0.7\ m^3/kg$ καὶ $v_2 = \frac{1}{1.2505} = 0.799\ m^3/kg$

ἄρα $r_1 = \frac{0.231 \cdot 0.7}{0.231 \cdot 0.7 + 0.769 \cdot 0.799} = \frac{0.1617}{0.1617 + 0.615} \cong 20.85\%$

καὶ διὰ τὸ ἄζωτον $r_2 = \frac{0.769 \cdot 0.799}{0.231 \cdot 0.7 + 0.769 \cdot 0.799} = \frac{0.615}{0.1617 + 0.615} \cong 79.15\%$

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ Γ'

ΜΗΧΑΝΙΚΟΝ ΕΡΓΟΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ-ΑΡΧΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

1) Θερμότης παραγομένη ή απορροφουμένη είς τά μηχανικά φαινόμενα.

Είς πολλάς περιπτώσεις παρατηρούμεν ότι έξαφανίζεται μηχανική ένέργεια άλλά άντ'αυτής παράγεται θερμότης. π.χ.

Είς τούς κινουμένους μηχανισμούς καταστρέφεται μηχανική ένέργεια λόγω της τριβής τών προστριβομένων μερών, είς τήν θέσιν όμως αύτής έμφανίζεται θερμότης θερμαίνουσα τά προστριβόμενα τεμάχια.

Υπάρχει σειρά όλόκληρος μηχανισμών αί πέδαι (φρένα) είς τάς όποίας καταστρέφονται μεγάλα ποσά μηχανικής ένεργείας είς τήν θέσιν της δέ έμφανίζεται θερμότης π.χ έάν μετά μίαν απότομον στάσιν αύτοκινήτου διά πεδήσεως (φρεναρίσματος) άκουμβήσωμεν τήν χείραν έπί της πέδης ή όποία εύρίσκεται είς τούς όπισθίους τροχούς θά ίδωμεν ότι αύτη έθερμάνθη πολύ.

Επίσης τά σώματα όταν προσκρούσουν μέ όρμήν έπί έμποδίων άκλονήτων θερμαίνονται π.χ. βλήμα πυροβόλου προσκρούον έπί έμποδίου, τό όποίον ανακόπτει τήν κίνησίν του θερμαίνεται μέχρι τήξεώς του.

Αντιστρόφως είς πλείστας άλλας περιπτώσεις έξαφανίζεται θερμότης άντ'αύτής δέ έμφανίζεται μηχανική ένέργεια. Π.χ. κατά τήν έκπυρσοκρότησιν πυροβόλου όπλου έξαφανίζεται μέρος της θερμότητος της παραγομένης έκ της καύσεως της πυρίτιδος άντ'αύτης δέ λαμβάνει μηχανικήν ένέργειαν τό βλήμα, τό όποίον ένεκα τούτου έκτοξεύεται μέ μεγάλην ταχύτητα.

Είς τάς άτμομηχανάς έξαφανίζεται μέρος της θερμότητος, τήν όποίαν έχει ό άτμός είς τήν θέσιν δέ αύτής παράγεται υπό της μηχανής μηχανικόν έργον.

Ἐπίσης εἰς τὰς Μ.Ε.Κ. ἐξαφανίζεται μέρος τῆς θερμότητος τῆς παραγομένης διὰ τῆς καύσεως τοῦ καυσίμου καὶ ἀντ' αὐτῆς παράγεται μηχανικὸν ἔργον.

Ἐκ τῶν φαινομένων τούτων καὶ ἄλλων παρομοίων σήμερον παραδεχόμεθα ὅτι ἡ θερμότης εἶναι μία τῶν μορφῶν τῆς ἐνεργείας.

2) Πρώτη θεμελιώδης ἀρχὴ τῆς θερμοδυναμικῆς ἢ ἀρχὴ τοῦ ἰσοδυνάμου.

Ἐφ' ὅσον ἡ θερμότης εἶναι ἐνέργεια, τότε συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν τῆς διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας, πρέπει ἀντὶ τοῦ ἐξαφανιζομένου ποσοῦ τῆς θερμότητος νὰ παράγεται ἀνάλογον ἔργον καὶ ἀντιστρόφως.

Τοῦτο ἀπεδείχθη κατὰ πρῶτον ὑπὸ τοῦ Μάγιερ (Mayer) καὶ ἐπεβεβαιώθη ἀργότερον ὑπὸ πολλῶν ἄλλων ὅπως ὁ Ζούλ (Joule) κ.λ.π. οὕτω ὁ Μάγιερ διετύπωσεν τὸν ἑξῆς νόμον:

Ὁσάκις ἡ θερμότης παράγει μηχανικὸν ἔργον ἐξαφανίζεται ποσότης θερμότητος ἀνάλογος πρὸς τὸ παραχθὲν ἔργον καὶ ἀντιστρόφως.

Ἤτοι ἐὰν L τὸ παραγόμενον ἔργον καὶ Q ἡ ἐξαφανιζομένη ποσότης θερμότητος τότε. $Q = A \cdot L$ .... (40)

Ἔνθα $A =$ σταθερὸς συντελεστὴς καλούμενος μηχανικὸν ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος.

Ὁ νόμος οὗτος ὀνομάζεται πρώτη θεμελιώδης ἀρχὴς τῆς θερμοδυναμικῆς ἢ ἀρχὴ τοῦ ἰσοδυνάμου.

Ὁ συντελεστὴς A εὑρέθη κατ' ἀρχὰς πειραματικῶς ὑπὸ τῶν Joule καὶ Mayer κατόπιν δὲ καὶ ὑπὸ ἄλλων πειραματιστῶν.

Κατὰ τὰ νεώτερα πειράματα φαίνεται ὅτι ἡ πιθανωτέρα του τιμὴ εἶναι: $A = \frac{1}{426.7} \frac{kcal}{kgm}$ ἤτοι:

ὅταν ἀναλίσκεται 1 kcal (μεγάλη θερμὶς) παράγονται 426.7 kgm (χιλιογραμμόμετρα) καὶ ἀντιστρόφως ὅταν ἀναλίσκεται 1 kgm παράγονται $\frac{1}{426.7}$ kcal.

Διὰ τοὺς πρακτικοὺς μας ὑπολογισμοὺς θὰ λαμβάνωμεν

$$A = \frac{1}{427} \ kcal/kgm.$$

<u>Παράδειγμα</u>

Ποῖον εἶναι τὸ ἰσοδύναμον εἰς θερμότητα ἔργου ἴσου πρὸς τὸν ὡριαῖον ἵππον.

<u>Λύσις</u> Ὡς γνωστὸν 1 ὡριαῖος ἵππος = 1HP = 75·3600 kgm. (διότι εἶναι τὸ ἔργον τὸ ὁποῖον παράγει μηχανὴ παράγουσα ἔργον ἑνὸς ἵππου ἀνὰ δευτερόλεπτον ὅταν αὐτὴ ἐργάζεται συνεχῶς ἐπὶ μίαν ὥραν).

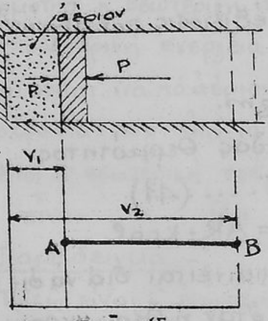
Ἐὰν Q τὸ ἰσοδύναμον εἰς θερμότητα τότε $Q = A\cdot L = \frac{1}{427}\cdot 75\cdot 3600$

ἢ $Q \simeq 632$ kcal ἤτοι 1HP = 632 kcal

3) <u>Ἔργον παραγόμενον κατὰ τὴν διαστολὴν τῶν ἀερίων καὶ σχέσις εἰδικῶν θερμοτήτων τῶν ἀερίων ὑπὸ πίεσιν καὶ ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον</u>

Ἔστω ὅτι ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου τοῦ (Σχημ.15) κινεῖται ἔμβολον ἀεροστεγῶς ἀποκλεῖον οὕτω ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου μίαν ποσότητα ἀερίου βάρους G kg.

Ἐὰν θερμάνωμεν τὸ ἀέριον ἀπὸ τῆς θερμοκρασίας t_1 εἰς τὴν t_2 ἐνῷ διατηροῦμεν τὸν ὄγκον του σταθερὸν τότε θὰ ἀπαιτηθῇ



<u>Σχήμ.15</u>

διὰ τὴν θέρμανσιν του ποσὸν θερμότητος ἴσον πρὸς $Q = C_v\cdot G\cdot(t_2-t_1) = C_v\cdot G\cdot(T_2-T_1)$ (διότι $T_2-T_1 = (273+t_2)-(273+t_1) = \cancel{273}+t_2-\cancel{273}-t_1 = t_2-t_1$.) Ἔνθα C_v = ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ἀερίου ὑπὸ ὄγκον σταθερὸν καὶ T_2; T_1 ἡ τελικὴ καὶ ἀρχικὴ ἀπόλυτος θερμοκρασία του.

Ἐὰν ἀφήσωμεν τὸ ἔμβολον νὰ κινηθῇ ἐλευθέρως τότε τὸ ἀέριον θερμαινόμενον διαστέλλεται καὶ ὠθεῖ τὸ ἔμβολον πρὸς τὰ δεξιά.

Ἐὰν ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς θερμάνσεως παραμένῃ σταθερὰ τότε ἕνα μέρος τῆς θερμότητος, ποὺ ἐδόθῃ εἰς τὸ ἀέριον χρησιμεύῃ εἰς τὸ νὰ ἀνυψώσῃ τὴν θερμοκρασίαν του τὸ δὲ ὑπόλοιπον χρησιμεύει εἰς τὴν παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου.

Πράγματι: ἐὰν εἶναι P kg/m^2 ἡ θλιβομετρικὴ πίεσις τὴν ὁποίαν ἀσκεῖ τὸ ἀέριον ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου τότε τὸ ἔμβολον κατὰ τὴν πρὸς τὰ δεξιὰ κίνησίν του δύναται νὰ ὑπερνική-ση ἀντίστασιν ἴσην πρὸς P ἐξασκουμένην ἀντιθέτως ἐπὶ τῆς ἄλλης πλευρᾶς τοῦ ἐμβόλου καὶ νὰ μετακινήσῃ τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς της ἤτοι τὸ ἔμβολον δύναται νὰ παραγάγῃ κινητή-ριον ἔργον.

Τὸ μέγεθος τοῦ κινητηρίου ἔργου ἔστω L. Ἔστω δὲ F ἡ ἐπι-φάνεια τοῦ ἐμβόλου εἰς m^2 καὶ V_1 εἰς m^3 ὁ ἀρχικὸς ὄγκος τοῦ ἀερίου πρὸ τῆς θερμάνσεως καὶ V_2 μετὰ τὴν θέρμαν-σιν ἔστω δὲ S εἰς m ἡ διαδρομή, τὴν ὁποίαν ἐξετέλεσε τὸ ἔμβολον ἀπὸ τὴν ἀρχὴν μέχρι τοῦ τέλους τῆς θερμάν-σεως τότε τὸ παραγόμενον ἔργον εἶναι $L = F \cdot P \cdot S$ kgm. (Ἔνθα $F \cdot P$ = ἡ ὁλικὴ πίεσις τὴν ὁποίαν ἐξασκεῖ τὸ ἀέριον ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου εἰς Kg) ἀλλά: $F \cdot S = V_2 - V_1 \; m^3$

ἄρα $L = P \cdot (V_2 - V_1)$

ἀλλὰ γνωρίζομεν ὅτι: $PV_2 = GRT_2$ (Γενικὴ ἐξίσωσις τῶν ἀερίων)

καὶ $PV_1 = GRT_1$

ἄρα $L = GRT_2 - GRT_1 = G \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$ kgm.

Ἐὰν δὲ ὑπολογίσωμεν τὸ ἔργον εἰς μονάδας θερμότητος

τότε: $L = G \cdot AR\,(T_2 - T_1) \cdot$ Kcal ..... (41)

ἐὰν $G = 1$ kg καὶ $T_2 - T_1 = 1^\circ$ τότε ἔχομεν $L = AR \cdot$ kcal

Αὐτὸ εἶναι τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος ποῦ ἀπαιτεῖται διὰ νὰ δι-ασταλῇ 1 kg ἀερίου ὑπὸ πίεσιν σταθερὰν ὅταν ἡ θερμοκρα-σία ἀνέλθῃ κατὰ 1°. ἀφ' ἑτέρου ὅμως ἀπαιτεῖται καὶ προ-σθετον ποσὸν θερμότητος ἴσον πρὸς C_v διὰ νὰ ἀνυψωθῇ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου κατὰ 1°. Ἄρα τὸ συνολικὸν ποσὸν τῆς θερμότητος ποῦ ἀπαιτεῖται διὰ τὴν ἀνύψωσιν τῆς θερμοκρα-σίας 1 kg ἀερίου κατὰ 1° ὑπὸ πίεσιν σταθερὰν ἤτοι ἡ εἰδι-κὴ θερμότης ὑπὸ πίεσιν σταθερὰν C_p εἶναι.

$$C_p = C_v + AR \quad \ldots\ldots (42)$$

Ἐὰν ἔχωμεν G kg ἀερίου τότε ἡ θερμότης ποῦ ἀπαιτεῖται διά νά άνυψωθῇ ή θερμοκρασία του άπό t₁ είς t₂ ὑπό πίεσιν σταθεράν εἶναι:

$$Q = G \cdot C_p (T_2 - T_1) = G (C_v + AR) \cdot (T_2 - T_1) \ldots (43)$$

Ὁ πίναξ I δίδει τάς είδικάς θερμότητας C_p καί C_v τῶν κυριωτέρων άερίων ὡς καί τόν λόγον αὐτῶν $\frac{C_p}{C_v}$.

<u>Παράδειγμα</u>: Νά εὑρεθῇ ἡ σταθερά R τοῦ ἀέρος.

<u>Λύσις</u>: Ἔχομεν $C_p = C_v + AR$ (ἐξίσωσις 42) ἄρα

$$AR = C_p - C_v \quad \text{καί} \quad R = \frac{C_p - C_v}{A}$$

ἀλλά ἐκ τοῦ πίνακος I $C_p = 0.24$ καί $C_v = 0.172$

$$\text{ἄρα } R = \frac{0.24 - 0.172}{\frac{1}{427}} = 0.061 \cdot 427 \simeq 29.3$$

4) Ἐσωτερική ἐνέργεια τῶν ρευστῶν

Ἐάν ἕνα ρευστόν λαμβάνῃ θερμότητα χωρίς νά ἀποδίδῃ μηχανικόν ἔργον, ἤτοι ὅταν θερμαίνεται ὑπό ὄγκον σταθερόν, τότε ὅλη ἡ θερμότης ἀποθηκεύεται ὡς ἐνέργεια εἰς τό ἐσωτερικόν τοῦ ρευστοῦ. Ἡ ἐναποθηκευμένη θερμότης ὀνομάζεται ἐσωτερική θερμότης ἤ ἐσωτερική ἐνέργεια τοῦ ρευστοῦ.

Ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια ἑνός ἀερίου εἶναι ἡ θερμότης, ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται ἵνα τό ἀέριον ἀχθῇ ὑπό ὄγκον σταθερόν εἰς τήν θερμοκρασίαν του ἀπό τό ἀπόλυτον μηδέν.

Ἤτοι ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια 1kg ἀερίου ἀπολύτου θερμοκρασίας T εἶναι

$$U = C_v \cdot T \ldots\ldots (44)$$

<u>Παράδειγμα</u>

Πόση εἶναι ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια 5kg ἀέρος θερμοκρασίας 25°C.

<u>Λύσις</u>: Ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια εἶναι $U = G \cdot C_v \cdot T$, ἔνθα $G = 5\,kg$, $C_v = 0.172$ kcal/kg (πίναξ I) καί $T = 273 + 25 = 298$

$$\text{ἄρα} \quad U = 5 \cdot 0.172 \cdot 298 \simeq 256.3 \text{ kcal}.$$

5) Πρώτη θεμελιώδης ἐξίσωσις τῆς θερμοδυναμικῆς

Ἐάν ἕνα ἀέριον θερμαίνεται ὑπό σταθεράν πίεσιν τότε τοῦτο διαστέλλεται. Τοῦ ἀερίου τούτου αὐξάνει ἡ ἐσωτερική του ἐνέργεια διότι αὐξάνει ἡ θερμοκρασία του, ἀφ' ἑτέρου δέ τοῦτο παράγει μηχανικόν ἔργον κατά τήν διαστολήν του ὡς ἴδομεν εἰς τήν σελ. 61.-

Ἐάν u_1 ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια καί v_1 ὁ ὄγκος 1 kg τοῦ ἀερίου πρό τῆς θερμάνσεως καί u_2 ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια καί v_2 ὁ ὄγκος αὐτοῦ μετά τήν θέρμανσιν.

Τότε ἡ μέν ἐσωτερική του ἐνέργεια ηὔξησεν κατά u_2-u_1

Τό δέ παραχθέν ἔργον κατά τήν διαστολήν εἶναι $A \cdot P \cdot (v_2-v_1)$

(v_1 καί v_2 παριστοῦν τούς εἰδικούς ὄγκους τοῦ ἀερίου)

Ἐπομένως ἡ θερμότης ἡ ὁποία προσεδόθη εἰς τό ἀέριον εἶναι

$$Q=(u_2-u_1)+Ap(v_2-v_1) \quad \ldots\ldots\ldots (45)$$

Αὐτή εἶναι ἡ πρώτη θεμελιώδης ἐξίσωσις τῆς Θερμοδυναμικῆς

Διά νά ἐφαρμοσθῆ αὐτη ὡς ἔχει πρέπει τό ἀέριον νά θερμαίνεται ὑπό σταθεράν πίεσιν.

Σημείωσις: Ἐάν τοῦτο δέν συμβαίνῃ πρέπει τήν ὅλην μεταβολήν τοῦ ὄγκου νά χωρίσωμεν εἰς πολλά μικρά τμήματα εἰς τά ὁποῖα δυνάμεθα νά θεωρήσωμεν ὅτι ἡ πίεσις διατηρεῖται σταθερά καί νά ἐφαρμόσωμεν τήν ἐξίσωσιν αὐτήν δι' ἕνα ἕκαστον ἐκ τῶν τμημάτων τούτων.

Ἑκάστου τμήματος ἡ ἐξίσωσις αὐτη μόνον διά τῆς χρήσεως ἀνωτέρων μαθηματικῶν δύναται νά ἐφαρμοσθῆ ἐπακριβῶς. Ἡ ἐξίσωσις τότε γράφεται $dQ=du+Ap\,dv$, ἔνθα dQ, du, dv παριστοῦν ἀντιστοίχους μεταβολάς τῶν Q, u, v, ἀλλά πολύ μικράς (ἀπειροελάχιστας)

6) Θερμοπεριεκτικότης

Καλοῦμεν θερμοπεριεκτικότητα i 1kg ἑνός ἀερίου τό ποσόν

$$i=u+A \cdot p \cdot v \quad \ldots\ldots\ldots (46)$$

Ἔνθα u ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια τοῦ ἀερίου καί Apv εἶναι ἡ ἐνέργεια τήν ὁποίαν ἀπερρόφησεν τό ἀέριον διά νά ἀχθῆ θερμαινομενον ὑπό πίεσιν σταθεράν ἀπό τοῦ ὄγκου 0 εἰς τόν ὄγκον v.

Γνωρίζομεν ὅμως ὅτι $u=c_v \cdot T$ καί $Pv=RT$.

$$\text{ἄρα} \quad i=c_vT+ART=(c_v+AR)T$$

$$\text{ἤ} \quad i=c_p \cdot T \quad \ldots\ldots\ldots (46)$$

Διά P= σταθερόν ἀποδεικνύεται εὐκόλως ἐκ τῆς ἐξισώσεως 45

ὅτι: $$Q=i_2-i_1 \quad \ldots\ldots\ldots (45')$$

Τό $i_2 - i_1$ καλεῖται <u>Θερμική πτῶσις</u>

<u>Παράδειγμα</u>: Νά εὑρεθῆ ἡ θερμοπεριεκτικότης 1 kg ἀέρος θερμοκρασίας 60°C καί ἡ θερμότης τήν ὁποίαν θά χάσῃ τοῦτο ἐάν ψυχθῇ ὑπό πίεσιν σταθεράν μέχρι θερμοκρασίας 15°C.

<u>Λύσις</u>: Ἔχομεν $i = C_p T$ ἄρα εἰς θερμοκρασίαν 60° ἔχομεν $i_{60} = 0.24 \cdot (273+60) = 79.2$ kcal.

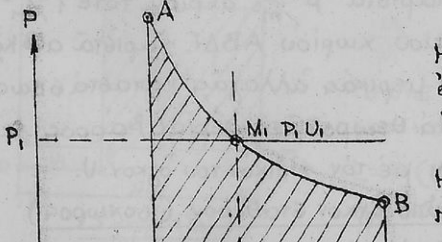
Ἡ θερμότης τήν ὁποίαν θά χάσῃ ὁ ἀήρ εἶναι $Q = i_{60} - i_{15}$ ἔνθα $i_{15} = 0.24 \cdot (273+15) = 69.1$ kcal. ἄρα $Q = 79.2 - 69.1 = 10.1$ kcal.

7) <u>Ἀλλαγαί καταστάσεως τῶν ἀερίων</u>.

α) <u>Γενικά</u> Ἡ κατάστασις ἑνός ἀερίου προσδιορίζεται ὑπό τῆς πιέσεως του P τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου του υ καί τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας του T.

Ὅταν ἕν τῶν μεγεθῶν τούτων ἀλλάσσῃ τότε λέγομεν ὅτι τό ἀέριον <u>ἀλλάσσει κατάστασιν</u>.

Αἱ ἀλλαγαί καταστάσεως τῶν ἀερίων εἰς τάς διαφόρους μηχανάς ὅπου ταῦτα χρησιμοποιοῦνται δέν ἀκολουθοῦν ἁπλοῦς νόμους. Ἡ μελέτη μιᾶς ἀλλαγῆς καταστάσεως διευκολύνεται ὑπό τοῦ <u>γραφικοῦ διαγράμματος</u>.



<u>Σχῆμ. 16</u>

Διά τήν κατασκευήν τοῦ διαγράμματος λαμβάνομεν δύο καθέτους ἄξονας, OP καί Ou (Σχ. 16) Ἐπί τοῦ ἄξονος OP λαμβάνομεν ὑπό κλίμακα τάς ἀπολύτους πιέσεις τοῦ ἀερίου, καί ἐπί τοῦ Ou ὑπό ἑτέραν κλίμακα τούς εἰδικούς ὄγκους υ τοῦ ἀερίου.

Ἐάν εἰς μίαν κατάστασιν τοῦ ἀερίου ἀντιστοιχεῖ πίεσις P_1 καί εἰδικός ὄγκος U_1 τότε ἡ κατάστασις παρίσταται ὑπό τοῦ σημείου M_1 τοῦ διαγράμματος, τό ὁποῖον εὑρίσκεται ὡς δεικνύει τό (Σχ. 16) ἤτοι ἐπί τοῦ OP λαμβάνομεν τμῆμα ὑπό τήν κλίμακα τῶν πιέσεων $OP_1 = P_1$ καί ἐκ τοῦ P_1

φέρομεν παράλληλον πρός τόν ἄξονα OU ὁμοίως δέ ἐπί τοῦ OU λαμβάνομεν ὑπό τήν κλίμακα τῶν ὄγκων τμῆμα $OU_1 = U_1$ καί ἐκ τοῦ U_1 φέρομεν παράλληλον πρός τήν OP. Ἡ συνάντησις τῶν δύο τούτων εὐθειῶν εἶναι τό σημεῖον M_1. Τό σημεῖον M_1 σημειοῦμεν ὡς δεικνύει τό σχῆμα διά $M_1 (P_1 U_1)$.

Ἐάν ἡ κατάστασις τοῦ ἀερίου ἀλλάσσῃ συνεχῶς τότε εἰς κάθε ἀλλαγήν ἀντιστοιχεῖ νέον σημεῖον τοῦ διαγράμματος. Ἐάν ἑνώσωμεν ὅλα τά σημεῖα τοῦ διαγράμματος τά ἀντιστοιχοῦντα εἰς τάς διαδοχικάς καταστάσεις τοῦ ἀερίου θά λάβωμεν μίαν καμπύλην AB ἡ ὁποία παριστᾶ τήν ἀλλαγήν καταστάσεως τοῦ ἀερίου.

Τό διάγραμμα τοῦτο λέγεται <u>διάγραμμα τῶν ὄγκων</u>.

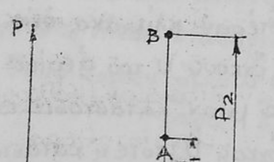
Πολλάκις κατασκευάζομεν καί ἄλλα διαγράμματα ὡς τό P, T (πίεσις, θερμοκρασία) κ.λ.π. Τινά τούτων θά ἴδωμεν ἀργότερον.

Ἀποδεικνύεται μαθηματικῶς ὅτι τό παραγόμενον ὑπό τοῦ ἀερίου μηχανικόν ἔργον κατά τήν ἀλλαγήν καταστάσεως AB ἰσοῦται μέ τό ἐμβαδόν τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου ABΔΓ. τοῦ Σχ.16

Ἐάν ἡ πίεσις P εἰς τό διάγραμμα μετρεῖται εἰς kg/m^2 π.χ. 1 m/m τοῦ διαγράμματος παριστᾶ α kg/m^2 ὁ δέ ὄγκος μετρεῖται εἰς m^3 ἤτοι 1 m/m τοῦ διαγράμματος παριστᾶ β kg/m^3 ἀερίου, τότε 1 m/m^2 τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου ABΔΓ. παριστᾶ α.β kgm.

Κατωτέρω θά μελετήσωμεν μερικάς ἀλλαγάς καταστάσεως. Εἰς τήν μελέτην ταύτην θά θεωροῦμεν ἀέριον βάρους 1 kg ὁπότε ὁ ὄγκος τοῦ V θά ἰσοῦται μέ τόν εἰδικόν του ὄγκον U.

β) <u>ἀλλαγή καταστάσεως ὑπό ὄγκον σταθερόν (ἰσόχωρος)</u>



<u>Σχῆμ 17</u>

Εἰς ταύτην θερμαίνομεν τό ἀέριον ὑπό ὄγκον σταθερόν.

Εἰς τό διάγραμμα τῶν ὄγκων ἡ ἀλλαγή αὕτη παρίσταται ὑπό τῆς εὐθείας AB παραλλήλου πρός τόν ἄξονα τῶν πιέσεων. (Σχ17)

Τό σημεῖον A παριστᾶ τήν ἀρχικήν κατάστασιν τοῦ ἀερίου ἔνθα ἡ πίεσίς του P_1

καὶ ὁ ὄγκος U, καὶ τὸ B τὴν τελικὴν κατάστασιν ὅπου ἡ πίεσις εἶναι P_2 καὶ ὁ ὄγκος πάλιν U.

Ἐάν T_1 καὶ T_2 αἱ ἀπόλυται θερμοκρασίαι τοῦ ἀερίου εἰς τὴν ἀρχὴν καὶ τὸ τέλος τῆς ἀλλαγῆς τότε συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν 31 $\frac{P_2}{P_1}=\frac{T_2}{T_1}$ ἢ $P_2=P_1\frac{T_2}{T_1}$

Τὸ παραγόμενον κατὰ τὴν ἀλλαγὴν μηχανικὸν ἔργον εἶναι $L=0$ διότι τὸ ἀέριον δὲ διαστέλλεται.

Ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἀέριον θερμότης χρησιμεύει εἰς τὴν αὔξησιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας εἶναι δέ,

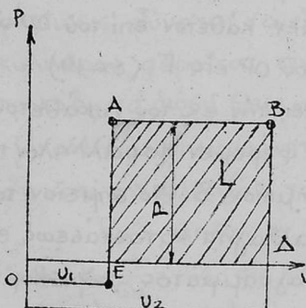
$Q=(U_2-U_1)+Ap(U_2-U_1)=U_2-U_1$ ἢ $Q=C_v(T_2-T_1)$. (διότι $U_2=U_1$).

γ) <u>Ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑπὸ πίεσιν σταθεράν</u> (ἰσόθλιβος)

Εἰς ταύτην θερμαινόμενον τὸ ἀέριον ὑπὸ πίεσιν σταθεράν.

Εἰς τὸ διάγραμμα τῶν ὄγκων ἡ ἀλλαγὴ καταστάσεως παρίσταται ὑπὸ εὐθείας AB παραλλήλου πρὸς τὸν ἄξονα Ου. (Σχ.18)

Εἰς τὸ σημεῖον A ἀντιστοιχεῖ πίεσις P ὄγκος U_1 θερμοκρασία T_1



Σχῆμ 18

Εἰς τὸ σημεῖον B ἀντιστοιχεῖ πίεσι P, ὄγκος U_2, θερμοκρασία T_2.

Συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν 30

$\frac{U_2}{U_1}=\frac{T_2}{T_1}$ ἢ $U_2=U_1\cdot\frac{T_2}{T_1}$.

Τὸ ὑπὸ τοῦ ἀερίου παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον εἶναι:

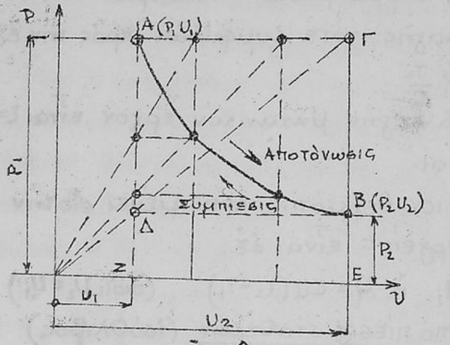
$L=P(U_2-U_1)$ παρίσταται δὲ ὑπὸ τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ ὀρθογωνίου ΑΒΔΕ καὶ ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἀέριον θερμότης εἶναι: $Q=C_p(T_2-T_1)$

δ) <u>Ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑπὸ θερμοκρασίαν σταθεράν</u> (ἰσόθερμο[ς])

Εἰς ταύτην ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου διατηρεῖται σταθερὰ ἴση πρὸς T. ἤτοι ἐὰν τὸ ἀέριον ἀποτονοῦται δίδομεν εἰς αὐτὸ τόσην μόνον θερμότητα ὅσην χρειάζεται διὰ νὰ ἀλλάξῃ ὁ ὄγκος του χωρὶς νὰ μεταβληθῇ ἡ θερμοκρασία του.

Ἔστω P_1, U_1 ἡ ἀρχικὴ πίεσις καὶ ὁ ἀρχικὸς ὄγκος τοῦ ἀερίου καί P_2, U_2 ή τελική πίεσις καί ό τελικός όγκος αύτοῦ.

Τότε σύμφωνα μέ τήν γενικήν ἐξίσωσιν τῶν ἀερίων (ἐξίσ.26) ἔχομεν $\frac{P_1 U_1}{T} = \frac{P_2 U_2}{T}$ ή $P_1 U_1 = P_2 U_2$.



Σχήμ 19

Ἡ σχέσις αὐτη παρίσταται εἰς τό διάγραμμα τῶν όγκων ὑπό μιᾶς καμπύλης, ἡ ὁποία λέγεται ὑπερβολή.

Τήν καμπύλην αὐτήν δυνάμεθα νά σχεδιάσωμεν χρησιμοποιοῦντες τήν ἑξῆς μέθοδον. Ἔστω ὅτι γνωρίζομεν τήν ἀρχικήν κατάστασιν τοῦ ἀερίου, ἡ ὁποία εἰς τό διάγραμμα παρίσταται ὑπό τοῦ σημείου $A(P_1U_1)$.

Ἔστω δέ, ὅτι γνωρίζομεν καί τόν τελικόν όγκον U_2 τοῦ ἀερίου, τότε τό σημεῖον τοῦ διαγράμματος εἰς τό ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ ὁ όγκος οὗτος εὑρίσκεται ὡς ἑξῆς: Ἐκ τοῦ σημείου Ε τοῦ ἄξονος ΟU εἰς τό ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ όγκος U_2 ὑψοῦμεν κάθετον ἐπί τοῦ ΟU ἡ ὁποία τέμνει τήν ἐκ τοῦ Α κάθετον ἐπί τοῦ ΟΡ εἰς Γ (σχ. 19)

Φέρομεν τήν εὐθεῖαν ΟΓ, ἡ ὁποία τέμνει τήν ἐκ τοῦ Α κάθετον ἐπί τοῦ ΟU εἰς τό σημεῖον Δ. Ἐκ τοῦ Δ φέρομεν παράλληλον πρός τήν ΟU ἡ ὁποία τέμνει τήν ΕΓ εἰς τό σημεῖον Β. Τό σημεῖον τοῦτο εἶναι τό σημεῖον τῆς καμπύλης τῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως εἰς τό ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ όγκος U_2. Ἐκ τοῦ διαγράμματος εὑρίσκομεν τήν ἀντίστοιχον πίεσιν P_2.

Ὁμοίως ἐργαζόμενοι εὑρίσκομεν καί ἄλλα σημεῖα τῆς ὑπερβολῆς καί σχεδιάζομεν αὐτήν (ὡς δεικνύει τό σχῆμα 19).

Ἀποδεικνύεται μαθηματικῶς ὅτι τό ἀποδιδόμενον ὑπό τοῦ ἀερίου κατά τήν ἀλλαγήν αὐτήν καταστάσεως μηχανικόν ἔργον εἶναι

$$L = P_1 U_1 \cdot 2{,}303 \text{ λόγος } \frac{U_2}{U_1} \ldots\ldots (47)$$

Πρός ὑπολογισμόν τοῦ ἔργου μᾶς χρειάζεται ὁ βοηθητικός ἀριθμός $C = \text{λογ}\frac{U_2}{U_1} \cdot 2.303$ ὁ ὁποῖος μᾶς δίδεται ἀπό τόν κατωτέρω πίνακα.-

$\frac{U_2}{U_1}$=	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5	6	7	8	9	10
C=	0	0.405	0.693	0.916	1.099	1.253	1.386	1.504	1.609	1.792	1.946	2.079	2.197	2.303

Ὡς εἴδομεν εἰς τὴν σελίδα 66 τὸ ἔργον τοῦτο παρίσταται ὑπὸ τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου ΑΒΕΖ.
Ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου δίδεται ἀπὸ τὴν σχέσιν $T=\frac{P_1 U_1}{R}$ (ἐξίσωσις 28)

Ἐπειδὴ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου δὲν ἀλλάσσει ἡ ἐσωτερική του ἐνέργεια παραμένει σταθερὰ καὶ ἑπομένως ὁλόκληρος ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἀέριον θερμότης μετατρέπεται ὑπὸ τοῦ ἀερίου εἰς μηχανικὸν ἔργον.

ἤτοι $Q = AL = Ap_1 U_1 \cdot 2,303 \text{ λογ.} \frac{U_2}{U_1}$ ..... (48)

ἐπειδὴ δὲ $P_1 U_1 = RT$ ἕπεται ὅτι $Q = ART \cdot 2.303 \text{ λογ} \frac{U_2}{U_1}$ ....(48΄)

ε) Ἀδιαβατικὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως ἢ Ἀδιάθερμος

Εἰς τὴν ἀλλαγὴν αὐτὴν τὸ ἀέριον δὲν λαμβάνει θερμότητα ἀπὸ τὸ περιβάλλον οὔτε δίδει θερμότητα εἰς αὐτό. Τοιαύτη περίπτωσις δύναται νὰ ὑπάρξῃ ἐὰν ἀέριον ἀποτονοῦται ἐντὸς κυλίνδρου φέροντος κινητὸν ἔμβολον τόσον ταχέως ὥστε νὰ μὴ προλάβῃ νὰ δώσῃ θερμότητα εἰς τὰ τοιχώματα τοῦ κυλίνδρου.

Ἀποδεικνύεται μαθηματικῶς (πρῶτος ἀπέδειξεν τοῦτο ὁ Poisson) ὅτι κατὰ τὴν ἀλλαγὴν ταύτην ἰσχύει ἡ σχέσις.

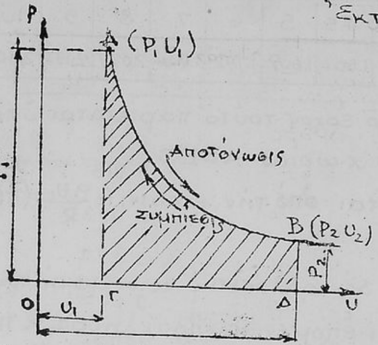
$P U^k$ = σταθερόν ἢ $P_2 U_2^k = P_1 U_1^k$ = σταθερόν ....(49)

ἔνθα $k = \frac{C_P}{C_U} \simeq 1.4$ διὰ τὰ πλεῖστα τῶν ἀερίων καὶ P_2, U_2 ὁ ὄγκος καὶ ἡ πίεσις τοῦ ἀερίου εἰς μίαν κατάστασιν Β καὶ $P_1 U_1$ ὁ ὄγκος καὶ ἡ πίεσις αὐτοῦ εἰς τὴν ἀρχικήν του κατάστασιν Α.

Ἡ ἐξίσωσις 49 γράφεται καί

$$P_2 = P_1 \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^k \text{.....} \quad (49')$$

Ἐὰν γνωρίζομεν τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν $A(P_1 U_1)$ τοῦ ἀερίου, τότε δυνάμεθα εἰς κάθε ὄγκον νὰ εὕρωμεν ἐκ τῆς σχέσεως 49΄ τὴν ἀντίστοιχον πίεσιν καὶ νὰ κατασκευάσωμεν εἰς τὸ διάγραμμα τῶν ὄγκων τὴν καμπύλην τῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως ΑΒ (Σχῆμ. 20)



Σχῆμ. 20

Ἐκ τῆς σχέσεως $\frac{P_1 U_1}{RT_1} = \frac{P_2 U_2}{RT_2}$ ἔχομεν $\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 U_2}{P_1 U_1} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{P_2}{P_1}$ ἀλλὰ ἐκ τῆς ἐξισώσεως 45 ἔχομεν $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^K$ ἄρα $\frac{T_2}{T_1} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{U_1{}^K}{U_2{}^K} = \frac{U_1{}^{K-1}}{U_2{}^{K-1}}$

ἤ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^{K-1}$ ....(50)

Τὸ παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον ἰσοῦται μὲ τὴν ἐλάττωσιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου ἐφ' ὅσον οὐδὲν ποσὸν θερμότητος προσδίδεται εἰς αὐτὸ ἔξωθεν.

$$\text{ἤτοι } AL = U_1 - U_2 = C_U (T_1 - T_2)$$

ἀλλὰ $P_1 U_1 = RT_1$ ἤτοι $T_1 = \frac{P_1 U_1}{R}$ καὶ $T_2 = \frac{P_2 U_2}{R}$

ἤτοι $AL = \frac{C_U}{R}(P_1 U_1 - P_2 U_2)$

ἤ $L = \frac{C_U}{AR} \cdot (P_1 U_1 - P_2 U_2)$

ἐπειδὴ δὲ $AR = C_P - C_U = C_U\left(\frac{C_P}{C_U} - 1\right) = C_U \cdot (K-1)$

ἕπεται ὅτι $L = \frac{\cancel{C_U}}{\cancel{C_U}(K-1)}(P_1 U_1 - P_2 U_2)$

ἤ $L = \frac{P_1 U_1 - P_2 U_2}{K-1}$ .... (51)

Τὸ ἔργον τοῦτο παρίσταται πάλιν ὑπὸ τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου ΑΒΔΓ.

Εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς βοηθούμεθα ἀπὸ τὸν κατωτέρω πίνακα, ὁ ὁποῖος δίδει διὰ διαφόρους τιμὰς τοῦ $\frac{U_2}{U_1}$ τὰς τιμὰς $C_1 = \frac{P_2}{P_1}$, $C_2 = \frac{T_2}{T_1}$, $C_3 = \frac{L}{P_1 U_1}$ $(L = C_3 P_1 U_1)$

Ἔνθα P_1 θὰ λαμβάνεται ἡ μεγαλυτέρα πίεσις.

Ἐκ τοῦ διαγράμματος βλέπομεν ὅτι ἡ ἀποτόνωσις τοῦ ἀερίου ἢ πτῶσις τῆς πιέσεώς του εἶναι πιο ἀπότομος παρὰ εἰς τὴν ἰσόθερμον ἀλλαγὴν καταστάσεως.

ΠΙΝΑΞ V

$\frac{U_2}{U_1}$	$C_1 = \frac{P_2}{P_1}$	$C_2 = \frac{T_2}{T_1}$	$C_3 = \frac{L}{P_1 U_1}$
1.2	0.775	0.930	0.176
1.4	0.624	0.874	0.315
1.6	0.518	0.829	0.428
1.8	0.439	0.790	0.524
2.0	0.379	0.758	0.605
2.5	0.277	0.693	0.761
3.0	0.215	0.644	0.889
3.5	0.173	0.606	0.985
4.0	0.144	0.574	1.064
4.5	0.122	0.548	1.130
5.0	0.105	0.525	1.187
6.0	0.0814	0.488	1.219
7.0	0.0656	0.459	1.352
8.0	0.0538	0.435	1.412
9.0	0.0461	0.415	1.462
10	0.0398	0.398	1.505
11	0.0347	0.383	1.542
12	0.0310	0.370	1.575
13	0.0276	0.358	1.604
14	0.0249	0.348	1.630
15	0.0226	0.339	1.654
16	0.0206	0.330	1.675

3) Πολυτροπική ἀλλαγή καταστάσεως

Εἶναι ἡ ἀλλαγή καταστάσεως εἰς τήν ὁποίαν οἱ ὄγκοι συνδέονται πρός τάς πιέσεις διά τῆς σχέσεως.

$$P\upsilon^{n} = \text{σταθερόν} \;\ldots\ldots\; (52)$$

Ἔνθα η εἶναι εἷς ἀριθμός δυνάμενος νά λάβῃ τιμάς ἀπό

0 έως ∞. Η άλλαγή αὕτη καταστάσεως περιλαμβάνει ὅλας τάς προηγουμένας ἀρκεῖ νά λάβῃ ὁ η τάς καταλλήλους τιμάς.

Οὕτω διά $\eta = \infty$ τότε ἡ PU^{∞} = σταθερ. γράφεται $P^{\frac{1}{\eta}} \cdot U$ = σταθερόν ἤ $P^{\frac{1}{\infty}} \cdot U$ = σταθερόν ἤ $P^{0} \cdot U$ = σταθ. ἤ U = σταθ. ἤτοι ἀλλαγή <u>ἰσόχωρος</u> διά $\eta = 0$ ἔχομεν $P \cdot U^{0}$ = σταθ. ἤ $P \cdot 1$ = σταθ. ἤ P = σταθ. ἀλλαγή <u>ἰσόθλιβος</u>, διά $\eta = 1$ ἔχομεν PU = σταθ. ἤτοι ἀλλαγή <u>ἰσόθερμος</u> καί διά $\eta = \kappa$ ἔχομεν PU^{κ} = σταθ. ἤτοι ἀλλαγή <u>Ἀδιάθερμος</u>

Εἰς τάς θερμικάς μηχανάς προσπαθοῦμεν νά ἔχωμεν ὅσον τό δυνατόν ἀλλαγάς καταστάσεως ἰσοθέρμους καί ἀδιαθέρμους οὐδέποτε ὅμως ἐπιτυγχάνομεν τοῦτο. Συνήθως ὅμως ἐπιτυγχάνομεν πολυτροπικάς ἀλλαγάς εἰς τάς ὁποίας τό η ἔχει τιμάς μεταξύ 1 (ἰσόθερμος) καί 1.4 (ἀδιάθερμος).

Συνήθως μία ἀλλαγή καταστάσεως δύναται νά χωρισθῇ εἰς τμήματα, ἕκαστον τῶν ὁποίων εἶναι μία πολυτροπική ἀλλαγή καταστάσεως, εἰς τά διάφορα ὅμως τμήματα τό η ἔχει διαφόρους τιμάς.

Ἀποδεικνύεται ὅτι εἰς τήν πολυτροπικήν ἀλλαγήν καταστάσεως τό ἀέριον ἔχει εἰδικήν θερμότητα λ διάφορον τῆς C_p καί C_v τήν ὁποίαν εὑρίσκομεν ἐκ τῆς σχέσεως.

$$\lambda = \frac{C_p - \eta \cdot C_v}{1-\eta} \quad \ldots\ldots\ldots (53)$$

ὁπότε ἡ προσδιδομένη θερμότης εἶναι

$$Q = \lambda \cdot (T_2 - T_1) = \frac{C_p - \eta \cdot C_v}{1-\eta} \cdot (T_2 - T_1) \quad \ldots\ldots (54)$$

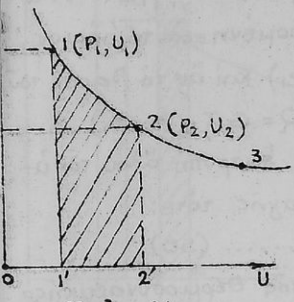
Ἀποδεικνύεται ὁμοίως ὅπως καί διά τήν ἀδιάθερμον ἀλλαγήν καταστάσεως ὅτι διά τήν πολυτροπικήν ἰσχύουν αἱ σχέσεις:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^{\eta-1} \quad \ldots\ldots\ldots (55)$$

$$L = \frac{1}{\eta-1}\left(P_1U_1 - P_2 - U_2\right) \quad \ldots\ldots (56)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-\eta}{\eta}} \quad \ldots\ldots\ldots (57)$$

Ἐάν διά τινος τρόπου ἐπιτύχωμεν νά ἔχωμεν τό γραφικόν διάγραμμα τῶν ὄγκων μιᾶς πολυτροπικῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως τότε ἐκ τοῦ διαγράμματος τούτου δυνάμεθα νά εὕρωμεν τήν τιμήν η καί νά ἐλέγξωμεν ἐάν τό η εἶναι σταθερόν δι' ὅλην τήν ἀλλαγὴν καταστάσεως.



Σχῆμ 21

Πράγματι: ἐκ τῆς σχέσεως (56) ἔχομεν

$$\eta = \frac{P_1U_1 - P_2U_2 + L}{L} = \frac{(P_1U_1 + L) - P_2U_2}{L}$$

ἀλλὰ ἐκ τοῦ διαγράμματος ἔχομεν

(Σχ. 21) P_1U_1 = ἐμβαδὸν 11'01''

P_2U_2 = " 22'02''

L = " 12'2'1'

ἄρα $\dfrac{(\text{Εμβαδ. } 11'01'' + \text{ἐμβαδ. } 12\,2'1') - \text{ἐμβαδ. } 22'02''}{\text{ἐμβαδ. } 122'1'}$

ἢ $\eta = \dfrac{\text{ἐμβαδόν. } 12.2'1''}{\text{ἐμβαδὸν } 122'1'}$,

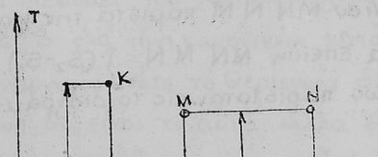
Ἐπομένως δι' ἐμβαδομετρήσεως δυνάμεθα νὰ εὕρωμεν τὴν τιμὴν τοῦ η διὰ τὸ τμῆμα 1-2 τῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως.

Κατὰ τὸν ἴδιον τρόπον δυνάμεθα νὰ εὕρωμεν τὴν τιμὴν τοῦ η διὰ τὸ τμῆμα 2-3 κ.ο.κ.

η) Θερμικὸν διάγραμμα καὶ ἐντροπή

Ὡς γνωστὸν εἰς μίαν ἀλλαγὴν καταστάσεως εὑρίσκομεν τὸ παραχθὲν ἔργον δι' ἐμβαδομετρήσεως τοῦ διαγράμματος τῶν ὄγκων (ὡς δεικνύει τὸ Σχ. 16).

Εἶναι σκόπιμον νὰ δυνάμεθα νὰ παραστήσωμεν καὶ τὴν προσδιδομένην εἰς τὸ ἀέριον θερμότητα γραφικῶς ἐπὶ ἑνὸς διαγράμματος. Οὕτω κατεσκευάσθη τὸ λεγόμενον Θερμικὸν ἢ ἐντροπικὸν διάγραμμα.



Σχῆμ. 22

Διὰ τὴν κατασκευὴν τοῦ διαγράμματος αὐτοῦ εἰσήχθη ἓν νέον μέγεθος εἰς τὴν θερμοδυναμικὴν τὸ ὁποῖον ἐκλήθη ἐντροπή.

Ἑκάστη κατάστασις μιᾶς ὡρισμένης ποσότητος ἀερίου χαρακτηρίζεται ἐκτὸς τῶν μεγεθῶν P, U, T, ἐπιπροσθέτως διὰ τοῦ μεγέθους τῆς ἐντροπῆς 1 Kg ἐκ τοῦ ἀερίου αὐτοῦ.

Ἡ ἔννοια τῆς ἐντροπῆς εἶναι ὅτι ἐὰν S_1 καὶ S_2 εἶναι ἡ ἐντροπὴ 1 kg ἐκ τοῦ ἀερίου εἰς τὴν ἀρχὴν καὶ τὸ τέλος μιᾶς ἰσοθέρμου ἀλλαγῆς καταστάσεως τότε ἡ θερμότης ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἀέριον κατὰ τὴν ἀλλαγὴν ταύτην εἶναι: $Q = T(S_2 - S_1)$ καὶ ἂν τὸ βάρος τοῦ ἀερίου εἶναι G kg τότε ἡ θερμότης εἶναι $Q = G \cdot T(S_2 - S_1)$. ἢ ἂν παραστήσωμεν διὰ $GS_1 = \mathfrak{S}_1$, $GS_2 = \mathfrak{S}_2$ = ἐντροπὴ ὅλου τοῦ ἀερίου εἰς τὴν ἀρχὴν καὶ τὸ τέλος τῆς ἀλλαγῆς τότε:

$$Q = T.(\mathfrak{S}_2 - \mathfrak{S}_1)^* \qquad (58)$$

Αὐτὴ εἶναι ἡ β^{α} θεμελιώδης ἐξίσωσις τῆς θερμοδυναμικῆς καὶ λέγει ὅτι:

Εἰς μίαν ἰσόθερμον ἀλλαγὴν καταστάσεως ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἀέριον θερμότης ἰσοῦται μὲ τὸ γινόμενον τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας αὐτοῦ ἐπὶ τὴν μεταβολὴν τῆς ἐντροπῆς του.

Εἰς τὸ θερμικὸν διάγραμμα λαμβάνομεν ἐπὶ ἑνὸς ἄξονος OT τὰς τιμὰς τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας T καὶ εἰς τὸν κάθετον ἐπ' αὐτοῦ ἄξονα OS τὰς τιμὰς τῆς ἐντροπῆς S 1 kg τοῦ ἀερίου. Μία κατάστασις οἱαδήποτε τοῦ ἀερίου παρίσταται ὑπὸ ἑνὸς σημείου τοῦ διαγράμματος ὡς καὶ εἰς τὸ διάγραμμα τῶν ὄγκων.

Εἰς τὸ διάγραμμα τοῦτο μία ἰσόθερμος ἀλλαγὴ καταστάσεως παρίσταται ὑπὸ εὐθείας MN (Σχ.22) παραλλήλου πρὸς τὸν ἄξονα OS. Τὸ ἐμβαδὸν δὲ τοῦ ὀρθογωνίου MN N'M' παριστᾶ τὴν προσδιδομένην εἰς τὸ ἀέριον θερμότητα ἐπειδὴ MN M'N' $= T.(S_2 - S_1)$

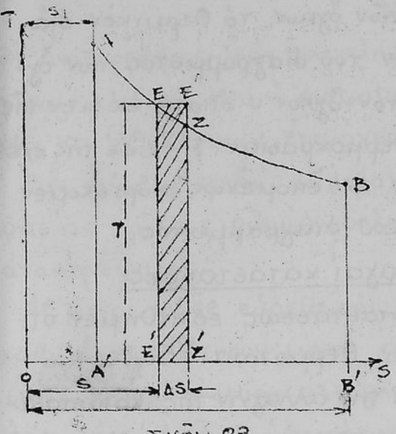
Μία οἱαδήποτε ἀλλαγὴ καταστάσεως παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα ὑπὸ καμπύλης AB (Σχ.23).

Ἐὰν λάβωμεν πολὺ μικρὸν τμῆμα τῆς καμπύλης ταύτης τὸ ΕΖ δυνάμεθα νὰ θεωρήσωμεν ὅτι εἰς τοῦτο ἡ θερμοκρασία T παραμένει σταθερά, ἐπομένως ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἀέριον θερμότης εἰς τὸ τμῆμα τοῦτο θὰ εἶναι:

$$Q = T\,(S + \Delta S - S) = T.\Delta S = \text{ἐμβαδὸν ΕΕ'Ζ'Ε}$$

---

*Ἡ ἀκριβὴς μορφὴ τῆς ἐξισώσεως εἶναι $dQ = T\,dS$ ἔνθα dQ, dS ἀντίστοιχοι μεταβολαὶ τοῦ Q, S ἀπειροελάχιστοι.



Σχῆμ 23

Ἐὰν χωρίσωμεν τὴν καμπύλην εἰς μικρὰ τμήματα τότε τὸ ἄθροισμα τῶν ἐμβαδῶν τῶν ὀρθογωνίων τούτων πλησιάζει τόσον περισσότερον πρὸς τὸ ἐμβαδὸν τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου ΑΒΒ'Α' ὅσον μεγαλύτερος εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν τμημάτων.

Ἀποδεικνύεται μαθηματικῶς ὅτι τὸ ἐμβαδὸν ΑΒΒ'Α' παριστᾶ ἀκριβῶς τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, τὸ ὁποῖον προσδίδεται εἰς τὸ ἀέριον κατὰ τὴν ἀλλαγὴν τῆς καταστάσεως ἤτοι: Q = Ἐμβαδ. ΑΒΒ'Α'.

Εἰς τὴν ἀδιάθερμον ἀλλαγὴν καταστάσεως ἔχομεν $Q=0$ ἄρα ἐμβαδὸν ΑΒΒ'Α' = 0 ἤτοι $S_2 - S_1 = 0$ ἐπομένως ἡ ἀλλαγὴ αὕτη εἰς τὸ διάγραμμα παρίσταται ὑπὸ εὐθείας ΚΛ παραλλήλου πρὸς τὸν ἄξονα ΟΤ. (Σχῆμ.22)

Διὰ νὰ κατασκευάσωμεν τὸ θερμικὸν διάγραμμα ὅταν γνωρίζομεν τὸ διάγραμμα τῶν ὄγκων πρέπει νὰ γνωρίζωμεν τὴν τιμὴν τῆς ἐντροπῆς τοῦ ἀερίου εἰς μίαν ὡρισμένην κατάστασιν αὐτοῦ.

Συνήθως δεχόμεθα $S=0$ διὰ 1 kg ἀερίου θερμοκρασίας 0°C καὶ πιέσεως 760 m/m ὑδραργύρου. Ἐὰν λάβωμεν ἄλλην τιμὴν τῆς S διὰ τὴν κανονικὴν κατάστασιν τοῦ ἀερίου (0°C καὶ 760 m/m ὑδραργύρου) τότε τὸ θερμικὸν διάγραμμα τῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως θὰ εἶναι τὸ αὐτὸ ἀλλὰ θὰ ἔχῃ ἄλλην θέσιν ὡς πρὸς τὸν ἄξονα ΟΤ (ἀριστερώτερα ἢ δεξιώτερα τοῦ προηγουμένου).

Ἐὰν λοιπὸν δεχθῶμεν $S=0$ διὰ 0°C καὶ πίεσιν 760 m/m ὑδραργύρου τότε ἡ ἐντροπὴ 1 kg ἀερίου ἀπολύτου θερμοκρασίας T καὶ ὄγκου U^o ἀποδεικνύεται ὅτι εἶναι:

$$S = 2.303 \left[C_v \text{λογ.} T + (C_p - C_v) \text{λογ} U \right] \quad \ldots\ldots (59)$$

Ἐκ τῆς σχέσεως αὐτῆς καὶ ἐκ τῆς σχέσεως $Pv = RT$ δυνάμεθα νά εὕρωμεν ἐκ τοῦ διαγράμματος τῶν ὄγκων, τό θερμικόν διάγραμμα. Διότι εἰς ἕκαστον σημεῖον τοῦ διαγράμματος τῶν ὄγκων γνωρίζομεν τήν πίεσιν P καί τόν ὄγκον $υ$ ὁπότε ἐκ μέν τῆς σχέσεως $Pυ=RT$ εὑρίσκομεν τήν θερμοκρασίαν T ἐκ δέ τῆς σχέσεως 59 εὑρίσκομεν τήν ἐντροπήν S ἑπομένως εὑρίσκομεν τό ἀντίστοιχον σημεῖον τοῦ θερμικοῦ διαγράμματος.

θ) <u>Ἀναστρέψιμοι καί μή ἀλλαγαί καταστάσεως</u>

Εἰς τήν μελέτην τῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως ἐδέχθημεν ὅτι τό ἀέριον κατά τήν ἀλλαγήν δέχεται θερμότητα ἔξωθεν καί διαστέλλεται. Δυνατόν ὅμως κατά τήν ἀλλαγήν τῆς καταστάσεώς του τό ἀέριον νά δίδῃ θερμότητα εἰς τό περιβάλλον τότε ἡ καμπύλη τῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως τῶν σωμάτων 18-19-20 δέν εἶναι Α-Β ἀλλά ἡ Β-Α λέγομεν δέ ὅτι τό ἀέριον συμπιέζεται ἐνῶ ὅταν ἡ ἀλλαγή καταστάσεως εἶναι ἡ Α-Β λέγομεν ὅτι τό ἀέριον <u>ἀποτονοῦται</u>

Καί εἰς τήν περίπτωσιν τῆς συμπιέσεως ἰσχύουν αἱ σχέσεις 48 ἕως 51 ἀλλά δίδουν διά τό ἔργον L καί τήν θερμότητα Q ἀρνητικά ἀποτελέσματα, ὅπερ σημαίνει ὅτι τό ἀέριον κατά τήν συμπίεσίν του ἀπορροφᾶ ἔργον ἔξωθεν καί ἀποδίδει θερμότητα εἰς τό περιβάλλον.

Ἐάν ἕνα ἀέριον δεχόμενον ἕνα ποσόν θερμότητος καί παράγον ἕνα ὡρισμένον ἔργον ἐκτελεῖ μίαν ἀλλαγήν καταστάσεως, δεχόμενον δέ ἴσον ποσόν ἔργου πρός ἐκεῖνο ποῦ ἔδωσε προηγουμένως καί ἀποδίδον ἴσην ποσότητα θερμότητος πρός ἐκείνην, ποῦ ἔλαβε ἐπανέρχεται εἰς τήν ἀρχικήν του κατάστασιν, τότε λέγομεν ὅτι ἡ ἀλλαγή καταστάσεως εἶναι <u>ἀναστρέψιμος</u>

Ἐάν ὅμως χρειάζεται μεγαλύτερον ποσόν ἔργου καί ἀποδίδει μικρότερον ποσόν θερμότητος διά νά φθάσῃ εἰς τήν ἀρχικήν του κατάστασιν τότε λέγομεν ὅτι ἡ ἀλλαγή εἶναι <u>μή ἀναστρέψιμος</u>

Εἰς τήν πρᾶξιν ἡ ἀλλαγή καταστάσεως ἑνός ἀερίου κεκλεισμένου ἐντός κυλίνδρου μέ κινητόν ἔμβολον δύναται νά θεωρηθῆ ἀναστρέψιμος ἐὰν παραληφθῇ ἡ ἐπίδρασις τῶν τριβῶν, οἱ στραγγαλισμοὶ καὶ ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας εἰς τὴν ἐσωτερικὴν καὶ ἐξωτερικὴν ἐπιφάνειαν τοῦ τοιχώματος τοῦ κυλίνδρου.

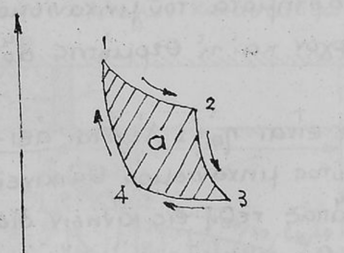
Ἐὰν ὅμως ἡ τριβή, οἱ στραγγαλισμοὶ καὶ ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας παίζουν οὐσιώδη ρόλον ἡ ἀλλαγὴ καταστάσεως δὲν εἶναι ἀναστρέψιμος.

Αἱ μέχρι τοῦδε εὑρεθεῖσαι σχέσεις 48 ἕως 57 τῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως ἰσχύουν μόνον δι' ἀναστρεψίμους ἀλλαγὰς καταστάσεων. π.χ. εἰς μίαν ἀλλαγὴν καταστάσεως ἀδιάθερμον ἐνῷ ἐὰν ἡ ἀλλαγὴ εἶναι ἀναστρέψιμος ἡ ἐντροπὴ θὰ εἶναι σταθερά, ἐὰν ἡ ἀλλαγὴ εἶναι μὴ ἀναστρέψιμος ἡ <u>ἐντροπὴ αὐξάνει διαρκῶς</u>.

1) <u>Κύκλοι ἀλλαγῶν καταστάσεως. Βαθμὸς ἀποδόσεως.</u>

Κύκλος ἀλλαγῶν καταστάσεως καλεῖται σειρὰ ἀλλαγῶν καταστάσεως μὲ τὰς ὁποίας τὸ ἀέριον ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀρχικήν του κατάστασιν.

Οὕτω σειρὰ τῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 ἀποτελεῖ κύκλον (Σχ. 24)



<u>Σχῆμ. 24</u>

Ὁ κύκλος λέγεται καὶ <u>κυκλικὴ λειτουργία</u>. Τὸ ἀέριον ἐπανερχόμενον εἰς τὸ τέλος εἰς τὴν ἀρχικήν του κατάστασιν δύναται νὰ ἐκτελέσῃ ἐκ νέου τὴν ἰδίαν κυκλικὴν λειτουργίαν, δύναται δὲ νὰ ἐπαναλάβῃ τοῦτο ἀπείρους φοράς.-

Τὸ ἔργον τὸ ὁποῖον ἀποδίδει συνολικῶς τὸ ἀέριον κατὰ τὴν κυκλικήν του λειτουργίαν εἶναι ἄθροισμα τῶν ἔργων θετικῶν (ὅταν τὰ ἀποδίδει τὸ ἀέριον) ἢ ἀρνητικῶν (ὅταν τὰ ἀπορροφᾷ) ὅλων τῶν μερικῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως τῆς λειτουργίας. Ἀποδεικνύεται εὐκόλως ὅτι τὸ ἔργον τοῦτο μετρεῖται ὑπὸ τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου α

Ἕνας κύκλος λέγεται <u>ἀναστρέψιμος</u> ὅταν κατὰ τὴν ἐκτέλεσιν τοῦ κύκλου ἡ αὔξησις τῆς ἐντροπῆς τοῦ ἀερίου εἶναι μηδενική ἤτοι ὅταν τό ἀέριον ἐπανερχόμενον εἰς τήν ἀρχικήν του κατάστασιν ἔχει τήν αὐτήν τιμήν ἐντροπῆς πού εἶχε καί ἀρχικῶς.

Ἐάν ἡ ἐντροπή μετά τήν ἐκτέλεσιν τοῦ κύκλου ἔχει αὐξηθῆ τότε ὁ κύκλος εἶναι μή ἀναστρέψιμος.

Ἐάν κατά τήν ἐκτέλεσιν ἑνός κύκλου λειτουργίας τό ἀέριον ἐκτελεῖ ἔργον L λαμβάνει δέ ἔξωθεν συνολικῶς θερμότητα Q τότε καλοῦμεν θερμοδυναμικόν ἤ θερμικόν βαθμόν ἀποδόσεως τοῦ κύκλου τό κλάσμα.

$$\eta_\theta = \frac{AL}{Q} \quad \ldots\ldots (60)$$

Τό η_θ εἶναι πάντοτε μικρότερον τῆς μονάδος, διότι μέρος μόνον τῆς θερμότητος μετατρέπεται εἰς μηχανικόν ἔργον ἐνῶ τό ὑπόλοιπον χάνεται εἰς τό περιβάλλον, τό ὁποῖον ἔχει μικροτέραν θερμοκρασίαν. Ἐκτός τούτου μέρος ἀκόμη τοῦ ὠφελίμου ἔργου μετατρέπεται ἐκ νέου εἰς θερμότητα λόγῳ τῶν τριβῶν, πού ἀναπτύσσονται εἰς τά κινούμενα ἐξαρτήματα τοῦ μηχανισμοῦ μετατροπῆς τῆς θερμότητος εἰς ἔργον καί ἡ θερμότης αὐτή χάνεται εἰς τό περιβάλλον.

Ὁ νοητός μηχανισμός εἰς τόν ὁποῖον εἶναι $\eta_\theta = 1$ λέγεται ἀεικίνητον πρώτου εἴδους. Ἕνας τοιοῦτος μηχανισμός θά κινεῖται ἄνευ τριβῶν καί ἐπομένως ἐάν ἅπαξ τεθῆ εἰς κίνησιν διά προσδόσεως ἔργου τινός θά ἐξακολουθῆ νά κινῆται ἐπ' ἄπειρον χωρίς πρόσδοσιν νέου ἔργου ἤ θερμότητος.

Ὁ νοητός μηχανισμός εἰς τόν ὁποῖον εἶναι $\eta_\theta > 1$ λέγεται ἀεικίνητον δευτέρου εἴδους. Οὗτος θά παράγῃ ὠφέλιμον ἔργον μεγαλύτερον ἀπό τήν προσδιδομένην εἰς αὐτόν θερμότητα.

Τό ἐπί πλέον ἔργον δύναται νά χρησιμοποιηθῆ διά τήν κίνησιν ἄλλων μηχανισμῶν, οἱ ὁποῖοι πλέον θά κινοῦνται πραγματικῶς χωρίς πρόσδοσιν ποσότητος τινός ἐνεργείας ἤτοι ἐκ τοῦ μηδενός.

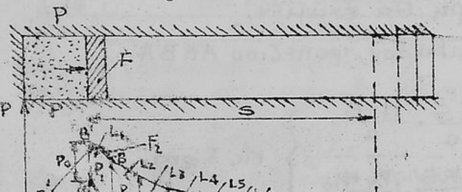
Τό ἀεικίνητον ἐπομένως δευτέρου εἴδους ἀντίκειται εἰς τήν ἀρχὴν τῆς διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας, διότι συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν αὐτὴν δὲν εἶναι δυνατὴ ἡ παραγωγὴ μηχανικοῦ ἔργου ἐκ τοῦ μηδενός, ἄρα εἶναι ἀδύνατον νὰ κατασκευασθῇ.

Τὸ ἀεικίνητον πρώτου εἴδους δὲν ἀντίκειται μὲν εἰς τὴν ὡς ἄνω ἀρχήν, εἶναι ὅμως καὶ αὐτὸ ἀδύνατον νὰ κατασκευασθῇ διότι οὐδεὶς μηχανισμὸς θὰ εἶναι δυνατὸν νὰ λειτουργήσῃ χωρὶς τριβὰς καὶ ἀπωλείας θερμότητος.

Αἱ προσπάθειαι τῶν τεχνικῶν εἶναι νὰ βελτιώσουν τὸν βαθμὸν ἀποδόσεως τῶν μηχανῶν ὥστε νὰ πλησιάσῃ οὗτος ὅσῳ τὸ δυνατὸν πρὸς τὴν μονάδα οὐδέποτε ὅμως θὰ κατασκευάσουν ἀεικίνητον.

1α) Πρακτικὴ ἐμβαδομέτρησις κύκλων ἀλλαγῶν καταστάσεως. Μέση πίεσις.

Κατωτέρω θὰ δώσωμεν πρακτικὸν τρόπον εὑρέσεως τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ διαγράμματος τῶν ὄγκων τοῦ ἀντιστοιχοῦντος εἰς τὸν κύκλον ἀλλαγῶν καταστάσεως.



Σχῆμ: 25

Ἔστω τὸ ἐντὸς κυλίνδρου μὲ κινητὸν ἔμβολον ἀέριον ἐκτελεῖ τὸν κύκλον τοῦ Σχ. 25. Εἴπαμεν ὅτι τὸ ἔργον ποὺ ἐκτελεῖ τὸ ἀέριον εἶναι ἴσον πρὸς τὸ ἐμβαδὸν τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου, ποὺ περικλείει ὁ κύκλος.

Διὰ τὴν εὕρεσιν τοῦ ἐμβαδοῦ τούτου χωρίζομεν τὸν ὄγκον διαδρομῆς V τοῦ ἐμβόλου εἰς ἴσα μέρη καὶ φέρομεν ἐκ τῶν σημείων τῆς διαιρέσεως καθέτους ἐπὶ τὸν ἄξονα OU.

Ἔστωσαν P_1 P_2 P_3 ...... P_9 τὰ μήκη τῶν καθέτων τούτων τὰ περιλαμβανόμενα μεταξὺ τῶν γραμμῶν τῆς περιμέτρου τοῦ κύκλου

Τὸ ἐμβαδὸν οὕτω χωρίζεται εἰς μικρὰ ἐμβαδὰ ἕκαστον τῶν ὁποίων ἀντιστοιχεῖ ἕνα ἔργον $L_1, L_2, L_3 \ldots\ldots\ldots L_{10}$.

Ὁπότε τὸ ἔργον $L = L_1 + L_2 + L_3 \ldots\ldots\ldots + L_{10}$

Τὰ ἐμβαδὰ $L_2 \ldots\ldots L_9$ εἶναι φανερὸν ὅτι δύναται χωρὶς μεγάλον λάθος νὰ ληφθοῦν ὡς ἐμβαδὰ τραπεζίων. Τὸ τμῆμα L_1 δύναται καὶ αὐτὸ νὰ μετατραπῇ εἰς τραπέζιον ἐὰν φέρωμεν εὐθείας AA', BB' τοιαύτας ὥστε κατ' ἐκτίμησιν τὸ ἐμβαδὸν F_1 τοῦ κύκλου τὸ ὁποῖον ἡ AA' ἀφήνει ἐκτὸς νὰ ἰσοῦται μὲ τὸ F_1' τὸ ὁποῖον διὰ τῆς AA' εἰσάγεται ἐντὸς τοῦ κύκλου, ὁμοίως δὲ $F_2 = F_2'$ ἤτοι τὸ ἐμβαδὸν τοῦ καμπυλογράμμου χωρίου νὰ ἰσοῦται μὲ τὸ ἐμβαδὸν τοῦ τραπεζίου $AAB'A'$.

Ὁμοίως καὶ τὸ τμῆμα L_{10} μετατρέπεται εἰς ἰσοδύναμον τραπέζιον $\Gamma\Delta\Delta'\Gamma'$.

Ἐὰν F εἰς m^2 εἶναι τὸ ἐμβαδὸν τῆς ἐπιφανείας τοῦ ἐμβόλου, S εἰς m ἡ διαδρομὴ τοῦ ἐμβόλου καὶ αἱ πιέσεις τοῦ ἀερίου δίδονται εἰς Kg/m^2 τότε ἐὰν ὡς εἰς τὸ σχῆμα χωρίσωμεν τὴν διαδρομὴν S εἰς 10 ἴσα μέρη θὰ ἔχωμεν.

$$L_1 = \frac{V}{10} \cdot \frac{P_0+P_1}{2} = \frac{F.S}{10} \cdot \frac{P_0+P_1}{2} = \text{ἐμβαδὸν τραπεζίου } ABB'A'$$

$$\left.\begin{aligned} \text{Ὁμοίως } L_2 &= \frac{V}{10} \cdot \frac{P_1+P_2}{2} = \frac{F.S}{10} \cdot \frac{P_1+P_2}{2} \\ &\text{-----------------} \\ L_{10} &= \frac{V}{10} \cdot \frac{P_9+P_{10}}{2} = \frac{F.S}{10} \cdot \frac{P_9+P_{10}}{2} \end{aligned}\right\} \text{ εἰς } Kgm.$$

$$\text{ἄρα } L = \frac{F.S}{10} \cdot \frac{(P_0 + 2P_1 + 2P_2 + \ldots\ldots\ldots 2P_9 + P_{10})}{2}$$

$$= \frac{F.S}{10} \cdot \left(\frac{P_0}{2} + P_1 + P_2 + \ldots\ldots\ldots + P_9 + \frac{P_{10}}{2}\right) \quad Kgm$$

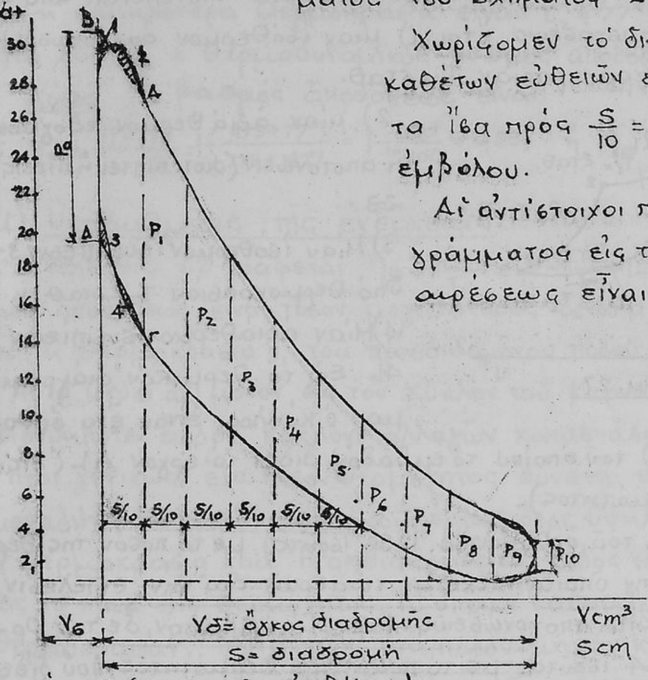
ἐὰν θέσωμεν: $P_m = \frac{1}{10}\left(\frac{P_0}{2} + P_1 + P_2 \ldots\ldots P_9 + \frac{P_{10}}{2}\right)$

$$\text{Τότε } L = F.S \cdot P_m = V \cdot P_m \quad Kgm \ldots\ldots (61)$$

Ἤτοι τὸ ἀέριον θὰ ἐκτελοῦσε τὸ ἴδιον ἔργον ἐὰν ὁ κύκλος ἦτο ἕνα ὀρθογώνιον μὲ βάσιν V καὶ ὕψος ἴσον πρὸς P_m.

Διὰ τὸν λόγον τοῦτον τὸ P_m λέγεται <u>μέση πίεσις</u> τοῦ διαγράμματος τοῦ κύκλου τῶν ἀλλαγῶν καταστάσεως.

<u>Παράδειγμα:</u> Νά εὑρεθῇ ἡ μέση πίεσις τοῦ διαγράμματος τοῦ σχήματος 26.



Χωρίζομεν τό διάγραμμα διά καθέτων εὐθειῶν εἰς 10 τμήματα ἴσα πρός $\frac{S}{10} = \frac{1}{10}$ διαδρομῆς ἐμβόλου.

Αἱ ἀντίστοιχοι πιέσεις τοῦ διαγράμματος εἰς τά σημεῖα διαιρέσεως εἶναι:

P_1 = 12.8 at
P_2 = 11. at
P_3 9.3 at
P_4 8 at
P_5 6.6 at
P_6 5.7 at
P_7 4.7 at
P_8 4 at
P_9 3.3 at

Κλίμαξ (διαδρομῆς ἐμβόλου)
3 m/m = 1at, 1 m/m = 200 m³, 1 m/m = 2 m/m

<u>Σχῆμ.26</u>

Φέρω εὐθείαν ΑΒ ὥστε τρίγωνον 1= τρίγωνον 2 καί τήν ΓΔ ὥστε τρίγωνον 3= τρίγωνον 4.

Οὕτω εὑρίσκομεν τήν ἀρχικήν τεταγμένην P_0= 11.7 at
ὁμοίως εὑρίσκομεν τήν τελικήν —||— P_{10}= 1.6 at
Ἄρα ἡ μέση πίεσις εἶναι

$$P_m = \frac{1}{10}\left(\frac{P_0}{2} + P_1 + P_2 + \ldots\ldots + P_9 + \frac{P_{10}}{2}\right)$$

$$= \frac{1}{10}\left(\frac{11.7}{2} + 12.8 + 11 + 9.3 + 8 + 6.6 + 5.7 + 4.7 + 4 + 3.3 + \frac{1.6}{2}\right)$$

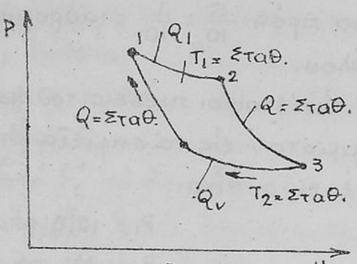
$$= \frac{1}{10}\left(5.85 + 12.8 + 11 + 9.3 + 8 + 6.6 + 5.7 + 4.7 + 4 + 3.3 + 0.8\right)$$

$$= \frac{1}{10}\left(84.05\right)$$

$$\cong 8{,}4 \text{ at}$$

ιβ) Κύκλος Καρνώ (Garnot)

Ὁ κύκλος, τὸν ὁποῖον ἐμελέτησεν ὁ Καρνώ ἀποτελεῖται ἀπό 4 ἀλλαγάς καταστάσεως ἤτοι 1) μίαν ἰσόθερμον ἀποτόνωσιν 1-2 Σχ. 27 ὑπό θερμοκρασίαν T_1 = σταθ.



Σχῆμ. 27

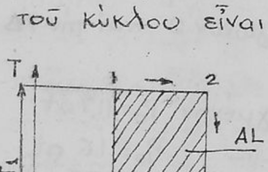
2) μίαν ἀδιάθερμον ἐξόγκωσιν ἤ ἀποτόνωσιν (διότι πίπτει ἡ πίεσις) 2-3.

3) Μίαν ἰσόθερμον συμπίεσιν 3-4 ὑπό θερμοκρασίαν T_2 = σταθ. Κ

4) Μίαν ἀδιάθερμον συμπίεσιν 4-1. Εἰς τό θερμικόν διάγραμμα ὁ κύκλος εἶναι ἕνα ὀρθογώνιον (Σχ. 28) τοῦ ὁποίου τό ἐμβαδόν δίδει τό ἔργον AL (εἰς μονάδας θερμότητος).

Τό ἐμβαδόν τοῦ ὀρθογωνίου 1256 ἰσοῦται μέ τό ποσόν τῆς θερμότητος Q, τήν ὁποίαν δέχεται τό ἀέριον διά τήν ἐκτέλεσιν τῆς ἰσοθερμικῆς ἀποτονώσεως 1-2. Τό ἐμβαδόν δέ τοῦ ὀρθογωνίου 3564 ἰσοῦται μέ τό ποσόν τῆς θερμότητος, πού δίδει τό ἀέριον εἰς τό περιβάλλον κατά τήν ἐκτέλεσιν τῆς ἰσοθερμικῆς συμπιέσεως 3-4. Ὁ θερμικός βαθμός ἀποδόσεως τοῦ κύκλου εἶναι:

$$\eta_\theta = \frac{AL}{Q_1} = \frac{(T_1 - T_2) \cdot S}{T_1 \cdot S} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \ldots\ldots (62)$$



Σχῆμ 28

Διά τόν κύκλον τοῦ Καρνώ ἀποδεικνύεται θεωρητικῶς ὅτι.

1) Οὗτος ἔχει τόν μέγιστον βαθμόν ἀποδόσεως ἀπό οἱονδήποτε ἄλλον κύκλον

2) Ὁ βαθμός ἀποδόσεώς του ἔχει τό αὐτό μέγεθος $\eta_\theta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ἀνεξαρτήτως τοῦ σώματος, τό ὁποῖον ἐκτελεῖ τόν κύκλον.

<u>Παράδειγμα</u>: Μία μηχανή ἐργάζεται συμφώνως πρός τόν κύκλον τοῦ Καρνώ.

Ἡ θερμοκρασία κατὰ τὴν καῦσιν φθάνει εἰς τοὺς $t_1 = 827°C$ καὶ ἡ χαμηλοτέρα θερμοκρασία εἶναι $t_2 = 77°C$.
Νὰ εὑρεθῇ ὁ θερμοδυναμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς.
Λύσις ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως εἶναι

$$\eta_\theta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{273+77}{273+1827} = 1 - \frac{350}{2100} = 0{,}833 \quad \text{ἢ} \quad \eta_\theta = 83{,}3\%$$

ιι) Ὑποβάθμισις τῆς ἐνεργείας

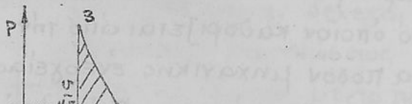
Ἡ ἐξίσωσις 62 γράφεται $\eta_\theta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{T_1}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ἤτοι ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως εἶναι τόσον μεγαλύτερος ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία T_1 τοῦ προσδιδομένου ποσοῦ θερμότητος Q_1.
Αὐτὸ ἰσχύει ὄχι μόνον εἰς τὸν Κύκλον τοῦ Καρνὼ ἀλλὰ καὶ εἰς οἱονδήποτε ἄλλον κύκλον ἀλλαγῶν καταστάσεως.
Ἤτοι γενικῶς ἕνα ποσὸν θερμότητος δύναται νὰ δώσῃ τόσον μεγαλύτερον ποσὸν μηχανικοῦ ἔργου ὅσον ὑψηλοτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία του. Ἤτοι διακρίνομεν εἶδος τι ποιότητος εἰς τὰ ποσὰ τῆς θερμότητος, τὸ ὁποῖον καθορίζεται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν. Τοὐναντίον ἕνα ποσὸν μηχανικῆς ἐνεργείας δύναται νὰ μετατραπῇ ὁλόκληρον εἰς θερμότητα. Τὰ αὐτὰ συμβαίνουν καὶ εἰς τὰς ἄλλας μορφὰς ἐνεργείας.
Οὕτω οὐδέποτε μία ποσότης ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας δύναται νὰ μετατραπῇ ὁλόκληρος εἰς ἔργον.
Διὰ τοῦτο ἡ θερμότης καὶ ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια εἶναι κατωτέρα τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας. Πᾶσαι αἱ μορφαὶ τῆς ἐνεργείας κατὰ τὰς μετατροπάς των τείνουν νὰ μεταβληθοῦν εἰς ἐνέργειαν κατωτέρας ποιότητος ἤτοι εἰς θερμότητα.
Ἡ δὲ θερμικὴ ἐνέργεια κατὰ τὴν μετατροπήν της εἰς μηχανικὸν ἔργον μετατρέπεται ἐν μέρει καὶ εἰς θερμικὴν ἐνέργειαν κατωτέρας θερμοκρασίας ἤτοι κατωτέρας ποιότητος.
Ἡ ἀρχὴ αὐτὴ εἶναι ἡ καλουμένη ἀρχὴ τῆς ὑποβαθμίσεως τῆς ἐνεργείας. Ἤτοι ἡ ἐνέργεια διατηρεῖται μὲν κατὰ ποσὸν ἀλλὰ ὑποβαθμίζεται κατὰ ποιόν. Οὕτω μηχανικὴ ἐνέργεια

δύναται νὰ μετατραπῇ ὁλόκληρος εἰς θερμότητα ἡ ὁποία εἶναι κατωτέρα μορφὴ ἐνεργείας. Κατὰ τὰς διαφόρους φυσικὰς μετατροπὰς τῆς ἐνεργείας ὡς εἶναι ἡ μετάβασις τῆς θερμότητος ἀπὸ σώματος τινὸς θερμοῦ εἰς ἄλλον ψυχρόν, ἡ θερμαντικὴ ἐνέργεια διατηρεῖται μὲν κατὰ ποσόν, ὑποβαθμίζεται ὅμως κατὰ ποιόν ἀφ᾽ ἑαυτῆς. Ὁμοίως ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια τείνει ἀφ᾽ ἑαυτῆς ν.. μετατραπῇ εἰς θερμότητα.

Οὕτω εἰς τὸ σύμπαν ἡ ἐνέργεια αὐτοῦ διαρκῶς ὑποβαθμίζεται μέχρις ὅτου μετατραπῇ ὁλόκληρος εἰς θερμότητα τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας, ὁπότε πᾶσα κίνησις καὶ ἐπομένως πᾶσα ζωὴ θὰ ἐκλείψῃ καὶ τότε θὰ ἐπέλθῃ ὁ λεγόμενος θερμικὸς θάνατος.

λ) Ἐφαρμογαὶ εἰς τὰς μηχανὰς ἐσωτερικῆς καύσεως.

Α! Τετράχρονος μηχανὴ ἐκρήξεως (Μηχανὴ otto)



Σχῆμ 29

Ὁ θεωρητικὸς κύκλος λειτουργείας τῆς μηχανῆς αὐτῆς εἶναι ὁ ἑξῆς.

α) ἀναρρόφησις τοῦ καυσίμου μίγματος ὑπὸ πίεσιν ἴσην πρὸς τὴν ἀτμοσφαιρικήν. Ἡ ἀλλαγὴ καταστάσεως παρίσταται διὰ τῆς ὁριζοντίου εὐθείας 5-1 (Σχ. 29)

β) Συμπίεσις ἀδιάθερμος τοῦ καυσίμου μίγματος μέχρις ὅτου τὸ ἔμβολον φθάσῃ εἰς τὸ Α.Ν.Σ. Ἡ ἀλλαγὴ παρίσταται ὑπὸ τῆς καμπύλης 1-2.

γ) Ἀνάφλεξις καὶ ἀκαριαία καῦσις τοῦ καυσίμου μίγματος ὑπὸ ὄγκον σταθερόν. (ἐνῶ τὸ ἔμβολον δὲν μετακινεῖται ἀπὸ τὸ Α.Ν.Σ.)

Ἡ ἀλλαγὴ παρίσταται ὑπὸ τῆς κατακορύφου εὐθείας 2 – 3.

δ) Ἀδιάθερμος ἀποτόνωσις τῶν καυσαερίων καὶ παραγωγὴ μηχανικοῦ ἔργου μέχρις ὅτου τὸ ἔμβολον ἔλθῃ εἰς τὸ Κ.Ν.Σ. Ἡ ἀλλαγὴ παρίσταται ὑπὸ τῆς καμπύλης 3 – 4

ε) Ἡ ἐξαγωγὴ τῶν καυσαερίων πρῶτον ὑπὸ ὄγκον σταθερὸν κατὰ τὴν εὐθεῖαν 4 – 1 καὶ ἔπειτα ὑπὸ πίεσιν σταθερὰν ἴσην πρὸς 1 at. κατὰ τὴν εὐθεῖαν 1 – 5.

Ὁ κύκλος συμπληροῦται εἰς 4 διαδοχικὰς διαδρομὰς τοῦ ἐμβόλου ἐξ᾽ οὗ ἡ μηχανὴ λέγεται τετράχρονος.

Ἔστωσαν: $P_1\ V_1\ T_1$ ἡ πίεσις, ὁ ὄγκος, καὶ ἡ ἀπόλυτος θερμ. εἰς 1

$P_2\ V_2\ T_2$ " " " " θερμ εἰς τὸ σημ 2

$P_3\ V_3\ T_3$ " " " " " " " " 3

$P_4\ V_4\ T_4$ " " " " " " " " 4

Ἡ παραγομένη κατὰ τὴν καῦσιν θερμότης εἶναι: $Q_1 = G \cdot C_v \cdot (T_3 - T_2)$ ἔνθα G εἶναι τὸ βάρος τοῦ καυσίμου μίγματος C_v = ἡ εἰδικὴ θερμότης αὐτοῦ ὑπὸ ὄγκον σταθερὸν (διότι ἡ καῦσις γίνεται ὑπὸ ὄγκον σταθερὸν) καὶ $T_3 - T_2$ ἡ αὔξησις τῆς θερμοκρασίας κατὰ τὴν καῦσιν.

Ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως τοῦ κύκλου εἶναι: $\eta_\theta = \frac{AL}{Q}$

Τὸ ἔργον L εἶναι $L = L_1 - L_2$ ἔνθα L_1 εἶναι τὸ ἔργον ποὺ παράγει τὸ ἀέριον κατὰ τὴν ἀποτόνωσιν καὶ L_2 τὸ ἔργον ποὺ ἀπορροφᾶ τοῦτο κατὰ τὴν συμπίεσιν εἶναι δέ: (σελὶς 70)

$$L_1 = G \cdot \frac{P_3 U_3 - P_4 U_4}{K-1}$$

καὶ $$L_2 = G \cdot \frac{P_2 U_2 - P_1 U_1}{K-1}$$

ἄρα $$\eta_\theta = \frac{AG \cdot (P_3 U_3 - P_4 U_4 - P_2 U_2 + P_1 U_1)}{G \cdot (K-1) \cdot C_v \cdot (T_3 - T_2)}$$

Ἐὰν λάβωμεν ὑπ᾽ ὄψιν ὅτι $C_v(K-1) = AR$, $P_2 U_2^k = P_1 U_1^k$, $P_3 V_3^k = P_4 V_4^k$, $P_3 V_3 = P_3 V_5 = RT_3$, $P_4 V_4 = P_4 V_1 = RT_4$, $P_1 V_1 = RT_1$, $P_2 V_2 = RT_2$.

Τότε ἐὰν ἐκτελέσωμεν τὰς πράξεις θὰ λάβωμεν τελικῶς

$$\eta_\theta = 1 - \varepsilon^{1-k} \ldots\ldots\ldots (63)$$

Ἔνθα ε = ἡ σχέσις συμπιέσεως ἢ $\varepsilon = \frac{V_1}{V_5}$

Ἤτοι βλέπομεν ὅτι ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς ἐκρήξεως αὐξάνει αὐξανομένης τῆς σχέσεως συμπιέσεως αὐτῆς.

Ἕνεκα τούτου αἱ ἀεροπορικαὶ μηχαναὶ ἐκρήξεως ἔχουν μεγάλην σχέσιν συμπιέσεως. Ἡ σχέσις ὅμως συμπιέσεως πρέπει νὰ εἶναι τοιαύτη, ὥστε ἡ θερμοκρασία τοῦ καυσίμου μίγματος κατὰ τὸ τέλος τῆς συμπιέσεως νὰ μὴ ὑπερβαίνῃ τὴν θερμοκρασίαν ἀναφλέξεως τοῦ μίγματος ἵνα μὴ τοῦτο ἀναφλέγεται προώρως καὶ ἐνεργῇ ἀντιθέτως.

<u>Παράδειγμα</u>: Μία μηχανὴ τετράχρονος ἐκρήξεως λαμβάνει κατὰ τὴν ἀναρρόφησιν 1 kg μίγματος πιέσεως 1 at καὶ θερμοκρασίας 77°C. Ἡ θερμοκρασία κατὰ τὴν συμπίεσιν πρέπει νὰ εἶναι 477°C καὶ ἡ μεγίστη πίεσις νὰ μὴ ὑπερβαίνῃ τὰς 40 at.

Νὰ καθορισθοῦν τὰ μεγέθη, P, U, t εἰς τὰ σημεῖα 1, 2, 3, 4 καθὼς καὶ τὸ ἀποδιδόμενον ἔργον, ἡ προσδιδομένη θερμότης κατὰ τὴν ἀνάφλεξιν καὶ ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως.

<u>Λύσις</u>: <u>Σημεῖον 1</u>. Ἡ θερμοκρασία $T_1 = 273 + 77 = 350°$ $P_1 = 1at = 10.000\ kg/m^2$

$$\text{ἄρα } U_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{29.27 \cdot 350}{10.000} = 1{,}025\ m^3$$

<u>Σημεῖον 2.</u> Ἡ θερμοκρασία $T_2 = 273 + 477 = 750°$ ἔχομεν:

$\frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{750} = 0.467$ ἐπειδὴ δὲ ἡ 1-2 γίνεται ἀδιαθέρμως ἔχομεν $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^{k-1}$ ἢ ἐκ τοῦ πίνακος V τῆς σελ. 71 ἔχομεν $\frac{U_1}{U_2} \cong 6.72$

(διὰ $\frac{T_1}{T_2} = 0{,}459$ εὑρίσκομεν ἐκ τοῦ πίνακος $\frac{U_1}{U_2} = 7$, διὰ $\frac{T_1}{T_2} = 0.488$ ἔχομεν $\frac{U_1}{U_2} = 6$ ὁπότε διὰ $\frac{T_1}{T_2} = 0.467$ ἔχομεν

$$\frac{U_1}{U_2} \cong 6 + 1 \cdot \frac{(0.488 - 0.467)}{(0.488 - 0.459)} = 6 + \frac{0.021}{0.029} = 6.72)$$ καὶ $\frac{P_1}{P_2} = 0.070$ ἐξ οὗ

$$U_2 = \frac{U_1}{6.72} = \frac{1{,}025}{6{,}72} = 0{,}153\ m^3 \text{ καὶ } P_2 = \frac{P_1}{0.070} = \frac{10.000}{0.070} = 143.000\ kg/m^2 = 143 at$$

<u>Σημεῖον 3</u> Δίδεται $P_3 = 40\ at = 400.000\ kg/m^2$ ἔχομεν δὲ καὶ $U_3 = U_2 = 0{,}153\ m^3$. Ἀλλὰ $\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2}$ (ἀλλαγὴ ὑπὸ ὄγκον σταθερόν)

$$\text{ἄρα } T_3 = T_2 \cdot \frac{P_3}{P_2} = 750 \cdot \frac{400.000}{143\,000} = 2100° \text{ ἢ } t_3 = 2100 - 273 = 1827°C.$$

Σημεῖον 4 Ἔχομεν $U_4 = U_1 = 1{,}025\, m^3$ καὶ $\frac{U_4}{U_3} = \frac{U_1}{U_2} = 6.72$

Ἐπειδὴ δὲ καὶ ἡ 3-4 γίνεται ἀδιαθέρμως ἐκ τοῦ πίνακος V τῆς σελ. 71 θὰ λάβωμεν πάλιν $\frac{T_4}{T_3} = 0.467$ καὶ $\frac{P_4}{P_3} = 0{,}070$ ἄρα:

$T_4 = 0.467 \cdot 2100 = 980°$ καὶ $t_4 = 980 - 273 = 707°C$ καὶ $P_4 = 0{,}070 \cdot 40 = 2{,}8\, at$

Ἡ προσδιδομένη θερμότης εἰς τὸ ἀέριον κατὰ τὴν ἔκρηξιν εἶναι:

$$Q = C_U \cdot (T_3 - T_2) = 0{,}172 \cdot (2100 - 750) = 232\ Kcal. \ (\text{τὸ } G = 1)$$

Τὸ ἔργον τῆς ἀποτονώσεως εἶναι $L_1 = \frac{P_3U_3 - P_4U_4}{K-1} = \frac{400.000 \cdot 0.153 \quad 28000 \cdot 1{,}025}{1{,}4-1}$

ἢ $L_1 \simeq 81600\ Kgm$.

(Τὸ L_1 εὑρίσκεται καὶ ἐκ τῆς σχέσεως $L_1 = C_3 \cdot P_3U_3$ τὸ δὲ C_3 ἐκ τοῦ πίνακος V τῆς σελ. 71 εἶναι $C_2 = 1.332$ ἄρα

$L_1 = 1332 \cdot 400.000 \cdot 0.153 = 81600\ Kgm$)

τὸ ἔργον κατὰ τὴν συμπίεσιν εἶναι:

$L_1 = \frac{P_2U_2 - P_1U_1}{K-1} = \frac{3000 \cdot 0{,}153 - 10.000 \cdot 1{,}025}{0.4}$ ἢ $L_2 = 29{,}000\ Kgm$.

ἄρα τὸ ὑπὸ τοῦ ἀερίου εἰς τὸ ἔμβολον ἀποδιδόμενον ἔργον εἶναι:

$$L = L_1 - L_2 = 81{,}600 - 29{,}000 = 52.600\ Kgm.$$

ἄρα ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς εἶναι:

$$\eta_\theta = \frac{AL}{Q_1} = \frac{\frac{1}{427} \cdot 52600}{232} = 0{,}53 = \text{ ἢ } \eta_\theta = 0{,}53 = 53\%$$

Τὸ η_θ εὑρίσκομεν καὶ ἐκ τῆς σχέσεως $\eta_\theta = 1 - \varepsilon^{1-K}$

ἔνθα $\varepsilon = \frac{V_1}{V_5} = \frac{V_1}{V_2} = 6.72$

ἄρα $\eta_\theta = 1 - (6.72)^{1-1{,}4} = 1 - 6.72^{-0.4} = 1 - \frac{1}{6.72^{0{,}4}} = 1 - \frac{1}{2.13} = 1 - 0.470 = 0{,}530$

ἢ $\eta_\theta = 53\%$

Ὁ ὄγκος τῆς διαδρομῆς εἶναι $V_\delta = V_1 - V_2 = 1.025 - 0{,}153 = 0{,}872\, m^3$

Ἡ μέση πίεσις τοῦ κύκλου εἶναι $P_m = \frac{L}{V_\delta} = \frac{52{,}600}{0.872} = 60{,}300\ Kg/m^2$

ἢ $P_m = 6.03\ at$.

B) Τετράχρονος μηχανὴ Ντῆζελ (Diesel)

Ὁ θεωρητικὸς κύκλος λειτουργίας εἶναι ὁ ἑξῆς: (Σχ. 30)

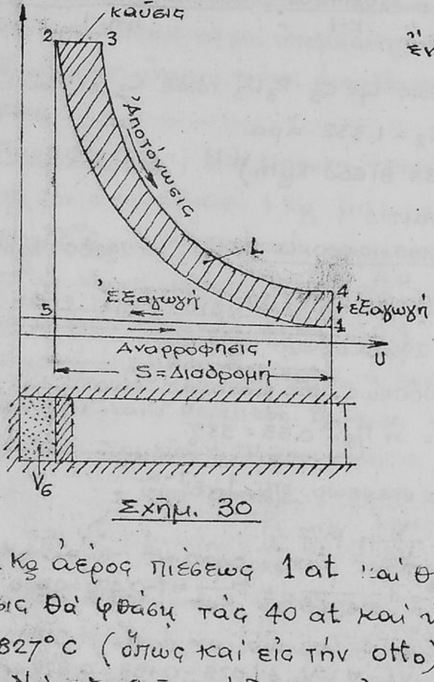
1) Ἀναρρόφησις καθαροῦ ἀέρος γραμμὴ 5-1 2) Συμπίεσις ἀδιάθερμος ἀέρος γραμμὴ 1-2, 3) Καῦσις ἰσόθλιβος γραμ. 2-3 4) Ἀποτόνωσις ἀδιάθερμος ἀέρος γραμμὴ 3-4.

5) ἐξαγωγή $\begin{cases} \text{α) ὑπό ὄγκον σταθερόν γραμμή 4-1} \\ \text{β) " πίεσιν " " 1-5} \end{cases}$

Ἡ καῦσις γίνεται δι' ἐκτοξεύσεως βαθμιαίως καυσίμου ὑγροῦ (πετρελαίου) ἀπό τοῦ σημείου 2 ἕως 3.

Ἔστω πάλιν σχέσις συμπιέσεως $\varepsilon = \frac{V_1}{V_5}$. Ἔστω δέ $\sigma = \frac{V_3}{V_2}$ βαθμ. καύσεως.

Τότε ἀποδεικνύεται ὅτι ὁ βαθμός ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς εἶναι:



Σχήμ. 30

$$\left.\begin{aligned} \eta_\theta &= 1-\varepsilon^{1-k}\cdot\delta \\ \text{ἔνθα}\quad \delta &= \frac{1}{k}\cdot\frac{\sigma^{k-1}}{\sigma-1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (64)$$

Ἡ σχέσις λέγει ὅτι ὁ βαθμός ἀποδόσεως αὐξάνει πάλιν αὐξανομένης τῆς σχέσεως συμπιέσεως ἀλλά ὀλιγώτερον παρά εἰς τήν μηχανήν ἐκρήξεως ἀπό τινος δέ σχέσεως συμπιέσεως $\varepsilon = 13 \div 14$ ἡ αὔξησις τοῦ η_θ αὐξανομένης τῆς ε εἶναι ἐλαχίστη.

Παράδειγμα:

Μηχανή Diesel ἀναρροφᾶ 1 Kg ἀέρος πιέσεως 1 at καί θερμοκρασίας 77° C. Ἡ συμπίεσις θά φθάσῃ τάς 40 at καί ἡ μεγίστη θερμοκρασία τούς 1827° C (ὅπως καί εἰς τήν otto).

Νά εὑρεθοῦν τά P, υ, t, εἰς τά σημεῖα 1, 2, 3, 4, ὡς καί ἡ θερμότης Q, τό ἔργον L καί ὁ θερμικός βαθμός ἀποδόσεως η_θ.

Λύσις Σημεῖον 1: ἔχομεν $P_1 = 1\,at = 10.000\ kg/m^2$ $T_1 = 350$ καί $U_1 = 1.025\ m^3$ (ὡς καί εἰς τήν otto).

Σημεῖον 2. Δίδεται $P_2 = 40\,at$ ἄρα $\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{40} = 0,025$ καί ἐπειδή ἡ ἀλλαγή 1-2 εἶναι ἀδιάθερμος εὑρίσκομεν ἐκ τοῦ πίνακος V τῆς σελ. 71. $\frac{U_1}{U_2} = 14$ καί $\frac{T_1}{T_2} = 0,348$ ἄρα $U_2 = \frac{U_1}{14} = 0,0732\ m^3$ καί $T_2 = \frac{T_1}{0,348} = 1006°$ ἤ $t_2 = 1006 - 273 = 733°\,C$.

Σημεῖον 3 Δίδεται $P_3 = 40$ at καί $t_3 = 2100°$. Ἐπειδή ἡ 2-3 εἶναι ἰσόθλιβος θά ἔχωμεν $\frac{T_3}{T_2} = \frac{U_3}{U_2}$ ἄρα $U_3 = U_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} =$
$0{,}0732 \cdot \frac{2100}{1006} = 0{,}155\ m^3$.

Σημεῖον 4 Ἡ κατάστασις εἰς τό σημεῖον 3 εἶναι ἡ αὐτή μέ τήν κατάστασιν εἰς τό 3 εἰς τήν μηχανήν τοῦ otto πού ἐμελετήσαμεν προηγουμένως, ἄρα δεδομένου ὅτι καί ἐδῶ ἡ 3-4 εἶναι ἀδιάθερμος ἡ κατάστασις εἰς τό 4 θά εἶναι ἡ αὐτή ὅπως εἰς τήν μηχανήν otto ἤτοι $P_4 = 2.8$ at καί $T_4 = 980°$ ἢ $t_4 = 707°$ C.

Κατά τήν καῦσιν παραμένει ἡ πίεσις σταθερά ἄρα τό ἀέριον λάμβάνει θερμότητα κατά τήν καῦσιν ἴσην πρός

$$Q_1 = C_p(T_3 - T_2) = 0{,}24 \cdot 1094 = 262\ \text{Kcal}$$

Τό ἔργον κατά τήν καῦσιν εἶναι $L_1 = P_2(U_3 - U_2) = 400000\,(0{,}153 - 0{,}0732)$
$= 32.000$ Kgm.

Τό ἔργον κατά τήν διάθερμον ἀποτόνωσιν εἶναι τό αὐτό μέ τό τῆς μηχανῆς otto ἤτοι $L_2 = 81600$ Kgm.

Τό ἔργον πού λαμβάνει τό ἀέριον κατά τήν διάθερμον συμπίεσιν 1-2 εἶναι: $L_3 = P_2 U_2 C_3 = 400.000 \cdot 0.0732 \cdot 1{,}629 = 47700$ Kgm.
($C_3 = 1.629$ ἐκ τοῦ πίνακος V τῆς σελ. 71)

ἄρα τό ὑπό τοῦ ἀερίου εἰς τό ἔμβολον ἀποδιδόμενον ἔργον εἶναι: $L = L_1 + L_2 - L_3 = 32.000 + 81.600 - 47{,}700 = 65900$ Kgm.

Ὁ θερμικός βαθμός ἀποδόσεως εἶναι:

$$\eta_\theta = \frac{AL}{Q} = \frac{1}{427} \cdot \frac{65900}{262} = 0.59 \text{ ἢ } \eta_\theta = 59\%$$

(Τήν αὐτήν τιμήν εὑρίσκομεν καί ἐκ τῆς σχέσεως 64 ἔνθα $\varepsilon = 14$ καί $\sigma = \frac{2100}{1006} = 2.085$).

Ὁ ὄγκος διαδρομῆς εἶναι $V_\delta = V_1 - V_2 = 1.025 - 0.073 = 0{,}952\ m^3$ καί ἡ μέση πίεσις κατά τήν διάρκειαν τοῦ κύκλου εἶναι·

$$P_m = \frac{L}{V_\delta} = \frac{65900}{0.952} = 69.200\ \text{Kg/m}^2 = 6.92\ \text{at}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ Δ!

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

α) Τῆξις καί πῆξις

Ὅταν ἕν στερεόν σῶμα ὅπως ὁ πάγος, ὁ μόλυβδος κ.λ.π. θερμαίνεται ἀρκετά μεταβάλλεται εἰς ὑγρόν ἤ τήκεται. (ὅταν δέν ἀποσυντίθεται διά τῆς θερμάνσεως, ὅπως ὁ χάρτης τό ξύλον κ.λπ.) Ἐκ τῶν διαφόρων τηκομένων σωμάτων ἄλλα μέν, ὅπως ὁ σίδηρος, χαλκός κ.λ.π. ἀπαιτοῦν λίαν ὑψηλάς θερμοκρασίας διά νά τακοῦν, ἄλλα δέ ὅπως ὁ πάγος ὁ κηρός, τό βούτυρον. κ.λ.π. τήκονται λίαν εὐκόλως εἰς συνήθεις θερμοκρασίας. Ἡ τοιαύτη μεταβολή ἑνός σώματος ἐκ τῆς στερεᾶς εἰς τήν ὑγράν κατάστασιν λέγεται τῆξις.

Ἀντιστρόφως ἐάν ψύξωμεν πάλιν τό ἐν ὑγρᾷ καταστάσει ἤδη εὑρισκόμενον σῶμα, τοῦτο γίνεται πάλιν στερεόν. Διά τῆς ψύξεως π.χ. τό ὕδωρ μετατρέπεται εἰς πάγον, ὁ ρευστός μόλυβδος εἰς στερεόν τοιοῦτον κ.λ.π.

Τό φαινόμενον τοῦτο καλεῖται πῆξις

Νόμοι τήξεως καί πήξεως

Ἐάν παρακολουθήσωμεν τήν τῆξιν καί πῆξιν τῶν σωμάτων τότε θά ἴδωμεν ὅτι ἄλλα μέν ὡς ὁ πάγος μεταβαίνουν ἀμέσως ἐκ τῆς στερεᾶς εἰς τήν ὑγράν κατάστασιν καί τανάπαλιν ἄλλα δέ ὡς ὁ κηρός κ.λ.π. μεταβαίνουν ἀπό τῆς στερεᾶς εἰς τήν ὑγράν κατάστασιν βαθμιαίως ἤτοι δι' ἐνδιαμέσων ἄλλων καταστάσεων π.χ. ὁ κηρός θερμαινόμενος καθίσταται ἐπί μᾶλλον καί μᾶλλον μαλακώτερος καί τέλος τήκεται.

Ἡ τῆξις καί πῆξις τῶν σωμάτων, τά ὁποῖα ἀμέσως μεταβάλλουν κατάστασιν ἀκολουθεῖ τούς ἑξῆς νόμους:

1) Ἡ τῆξις καί πῆξις ἑκάστου σώματος ἀρχίζει εἰς τήν αὐτήν πάντοτε θερμοκρασίαν ἡ ὁποία καλεῖται θερμοκρασία τήξεως ἤ σημεῖον τήξεως.

2) Ἀπό τῆς ἀρχῆς τῆς τήξεως ἤ τῆς πήξεως μέχρι τέλους

αὐτῶν ἡ θερμοκρασία αὐτὴ παραμένη σταθερά.
Π.χ. ὁ κασσίτερος ὑπό συνήθεις συνθήκας τήκεται εἰς 235°C θά παρατηρήσωμεν δέ ὅτι ἡ θερμοκρασία τῶν 235°C διατηρεῖται σταθερά μέχρις ὅτου τακῇ ὅλος ὁ κασσίτερος καί ἔπειτα ἀρχίζει νά ἀνέρχεται ἐκ νέου. Τό ἐναντίον συμβαίνει κατά τήν πῆξιν του ἤτοι ὁ κασσίτερος ἀρχίζει νά πήγνυται ὅταν ἡ θερμοκρασία κατερχομένη φθάσῃ τούς 235°C. Ἡ θερμοκρασία παραμένει σταθερά μέχρις ὅτου στερεοποιηθῇ ὅλος ὁ κασσίτερος καί κατόπιν ἀρχίζει νά κατέρχεται ἐκ νέου.

Κατά τήν τῆξιν των τά πλεῖστα στερεά σώματα ἀποκτοῦν μεγαλύτερον ὄγκον, ὑπάρχουν ὅμως καί σώματα ὅπως ὁ πάγος, ὁ ἄργυρος, τά ὁποῖα τηκόμενα ἀποκτοῦν μικρότερον ὄγκον.

Ἐπειδή ὁ πάγος ἔχει μεγαλύτερον ὄγκον τοῦ ὕδατος, ἐξ οὗ προῆλθεν, διαρρηγνύει τό δοχεῖον, εἰς τό ὁποῖον εὑρίσκεται, ἐάν δέν ἔχει χῶρον νά διασταλῇ ἐλευθέρως. (Καταστροφή τῶν φυτῶν ἕνεκα τῆς πήξεως τοῦ ὕδατος ποῦ περιέχεται εἰς τά ἀγγεῖα των). Ἐπίσης ὁ πάγος εἶναι ἐλαφρότερος τοῦ ὕδατος καί διά τοῦτο ἐπιπλέει ἐπ' αὐτοῦ. Ἕνεκα τούτου τόν χειμῶνα ὁ πάγος σχηματίζεται εἰς τήν ἐπιφάνειαν τῶν ὑδάτων ποταμῶν λιμνῶν, ἤ θαλασσῶν ἐπιπλέων δέ ἐπ' αὐτοῦ σχηματίζει προστατευτικόν κάλυμμα ἐμποδίζον τήν ψῦξιν τοῦ κάτωθεν αὐτοῦ ὕδατος.

Πειραματικῶς ἐδείχθη ὅτι ὅταν ἐξασκοῦμεν πίεσιν ἐπί ἑνός σώματος μεταβάλλεται τό σημεῖον τήξεως ἤ πήξεως αὐτοῦ.

Εὑρέθη δέ ὅτι: 1) εἰς σώματα τά ὁποῖα μεταβαίνοντα ἐκ τῆς στερεᾶς εἰς τήν ὑγράν κατάστασιν ἐξογκοῦνται καί μεταβαίνοντα ἐκ τῆς ὑγρᾶς εἰς τήν στερεάν συστέλλονται, ἡ αὔξησις της ἐξωτερικῆς πιέσεως ἔχει ὡς συνέπειαν τήν αὔξησιν τοῦ σημείου τήξεως αὐτῶν. Εἰς τήν κατηγορίαν αὐτήν ἀνήκουν τά πλεῖστα τῶν σωμάτων.

2) Ἀντιθέτως εἰς τά σώματα, τά ὁποῖα μεταβαίνοντα ἐκ τῆς στε-

ρεάς εἰς τὴν ὑγράν κατάστασιν, συστέλλονται (πάγος) ἡ αὔξησις τῆς ἐξωτερικῆς πιέσεως ἔχει ὡς συνέπειαν τὴν κατάπτωσιν τοῦ σημείου τήξεως. Οὕτω τὸ ὕδωρ πιεζόμενον μὲ πίεσιν 13.000 at πήγνυται εἰς τοὺς -18°C ἀντὶ τῶν 0°C.

Σημεῖον τήξεως κραμάτων

Τὰ κράματα, τὰ ὁποῖα προέρχονται ἐκ συντήξεως μετάλλων ἔχουν συνήθως σημεῖον τήξεως περιεχόμενον μεταξὺ τῶν σημείων τήξεως τῶν ἀποτελούντων αὐτὰ μετάλλων.

Πολλάκις ὅμως ἔχουν σημεῖον τήξεως χαμηλότερον τοῦ σημείου τήξεως τοῦ εὐτηκτοτέρου μετάλλου. (εὐτηκτικαί). Π.χ. τὸ μέταλλον Wood ἐκ τοῦ ὁποίου κατασκευάζονται αἱ συντηκτικαὶ ἀσφάλειαι εἰς τὴν ἠλεκτρολογίαν (50% Bi, 25% Pb 12.5% Sn 12.5% Cd) τήκεται μεταξὺ 66° καὶ 70° C.

Θερμότης τήξεως

Θερμότης τήξεως καλεῖται ἡ θερμότης τὴν ὁποίαν ἀπορροφᾷ 1 gr τοῦ σώματος διὰ νὰ τακῇ χωρὶς νὰ μεταβληθῇ ἡ θερμοκρασία του. (Ἡ θερμοκρασία τῆς τήξεώς του)

Κατωτέρω δίδομεν τὰς θερμότητας τήξεως μερικῶν σωμάτων.

Ἄργυρος	26.0 Kcal/kg	Παλλάδιον	36.3 Kcal/kg
Θεῖον	9.37 "	Ὑδράργυρος	2.82 "
Μόλυβδος	5.85 "	Φώσφορος	5.03 "
Πάγος	79.7 "	Ψευδάργυρος	23.1 "

Ἤτοι 1 γραμμάριον ἀργύρου χρειάζεται ἕν ποσὸν θερμότητος διὰ νὰ θερμανθῇ μέχρι τῆς θερμοκρασίας τήξεώς του χρειάζεται δὲ προσθέτως καὶ 26 cal διὰ νὰ τακῇ χωρὶς ν[ὰ] μεταβληθῇ ἐν τῷ μεταξὺ ἡ θερμοκρασία του.

β) ΔΙΑΛΥΣΙΣ

Ἐὰν ρίψωμεν μαγειρικὸν ἅλας εἰς τὸ ὕδωρ, τοῦτο ὀλίγον κατ' ὀλίγον ἐξαφανίζεται καὶ σχηματίζεται ὑγρὸν ὁμοιογενές. Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλοῦμεν διάλυσιν τοῦ ἅλατος εἰς τὸ

ὕδωρ καὶ τὸ παραγόμενον ὁμοιογενὲς ὑγρὸν διάλυμα.
Τὰ πλεῖστα τῶν στερεῶν διαλύονται ἐντὸς καταλλήλων ὑγρῶν.
Τὸ ὑγρὸν ἐντὸς τοῦ ὁποίου γίνεται ἡ διάλυσις λέγεται διαλύτης.
Καλεῖται περιεκτικότης τοῦ διαλύματος τὸ βάρος τοῦ σώματος τοῦ περιεχομένου ἐντὸς 1 γραμμαρίου διαλύματος.
Οὕτω ἐὰν ἐντὸς 100 gr. ὕδατος διαλύσωμεν 1 gr. ζακχάρου τότε ἡ περιεκτικότης τοῦ διαλύματος εἶναι $\frac{1}{101}$.
Διὰ τὴν διάλυσιν στερεοῦ ἐντὸς ὑγροῦ ἀπαιτεῖται θερμότης (ὅπως καὶ διὰ τὴν τῆξιν τοῦ στερεοῦ) τὴν θερμότητα δὲ ταύτην λαμβάνει τὸ διάλυμα ἐξ αὐτῆς τῆς μάζης του καὶ ἕνεκα τούτου τοῦτο ψύχεται. Οὕτω ἐὰν ἀναμίξωμεν μαγειρικὸν ἅλας μὲ πάγον σχηματίζεται μῖγμα, τοῦ ὁποίου ἡ θερμοκρασία καταπίπτει εἰς τοὺς $-20°$ C. Ἐπὶ τῆς ἰδιότητος αὐτῆς κατασκευάζονται καὶ ἄλλα ψυκτικὰ μίγματα χρεισιμοποιούμενα διὰ τὴν παραγωγὴν ψύχους.
Μερικὰ ἐκ τούτων εἶναι:

1) 1 μέρος ὕδατος μὲ 1 μέρος νιτρικοῦ ἀμμωνίου.
2) 5 μέρη ὑδροχλωρικοῦ ὀξέως μὲ 8 μέρη θειϊκοῦ νατρίου
3) 2 μέρη πάγου καὶ ἕνα μέρος μαγειρικοῦ ἅλατος.

Εἰς ὅλα αὐτὰ τὸ στερεὸν διαλύεται εἰς τὸ ὑγρὸν καὶ ἕνεκα τούτου καταπίπτει ἡ θερμοκρασία τοῦ μίγματος (εἰς τὸ 3ον ἀφ' ἑνὸς μὲν τήκεται ὁ πάγος ἀφ' ἑτέρου τὸ ἅλας διαλύεται εἰς τὸ ὕδωρ τὸ προερχόμενον ἐκ τῆς τήξεως· Τῆξις καὶ διάλυσις ἀπαιτοῦν θερμότητα καὶ οὕτω τὸ μῖγμα ψύχεται).
Ἐὰν ἐξακολουθῶμεν νὰ ρίπτωμεν ἐντὸς ποσότητος ὑγροῦ νέας ποσότητας στερεοῦ τότε ἀπό τινος στιγμῆς καὶ ἐφ' ἑξῆς, αἱ νέαι ποσότητες θὰ μείνουν ἀδιάλυτοι.
Τότε λέγομεν ὅτι τὸ διάλυμα εἶναι κεκορεσμένον.
Ἐὰν ἕνα διάλυμα κεκορεσμένον εἰς τινὰ θερμοκρασίαν θερμανθῇ εἰς ὑψηλοτέραν θερμοκρασίαν τότε εἰς τὴν θερμοκρασίαν ταύτην δύναται νὰ διαλύσῃ καὶ ἄλλην ποσότη-

τά στερεοῦ ἤτοι γίνεται ἀκόρεστον.

Τουναντίον ἐάν ψύξωμεν ἕνα κεκορεσμένον διάλυμα τότε τοῦτο δέν δύναται νά διατηρήσῃ ὅλον τό ἅλας τό ὁποῖον ἦτο διαλελυμένον ἀλλά μέρος τούτου καταπίπτει ὡς στερεόν, ἤτοι τό διάλυμα παραμένει κεκορεσμένον ἀλλά εἶναι μικροτέρας περιεκτικότητος παρά πρίν.

Ἤτοι μία ὡρισμένη ποσότης ὑγροῦ εἰς ὡρισμένην θερμοκρασίαν δύναται νά διαλύσῃ ὡρισμένην ποσότητα ἑνός στερεοῦ, ἡ ὁποία εἶναι τόσον μεγαλυτέρα ὅσον ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ μεγαλυτέρα, ἢ ἡ περιεκτικότης ἑνός κεκορεσμένου διαλύματος ἑνός στερεοῦ μεθ᾽ ἑνός ὑγροῦ εἶναι τόσον μεγαλυτέρα ὅσον ἡ θερμοκρασία τοῦ διαλύματος ὑψηλοτέρα.

Τό σημεῖον πήξεως ἑνός διαλύματος εἶναι χαμηλότερον τοῦ σημείου πήξεως τοῦ διαλύτου καί τόσον χαμηλότερον ὅσον ἡ περιεκτικότης τοῦ διαλύματος μεγαλυτέρα. Οὕτω ἐνῷ τό καθαρόν ὕδωρ πήγνυται εἰς 0° C. τό θαλάσσιον ὕδωρ πήγνυται εἰς -1,88° C.

γ) Ἐξαέρωσις. Ὑγροποίησις

Καλεῖται γενικῶς ἐξαέρωσις ἡ μετάβασις ἑνός σώματος ἐκ τῆς ὑγρᾶς εἰς τήν ἀέριον κατάστασιν, ὑγροποίησις δέ ἡ μετάβασις ἐκ τῆς ἀερίου εἰς τήν ὑγράν κατάστασιν.

Ἡ ἀέριος κατάστασις τήν ὁποίαν λαμβάνουν τά ὑγρά καλεῖται ἀτμός

Ὑπάρχουν ὑγρά, τά ὁποῖα ἐξαεροῦνται εὐκόλως εἰς τήν συνήθη θερμοκρασίαν καί πίεσιν· ταῦτα καλοῦνται πτητικά (οἰνόπνευμα αἰθήρ. κ.λ.π.)

Τάσις ἀτμῶν - κεκορεσμένοι ἀτμοί

Ἐάν λάβωμεν τόν σωλῆνα τοῦ Toricelli βυθισμένον ἐντός βαθείας λεκάνης μέ ὑδράργυρον (Σχ. 31) μέ ἕνα δέ μικρόν κεκαμένον σωληνίσκον εἰσαγάγωμεν ἐκ τῶν κάτω ἐντός τοῦ κενοῦ, τό ὁποῖον εὑρίσκεται ἄνω τῆς στάθμης τοῦ ὑδραργύρου εἰς τόν σωλῆνα αὐτόν μίαν σταγόνα αἰθέρος τότε αὕτη ἀμέσως ἐξαφανίζεται ἐνῷ ἡ στάθμη τοῦ ὑδραργύρου ἐντός τοῦ σωλῆνος κατέρχεται. Τοῦτο σημαίνει ὅτι: 1ον) ὁ αἰθήρ ἐξαερώθη καί μετετράπη εἰς ἀτμόν. 2) ὅτι ὁ ἀτμός τοῦ αἰθέρος ἀπέκτησεν πίεσιν ἤ τάσιν, ἕνεκα τῆς ὁποίας ὁ ὑδράργυρος τοῦ σωλῆνος κατῆλθεν ὀλίγον.

Ἐάν εἰσάγωμεν καί ἄλλας σταγόνας αἰθέρος τότε κάθε νέα σταγών θά ἐξαερωθῆ ἐνῶ ἡ στάθμη τοῦ ὑδραργύρου κατέρχεται ἀκόμη. Ἤτοι ἡ τάσις τῶν ἀτμῶν ἑνός χώρου αὐξάνει ὅσον αὐξάνει ἡ ποσότης αὐτῶν. Θά ἔλθῃ ὅμως ἡ στιγμή, πού ἡ εἰσαγομένη νέα σταγών δέν δύναται πλέον νά ἐξαερωθῆ πᾶσα δέ νέα σταγών θά παραμένῃ ἐν ὑγρᾷ καταστάσει ἄνωθεν τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὑδραργύρου τοῦ σωλῆνος, ἡ δέ στάθμη τοῦ ὑδραργύρου θά παραμένῃ σταθερά. Ἡ κατάστασις αὐτή εἰς τήν ὁποίαν ὁ ἀτμός τοῦ αἰθέρος εὑρίσκεται εἰς ἐπαφήν μέ τόν ὑγρόν αἰθέρα καί ἐν ἰσορροπίᾳ λέγεται κατάστασις τοῦ κόρου, ὁ δέ ἀτμός λέγεται κεκορεσμένος.

Σχῆμ.31

Κεκορεσμένος ἀτμός λέγεται ξηρός κεκορεσμένος, ὅταν δέ εὑρίσκεται μέν εἰς ἐπαφήν μέ τό ὑγρόν πᾶσα ὅμως ἔστω καί ἐλαχίστη νέα ποσότης ὑγροῦ εἰσαγομένη εἰς τόν χῶρον δέν δύναται πλέον νά ἐξαερωθῆ, καί ὑγρός κεκορεσμένος ὅταν περιέχει σταγονίδια ἐκ τοῦ ὑγροῦ ἐν εἴδη ὀμίχλης.

Ὅταν ὁ ἀτμός δέν εἶναι κεκορεσμένος λέγεται ξηρός ἀτμός.

Οἱ ὁρισμοί τούς ὁποίους ἐδώσαμεν ἀνωτέρω διά τούς ἀτμούς τοῦ αἰθέρος ἰσχύουν δι' ὅλους τούς ἀτμούς.

Νόμοι ἐξαερώσεως

Ἐκ τοῦ πειράματος εὑρέθησαν οἱ ἑξῆς νόμοι ἐξαερώσεως:

1) Τήν μεγίστην τάσιν των ἀποκτοῦν οἱ ἀτμοί ὅταν γίνουν κε-

κορεσμένοι. Τό μέγεθος τῆς μεγίστης αὐτῆς τάσεως ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς θερμοκρασίας εἰς τήν ὁποίαν γίνεται ἡ ἐξαέρωσις, παραμένει δέ ἡ τάσις σταθερά ἐάν αὐξομειώσωμεν τόν ὄγκον τῶν ἀτμῶν ἀρκεῖ ἡ θερμοκρασία νά παραμένῃ σταθερά καί οἱ ἀτμοί νά ἐξακολουθοῦν νά εἶναι κεκορεσμένοι.

Οὕτω ἐάν αὐξήσωμεν τόν ὄγκον κεκορεσμένων ἀτμῶν ἡ τάσις των παραμένει σταθερά, μόνον ὅτι νέα ποσότης ὑγροῦ ἐξαεροῦται καί πλησιάζει ὁ ἀτμός περισσότερον τήν κατάστασιν τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου, τοὐναντίον δέ ἐάν ἐλαττώσωμεν τόν ὄγκον μέρος τοῦ ἀτμοῦ ὑγροποιεῖται.

Ἤτοι οἱ κεκορεσμένοι ἀτμοί δέν ἀκολουθοῦν τόν νόμον τοῦ Boyle-Mariotte.

2) Ἡ μεγίστη τάσις τῶν ἀτμῶν αὐξάνει αὐξανομένης τῆς θερμοκρασίας, εἰς κάθε δέ θερμοκρασίαν ἀντιστοιχεῖ μία ὡρισμένη τιμή τῆς μεγίστης τάσεως αὐτῶν. Τοῦτο σημαίνει, ὅτι ἐάν θερμάνωμεν τούς ἀτμούς τότε νέα ποσότης ὑγροῦ ἐξαεροῦται καί ἡ τάσις τῶν ἀτμῶν αὐξάνει, τοὐναντίον δέ ἐάν ψύξωμεν τούς ἀτμούς μέρος αὐτῶν ὑγροποιεῖται (οἱ ἀτμοί συμπυκνοῦνται) καί ἡ τάσις των πίπτει.

Λόγῳ τῆς ψύξεως τῶν ἀτμῶν τοῦ ὕδατος ἢ ὑδρατμῶν τῆς ἀτμοσφαίρας μέρος αὐτῶν ὑγροποιεῖται καί σχηματίζει τά νέφη, ἐάν δέ ἡ ψῦξις αὐξηθῇ ἀκόμη προκαλεῖται ἡ βροχή.

3) Οἱ ξηροί ἀτμοί ἀκολουθοῦν τούς νόμους τοῦ Boyle-Mariotte. 4) Ἡ μεγίστη τάσις τῶν ἀτμῶν οἱ ὁποῖοι συνυπάρχουν εἰς ἕνα χῶρον μέ ἄλλο ἀέριον εἶναι ἡ αὐτή μέ ἐκείνην πού θά εἶχον οὗτοι, ἐάν μόνοι των κατελάμβανον ὅλον τόν χῶρον. Τότε ἡ ὁλική πίεσις ἐντός τοῦ χώρου θά εἶναι τό ἄθροισμα τῶν πιέσεων, τάς ὁποίας θά εἶχεν τό ἀέριον καί οἱ ἀτμοί ἐάν ἰδιαιτέρως ἕκαστον κατελάμβανε ὅλον τόν χῶρον. 5) Διά τήν ἐξαέρωσιν ἑνός ὑγροῦ ἀπαιτεῖται θερμότης.

Καλεῖται λανθάνουσα θερμότης ἢ θερμότης ἐξαερώσεως τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, τὸ ὁποῖον ἀπαιτεῖται διὰ νὰ μετατραπῇ 1kg ὑγροῦ ὡρισμένης θερμοκρασίας εἰς ἀτμὸν τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας.

δ) Ὑγροποίησις τῶν ἀερίων

Ἐκ πειραμάτων ἀπεδείχθη ὅτι πάντα τὰ γνωστὰ ἀέρια ὑγροποιοῦνται εἰς ὡρισμένην δι' ἕκαστον θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν.

Ἐπίσης ἀπεδείχθη ὅτι δι' ἕκαστον ἀέριον ὑπάρχει ὡρισμένη θερμοκρασία καλουμένη κρίσιμος θερμοκρασία ἢ κρίσιμον σημεῖον, ὑπεράνω τῆς ὁποίας τὸ ἀέριον δὲν δύναται νὰ ὑγροποιηθῇ εἰς οἱανδήποτε πίεσιν καὶ ἂν ὑποβληθῇ.

Κρίσιμος πίεσις

Οὕτω λέγεται ἡ πίεσις εἰς τὴν ὁποίαν πρέπει νὰ ὑποβληθῇ τὸ ἀέριον εὑρισκόμενον εἰς κρίσιμον θερμοκρασίαν διὰ νὰ ὑγροποιηθῇ.

Κρίσιμος ὄγκος

Οὕτω ὀνομάζεται ὁ ὄγκος 1 γραμμομορίου* ὅταν τοῦτο εὑρίσκεται ὑπὸ τὴν κρίσιμον θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν.

Κατωτέρω δίδομεν τὰς κρισίμους πιέσεις καὶ θερμοκρασίας μερικῶν ἀερίων.

	κρίσιμος θερμοκρασία	κρίσιμος πίεσις (ἀτμοσφ.)
Ἄζωτον	-147°C	34
Ἀμμωνία	130°C	115
Ἀτμοσφαιρικὸς ἀήρ	-140°C	37
Διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος (CO_2)	31,1°C	73
Ἥλιον	-268°C	3
Ὀξυγόνον	-119°C	51
Ὀξείδιον τοῦ ἄνθρακος (CO)	-140°C	35,5
Οἰνόπνευμα	343°C	63
Ὑδρογόνον	-241°C	15
Ὕδωρ	374°C	195

* 1 γραμμομόριον εἶναι βάρος εἰς γραμμάρια ἴσον πρὸς τὸ μοριακὸν βάρος. Τὸ γραμ/ριον ὀξυγόνου εἶναι 32gr. (τὸ μοριακὸν βάρος ὀξυγόνου εἶναι 32)

7ον

Διά νά ὑγροποιήσωμεν ἕνα ἀέριον πρέπει:
1) Νά τό φέρωμεν εἰς θερμοκρασίαν κατωτέραν τῆς κρισίμου.
2) Νά τό συμπιέσωμεν μέχρις μιᾶς ὡρισμένης πιέσεως κατωτέρας τῆς κρισίμου, τόσον μικροτέρας ὅσον ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου χαμηλοτέρα.

Διά τήν ὑγροποίησιν μεταχειριζόμεθα τρεῖς μεθόδους ἤτοι:
1) Δι' ἀποψύξεως: Μερικά ἀέρια ὑγροποιοῦνται εἰς τήν συνήθη πίεσιν δι' ἀποψύξεως ὡς π.χ. ἡ ἀμμωνία ὑγροποιουμένη εἰς τήν συνήθη πίεσιν διά ψύξεως εἰς −34° C.
2) Διά πιέσεως: Μερικά ἀέρια, τῶν ὁποίων ἡ κρίσιμος θερμοκρασία εἶναι ἀνωτέρα τῆς συνήθους ὡς π.χ. τό CO_2, τό Cl κλπ. ὑγροποιοῦνται εἰς τήν συνήθη θερμοκρασίαν δι' ἰσχυρᾶς πιέσεως.
3) Διά συγχρόνου πιέσεως καί ἀποψύξεως: Τά δυσκόλως ὑγροποιούμενα ἀέρια ὑγροποιοῦνται διά συγχρόνου συμπιέσεως καί ἀποψύξεως. Οὕτω ὑγροποιοῦνται ὁ ἀήρ, τό ὀξυγόνον, τό Ἥλιον κ.λ.π.

ε) Ὑδρατμοί

1) Ἐξάτμισις τοῦ ὕδατος

Ἐξάτμισις καλεῖται ἡ βραδεῖα παραγωγή ἀτμῶν μόνον κατά τήν ἐπιφάνειαν τοῦ ὑγροῦ.

Ἐάν ἐγκλείσωμεν θαλάσσιον ὕδωρ εἰς εὐρυτάτας δεξαμενάς, τότε τό ὕδωρ ἐξατμίζεται παραγομένων ὑδρατμῶν μόνον εἰς τήν ἐπιφάνειαν αὐτοῦ τελικῶς δέ παραμένει εἰς τόν πυθμένα τῶν δεξαμενῶν μόνον τό μαγειρικόν ἅλας τοῦ θαλασσίου ὕδατος.

Ἡ ταχύτης μέ τήν ὁποίαν γίνεται ἡ ἐξάτμισις εἶναι τόσον μεγαλυτέρα ὅσον: 1) μεγαλυτέρα εἶναι ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ὑγροῦ ἡ ἐκτιθεμένη εἰς τήν ἀτμόσφαιραν. 2) ὑψηλοτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ καί τῆς ἀτμοσφαίρας. 3) χαμηλοτέρα εἶναι ἡ πίεσις ἐπί τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὑγροῦ 4) περισσότερον ἡ περιβάλλουσα τό ὑγρόν ἀτμόσφαιρα ἀπέχει τῆς καταστάσεως τοῦ κόρου. Οὕτω π.χ. ἐάν ἄνωθεν τοῦ ἐξατμιζομένου ὕδατος ὑπάρχει ρεῦμα ἀέρος τό ὁποῖον παρασύρει τούς σχηματιζομένους ὑδρατμούς καί ἀπομακρύνει αὐτούς τῆς καταστάσεως τοῦ κόρου, τότε ἡ ἐξάτμισις τοῦ ὕδατος γίνεται ταχυτέρα. Διά τόν λόγον τοῦτον βρεγμένα ροῦχα ἐκτιθέμενα εἰς ρεῦμα ἀέρος στεγνώνουν πολύ ταχύτερον, παρά εἰς χῶρον ἤρεμον.

Διά τήν ἐξάτμισιν ἀπαιτεῖται θερμότης τήν ὁποίαν τό ὑγρόν λαμβάνει ἐκ τῆς μάζης του καί τῶν πέριξ σωμάτων, καί ἕνεκα τούτου ψύχεται αὐτό καί τό περιβάλλον.

Τό θέρος π.χ. μεταχειριζόμεθα πορώδη δοχεῖα (κανάτια) ἐκ τῶν ὁποίων ἀποθηκεύομεν τό πόσιμον ὕδωρ. Τό ὕδωρ ἐξερχόμενον ἐκ τῶν πόρων τῶν δοχείων πρός τήν ἐξωτερικήν τῶν ἐπιφάνειαν καί ἐξατμιζόμενον ψύχεται καί ψύχει τό δοχεῖον καί τό ἐντός αὐτοῦ ὕδωρ. Ἡ ἐξάτμισις ἐπιταχύνεται ἐάν τό κανάτι τοποθετηθῇ εἰς ρεῦμα ἀέρος.

2) <u>Βρασμός</u>

Βρασμός καλεῖται ἡ ἐξαέρωσις τῶν ὑγρῶν ὄχι μόνον κατά τήν ἐπιφάνειαν αὐτῶν, ἀλλά καί ἐξ ὅλης τῆς μάζης αὐτῶν. Ἐάν ἐντός ἀνοικτοῦ δοχείου θερμάνωμεν ὕδωρ, τότε ὀλίγον κατ' ὀλίγον αὐξάνει ἡ θερμοκρασία τῆς μάζης αὐτοῦ διά τῶν σχηματιζομένων ρευμάτων ἐξ ἀνερχομένου θερμοῦ ὕδατος καί κατερχομένου ψυχροῦ τοιούτου. Ἐάν ἡ θέρμανσις ἐξακολουθήσῃ τότε κατ' ἀρχάς μέν παρουσιάζονται εἰς τήν ἐπιφάνειαν αὐτοῦ μικραί φυσαλλίδες ἀέρος, κατόπιν δέ παρουσιάζονται εἰς τόν πυθμένα πομφόλυγες (μεγάλαι φυσαλλίδες) ὑδρατμῶν, αἱ ὁποῖαι ἀνέρχονται καί θραύονται εἰς τήν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕδατος.

Τότε λέγομεν ὅτι ἤρχισεν ὁ <u>Βρασμός</u> τοῦ ὕδατος.

Ὁ Βρασμός ἀκολουθεῖ τούς ἑξῆς νόμους:

1) Εἰς κάθε καθαρόν ὑγρόν ὁ βρασμός ἀρχίζει εἰς ὡρισ-

μένην θερμοκρασίαν ὑπό τάς αὐτάς περιστάσεις.

Οὕτω τό ὕδωρ ὑπό ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν 760 m/m ὑδραργύρου βράζει εἰς 100° C, τό οἰνόπνευμα εἰς 78° C. κλ.π.

Ἡ θερμοκρασία αὐτή εἶναι ἡ τῶν ἀτμῶν ἄνωθεν τοῦ ὑγροῦ, καλεῖται δέ <u>σημεῖον ζέσεως</u> ἤ <u>θερμοκρασία ζέσεως</u> τοῦ ὑγροῦ. Ἡ θερμοκρασία αὐτή διατηρεῖται σταθερά κατά τόν βρασμ

2) Ἡ τάσις τῶν ἀτμῶν τοῦ ζέοντος ὑγροῦ ἰσοῦται πάντοτε πρός τήν ἐπί τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὑγροῦ ἐξασκουμένην πίεσιν.

Οὕτω διά νά βράση τό ὕδωρ πρέπει νά ὑψωθῇ ἡ θερμοκρασία του εἰς σημεῖον ὥστε ἡ μεγίστη τάσις τῶν ὑδρατμῶν (ἡ τάσις κορεσμοῦ) νά ἰσοῦται μέ τήν ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν.

Διά τόν λόγον τοῦτον ὅσον μικροτέρα εἶναι ἡ ἀτμοσφαιρική πίεσις εἰς τόσον χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν ζέει τό ὕδωρ. Π.χ. Τό ὕδωρ ὑπό πίεσιν 0,8 at ζέει εἰς 93° C. καί ὑπό πίεσιν 2 at ζέει εἰς 119,6° C.

3) <u>Βρασμός ἐν κλειστῷ δοχείῳ</u>

Ἐάν ἐξαεροῦμεν ὑγρόν ἐντός κλειστοῦ δοχείου εἰς ὡρισμένην θερμοκρασίαν t, τότε οἱ ἀτμοί του δέν δύνανται νά ἐξέλθουν εἰς τήν ἀτμόσφαιραν καί ἡ τάσις των διαρκῶς αὐξάνει καί φθάνει τήν μεγίστην τάσιν αὐτῶν, ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς τήν θερμοκρασίαν t. Τότε ἡ ἐξαέρωσις τοῦ ὑγροῦ παύει.

Ἤτοι ὁ βρασμός ὑγροῦ ἐν κλειστῷ δοχείῳ δέν δύναται νά γίνῃ καί ἡ θερμοκρασία αὐτοῦ δύναται νά ὑπερβῇ πολύ τό σημεῖον ζέσεως αὐτοῦ ὑπό κανονικήν ἀτμοσφαιρικήν πίεσιν.

Ὁ βρασμός δύναται νά γίνῃ ἄν δώσωμεν μίαν διέξοδον εἰς τούς παραγομένους ἀτμούς. Ἐάν τήν ἔξοδον τοῦ ἀτμοῦ φράξωμεν διά μιᾶς βαλβίδος, ἡ ὁποία ἔχει ρυθμισθῇ νά ἀνοίγῃ ὅταν ἡ πίεσις ἐντός τοῦ δοχείου φθάσῃ μίαν ὡρισμένην τιμήν, τότε δυνάμεθα νά βράσωμεν τό ὑγρόν ἐάν ἡ θερμοκρασία αὐτοῦ φθάσῃ τήν ἀπαιτουμένην, ἵνα ἡ μεγίστη τάσις τῶν ατμῶν ἰσοῦται μὲ τὴν πίεσιν διὰ τὴν ὁποίαν ἔχει ρυθμισθῆ ἡ βαλβίς.

Ἐπὶ τῆς ἀρχῆς αὐτῆς κατασκευάζονται οἱ λέβητες παραγωγῆς ὑδρατμῶν ὑψηλῆς πιέσεως. Εἰς αὐτοὺς ἔχει ρυθμισθῆ οὕτως ἡ ἐκροὴ τῶν ὑδρατμῶν ὥστε ἡ πίεσις ἐντὸς αὐτῶν νὰ διατηρεῖται εἰς ὡρισμένην τιμήν. Τότε διὰ νὰ βράζῃ τὸ ὕδωρ πρέπει ἡ θερμοκρασία του νὰ φθάσῃ τὴν ἀπαιτουμένην ἵνα ἡ μεγίστη τάσις τῶν ὑδρατμῶν ἰσοῦται μὲ τὴν τοῦ λέβητος. Π.χ. διὰ νὰ παράγωμεν ὑδρατμοὺς 20 at πρέπει νὰ θερμάνωμεν τὸ ὕδωρ εἰς 211.4° C.

4) <u>Χαρακτηριστικὰ τῶν ὑδρατμῶν</u>

Ἡ <u>θερμοπεριεκτικότης</u> 1 kg ὕδατος εἰς 0°C εἶναι συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν 46.

$$\text{εἶναι } i_o = u_o + A \cdot p \cdot v_o = A p \cdot v_o \; \ldots\ldots\ldots (65)$$

Ἤτοι θερμοπεριεκτικότης 1 kg ὕδατος εἰς 0° C ἰσοῦται μὲ τὸ ἔργον ποὺ ἀπαιτεῖται ἵνα πιέσωμεν τὸ ψυχρὸν ὕδωρ ἐντὸς τοῦ λέβητος εἰς τὸν ὁποῖον ἐπικρατεῖ πίεσις P. τὸ ἔργον αὐτὸ λέγεται καὶ <u>ἔργον τροφοδοτήσεως</u>.

(Ἐὰν θέσωμεν τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν u_o τοῦ ὕδατος εἰς 0° ἴσην μὲ μηδὲν καὶ ἂν v_o εἶναι ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὕδατος εἰς 0° ἢ $v_o \cong 0.001\ m^3/kg$).

Ἡ ποσότης θερμότητος ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται ἵνα θερμανθῇ 1 kg ὕδατος εἰς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ βρασμοῦ t_s εἶναι:

$$q = c \cdot t_s \; \ldots\ldots\ldots (66)$$

Ἔνθα c εἶναι ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος, ἡ ὁποία διὰ μέσας θερμοκρασίας ἔχει τὴν τιμὴν $c = 1\ kcal/kg$ καὶ διὰ ὑψηλὰς θερμοκρασίας ἔχει κάπως ὑψηλοτέραν τιμήν.

Ἐπειδὴ ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ λέβητος διατηρεῖται σταθερὰ διὰ τοῦτο ἡ θερμότης αὐτὴ q ἰσοῦται μὲ τὴν αὔξησιν τῆς θερμοπεριεκτικότητος τοῦ ὕδατος. Ἤτοι ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ζέοντος ὕδατος εἶναι:

$$i' = q + i_o = c \cdot t_s + A p \cdot v_o \; \ldots\ldots\ldots (67)$$

Διά τήν ἀτμοποίησιν 1 kg ὕδατος ἀπαιτεῖται ἡ θερμότης ἀτμοποιήσεως r.

Ἕνα μέρος τῆς θερμότητος αὐτῆς χρησιμοποιεῖται διά τήν παραγωγήν μηχανικοῦ ἔργου, διότι ὁ ἀτμός καταλαμβάνει μεγαλύτερον ὄγκον ἀπό τό ὕδωρ.

Ἐάν v'' εἶναι ὁ εἰδικός ὄγκος τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ καί v' ὁ εἰδικός ὄγκος τοῦ ζέοντος ὕδατος τότε τό ἔργον τοῦτο εἶναι εἰς μονάδας θερμότητος,

$$\psi = AP\,(v''-v') \ldots\ldots (68)$$

καλεῖται δέ <u>ἐξωτερική θερμότης ἀτμοποιήσεως.</u>

Ἡ ὑπόλοιπος θερμότης: $\rho = r - \psi = r - Ap\,(v''-v') \ldots\ldots$

ἀποθηκεύεται ὑπό τοῦ ἀτμοῦ καί καλεῖται <u>ἐσωτερική θερμότης ἀτμοποιήσεως.</u>

Ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ εἶναι: $i'' = i' + r = i' + \rho + \psi \ldots\ldots$ (69)

Ἡ θερμότης ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται διά νά μετασχηματισθῇ 1 kg ὕδατος 0°C εἰς ἀτμόν κεκορεσμένον ὀνομάζεται θερμότης παραγωγῆς καί ἰσοῦται μέ,

$$\lambda = i'' - i_a \cong i'' \ldots\ldots (69a)$$

Ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια τοῦ ζέοντος ὕδατος εἶναι:

$$u' = i' - Apv'$$

καί ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ εἶναι:

$$u'' = i'' - Apv''$$

Γενικῶς ἐάν i_1 εἶναι ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ψυχροῦ ὕδατος θερμοκρασίας t_1 καί i_2 ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ τότε διά τήν παραγωγήν 1 kg ἀτμοῦ ἐκ τοῦ ψυχροῦ ὕδατος ἀπαιτεῖται θερμότης.

$$Q = i_2 - i_1 \ldots\ldots (70)$$

Αἱ τιμαί διά τό θερμικόν περιεχόμενον καί τήν ἐσωτερικήν ἐνέργειαν τοῦ ζέοντος ὕδατος καί τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ εὑρέθησαν κατόπιν πειραμάτων διά διαφόρους πιέσειτοῦ ἀτμοῦ καὶ τὰ ἀποτελέσματα τῶν πειραμάτων τούτων δίδονται ὑπὸ τοῦ πίνακος VI (στῆλαι 4 κ 7)

Ὁ ἴδιος πίναξ περιέχει εἰς τὰς στήλας 8 κ 9 τὰς τιμὰς τῆς ἐντροπῆς τοῦ ζέοντος ὕδατος καὶ τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ.

Ὡς βλέπομεν ἐκ τοῦ πίνακος ἡ θερμότης ἀτμοποιήσεως $r = i'' - i'$ ἐλαττοῦται αὐξανομένης τῆς πιέσεως καὶ εἰς τὴν πίεσιν τῶν 225 at μηδενίζεται. Ἡ πίεσις αὐτὴ ὀνομάζεται <u>κρίσιμος πίεσις</u> $= P_K$ καὶ ἡ ἀντίστοιχος θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως $t_K = 374°C$

<u>Κρίσιμος Θερμοκρασία</u>. Ἤτοι ἐὰν θερμάνωμεν τὸ ὕδωρ μέχρι τῆς κρισίμου του θερμοκρασίας, ἐνῷ ἡ πίεσις τοῦ λέβητος ἰσοῦται πρὸς τὴν κρίσιμον πίεσιν τότε τοῦτο μεταβάλλεται εἰς ατμὸν χωρὶς νὰ προσδώσωμεν εἰς αὐτὸ καὶ ἄλλην ποσότητα θερμότητος.

Εἰς τὴν κρίσιμον κατάστασιν ($P = P_K$ καὶ $t_S = t_K$) εἶναι ὅλα τὰ στοιχεῖα τῆς καταστάσεως διὰ τὸ ὕδωρ καὶ τὸν ἀτμὸν τὰ ἴδια, καὶ ἑπομένως δὲν δυνάμεθα νὰ ξεχωρίσωμεν τὸν ἀτμὸν ἀπὸ τὸ ὕδωρ. Δὲν εἶναι λοιπὸν καθωρισμένον εἰς ποίαν ἀκριβῶς θερμοκρασία σταματᾷ ἡ ὑγρὰ κατάστασις καὶ ἀρχίζει ἡ ἀτμώδης (ἀερώδης)

<u>Παράδειγμα</u>: Ἕνας ἀτμολέβης πρέπει νὰ παράγῃ ὡριαίως 3.000 Kg ἀτμοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου πιέσεως P = 20 ata. ἀπὸ ὕδωρ θερμοκρασίας 20°C. Διὰ τὴν θέρμανσιν τοῦ λέβητος χρησιμέυει πετρέλαιον θερμαντικῆς ἰσχύος Θ = 10.000 Kcal/kg. ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως τοῦ λέβητος εἶναι η = 0.70.

Νὰ εὑρεθῇ ἡ ὡριαία κατανάλωσις πετρελαίου εἰς τὸν λέβητα.

<u>Λυσις</u>; Ἐκ τοῦ πίνακος VI εὑρίσκομεν ὅτι ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ εἶναι $i'' = 669$ kcal/kg. Ἀφ' ἑτέρου ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ὕδατος τροφοδοτήσεως θερμοκρασίας 20°C εἶναι $i_1 = 20$ kcal/kg. Ἄρα διὰ τὴν παραγωγὴν 1 kg ἀτμοῦ ἀπαιτεῖται ποσὸν θερμότητος.

$$Q_0 = i'' - i_1 = 669 - 20 = 649 \text{ kcal}.$$

Ἄρα διὰ τὴν παραγωγὴν ἀτμοῦ βάρους G = 3.000 kg ἀπαιτεῖται θερμότης $Q = G \cdot Q_0 = 3.000 \cdot 649 = 1.947.000$ kcal.

ΠΙΝΑΞ VI

Στοιχεία ξηρού κεκορεσμένου ύδρατμού

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Πραγματική πίεσις είς at.	Θερμοκρασία είς °C	Είδικός όγκος τού άτμού είς M^3/kg	Θερμοπεριεκτικότης είς kcal/kg		Εσωτερική ένέργεια είς kcal/kg		Εντροπή είς kcal/kg °C	
			Ύδωρ	Ατμός	Ύδωρ	Ατμός	Ύδωρ	Ατμός
P	t_s	v''	i'	i''	u'	u''	s'	s''
0,05	32,5	28,7	33	610	33	576	0,113	2.003
0,10	45,4	15.0	45	616	45	581	0,154	1,946
0.20	59,7	7.80	60	622	60	586	0.198	1,889
0.5	80,9	3.30	81	632	81	593	0,260	1.816
0,8	93	2.13	93	637	93	597	0,293	1.778
1	99,1	1,73	99	639	99	599	0,310	1.761
2	119,6	0.903	120	647	120	605	0.364	1.706
3	132,9	0,618	133	652	133	608	0.398	1.675
4	142,9	0.472	144	659	144	611	0.423	1,652
5	151,1	0.383	152	657	152	613	0.443	1,634
6	158,1	0.322	159	659	159	614	0.460	1.620
7	164,2	0.279	166	661	166	615	0,474	1.607
8	169,6	0.245	171	662	171	616	0.487	1.596
9	174.5	0.220	177	663	176	617	0,499	1.587
10	179.0	0.199	181	664	181	618	0,509	1.578
12	187.2	0.167	190	666	190	619	0.528	1.566
14	194.1	0.144	197	667	197	620	0.544	1.549
16	200,4	0,126	204	668	204	620	0.558	1,538
18	206,2	0.113	210	668	210	621	0.571	1.527
20	211,4	0.102	216	669	215	621	0.582	1.517
25	222.9	0.082	228	669	228	621	0.607	1.496
30	232,8	0.068	239	669	238	621	0.629	1.478
40	249,2	0.051	257	667	256	619	0.664	1.447
50	262.7	0.040	273	663	271	617	0.692	1.442
60	274.3	0.033	286	660	284	613	0.716	1.399
70	284.5	0.028	298	655	296	610	0.737	1.378
80	293.6	0.024	309	651	306	606	0.756	1.359
90	301.9	0.021	310	646	316	602	0.773	1.341
100	309.5	0.018	329	641	325	598	0.789	1.525
150	340.5	0.011	374	613	368	576	0.862	1.251
200	364.2	0.006	426	573	416	544	0.940	1.172
225	374.0	0.003	501	501	485	485	1.056	1.056

Ἐπομένως τὸ πετρέλαιον πρέπει νὰ προσδώσῃ εἰς τὸν λέβητα θερμότητα $Q = \frac{Q}{\eta} = \frac{1.947.000}{0.7} \cong 2.796.000$ kcal.

Ἐπειδὴ 1 kg πετρελαίου καιόμενον ἀποδίδει $\Theta = 10.000$ kcal ἕπεται ὅτι ἀπαιτεῖται ὡριαίως ποσότης πετρελαίου:

$$G_1 = \frac{Q_0}{\Theta} = \frac{2.796.000}{10.000} = 279.6 \text{ kg}.$$

Ὑγρὸς ἀτμός

Ὁ ξηρὸς κεκορεσμένος ὑδρατμὸς εἶναι μία κατάστασις πολὺ ἀσταθής. Ἐὰν ψύξωμεν ὀλίγον αὐτὸν τότε μέρος αὐτοῦ μετατρέπεται εἰς ὑγρόν, τὸ ὁποῖον αἰωρεῖται ὡς ὁμίχλη εἰς τὸν ἀτμόν. Ἕνα μῖγμα ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ καὶ σταγονιδίων ἐν εἴδει ὁμίχλης ὀνομάζεται ὡς ἴδομεν ὑγρὸς ἀτμός. Ἐὰν 1 kg ἀτμοῦ περιέχει x kg ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ, τότε θὰ περιέχῃ 1-x kg ὕδατος.

Ἐὰν γνωρίζωμεν τὴν πίεσιν τοῦ ἀτμοῦ καὶ τὴν περιεκτικότητα αὐτοῦ εἰς ξηρὸν κεκορεσμένον ἀτμόν, δυνάμεθα νὰ προσδιορίσωμεν ὅλα τὰ μεγέθη αὐτοῦ.

Οὕτω ὁ εἰδικὸς ὄγκος εἶναι:

$$\upsilon = \upsilon'' \cdot x + \upsilon' \cdot (1-x) \ldots\ldots\ldots (71)$$

Ἐπειδὴ τὸ υ' εἰς τὰς συνήθεις χρησιμοποιουμένας πιέσεις εἶναι πολὺ μικρὸν ἐν σχέσει πρὸς τὸ υ'' τότε δυνάμεθα νὰ θέσωμεν:

$$\upsilon \cong \upsilon'' \cdot x \ldots\ldots\ldots\ldots (71^a)$$

Ὁμοίως εὑρίσκομεν

Θερμοπεριεκτικότης ὑγροῦ ἀτμοῦ: $i = i'' \cdot x + i' \cdot (1-x) \ldots (72)$

Ἐσωτερικὴ ἐνέργεια " " : $u = u'' \cdot x + u' \cdot (1-x) \ldots (73)$

Ἐντροπὴ " " : $s = s'' \cdot x + s' \cdot (1-x) \ldots (74)$

καὶ ἐδῶ ἰσχύει ἡ σχέσις $Q = i_2 - i_1$ ἔνθα i_2 ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ καὶ i_1 τοῦ ὕδατος.

Ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ ἰσοῦται πρὸς τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ τῆς αὐτῆς πιέσεως.

Παράδειγμα: Ὑγρὸς ἀτμὸς πιέσεως 10 at. ἔχει περιεκτικότητα εἰς ξηρὸν κεκορεσμένον ἀτμὸν x = 0.8.

Νὰ προσδιορισθοῦν ὁ εἰδικὸς ὄγκος, ἡ θερμοπεριεκτικότης, ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια καὶ ἡ ἐντροπὴ αὐτοῦ.

<u>Λύσις:</u> ἐκ τοῦ πίνακος VI εὑρίσκομεν:

Θερμοκρασία ὑγροῦ ἀτμοῦ $t = t_s = 179°C$

Εἰδικὸς ὄγκος " " $v = v'' \cdot x = 0.199 \cdot 0.8 = 0{,}1392\ m^3/kg$

Θερμοπεριεκτικότης " " $i = i'' \cdot x + i' \cdot (1-x) = 664 \cdot 0{,}8 + 181 \cdot 0{,}2 = 567{,}4\ kcal/kg$

Ἐσωτερικὴ ἐνέργεια " " $u = u'' x + u' (1-x) = 618 \cdot 0.8 + 181 \cdot 0.2 = 530{,}6$ "

Ἐντροπὴ " " $s = s'' x + s' \cdot (1-x) = 1.578 \cdot 0{,}8 + 0{,}509 \cdot 0{,}2 = 1{,}3642\ kcal/kg\,°C$

β) <u>Ὑπέρθερμος ἀτμός</u>

Ἐὰν εἰς τὸν ξηρὸν κεκορεσμένον ἀτμὸν προσδώσωμεν καὶ ἄλλην ποσότητα θερμότητος τότε ἡ θερμοκρασία του θ' ἀρχίσῃ νὰ ἀνέρχεται καὶ οὕτω θὰ ἔχωμεν <u>ξηρὸν</u> ἢ <u>ὑπέρθερμον ἀτμόν.</u>

Ἐὰν t ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑπερθέρμου ἀτμοῦ.

καὶ t_s " " κεκορεσμένου " ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν τότε τὴν $t\ddot{u} = t - t_s$ καλοῦμεν <u>ὑπερθέρμανσιν τοῦ ἀτμοῦ.</u>

Ὁ ὑπέρθερμος ἀτμὸς συμπεριφέρεται περίπου ὡς ἀέριον. Οὕτω δυνάμεθα διὰ τὸν ὑπέρθερμον ἀτμὸν νὰ ἐφαρμόσωμεν τοὺς νόμους, τοὺς ὁποίους εὕρομεν διὰ τὰ ἀέρια ἔχοντες ὑπ' ὄψιν ὅτι διὰ τὸν ἀτμὸν ἔχομεν κατὰ προσέγγισιν:

σταθερὰ $R = 47.0$

Εἰδικὴ θερμότης ὑπὸ πίεσιν σταθερὰν $C_p = 0{,}54\ Kcal/kg$

" " " ὄγκον σταθερὸν $C_v = 0.43$ " "

Διὰ τὸν ὑπέρθερμον ἀτμὸν ἰσχύει ὡς εἴπομεν ἡ σχέσις $Pv = RT$

ἄρα $v = \dfrac{RT}{P}$

Ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ὑπερθέρμου ἀτμοῦ ἰσοῦται μὲ τὴν θερμοπεριεκτικότητα τῶν κεκορεσμένων τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας σὺν τῇ θερμότητι τῆς ὑπερθερμάνσεως ἤτοι:

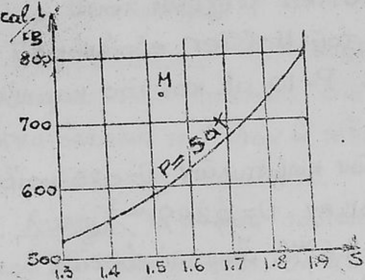
$$i = i'' + C_p \cdot t\ddot{u} \quad \ldots\ldots\ldots (76)$$

Ἐκ τῆς θερμότητος ὑπερθερμάνσεως ἕνα μέρος τὸ $C_v \cdot t\ddot{u}$ χρησιμεύει διὰ τὴν αὔξησιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀτμοῦ ἄρα ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ὑπερθέρμου ἀτμοῦ εἶναι:

$$u = u'' + C_v \cdot t\ddot{u} \quad \ldots\ldots (77)$$

7) Διάγραμμα i-S

Ἐάν λάβωμεν δύο καθέτους ἄξονας καί ἐπί μέν τοῦ ὁριζοντίου ἄξονος λάβωμεν ὑπό κλίμακα τήν ἐντροπήν καί ἐπί τοῦ δέ κατακορύφου ὑπό ἑτέραν κλίμακα τήν θερμοπεριεκτικότητα τοῦ ἀτμοῦ, τότε ἐάν τοῦ ἀτμοῦ γνωρίζομεν τά μεγέθη i καί S, οὗτος παρίσταται ὑπό σημείου τοῦ διαγράμματος. (Σχ 32).



Σχημ. 32

Οὕτω εἰς τό σημεῖον M ἀντιστοιχεῖ ἀτμός μέ ἐντροπήν S=1.53 καί θερμοπεριεκτικότητα i=740 kcal/kg. Ἡ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ προσδιορίζεται πλήρως ἐάν γνωρίζωμεν τά μεγέθη του i καί S.

Ἐάν ἑνώσωμεν ὅλα τά σημεῖα, τά ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν εἰς τήν αὐτήν πίεσιν P διά μιᾶς καμπύλης τότε δυνάμεθα ἐκ τοῦ διαγράμματος, ἐάν γνωρίζωμεν τήν ἐντροπήν νά εὕρωμεν τήν θερμοπεριεκτικότητα i τοῦ ἀτμοῦ τήν ἀντιστοιχοῦσαν εἰς τήν πίεσιν ταύτην.

Ἐάν χαράξωμεν πολλάς τοιαύτας καμπύλας, ἑκάστη τῶν ὁποίων νά ἀντιστοιχῇ εἰς μίαν πίεσιν τότε δεδομένης τῆς ἐντροπῆς εὑρίσκομεν τήν θερμοπεριεκτικότητα τοῦ ἀτμοῦ δι' οἱανδήποτε πίεσιν.

Εἰς τό διάγραμμα τοῦτο δυνάμεθα ἐπίσης νά χαράξωμεν καί καμπύλας δι' ὅλα τά ἄλλα χαρακτηριστικά μεγέθη τῆς καταστάσεως ἤτοι:

Καμπύλας v= σταθ., t = σταθ. , x= σταθ.

Ἐπίσης χαράσσομεν καί τήν καμπύλην τῶν ὁρίων μεταξύ τοῦ ὑγροῦ καί τοῦ ὑπερθέρμου ἀτμοῦ ἤτοι ἡ καμπύλη τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ (x=1).

Τό οὕτω κατασκευαζόμενον διάγραμμα i-S εἶναι χρήσιμον πρό παντός διά τήν εὕρεσιν τῶν χαρακτηριστικῶν μεγεθῶν τῆς καταστάσεως τῶν ὑπερθέρμων ἀτμῶν, τῶν ὁποίων ὁ ὑπολογισμός εἶναι δύσκολος διότι οὗτοι δέν ἀκολουθοῦν ἀκριβῶς τούς τύπους τῶν ἀερίων.

Τό διάγραμμα $i-s$ ὀφείλεται εἰς τόν Μολιέ (Mollier).

Παράδειγμα: Ἀτμός πιέσεως 10 at ὑπερθερμαίνεται μέχρι θερμοκρασίας 350°.

Νά προσδιορισθοῦν τά χαρακτηριστικά μεγέθη του.

<u>Λύσις:</u> Ἐκ τοῦ διαγράμματος $i-s$ τοῦ Mollier εὑρίσκομεν τό σημεῖον τομῆς τῆς καμπύλης $P = 10$ at καί τῆς καμπύλης $t = 350°$ C.

Τό σημεῖον εὑρίσκεται μεταξύ τῶν καμπυλῶν $U = 0.25$ καί $U = 0.30$. Διά παρεμβολῆς εὑρίσκομεν $U = 0.289$ m³/kg.

Τό σημεῖον τοῦτο ἐπίσης κεῖται 1.6 mm ἄνω τῆς εὐθείας $i = 750$ kcal/kg καί 8 mm δεξιά τῆς εὐθείας $s = 1.70$. Ἐπειδή 1 mm τοῦ διαγράμματος ἀντιστοιχεῖ εἰς κατακόρυφον διεύθυνσιν πρός 3 kcal/kg καί εἰς ὁριζοντίαν πρός 0.006 μονάδας ἐντροπῆς ἕπεται ὅτι ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ὑπερθέρμου ἀτμοῦ εἶναι:

$$i = 750 + 1.6 \cdot 3 \cong 755 \text{ kcal/kg}$$

καί ἡ ἐντροπή εἶναι $s = 1{,}70 + 8 \cdot 0.006 = 1.748$ kcal/kg°C

Ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια εἶναι:

$$u = i - ApU = 755 - \frac{100.000 \cdot 0.289}{427} = 687 \text{ kcal/kg}.$$

8) <u>Ἀλλαγαί καταστάσεως</u>

α) <u>Γενικά:</u> Καί εἰς τούς ἀτμούς θά μελετήσωμεν τάς ἰδίας ἀλλαγάς καταστάσεως, τάς ὁποίας ἐμελετήσαμεν καί διά τά ἀέρια. Καί ἐδῶ μέρος τῆς προσδιδομένης θερμότητος αὐξάνει τήν ἐσωτερικήν ἐνέργειαν τοῦ ἀτμοῦ ἐνῷ τό ὑπόλοιπον παράγει μηχανικόν ἔργον.

Ἄς καλέσωμεν U_1 καί U_2 τήν ἐσωτ[ε]ρικήν ἐνέργειαν 1 kg ἀτμοῦ εἰς τήν ἀρχήν καί τό πέρ[ας] τῆς [ἀ]λλαγῆς καταστάσεως, καί

L τό ἀποδιδόμενον μη[χ]αν[ικ]όν ἔ[ργον] [εἰς τό] ..., ...

Τότε ἡ προσδιδομέν[η] εἰς τόν ἀτ[μ]όν ... θερμότης εἶναι:

$$Q = U_2 - U_1 + AL \quad \ldots\ldots(78)$$

εἰς τὰ ἑπόμενα πραγματευόμεθα πάντοτε μὲ 1 kg ἀτμοῦ.

α) Ἀλλαγὴ καταστάσεως ὑπὸ ὄγκον σταθερόν

Ὅπως καὶ εἰς τὰ ἀέρια (σελίς 67) οὕτω καὶ ἐδῶ δὲν παράγεται μηχανικὸν ἔργον ἑπομένως ἡ προσδιδομένη θερμότης εἶναι:

$$Q = u_2 - u_1 \ldots\ldots\ldots \quad (79)$$

Ἡ ἀλλαγὴ καταστάσεως παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα $i-s$ ὑπὸ καμπύλης $v =$ σταθερόν.

Παράδειγμα: Εἰς ἐνδοχεῖον περιέχονται $10\,m^3$ ἀτμοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου πιέσεως 8 at. Νὰ ὁρισθοῦν τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ, ἡ κατάστασίς του ὅταν ἡ πίεσις κατέλθῃ εἰς τὰς 6 at καὶ ἡ ἀποδιδομένη θερμότης.

Λύσις: Τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ θὰ εἶναι $G = \frac{V}{v''}$ ἐκ τοῦ πίνακος VI εὑρίσκομεν $v'' = 0.245\ m^3/kg$ ἄρα $G = \frac{10}{0.245} = 40.8\ kg$.

Ὅταν πίπτει ἡ πίεσις ὁ ἀτμὸς ἀποδίδει θερμότητα καὶ κατέρχεται ἡ θερμοκρασία του. Οὕτω ἓν μέρος αὐτοῦ ὑγροποιεῖται καὶ ἑπομένως ὁ ἀτμὸς γίνεται ὑγρός.

Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὸ τέλος καὶ εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς ἀλλαγῆς εἶναι ὁ αὐτὸς διότι αὐτὴ λαμβάνει χώραν εἰς κλειστὸν δοχεῖον.

Ἐὰν v_2' ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ τῶν 6 at τότε $v_2' = 0.245\ m^3/kg$

Ἐὰν δὲ x εἶναι ἡ ἀτμοπεριεκτικότης τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ καὶ v_2'' ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ τῶν 6 at τότε $v_2' \cong x \cdot v_2''$. Ἀλλὰ ἐκ τοῦ πίνακος εὑρίσκομεν $v_2'' = 0.322$

$$\text{ἄρα } x = \frac{v_2'}{v_2''} = \frac{0.245}{0.322} = 0.761.$$

Ἄρα ἡ θερμοπεριεκτικότης i_2 τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ τῶν 6 at εἶναι

$$i_2 = i_2'' \cdot x + i_2' (1-x) = 659 \cdot 0.761 + 159 \cdot 0.239 = 540\ kcal/kg.$$

(αἱ τιμαὶ i_2'' καὶ i_2' εὑρίσκεται ἐκ τοῦ πίνακος VI καὶ ἀντιστοιχοῦν εἰς $P = 6$ at).

Ὁμοίως ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ὑγροῦ ἀτμοῦ εἶναι:

$$u_2 = u_2'' \cdot x + u_2' (1-x) = 614 \cdot 0.761 + 159 \cdot 0.239 = 505\ kcal/kg.$$

Ἡ ἀποδιδομένη ὑπὸ τοῦ ἀτμοῦ θερμότης εἶναι:

$Q = u_1'' - u_2$ (u_1'' = ἡ ἐσωτ. ἐνέργεια τοῦ ξηροῦ κεκορεσμ. τῶν 8 at) ἢ $Q = 616 - 505 = 111$ kcal/kg.

Ἄρα ἡ συνολικῶς ὑπό τοῦ ἀτμοῦ ἀποδιδομένη θερμότης εἶναι:

$$Q_g = G \cdot Q = 40,8 \cdot 111 = 4530 \text{ kcal}$$

β) Ἀλλαγή καταστάσεως ὑπό πίεσιν σταθεράν

Ἐάν πρόκειται ἀτμός ὑπό σταθεράν πίεσιν νά διασταλῇ πρέπει νά προσδόσωμεν εἰς αὐτόν θερμότητα, τοὐναντίον δέ ἐάν πρόκειται νά συσταλῇ πρέπει νά ἀφαιρέσωμεν ἀπό αὐτόν θερμότητα. (ὅπως καί εἰς τά ἀέρια).

Ἐάν P ἡ πίεσις καί U_1 καί U_2 οἱ εἰδικοί ὄγκοι τοῦ ἀτμοῦ εἰς τήν ἀρχήν καί τό τέλος τῆς ἀλλαγῆς καταστάσεως, τότε τό ὑπό τοῦ ἀτμοῦ παραγόμενον μηχανικόν ἔργον εἶναι:

$$L = P(U_2 - U_1) \quad \ldots\ldots\ldots (80)$$

Ἐάν δέ i_1 καί i_2 ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἀτμοῦ εἰς τήν ἀρχήν καί τό τέλος τῆς ἀλλαγῆς ἡ προσδιδομένη εἰς τόν ἀτμόν θερμότης εἶναι:

$$Q = i_2 - i_1 \quad \ldots\ldots\ldots (81)$$ (ἴδε ἐξίσωσιν 70 σελ. 102)

Ἡ ἀλλαγή παρίσταται εἰς τό διάγραμμα i-s ὑπό καμπυλ. P=σταθ.

Παράδειγμα: Ὑγρός ἀτμός πιέσεως $P = 10$ at μέ ἀτμοπεριεκτικότητα $x = 0.8$ πρόκειται νά ὑπερθερμανθῇ εἰς 350°. Ὁ ὑπερθερμαντήρ συγκοινωνεῖ μέ τόν λέβητα ἄρα ἡ πίεσις τοῦ ἀτμοῦ κατά τήν ὑπερθέρμανσιν θά παραμείνῃ σταθερά.
Νά εὑρεθῇ τό ποσόν τῆς θερμότητος, τό ὁποῖον ἀπαιτεῖται διά τήν ὑπερθέρμανσιν ταύτην 1 kg ἀτμοῦ.

Λύσις: Ἀπό τό διάγραμμα i-s τοῦ Mollier εὑρίσκομεν:
διά τόν ὑγρόν ἀτμόν $i_1 = 567$ kcal/kg (τομή τῆς $P=10$ καί τῆς $x = 0,8$)
καί διά τήν ὑπερθέρμανσιν $i_2 = 755$ " " (" " $P=10$ " " $t = 350$)
Ἄρα τό ζητούμενον ποσόν θερμότητος εἶναι:

$$Q = i_2 - i_1 = 755 - 567 = 188 \text{ kcal/kg}$$

γ) Ἀδιάθερμος ἀλλαγή καταστάσεως.

Ἐάν ἀποτονοῦται ἐντός κυλίνδρου ἀτμός χωρίς νά παραλαμβάνῃ ἤ νά ἀποδίδῃ θερμότητα τότε μεταβάλλεται μετά τῆς πιέσεως καὶ ὁ ὄγκος καὶ ἡ θερμοκρασία του, ἡ ἐντροπὴ ὅμως αὐτοῦ παραμένει σταθερὰ (ἴδε σχετικὸν κεφάλαιον εἰς τὰ ἀέρια σελ. 75)

Ἑπομένως ἡ ἀδιάθερμος ἀλλαγὴ καταστάσεως θὰ παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα $i-s$ ὑπὸ εὐθείας $s=$ σταθ.

Τὸ ἔργον τὸ ὁποῖον παράγει ὁ ἀτμὸς κατὰ τὴν ἀποτόνωσιν ἰσοῦται πρὸς τὴν μείωσιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας αὐτοῦ.

$$\text{ἤτοι } AL = u_1 - u_2 \text{ ἢ } L = \frac{u_1 - u_2}{A} \quad \ldots\ldots\ldots (82)$$

Τὸ ἔργον τοῦτο κατὰ τὴν ἀδιάθερμον συμπίεσιν τοῦ ἀτμοῦ εἶναι ἀρνητικὸν ἤτοι πρέπει νὰ τὸ ἐκτελέσωμεν διὰ νὰ συμπιεσθῇ ὁ ἀτμός.

<u>Παράδειγμα:</u> Ἀτμὸς ὑπέρθερμος θερμοκρασίας 352° καὶ πιέσεως 6 at ἀποτονοῦται μέχρι πιέσεως 0.2 at. Νὰ ὁρισθῇ ἡ τελικὴ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ καὶ τὸ ἀποδοθὲν ὑπ' αὐτοῦ ἔργον.

<u>Λύσις:</u> Ἡ ἀρχικὴ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ ὁρίζεται εἰς τὸ διάγραμμα $i-s$ ὡς σημεῖον τομῆς τῆς $P=6$ at καὶ $t=325°C$.

Τότε ἀναγιγνώσκομεν ἐκ τοῦ διαγράμματος τὰ ἀντίστοιχα μεγέθη.

$$v_1 = 0.465 \ m^3/kg$$
$$i_1 = 745 \ kcal/kg$$
$$s_1 = 1{,}786 \ kcal/kg°C$$

$$\text{ἄρα } u_1 = i_1 - Ap_1 v_1 = 745 - \frac{60.000 \cdot 0{,}465}{427} = 745 - 65.4 = 679.6 \ kcal/kg.$$

Κατὰ τὴν ἀποτόνωσιν παραμένει ἡ ἐντροπὴ σταθερά.

Ἡ τελικὴ ἑπομένως κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ ὁρίζεται ὡς τὸ σημεῖον τομῆς τῆς $S=1.786$ καὶ τῆς καμπύλης $P=0.2$ at.

Ἐκ τοῦ σημείου αὐτοῦ εὑρίσκομεν:

$$v_2 = 8 \ m^3/kg$$
$$i_2 = 539 \ kcal/kg$$

$$\text{ἄρα} \quad u_2 = i_2 - Ap_2 v_2 = 539 - \frac{2.000 \cdot 8}{427} = 501.5 \ kcal/kg.$$

ὁ ἀτμὸς γίνεται ὑγρὸς μὲ ἀτμοπεριεκτικότητα $x = 0.94$

Τὸ ἀποδιδόμενον ἔργον εἶναι

$$L = \left(\frac{u_1 - u_2}{A}\right) = (679.6 - 501.5) \cdot 427 = 76.000 \ kgm/kg.$$

δ) Ἰσοθερμοκρασιακὴ ἀλλαγὴ καταστάσεως

Ἐὰν ἀτμὸς ἀποτονοῦται ἐντὸς δοχείου ὑπὸ θερμοκρασίαν σταθερὰν τότε ἀπαιτεῖται πρὸς τοῦτο θερμότης, μέρος τῆς ὁποίας αὐξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀτμοῦ καὶ τὸ ὑπόλοιπον παράγει μηχανικὸν ἔργον.

Ἐὰν U_1 καὶ U_2 ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὴν ἀρχὴν καὶ τὸ τέλος τῆς ἀλλαγῆς καὶ L τὸ παραγόμενον μηχανικὸν ἔργον τότε τὸ ἀπαιτούμενον ποσὸν θερμότητος εἶναι:

$$Q = U_2 - U_1 + AL \quad (\text{ἐξίσωσις } 78)$$

Εἰς τὴν ἰσόθερμον ἀλλαγὴν ἰσχύει ἡ ἐξίσωσις 58 σελ. 74, ἡ ὁποία ἰσχύει καὶ διὰ τὰ ἀέρια ἤτοι διὰ 1 kg ἀτμοῦ ἔχομεν

$$Q = T.(S_2 - S_1)$$

ἄρα $\quad T(S_2 - S_1) = U_2 - U_1 + AL$

ἢ $\quad AL = T(S_2 - S_1) - (U_2 - U_1) \quad \ldots\ldots (83)$

Ἡ ἰσόθερμος ἀλλαγὴ παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα i-S ὑπὸ τῆς καμπύλης t = σταθ.

Ἡ καμπύλη αὐτὴ εἰς τὴν περιοχὴν τῶν ὑγρῶν ἀτμῶν συμπίπτει μὲ μίαν ἀντίστοιχον καμπύλην P=σταθ. ἐνῷ εἰς τὴν περιοχὴν τῶν κεκορεσμένων αἱ καμπύλαι t=σταθ. καὶ p=σταθ. ἀκολουθοῦν διάφορον πορείαν.

<u>Παράδειγμα:</u> 1 kg ὑγροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ πιέσεως $P_1 = 16$ at καὶ ἀτμοπεριεκτικότητας $x = 0.95$ ἀποτονοῦται ἰσοθερμοκρασιακῶς μέχρι μιᾶς πιέσεως $P_2 = 6$ at. Νὰ ὁρισθῇ ἡ νέα κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ ὡς καὶ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος τὸ ὁποῖον ἔλαβεν οὗτος καὶ τὸ μηχανικὸν ἔργον τὸ ὁποῖον παρήχθη.

<u>Λύσις:</u> Εἰς τὴν πίεσιν $P_1 = 16$ at ἀντιστοιχεῖ μία θερμοκρασία $t_1 = 200{,}4°C$. Ἡ ἀρχικὴ κατάστασις εὑρίσκεται εἰς τὸ διάγραμμα i-S ὡς σημεῖον τομῆς τῆς P=16 at καὶ x=0.95. Ἐκ τοῦ σημείου τούτου εὑρίσκομεν διὰ τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν τοῦ ὄγκου.

$$v_1 = 0.12 \ m^3/kg$$

$$i_1 = 645 \ kcal/kg$$

$$s_1 = 1.489 \ \text{kcal/kg°C}$$

ἄρα $u_1 = i_1 - Ap_1 v_1 = 645 - \frac{160.000 \cdot 0.112}{427} = 600 \ \text{kcal/kg}$

ἀκολούθως προεκτείνοντες τὴν $t = 200.4$ μέχρις ὅτου κόψῃ τὴν $p = 6$ εὑρίσκομεν τὴν νέαν κατάστασιν τοῦ ἀτμοῦ. Ἡ κατάστασις αὕτη εἶναι εἰς τὴν περιοχὴν τῶν ὑπερθέρμων, εὑρίσκομεν δὲ ἐκ τοῦ διαγράμματος τὰ ἑξῆς στοιχεῖα:

$$v_2 = 0{,}36 \ \text{m}^3/\text{kg}$$
$$i_2 = 681 \ \text{kcal/kg}$$
$$s_2 = 1.669 \ \text{kcal/kg°C}.$$

ἄρα $u_2 = i_2 - Ap_2 v_2 = 681 - \frac{60.000 \cdot 0.36}{427} = 630{,}5 \ \text{kcal/kg}.$

Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος τὸ ὁποῖον ἔλαβε ὁ ἀτμὸς εἶναι

$$Q = T(s_2 - s_1) = (273 + 200{,}4)(1669 - 1.489) = 85{,}2 \ \text{kcal}$$

καὶ τὸ παραχθὲν μηχανικὸν ἔργον εἶναι:

$$AL = 85.2 - (630{,}5 - 600) = 85.2 - 30{,}5 = 54.7 \ \text{kcal}$$

ἢ $L = 54{,}7 \cdot 427 = 23350 \ \text{Kgm}.$

9. Ἐφαρμογαὶ τοῦ ἀτμοῦ

α) Ψυγεῖον.

Ἐνῷ ὁ ἀτμολέβης μεταβάλλει τὸ ὕδωρ εἰς ἀτμόν, τὸ ψυγεῖον μεταβάλλει τὸν ἀτμὸν εἰς ὕδωρ. Πρὸς τὸν σκοπὸν τοῦτον ἀφαιροῦμεν διὰ ψυχροῦ ὕδατος θερμότητα ἀπὸ τὸν πρὸς ὑγροποίησιν ἀτμόν.

Ἐὰν i_1 = ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἀτμοῦ.

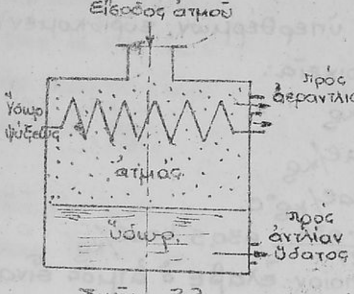
καὶ i_2 = ἡ " " ὕδατος τοῦ παραχθέντος

τότε ἡ ὑπὸ τοῦ ὕδατος ψύξεως ἀφαιρουμένη ἀπὸ τὸν ἀτμὸν θερμότης εἶναι ἀνὰ kg ἀτμοῦ:

$$Q = i_1 - i_2 \ \ldots \quad (\text{ἐξίσωσις } 70)$$

Τὸ σχῆμα 33 παριστᾷ σχηματικῶς τὸ ψυγεῖον.

Ὁ ἀτμὸς εἰσερχόμενος εἰς τὸ ψυγεῖον ψύχεται ἀπὸ τὸ ὕδωρ ψύξεως καὶ μεταβάλλεται εἰς ὕδωρ. Τὸ ὕδωρ τοῦτο ἀφαιρεῖται ἀπὸ ὑδραντλίαν. Ἀφ' ἑτέρου ἀεραντλία ἀφαιρεῖ τὸν ἀτμοσφαιρικόν αέρα, τόν όποίον παρασύρει μαζύ του ό ατμός. (ό αήρ ούτος εισέρχεται είς τήν εγκατάστασιν του άτμου έν μέρει μέ τό ύδωρ τροφοδοτήσεως καί έν μέρει από μή στεγανά μέρη της εγκαταστάσεως).



Σχήμ. 33

Ή πίεσις έντός του ψυγείου είναι συμφώνως πρός τόν νόμον του Dalton ίση μέ τό άθροισμα των μερικών πιέσεων του άτμου καί του άτμοσφαιρικού άέρος.

(ίδε καί σελίδας 54, 96)

Ή πίεσις του άτμου P_1 έξαρτάται έκ της θερμοκρασίας, είς τήν όποίαν γίνεται ή ύγροποίησις καί εύρίσκεται έκ του πίνακος VI.

Ή πίεσις του άέρος P_2 εύρίσκεται έκ της σχέσεως $P_2 U = RT$ έάν γνωρίζομεν τόν ειδικόν όγκον U του άέρος (m^3/kg) τόν όποίον άπορροφά ή άντλία.

Ούτος εύρίσκεται ώς έξης: Έάν ή άεραντλία είς μίαν ώραν άναρροφά Vm^3 μίγματος θά άναρροφά καί Vm^3 άέρος (διότι καί ό αήρ καί ό υδρατμός καταλαμβάνει ολόκληρον τόν χώρον του ψυγείου). Έάν έπίσης εισρέουν ωριαίως είς τό ψυγείον G Kg άέρος τότε ό ειδικός όγκος του άέρος είναι: $U = \frac{V}{G}$. Τήν τιμήν αύτήν θέτομεν είς τήν έξίσωσιν $P_2 U = RT$ καί λαμβάνομεν $P_2 = \frac{RT.G}{V}$

<u>Παράδειγμα:</u> Είς ένα ψυγείον εισέρχεται ωριαίως $G = 1000$ Kg άτμού πιέσεως $P = 0.8$ at καί άτμοπεριεκτικότητος $x = 0.9$ καί $G_1 = 2$ Kg άέρος. Ό άτμός μετατρέπεται είς ύδωρ θερμοκρασίας 38° C. Ή άεραντλία άναρροφά ωριαίως 100 m^3 μίγματος άτμού άέρος. Νά εύρεθή ή θερμότης τήν όποίαν άπορροφά ωριαίως τό ύδωρ ψύξεως καί ή πίεσις έντός τού ψυγείου.

<u>Λύσις:</u> Δεχόμεθα ότι κατά τήν είσοδον του άτμού είς τό ψυγείον μένει ή θερμοπεριεκτικότης του σταθερά.

Ἡ θερμοπεριεκτικότης 1 kg ἐκ τοῦ εἰσερχομένου ἀτμοῦ εἶναι:

$$i_1 = i''x + i'(1-x)$$

τὰς τιμὰς i'' καὶ i' εὑρίσκομεν ἐκ τοῦ πίνακος VI διὰ πίεσιν $P = 0.8$ at.

$$i_1 = 637 \cdot 0.9 + 93 \cdot 0.1 = 583 \text{ Kcal/kg}.$$

Ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ὕδατος θερμοκρασίας $t_s = 33°C$ εἶναι

$$i_2 \simeq t_s = 33 \text{ Kcal/kg}.$$

Ἄρα τὸ ὕδωρ ψύξεως ἀπορροφᾷ ὡριαίως θερμότητα ἴσην πρὸς $Q = G \cdot (i_1 - i_2) = 1000\,(583-33) = 550.000$ Kcal.

Ἡ πίεσις τοῦ ἀτμοῦ τοῦ ψυγείου εὑρίσκεται ἐκ τοῦ πίνακος VI καὶ εἶναι διὰ θερμοκρασίαν ὕδατος 33° ἴση πρὸς $P_1 = 0.05$ at.

Ἀφ' ἑτέρου ἡ πίεσις P_2 τοῦ ἀέρος εἶναι:

$$P_2 = \frac{RT \cdot G_1}{V_1} = \frac{29.3(273+33) \cdot 2}{100} = \frac{29.3 \cdot 306 \cdot 2}{100} = 0.0179 \text{ at}.$$

ἄρα ἡ ὁλικὴ πίεσις ἐντὸς τοῦ ψυγείου εἶναι:

$$P = P_1 + P_2 = 0.05 + 0.0179 = 0.0679 \text{ at}.$$

β) <u>Ἀτμομηχαναί</u>

Εἰς τὰς ἀτμομηχανὰς ὁ ἀτμὸς εἰσέρχεται ἐντὸς κυλίνδρου κλειομένου ὑπὸ παλινδρομοῦντος ἐμβόλου καὶ προσδίδει ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου τούτου μηχανικὸν ἔργον. Ἕνα σύστημα διανομῆς (ὁ σύρτης) ῥυθμίζει τὴν εἰσαγωγὴν καὶ ἐξαγωγὴν τοῦ ἀτμοῦ ἐκ τοῦ κυλίνδρου.

Ὁ τρόπος λειτουργίας τῆς μηχανῆς εἶναι ὁ ἑξῆς:

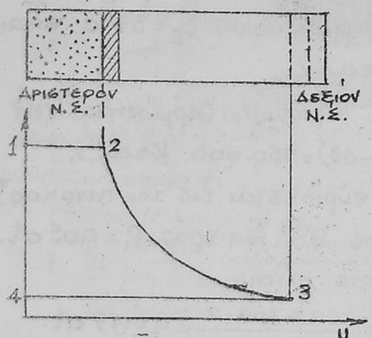
1) Εἰσροή. Τὸ ἔμβολον κινεῖται ἐκ τοῦ νεκροῦ σημείου πρὸς τὰ δεξιά. Ὁ κύλινδρος συγκοινωνεῖ διὰ τῆς ἀριστερᾶς του πλευρᾶς μετὰ τοῦ λέβητος καὶ πληροῦται ἀτμοῦ. Ἡ πορεία τοῦ ἀτμοῦ παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα Pυ (Σχ.34). διὰ τῆς εὐθείας 1-2 (P= σταθ.).

2) Ἀποτόνωσις. Ἡ συγκοινωνία τοῦ κυλίνδρου μετὰ τοῦ ἀτμολέβητος διακόπτεται καὶ ὁ ἀτμὸς ἀποτονοῦται ἄνευ προσδόσεως ἢ ἀπωλείας θερμότητος. Ἡ πορεία τοῦ ἀτμοῦ παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα ὑπὸ τῆς καμπύλης 2-3.

3) Ἐκκροή. Ὅταν τὸ ἔμβολον φθάσῃ εἰς τὸ δεξιὸν νεκρὸν σημεῖον συγκοινωνεῖ ὁ ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ἀτμὸς μὲ τὴν

ἀτμόσφαιραν ἢ μὲ τὸ ψυγεῖον.

Κατὰ τὴν πρὸς τὰ ἀριστερὰ κίνησιν τοῦ ἐμβόλου ὁ ἀτμὸς ἐκ-κρέει. Ἡ πορεία τοῦ ἀτμοῦ παρίσταται εἰς τὸ διάγραμμα ὑπὸ τῆς εὐθείας 3-4 (P=1).



Σχῆμ. 34

Τὴν μεγίστην ἀπόδοσιν ἔχει ἡ ἀτμομηχανὴ ὅταν κατὰ τὴν εἰσροὴν καὶ ἐκκροὴν τοῦ ἀτμοῦ οὐδεμία ἀπώλεια πιέσεως λαμβάνει χώραν, ἡ ἀποτόνωσις φθάνει μέχρι τὴν πίεσιν τῆς ἐξαγωγῆς καὶ τὸ ἔμβολον ἐκδιώκει ὅλον τὸν ἀτμόν.

Διὰ μίαν τοιαύτην μηχανὴν ἔχομεν τὸ διάγραμμα τοῦ Σχ.34 τὸ ὁποῖον λέγεται καὶ <u>θεωρητικὸν διάγραμμα</u> τῆς ἀτμομηχανῆς.

Ἂς θεωρήσωμεν ἀτμομηχανὴν ἐργαζομένην κατὰ τὸν θεωρητικὸν αὐτὸν τρόπον (ἄνευ ἀπωλειῶν) θεωρήσωμεν δὲ 1 kg ἀτμοῦ.

Κατὰ τὴν ἰσόθλιβον εἰσροὴν παράγεται μηχανικὸν ἔργον ἴσον πρὸς $L_1 = P_2 u_2$.

Κατὰ τὴν ἀποτόνωσιν παράγεται μηχανικὸν ἔργον $L_2 = \frac{u_2 - u_3}{A}$ (ἐξίσ. 82).

Κατὰ τὴν ἰσόθλιβον ἐξαγωγὴν καταναλίσκεται μηχανικὸν ἔργον ἴσον πρὸς $L_3 = P_2 u_3$.

Τὸ μηχανικὸν ἔργον τὸ ὁποῖον παράγεται συνολικῶς ὑπὸ 1 kg ἀτμοῦ εἰς μίαν παλινδρόμισιν τοῦ ἐμβόλου εἶναι.

$$L = L_1 + L_2 - L_3 = \frac{1}{A}\left(AP_2 u_2 + u_2 - u_3 - AP_3 V_3\right)$$

ἀλλὰ ὡς γνωστὸν $u_2 + AP_2 u_2 = i_2$ καὶ $u_3 + AP_3 u_3 = i_3$

ἄρα $L = \frac{1}{A}(i_2 - i_3)$ εἰς kgm $= i_2 - i_3$ εἰς kcal. . . . . .(84)

Ἄρα εἰς μίαν ἄνευ ἀπωλειῶν ἀτμομηχανὴν ἡ ὑπὸ τοῦ ἀτμοῦ εἰς μηχανικὸν ἔργον μεταβαλλομένη θερμότης ἰσοῦται μὲ τὴν θερμοπεριεκτικότητα τοῦ εἰσαγομένου ἀτμοῦ μεῖον τὴν θερμοπεριεκτικότητα τοῦ ἐξαγομένου.

Τὴν διαφορὰν μεταξὺ τῆς θερμοπεριεκτικότητος τῆς ἀρχῆς καὶ τοῦ πέρατος τὴν ὀνομάζομεν θερμικὴν πτῶσιν τοῦ ἀτμοῦ.

Ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς ἀτμομηχανῆς εἶναι:

$$\eta_\theta = \frac{AL}{Q} = \frac{AL}{i_2} = \frac{i_2 - i_3}{i_2} \quad \ldots\ldots (85)$$

Παράδειγμα: 1

Μία ἀτμομηχανὴ ἐργάζεται ἄνευ ἀπωλειῶν. Ὁ εἰσερχόμενος ἀτμὸς εἶναι ξηρὸς κεκορεσμένος πιέσεως 6 at καὶ ὁ ἐξερχόμενος εἶναι πιέσεως 1 at. Νὰ εὑρεθῇ ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς.

Εἰς τὸ διάγραμμα τοῦ Mollier εὑρίσκομεν τὴν τομὴν τῆς $P=6$ καὶ $x=1$. Ἐκ τοῦ σημείου τομῆς εὑρίσκομεν $i_2 = 659$ kcal/kg (ἴδε καὶ πίνακα VI) καὶ $S_2 = 1{,}620$ kcal/kg°C.

Κατὰ τὸ τέλος τῆς ἀποτονώσεως ἔχομεν $S_3 = S_2$ (ἐπειδὴ ἡ ἀποτόνωσις γίνεται ἀδιαθέρμως) καὶ πίεσιν $P_3 = 1$ at. Εὑρίσκομεν ἐκ τοῦ διαγράμματος τὸ σημεῖον εἰς τὸ ὁποῖον $P = 1$ at καὶ $S = 1{,}620$ kcal/kg.

Εἰς αὐτὸ ἀντιστοιχοῦν
$$i_3 = 587 \text{ kcal/kg}$$
$$U_3 = 1.56 \text{ m}^3\text{/kg}$$
$$x = 0.904$$

Τὸ παραγόμενον ἔργον εἶναι:

$$L = \frac{i_2 - i_3}{A} = (659 - 587) \cdot 427 = 30700 \text{ kgm/kg}$$

Καὶ ὁ θερμικὸς βαθμὸς τῆς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς εἶναι

$$\eta_\theta = \frac{i_2 - i_3}{i_2} = \frac{659 - 587}{659} = 0.109 = 10.9\%$$

Ἤτοι βλέπομεν ὅτι εἰς αὐτὴν τὴν ἄνευ ἀπωλειῶν ἀτμομηχανὴν καὶ μὲ ἐκκροὴν τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν μόνον τὰ 11% τῆς θερμότητος τοῦ ἀτμοῦ μεταβάλλονται εἰς μηχανικὸν ἔργον.

Παράδειγμα 2:

Εἰς μίαν ἄνευ ἀπωλειῶν ἐργαζομένην ἀτμομηχανὴν ἔχουσαν ψυγεῖον, ὁ εἰσρέων ἀτμὸς εἶναι ὑπέρθερμος θερμοκρασίας 350° C. καὶ πιέσεως 10 at. Ἡ πίεσις ἐκκροῆς εἶναι 0.1 at. Νὰ εὑρεθῇ ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως αὐτῆς.

Λύσις: Ἡ κατάστασις τοῦ εἰσρέοντος ἀτμοῦ εὑρίσκεται εἰς τὸ διάγραμμα Mollier ὡς σημεῖον τομῆς τῆς καμπύλης $t = 350°C$. καὶ $P = 10$ at.

Ἐκ τοῦ σημείου αὐτοῦ εὑρίσκομεν: $i_2 = 755$ Kcal/kg

καὶ $S_2 = 1.748$ Kcal/kg°C.

Ἡ κατάστασις τοῦ ἐκρέοντος ἀτμοῦ εὑρίσκεται εἰς τὸ ἴδιον διάγραμμα ὡς σημεῖον τομῆς τῆς $P = 0.1$ καὶ τῆς $S = 1.748$

Ἐκ τοῦ σημείου αὐτοῦ εὑρίσκομεν: $i_2 = 553$ Kcal/kg.

καὶ $v_2 = 1.33$ m³/kg.

Τὸ παραγόμενον ὑπὸ 1 kg ἀτμοῦ ἔργον εἶναι:

$$L = \frac{i_2 - i_3}{A} = 427(755 - 553) = 86.300 \text{ kgm}.$$

καὶ ὁ θερμικὸς βαθμὸς ἀποδόσεως εἶναι:

$$\eta_\theta = \frac{i_2 - i_3}{i_2} = \frac{755 - 553}{755} = 0.268 = 26.8\%$$

Ἤτοι διὰ χρήσεως ὑπερθέρμων ἀτμῶν καὶ ψυγείου ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς ἀτμομηχανῆς βελτιοῦται σημαντικά.

Ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὸ τέλος τῆς ἀποτονώσεως εἶναι $v_3 = 13.3$ m³/kg ἐνῷ εἰς τὸ προηγούμενον παράδειγμα ἦτο μόνον 1.43 m³/kg ἄρα ἡ μετὰ ψυγείου ἀτμομηχανὴ χρειάζεται ἕνα πολὺ μεγαλύτερον κύλινδρον παρὰ ἡ μετ' ἐλευθέρας ἐκροῆς.

Πραγματικὸν διάγραμμα ἀτμομηχανῆς.

Ἐὰν τὸ πραγματικὸν ἔργον τὸ ὁποῖον παράγει 1 kg ἀτμοῦ εἰς τὴν ἀτμομηχανὴν εἶναι AL_i = Ἐνδεικνυόμενον ἔργον ἀνὰ κύκλον, τότε $\eta_i = \frac{AL_i}{i_2}$ = ἐνδεικνυόμενος βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς μηχ.

Τὸ L_i εὑρίσκεται ἂν διαιρέσωμεν τὸ ἔργον, τὸ ὁποῖον εὑρίσκομεν ἐκ τοῦ πραγματικοῦ διαγράμματος τοῦ ἀτμοῦ, τὸ ὁποῖον λαμβάνομεν διὰ τοῦ δυναμοδείκτου διὰ τοῦ βάρους τοῦ ἀτμοῦ τοῦ ἀπαιτουμένου δι' ἕναν μόνον κύκλον.

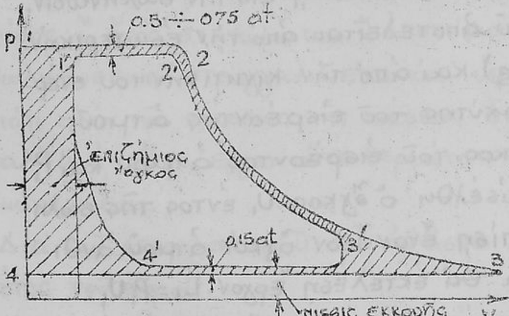
Τὸ ἐνδεικνυόμενον ἔργον εἶναι σημαντικῶς μικρότερον τοῦ θεωρητικοῦ ἔργου AL, διότι τὸ διάγραμμα τῆς πορείας τοῦ ἀτμοῦ εἰς κατασκευασθείσας μηχανάς, τὸ ὁποῖον δίδει ὁ δυναμοδείκτης διαφέρει τοῦ θεωρητικοῦ διαγράμματος. (τοῦ διαγραμματος, τό όποῖον λαμβάνομεν ἄν ἡ μηχανή ἐργάζεται ἄνευ ἀπωλειῶν) λόγῳ τῶν κάτωθι αἰτίων.

α) Τόν κύλινδρον τῆς μηχανῆς κατασκευάζομεν μικρότερον ἀπό τόν κύλινδρον τῆς ἄνευ ἀπωλειῶν μηχανῆς, διά τοῦτο ἡ ἐκροή τοῦ ἀτμοῦ ἀρχίζει πρίν ἡ πίεσις ἀποτονώσεως φθάσῃ τήν πίεσιν τῆς ἐκροῆς (τήν πίεσιν τῆς ἀτμοσφαίρας ἤ τοῦ ψυγείου). Ἤτοι τό πραγματικόν διάγραμμα εἶναι βραχύτερον τοῦ θεωρητικοῦ.

β) Τά ψυχρά τοιχώματα ψύχουν τόν ἀτμόν καί τοῦ ἐλαττώνουν τόν εἰδικόν ὄγκον· καί διά τοῦτο τό πραγματικόν διάγραμμα εἶναι ἐντός τοῦ θεωρητικοῦ.

γ) Ὁ ἐκρέων ἀτμός ἔχει πίεσιν ἐλαφρῶς ἀνωτέραν τῆς πιέσεως τοῦ ψυγείου ἤ τῆς ἀτμοσφαίρας.

δ) Ὁ κύλινδρος ἔχει ἕνα μικρόν ἐπιζήμιον χῶρον, ἤτοι ὅταν τό



Σχῆμ. 35

ἔμβολον εὑρίσκεται εἰς τό ἀριστερόν νεκρόν σημεῖον ὑπάρχει κενός χῶρος μεταξύ κυλίνδρου καί ἐμβόλου.

Κατά τήν ἐκροήν τοῦ ἀτμοῦ καί πρίν τό ἔμβολον φθάσῃ εἰς τό ἀριστερόν νεκρόν σημεῖον διακόπτεται ἡ ἐκροή καί ὁ ἐναπομένων ἀτμός συμπιέζεται καί φθάνει τήν πίεσιν τοῦ εἰσρέοντος ὅταν τό ἔμβολον φθάσῃ τό νεκρόν σημεῖον. Διότι ὁ ἐκρέων ἀτμός ἀποκτᾶ πιεζόμενος ὑπό τοῦ ἐμβόλου κινητικήν ἐνέργειαν, τήν ὁποίαν καταστρέφομεν διακόπτοντες τήν ἐκροήν πρό τοῦ νεκροῦ σημείου.

Τό Σχ. 35 δεικνύει τό θεωρητικόν διάγραμμα 1,2,3,4,1 μιᾶς μηχανῆς ἄνευ ἀπωλειῶν ὅταν ἡ ἀποτόνωσις φθάσῃ μέχρι τῆς πιέσεως τῆς ἐκροῆς, καί τό πραγματικόν διάγραμμα 1,2,3,4,1' τῆς ἰδίας μηχανῆς μέ μικρότερον κύλινδρον.

βλέπομεν ὅτι τὸ ἐμβαδὸν τοῦ 1΄,2΄,3΄,4΄,1΄ εἶναι μικρότερον τοῦ ἐμβαδοῦ τοῦ 1,2,3,4,1 ἄρα $AL_i < AL$

καὶ ἑπομένως $\eta_i < \eta_\theta$

Ἡ διαγραμμισμένη ἐπιφάνεια δίδει τὰς ἀπωλείας ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου τῆς μηχανῆς.

γ) <u>Σωληνώσεις καὶ στραγγαλισμοί</u>

Ἐὰν ρέῃ ἐντὸς σωληνώσεως ἓν σταθερὸν ποσὸν ἀτμοῦ ἀνὰ μονάδα χρόνου, τότε εἰς τὸν ἀτμόν, ὁ ὁποῖος πληροῖ διαρκῶς τὴν σωλήνωσιν προσδίδεται ἐνέργεια ὑπὸ τοῦ εἰσερχομένου ἀτμοῦ καὶ ἀφαιρεῖται ἐνέργεια ὑπὸ τοῦ ἐξερχομένου.

Ὁ εἰσερχόμενος ἀτμὸς αὐξάνει τὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀτμοῦ τῆς σωληνώσεως διὰ τῆς ἰδίας του ἐνεργείας καὶ διὰ τοῦ ἔργου, τὸ ὁποῖον παράγει διὰ νὰ εἰσέλθῃ εἰς τὴν σωλήνωσιν. Ἡ ἰδία ἐνέργεια τοῦ ἀτμοῦ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὴν ἐσωτερικήν του ἐνέργειαν u_1 (ἀνὰ 1Kg) καὶ ἀπὸ τὴν κινητικήν του ἐνέργειαν $\frac{c_1^2}{2g}$ ἔνθα c_1 = ἡ ταχύτης τοῦ εἰσρέοντος ἀτμοῦ.

Ἐὰν v_1 ὁ εἰδικὸς ὄγκος τοῦ εἰσρέοντος ἀτμοῦ καὶ P_1 ἡ πίεσίς του, τότε διὰ νὰ εἰσέλθῃ ὁ ὄγκος v_1 ἐντὸς τῆς σωληνώσεως πρέπει νὰ μετατοπίσῃ ἕναν ἴσον ὄγκον ἀτμοῦ ἀνθισταμένου μὲ πίεσιν P_1 ἄρα θὰ ἐκτελέσῃ ἔργον $L_1 = P_1 v_1$.

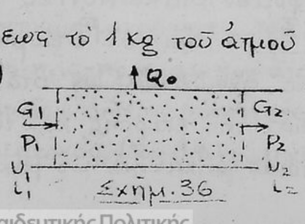
Ἤτοι ἡ αὔξησις τῆς ἐνεργείας λόγῳ τοῦ εἰσερχομένου ἀτμοῦ εἶναι: $W_1 = u_1 + \frac{Ac_1^2}{2g} + Ap_1 v_1 = i_1 + \frac{Ac_1^2}{2g}$ Kcal .... (86)

Ὁμοίως καὶ ἡ μείωσις τῆς ἐνεργείας λόγῳ τοῦ ἐξερχομένου ἀτμοῦ εἶναι: $W_2 = u_2 + \frac{Ac_2^2}{2g} + Ap_2 v_2 = i_2 + \frac{Ac_2^2}{2g}$ .... (87)

ὅπου i_1 καὶ i_2 ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ εἰσερχομένου καὶ ἐξερχομένου ἀτμοῦ.

Κατὰ τὴν ροὴν τοῦ μέσῳ τῆς σωληνώσεως τὸ 1 Kg τοῦ ἀτμοῦ χάνει ποσὸν θερμότητος Q_0 (Σχ. 36)

Ἄρα λόγῳ τῆς ἀρχῆς τῆς διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας ἔχομεν:



Σχήμ. 36

$$W_1 = W_2 + Q_o$$

$$\text{ἢ } i_1 + \frac{AC_1^2}{2g} = i_2 + \frac{AC_2^2}{2g} + Q_o \quad \ldots\ldots (88)$$

Ἡ ταχύτης ῥοῆς τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὰς σωληνώσεις εἶναι συνήθως τόσον μικρὰ ὥστε δυνάμεθα νὰ ἀμελήσωμεν τὴν διαφορὰν τῆς κινητικῆς ἐνεργείας ὁπότε ἔχομεν

$$i_1 = i_2 + Q_o \quad \ldots\ldots (89)$$

Ἐπίσης ἐὰν Q_o εἶναι πολὺ μικρὸν ἐν σχέσει πρὸς i_1 καὶ i_2 τότε δυνάμεθα νὰ θέσωμεν κατὰ προσέγγισιν

$$i_1 \cong i_2 \quad \ldots\ldots (90)$$

Ἤτοι εἰς τὰς σωληνώσεις ὅπου οὐδὲν ποσὸν θερμότητος ἀφαιρεῖται διὰ τῶν τοιχωμάτων διὰ τὰς συνήθεις ταχύτητας τοῦ ἀτμοῦ ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἐξερχομένου ἀτμοῦ ἰσοῦται μὲ τὴν θερμοπεριεκτικότητα τοῦ εἰσερχομένου.
Ἡ πρότασις αὕτη ἰσχύει ἐπίσης ὅταν ὁ ἀτμὸς διὰ μιᾶς βαλβίδος ἢ ἑνὸς στενώματος ἢ ἀποτόμου ἀλλαγῆς πορείας τῆς σωληνώσεως στραγγαλίζεται καὶ ὑφίσταται πτῶσιν πιέσεως, διότι πλὴν τῆς πτώσεως τῆς πιέσεως δὲν λαμβάνει χώραν ἀνταλλαγὴ οὔτε ἔργου οὔτε θερμότητος μὲ τὸ περιβάλλον τῆς σωληνώσεως.

Διὰ τοῦ στραγγαλισμοῦ δὲν ἀλλάσσει λοιπὸν ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἀτμοῦ.

Κατὰ τὴν λειτουργίαν ὅμως τῶν ἀτμομηχανῶν ὁ στραγγαλισμὸς εἶναι ἐπιβλαβής, διότι ὁ ἀτμὸς ὁ ὁποῖος ὑπέστη στραγγαλισμὸν ἀποδίδει μικρότερον ἔργον παρὰ ἐὰν δὲν ὑφίστατο τοιοῦτον. Διότι ὡς ἴδομεν τὸ ἔργον ἰσοῦται μὲ τὴν θερμικὴν πτῶσιν μεταξὺ τοῦ εἰσερχομένου καὶ ἐξερχομένου ἀτμοῦ εἰς τὴν ἀτμομηχανήν, ἀλλὰ καθὼς βλέπομεν εἰς τὸ διάγραμμα Mollier ἡ θερμικὴ πτῶσις διὰ τὴν αὐτὴν θερμοπεριεκτικότητα εἰσερχομέ-

Σχῆμ 37
Στραγγαλισμὸς τοῦ ἀτμοῦ μέσῳ βαλβίδος

νου ἀτμοῦ καὶ διὰ τὴν αὐτὴν πίεσιν ἐξαγωγῆς εἶναι τόσον μικροτέρα ὅσον ἡ πίεσις εἰσαγωγῆς εἶναι μικροτέρα, ἐπομένως ὁ στραγγαλισμένος ἀτμὸς ὡς ἔχων μικροτέραν πίεσιν ὑφίσταται μικροτέραν θερμικὴν πτῶσιν εἰς τὴν ἀτμομηχανὴν καὶ ἐπομένως ἀποδίδει μικρότερον ἔργον.

Ἡ ἐντροπὴ τοῦ ἀτμοῦ κατὰ τὸν στραγγαλισμὸν αὐξάνει.

Παράδειγμα: Ὑπέρθερμος ἀτμὸς πιέσεως $P_1 = 8 at$ καὶ θερμοκρασίας 300° C. σταγγαλίζεται μέχρι πιέσεως $P_2 = 6 at$. Ὁ ἀτμὸς κινεῖ ἀτμομηχανὴν μὲ πίεσιν ἐξαγωγῆς $P_2 = 0{,}1 at$. Νὰ εὑρεθῇ τὸ ἔργον, τὸ ὁποῖον ἀποδίδει οὗτος καὶ τὸ ἔργον τὸ ὁποῖον θὰ ἀπέδιδε ἐὰν δὲν ἐστραγγαλίζετο.

Λύσις: Ἡ ἀρχικὴ κατάστασις τοῦ ἀτμοῦ χωρὶς στραγγαλισμὸν ὁρίζεται εἰς τὸ διάγραμμα Mollier ὡς σημεῖον τομῆς τῆς $P = 8 at$ καὶ $t = 300°C$. Ἐξ αὐτοῦ εὑρίσκομεν:

$$\left.\begin{aligned} i_1 &= 731 \ Kcal/kg \\ s_1 &= 1.735 \ Kcal/kg°C \end{aligned}\right\} \text{Διὰ τὸν χωρὶς στραγγαλισμόν.}$$

Ἡ κατάστασις τοῦ στραγγαλισμένου ἀτμοῦ ὁρίζεται εἰς τὸ σημεῖον τομῆς τῆς $P = 6 at$ καὶ $i_1 = 731$ ἐξ αὐτοῦ λαμβάνομεν:

$$\left.\begin{aligned} i_1' = i_1 &= 731 \ Kcal/kg \\ s_1' &= 1.761 \ Kcal/kg°C \end{aligned}\right\} \text{διὰ τὸν μὲ στραγγαλισμόν.}$$

Ἡ τελικὴ κατάστασις τοῦ ἐκ τῆς ἀτμομηχανῆς ἐξερχομένου ἀτμοῦ ὁρίζεται εἰς σημεῖον τομῆς τῆς $P = 0{,}1 at$ τῆς $S = 1{,}731$ διὰ τὸν μὴ στραγγαλισμένον καὶ τῆς $P = 0{,}1 at$ καὶ $S_1' = 1{,}761$ διὰ τὸν στραγγαλισμένον.

Ὁπότε λαμβάνομεν διὰ τὸν ἐξερχόμενον ἀτμόν.

$i_2 = 547 \ Kcal/kg$ διὰ τὸν μὴ στραγγαλισμένον

$i_2' = 558 \ Kcal/kg$ " " στραγγαλισμένον

Ἄρα τὸ ἔργον τὸ παραγόμενον ὑπὸ 1 kg ἀτμοῦ εἶναι:

$$L = (i_1 - i_2)\,427 = (731 - 547)\,427 \simeq 78.400 \ Kgm/kg$$

διὰ τὸν μὴ στραγγαλισμένον.

καὶ $L' = (i_1' - i_2')\,427 = (731 - 558)\,417 = 73.700 \ Kgm/kg$ διὰ τὸν στραγγαλισμένον.

Παρατηροῦμεν ἐκ τοῦ διαγράμματος ὅτι ὁ ἀτμός διά τοῦ στραγγαλισμοῦ μετετοπίσθη περισσότερον πρός τήν περιοχήν τῶν υπερθέρμων. Ὁμοίως παρατηροῦμεν ὅτι εἰς τάς χαμηλοτέρας πιέσεις ὁ ξηρός κεκορεσμένος ἀτμός γίνεται ὑπέρθερμος, εἰς δέ τάς χαμηλάς πιέσεις πολλάκις ὁ ξηρός κεκορεσμένος ἀτμός στραγγαλιζόμενος γίνεται ὑγρός.

Ροή τοῦ ἀτμοῦ

δ) Ροή δι' ἀκροφυσίων

1) Ταχύτης καί ἐκκρέουσα ποσότης

Ἐάν ἕνα δοχεῖον ἀτμοῦ συγκοινωνεῖ μέσῳ ἑνός σωλῆνος καταλλήλου σχήματος τοῦ ἀκροφυσίου μέ ἕνα χῶρον, εἰς τόν ὁποῖον ἡ πίεσις εἶναι μικροτέρα ἤ εἰς τό δοχεῖον τοῦ ἀτμοῦ, τότε ὁ ἀτμός ρέει μέσῳ τοῦ ἀκροφυσίου εἰς τον χῶρον τῆς χαμηλοτέρας πιέσεως.

Κατά τήν ροήν αὐτήν δέν προσδίδεται οὔτε ἀφαιρεῖται θερμότης ἀπό τόν ἀτμόν ἐάν ἀμελήσωμεν δέ καί τήν τριβήν, τότε ἡ ἐντροπή τοῦ ἀτμοῦ κατά τήν ροήν του παραμένει σταθερά (ροή ἀδιάθερμος) ἤτοι κατά τήν ἔξοδον εἶναι ἡ αὐτή μέ τήν εἴσοδον.

Ἐάν c_1 καί c_2' εἶναι ἀντιστοίχως ἡ ταχύτης τοῦ εἰσρέοντος εἰς τό ἀκροφύσιον καί τοῦ ἐκκρέοντος ἐξ αὐτοῦ ἀτμοῦ καί i_1 καί i_2' ἡ θερμοπεριεκτικότης αὐτοῦ, τότε ὡς ἴδομεν εἰς τήν σελίδα (121) ἐξίσωσις (89)

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2g} = i_2' + \frac{Ac_2^2}{2g} + Q_0 \quad \text{καί ἐπειδή } Q_0 = 0 \text{ ἕπεται ὅτι}$$

$$i_1' + \frac{Ac_2^2}{2g} = i_2' + \frac{Ac_2'^2}{2g}$$

Ἐπειδή δέ ἡ ταχύτης εἰσόδου c_1 εἶναι λίαν μικρά ἔναντι τῆς c_2' δύναται νά παραληφθῇ ὁ ὅρος $\frac{Ac_1^2}{2g}$ ὁπότε θά ἔχωμεν $i_1 = i_2' + \frac{Ac_2'^2}{2g}$

ἤ

$$\frac{Ac_2'^2}{2g} = i_1 - i_2' \quad \ldots\ldots\ldots (91)$$

ἢ $C_2' = \sqrt{\frac{2g}{A}(i_1 - i_2')} = 91{,}5\sqrt{i_1 - i_2'}$ .... (92)

ἐάν ἡ ροή γίνεται μετά τριβῶν τότε ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἀτμοῦ εἰς τήν ἔξοδον ἐκ τοῦ ἀκροφυσίου θά εἶναι i_2 μεγαλυτέρα τῆς i_2' ἡ δέ ταχύτης τοῦ ἀτμοῦ κατά τήν ἔξοδον θά εἶναι c_2 μικροτέρα τῆς c_2'.

Ἀποδεικνύεται δέ ὅτι ἰσχύει πάλιν ἡ σχέσις:

$$c_2 = \sqrt{\frac{2g}{A}(i_1 - i_2)} = 91{,}5\sqrt{i_1 - i_2} \quad \ldots\ldots (92a)$$

τό ποσόν $AZ = \frac{c_2'^2}{2g} - \frac{c_2^2}{2g} = \frac{i_2 - i_2'}{A}$ .... (93)

Καλεῖται κινητική ἀπώλεια τοῦ ἀτμοῦ λόγῳ τῶν τριβῶν

Ἀντί τοῦ ὑπολογισμοῦ εὑρίσκομεν ταχύτερον τήν ταχύτητα ἐξόδου c_2 ἐκ τοῦ διαγράμματος i-s τοῦ Mollier.

Λαμβάνομεν δι' ἑνός διαβήτου ἐπί τοῦ διαγράμματος τό διάστημα $i_1 - i_2$ κατόπιν τοποθετοῦμεν τό ἕν σκέλος τοῦ διαβήτου εἰς τήν ἀρχήν τῆς κλίμακος τῆς ταχύτητος c ὁπότε τό ἄλλο σκέλος τοῦ διαβήτου θά συμπέσῃ μέ ἕναν ἀριθμόν τῆς κλίμακος ὁ ὁποῖος ἰσοῦται μέ τήν ταχύτητα c_2

Ἐάν F_2 εἰς m^2 ἡ διατομή τῆς ἐξερχομένης ἐκ τοῦ ἀκροφυσίου ποσότητος τοῦ ἀτμοῦ τότε ὁ ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ ὁ ἐξερχόμενος εἰς ἕκαστον δευτερόλεπτον εἶναι:

$$V_2 = F_2 \cdot c_2 \ m^3/sec \quad \ldots\ldots (94)$$

καί ἄν v_2 ὁ εἰδικός ὄγκος τοῦ ἐξερχομένου ἀτμοῦ τότε τό βάρος τοῦ ἐξερχομένου ἀτμοῦ ἀνά δευτερόλεπτον εἶναι:

$$G = \frac{V_2}{v_2} = \frac{F_2 c_2}{v_2} \ kg/sec \quad \ldots\ldots (95)$$

Παράδειγμα

Ἀπό ἕνα δοχεῖον παρέχον ἀτμόν ξηρόν κεκορεσμένον πιέσεως 16 at. ἐξέρχεται οὗτος διά τοῦ ἀκροφυσίου εἰς τόν ἐλεύθερον ἀέρα πιέσεως $P_2 = 1$ at Ἡ διατομή εἰς τήν ἔξοδον τοῦ ἀκροφυσίου εἶναι $F_2 = 10\ cm^2$.

Νά εὑρεθῇ ἡ ταχύτης ἐκροῆς καί ἡ ἀνά δευτερόλεπτον ἐκρέουσα ποσότης τοῦ ἀτμοῦ.

Λύσις: Εἰς τὸ διάγραμμα τοῦ Mollier λαμβάνομεν τὴν κατάστασιν τοῦ εἰσερχομένου εἰς τὸ ἀκροφύσιον ἀτμοῦ ὡς σημεῖον τομῆς τῆς $X=1$ καὶ $P=16$ ἐξ αὐτοῦ λαμβάνομεν:

$$i_1 = 669 \text{ Kcal/kg} \qquad S_1 = 1.518 \text{ Kcal/kg}.$$

Ἐὰν θεωρήσωμεν ὅτι ἡ ροὴ γίνεται ἀδιαθέρμως καὶ ἄνευ τριβῆς τότε ἡ κατάστασις τοῦ ἐκρέοντος ἀτμοῦ ὁρίζεται εἰς τὸ σημεῖον τομῆς τῆς $S_1 = 1.518$ καὶ $P = 1$ at.

Ἐκ τοῦ σημείου αὐτοῦ λαμβάνομεν:

$$i_2 = 550 \text{ Kcal/kg} \qquad U_2 = 1.44 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

ἡ ταχύτης ἐκροῆς εἶναι:

$$C_2 = \sqrt{\frac{2g}{A}(i_1 - i_2)} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 427(669-550)} \simeq 1000 \text{ m/sec}.$$

καὶ τὸ βάρος τοῦ ἐκρέοντος ἀτμοῦ ἀνὰ δευτερόλεπτον εἶναι:

$$G = \frac{F_2 C_2}{U_2} = \frac{0.0010 \cdot 1000}{1.44} = 0.694 \text{ kg/sec}.$$

2) Μορφὴ τῶν ἀκροφυσίων

Κατὰ τὴν ροὴν τοῦ ἀτμοῦ διὰ τοῦ ἀκροφυσίου ἐλαττοῦται βαθμιαίως ἡ πίεσίς του. Ἐὰν εἰς τινα θέσιν τοῦ ἀκροφυσίου ἡ διατομὴ αὐτοῦ εἶναι F, ἡ ταχύτης τοῦ ἀτμοῦ C καὶ ὁ εἰδικός του ὄγκος U τότε τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ τὸ διερχόμενον διὰ τῆς τομῆς αὐτῆς ἀνὰ δευτερόλεπτον εἶναι

$$G = \frac{F \cdot C}{U}$$

Ἐπειδὴ ἡ φλέβα τοῦ ἀτμοῦ εἶναι συνεχὴς ἕπεται ὅτι διὰ κάθε τομῆς τοῦ ἀκροφυσίου διέρχεται ἀνὰ δευτερόλεπτον τὸ αὐτὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ, ἤτοι ἐὰν F_2 καὶ C_2 ἡ διατομὴ καὶ ἡ ταχύτης τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὴν ἔξοδον τότε:

$$\frac{F \cdot C}{U} = \frac{F_2 C_2}{2} \quad \text{ἢ} \quad \frac{F}{F_2} = \frac{U}{U_2} \cdot \frac{C_2}{C} \ldots\ldots\ldots (96)$$

Ἐὰν δεχθῶμεν, ὅτι ἡ ροὴ τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὸ ἀκροφύσιον γίνεται ἀδιαθέρμως καὶ ἄνευ τριβῶν, τότε δυνάμεθα γνωρίζοντες τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν τοῦ ἀτμοῦ νὰ μελετήσωμεν τὴν ροὴν αὐτοῦ εἰς τὸ διάγραμμα i-S φέροντες εἰς τοῦτο μίαν κατακόρυφον S=σταθερ. ἀρχομένην ἐκ τῆς ἀρχικῆς καταστάσεως εὑρίσκομεν δι' ἑκάστην τιμὴν τῆς πιέσεως μεταξὺ P_1 καὶ P_2 τὴν ἀντίστοιχον τιμὴν τοῦ εἰδικοῦ ὄγκου v, τῆς θερμοπεριεκτικότητος i καὶ ἐκ τῆς σχέσεως $C=\sqrt{\frac{2g}{A}}(i_1-i)$ τὴν ταχύτητα τῆς ροῆς C ἐκ δὲ τῆς σχέσεως (96) εὑρίσκομεν καὶ τὴν ἀντίστοιχον διατομὴν F τοῦ ἀκροφυσίου εἰς τὴν ὁποίαν ἐπικρατεῖ ἡ πίεσις P.

Παράδειγμα: Διά τινος ἀκροφυσίου τοῦ ὁποίου ἡ διατομὴ ἐξόδου ἔχει ἐμβαδὸν $F_2=10\,cm^2$ διέρχεται ἀτμὸς ξηρὸς κεκκορεσμένος ἀρχικῆς πιέσεως $P_1=6\,at$. ὁ ἀτμὸς ἐκρέει εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν ($P_2=1\,at$). Νὰ εὑρεθῇ ἡ διατομὴ τοῦ ἀκροφυσίου εἰς τὰς θέσεις ἔνθα ἐπικρατεῖ πίεσις 5, 4, 3, 2, at, ἡ ταχύτης ἐξόδου C_2 καὶ τὸ βάρος τοῦ ἀτμοῦ, τὸ ὁποῖον ἐκκρέει ἀνὰ δευτερόλεπτον.

<u>Λυσις</u>: Ἐπειδὴ ἡ ροὴ γίνεται ἀδιαθέρμως καὶ ἄνευ τριβῶν ἔπεται ὅτι ἡ ἐντροπὴ μένει σταθερὰ $s=s_1$ δι' ὅλας τὰς θέσεις τοῦ ἀκροφυσίου. Ἐκ τοῦ διαγράμματος εὑρίσκομεν ἐπὶ τῆς $s=s_1$ δι' ἑκάστην πίεσιν τὴν ἀντίστοιχον τιμὴν τοῦ v καὶ ἐκ τῆς σχέσεως $C=\sqrt{\frac{2g}{A}}(i_1-i)$ εὑρίσκομεν τὴν ταχύτητα καὶ ἐκ τῆς σχέσεως $\frac{F}{F_2}=\frac{v}{v_2}\cdot\frac{c_2}{C}$ εὑρίσκομεν τὴν διατομήν. Οὕτω λαμβάνομεν τὸν κατωτέρω πίνακα

$P=5$	4	3	2	1	at
$v=0{,}38$	0.46	0.59	0,84	1,56	m^3/kg
$i=651$	645	629	613	587	$Kcal/kg$
$C=260$	390	500	620	780	m/sec
$\frac{F}{F_2}=0.73$	0.59	0.59	0,68	1,00	
$F=7.3$	5.9	5.9	6.8	10.0	cm^2

Τὸ βάρος τοῦ ἐκκρέοντος ἀτμοῦ ἀνὰ δευτερόλεπτον εἶναι:

$$G=\frac{F_2c_2}{v_2}=\frac{0.0010\cdot 780}{1.56}=0.50\ kg/sec$$

Ἐκ τοῦ πίνακος βλέπομεν ὅτι ἡ στενοτέρα διατομὴ τοῦ ἀκροφυσίου εἶναι μικροτέρα ἀπὸ τὴν διατομὴν εἰς τὴν ἔξοδον αὐτοῦ. Ἡ πίεσις εἰς τὴν στενοτέραν διατομὴν λέγεται <u>κριτικὴ πίεσις</u>.

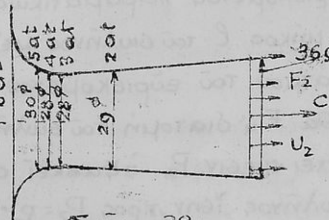
Ἡ κριτικὴ πίεσις ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς ἀρχικῆς πιέσεως ἐὰν δὲ P_0 ἡ κριτικὴ πίεσις καὶ P_1 ἡ ἀρχικὴ πίεσις τότε ἐκ πειραμάτων εὑρέθη ὅτι $P_0 = 0{,}46\ P_1$ ἕως $0{,}58 P_1$.

Αἱ μικρότεραι τιμαὶ ἰσχύουν δι' ὑπέρθερμον ἀτμὸν καὶ αἱ μεγαλύτεραι διὰ ξηρὸν κεκορεσμένον.

Π.χ. εἰς τὸ παράδειγμά μας θὰ πρέπει νὰ εἶναι:

$$P_0 \cong 0{,}58 \cdot P_1 = 0{,}58 \cdot 6 \cong 3{,}5\ at.$$

Ὅσον ἀφορᾶ τὴν μορφὴν τοῦ ἀκροφυσίου ἰσχύουν οἱ κάτωθι κανόνες.



Σχῆμ 38

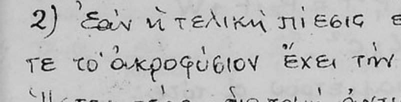
1) Ἐὰν ἡ τελικὴ πίεσις ἀτμοῦ (εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ ἀκροφυσίου) εἶναι μεγαλυτέρα τῆς κριτικῆς πιέσεως τότε ἡ διατομὴ εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ ἀκροφυσίου εἶναι ἡ στενωτέρα διατομή. Ἤτοι τὸ ἀκροφύσιον στενοῦται διαρκῶς πρὸς τὴν ἔξοδόν του.

2) Ἐὰν ἡ τελικὴ πίεσις εἶναι μικροτέρα τῆς κριτικῆς τότε τὸ ἀκροφύσιον ἔχει τὴν μορφὴν τοῦ σχήματος 38. Ἡ στενωτέρα διατομὴ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν κριτικὴν πίεσιν. Ἀπὸ τὴν στενωτέραν διατομὴν μέχρι τὴν ἔξοδον τοῦ ἀκροφυσίου εὐρύνεται διαρκῶς σχηματίζον κῶνον μὲ γωνίαν περίπου 6-10°.

ε) Ῥοὴ τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὰς σωληνώσεις

1) Ἀπώλεια πιέσεως

Ἐὰν ἀτμὸς ῥέῃ εἰς μίαν σωλήνωσιν τότε δημιουργεῖται μία ἀντίστασις ἐκ τῆς τριβῆς αὐτοῦ εἰς τὰ τοιχώματα τῆς σωληνώσεως. Ἡ ἀντίστασις αὕτη W προκαλεῖ πτῶσιν τῆς πιέσεως τοῦ ἀτμοῦ ὥστε οὗτος εἰσερχόμενος μὲ πίεσιν P_1 ἐξέρχεται ἐκ τῆς σωληνώσεως μὲ πίεσιν $P_2 < P_1$.



σχῆμα 39

Ἐκ τῶν πειραμάτων εὑρέθη ὅτι ἡ ἀντίστασις ἐκ τριβῆς εἶναι ἀνάλογος τῆς ἐπιφανείας O τῆς σωληνώσεως, μὲ τὴν ὁποίαν ἔρχεται εἰς ἐπαφὴν ὁ ἀτμός, τοῦ εἰδικοῦ βάρους γ τοῦ ἀτμοῦ καὶ τοῦ τετραγώνου τῆς ταχύτητος C τῆς ροῆς τοῦ ἀτμοῦ.
Ἐὰν U εἶναι ἡ ἐσωτερικὴ περίμετρος τοῦ σωλῆνος καὶ l τὸ μῆκος αὐτοῦ τότε ἡ ἐσωτερικὴ ἐπιφάνεια εἶναι:

$$O = U \cdot l$$

Τότε ἡ ἀντίστασις ἐκ τριβῆς εἶναι:

$$W = \frac{b}{10.000} \cdot U \cdot l \cdot \gamma \cdot C^2 \text{ εἰς kg} \ldots\ldots (97)$$

ἔνθα b <u>συντελεστὴς τριβῆς</u> εὑρισκόμενος πειραματικῶς.
Ἐὰν ὁ ἀτμὸς εἰσέρχεται εἰς τὸ μῆκος l τοῦ σωλῆνος μὲ πίεσιν p_1 kg/cm^2 τότε ἐξασκεῖ ἐπὶ τοῦ ἀτμοῦ τοῦ εὑρισκομένου εἰς τὸν σωλῆνα πίεσιν $P_1 = p_1 \cdot F$ ἔνθα F ἡ διατομὴ τοῦ σωλῆνος.
Ὁμοίως ὁ ἐξερχόμενος ἀτμὸς ἔχει πίεσιν P_2 ἐξασκεῖ ἀντίθετον πίεσιν ἐπὶ τοῦ ἀτμοῦ τοῦ σωλῆνος ἴσην πρὸς $P_2 = p_2 \cdot F$.
Αἱ δυνάμεις P_1, P_2, W εὑρίσκονται ἐν ἰσορροπίᾳ ἐπομένως

$$P_1 = P_2 + W \qquad \text{ἢ} \qquad p_1 \cdot F = p_2 \cdot F + W$$

$$\text{ἢ} \quad F(p_1 - p_2) = W = \frac{b}{10.000} U l \gamma C^2$$

Ἐὰν ὁ σωλὴν τῆς κυκλικῆς διαμέτρου d τότε:

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \quad \text{καὶ} \quad U = \pi d$$

Ἐπίσης ἔχωμεν $\gamma = \frac{1}{\upsilon}$. Ἀντικαθιστῶντες εἰς τὴν προηγουμένην ἐξίσωσιν καὶ ἐκτελοῦντες τὰς πράξεις λαμβάνομεν:

$$p_1 - p_2 = \frac{4b}{10.000} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{C^2}{\upsilon} \text{ εἰς } kg/m^2 \ldots\ldots (98)$$

Ὁ συντελεστὴς τριβῆς b ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ποσότητα τοῦ ρέοντος ἀτμοῦ G kg/st (χιλιόγραμμα ἀνὰ ὥραν).
Ὁ κατωτέρω πίναξ δίδει τιμὰς τοῦ συντελεστοῦ b διὰ διαφόρους τιμὰς τοῦ G.

G =	10	20	50	100	200	500	1000 kg/st
4b =	20,3	18.5	16,1	14.5	13.1	11,5	10.3
G =	2000	5000	10000	20.000	50000	100.000	"
4b =	9.4	8.2	7.3	6.7	5.8	5,2	

Παράδειγμα:

Εἰς ἕνα σωλῆνα μήκους $l=500m$ διαμέτρου $d=0.1\ m$ ρέουν ὡριαίως $G=3000$ kg ἀτμοῦ ξηροῦ κεκορεσμένου πιέσεως $P=6at$. Νά εὑρεθῇ ἡ ταχύτης ροῆς τοῦ ἀτμοῦ καί ἡ ἀπώλεια πιέσεως εἰς τόν σωλῆνα.

Λυσις: Ἐάν C ἡ ταχύτης ροῆς τότε ρέει ὄγκος ἀτμοῦ ἴσος πρός $\frac{\pi d^2}{4}\cdot c$ m^3/sec.

Ἐάν υ ὁ εἰδικός ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ, τότε, ρέει βάρος ἀτμοῦ ἴσον πρός $\frac{\pi}{4}d^2\cdot\frac{c}{u}$ kg/sec.

$$\text{ἄρα } G=\frac{\pi}{4}d^2\cdot\frac{c}{u}\cdot 3600 \text{ kg/st}$$

εἰς τό παράδειγμά μας ἔχομεν $d=0.1m$ ἤ $\frac{\pi}{4}d^2=\frac{\pi}{4}\cdot 0.1^2=$ $=0{,}00785\ m^2$.

$$G=3000kg,\ U=0.322\ m^3/kg \quad (\text{ἐκ τοῦ πίνακος VI})$$

$$\text{ἄρα } 3000=0.00785\cdot\frac{c}{0.322}\cdot 3600 \quad \text{ἤ } C=\frac{3000\cdot 0.322}{0.00785\cdot 3600}=34.2\ m/sec.$$

ἐκ τό προηγούμενον πίνακα ἔχομεν

$$4\beta=8.2+\frac{(9.4-8.2)\cdot(5000-3000)}{(5000-2000)}=8.2+\frac{1.2\cdot 2}{3}=8.2+0.8=9$$

ἄρα ἡ ἀπώλεια πιέσεως εἰς τόν σωλῆνα εἶναι:

$$P_1-P_2=\frac{4\beta}{10.000}\cdot\frac{\beta}{d}\cdot\frac{c^2}{u}=\frac{9}{10.000}\cdot\frac{500}{0.1}\cdot\frac{34.2^2}{0.322}\cong 17.100\ kg/m^2=1.71\ at.$$

2) Ἀπώλεια Θερμότητος

Κατά τήν ροήν ἀτμοῦ ἐντός τῆς σωληνώσεως οὗτος δίδει θερμότητα εἰς τά τοιχώματα. Διά νά ἐλαττώσωμεν τήν ἀπώλειαν θερμότητος μέσῳ τῶν τοιχωμάτων περιτυλίσσομεν τήν σωλήνωσιν δι' ὑλικῶν κακῶν ἀγωγῶν τῆς θερμότητος.

Ὡς ἴδομεν εἰς τήν σελίδα ἡ ἀπώλεια θερμότητος μέσω τοῦ τοιχώματος εἶναι ἀνάλογος πρός τήν ἐπιφάνειαν τοῦ σωλῆνος O, πρός τήν διαφοράν θερμοκρασίας t μεταξύ τῆς ἐσωτερικῆς καί ἐξωτερικῆς ἐπιφανείας τοῦ τοιχώματος καί ἀντιστρόφως ἀνάλογος πρός τό πάχος δ τοῦ τοιχώματος.

Ἤτοι ἡ ὡριαία ἀπώλεια θερμότητος μέσω τοιχώματος O εἶναι:

$$Q=\frac{\lambda}{\delta}\cdot O\cdot t \text{ kcal/st} \quad \ldots\ldots (99)$$

ἔνθα λ ὁ συντελεστὴς ἀγωγιμότητος τοῦ τοιχώματος.

Ὁ λ ἔχει περίπου τὰς κάτωθι τιμάς

$\lambda = 0.2$ δι' ἀπομόνωσιν δι' ἀμιάντου

$\lambda = 0.1$ " " διὰ ἐλαφρόπετρας

$\lambda = 0.05$ " " " μαλλίου, μετάξης βάμβακος

Ἐὰν l τὸ μῆκος τοῦ σωλῆνος καὶ d ἡ διάμετρος αὐτοῦ τότε:

$$O = \pi d l .$$

Ἐὰν ὡριαίως ρέουν G kg ἀτμοῦ τότε ἡ ὡριαία ἀπώλεια θερμότητος ἀνὰ 1 kg εἶναι:

$$Q_0 = Q : G$$

Ἡ θερμοπεριεκτικότης i_2 τοῦ εἰσρέοντος ἀτμοῦ εἶναι μικροτέρα τῆς θερμοπεριεκτικότητος i_1 τοῦ εἰσρέοντος κατὰ τὸ ποσὸν Q_0 ἤτοι $i_2 = i_1 - Q_0$ . . . . (101)

Παράδειγμα:

Εἰς τὴν σωλήνωσιν τοῦ προηγουμένου παραδείγματος νὰ εὑρεθῇ ἡ κατάστασις τοῦ ἐκκρέοντος ἀτμοῦ ἐὰν ἡ ἀπομόνωσις συνίσταται ἐξ ἐλαφρόπετρας πάχους 30 mm καὶ ἡ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος εἶναι 0° C.

Λύσις: εἶναι: $O = \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 0.1 \cdot 500 = 157.1\ m^2$, $\lambda = 0.1$, $\delta = 0.03\ m$.

εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς σωληνώσεως ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀτμοῦ εἶναι $t_{s_1} = 158°$ C καὶ εἰς τὸ τέλος εἶναι $t_{s_2} = 145{,}4°$ C. (ἐκ τοῦ διαγράμματος i-s).

Λαμβάνομεν ὡς θερμοκρασίαν τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὴν σωλήνωσιν τὴν μέσην θερμοκρασίαν,

$$\text{ἤτοι } t_s = \frac{158 + 145.4}{2} = 151.7°$$

ἄρα ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ ἐξωτερικῆς καὶ ἐσωτερικῆς ἐπιφανείας τοῦ τοιχώματος εἶναι

$$t = 151.7° - 0 = 151.7°$$

Ἄρα ἡ ὡριαία ἀπώλεια θερμότητος εἶναι:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot O \cdot t = \frac{0.1}{0.03} \cdot 157{,}1 \cdot 151.7 \cong 79.500\ \text{kcal/st}.$$

Ἡ ἀπώλεια θερμότητος ἀνὰ 1 kg εἶναι:

$$Q_o = \frac{Q}{G} = \frac{79500}{3000} = 26.5 \ Kcal/kg.$$

Ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ εἰσρέοντος ἀτμοῦ εἶναι $i_1 = 659 \ Kcal/kg$ (ἐκ τοῦ διαγράμματος i-s)

Ἄρα ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἐκρέοντος ἀτμοῦ εἶναι:

$$i_2 = i_1 - Q_o = 659 - 26.5 = 632.5 \ Kcal/kg$$ (ἐξίσωσις 101).

Ἡ πίεσις εἰς τὴν ἔξοδον εἶναι: $P_2 = P_1 - 1.71 = 6 - 1.71 = 4.29$ at

Ἡ κατάστασις τοῦ ἐκρέοντος ἀτμοῦ εὑρίσκεται εἰς τὸ διάγραμμα i-s ὡς τομὴ τῶν καμπυλῶν $P = 4.29$ καὶ $i = 632.5$.

Ἐκ τοῦ σημείου τούτου εὑρίσκομεν

$$v_2 = 0.42 \ m^3/kg \quad \text{καὶ} \quad x = 0.951.$$

ζ) Ἀτμοστρόβιλοι

1) Γενικά

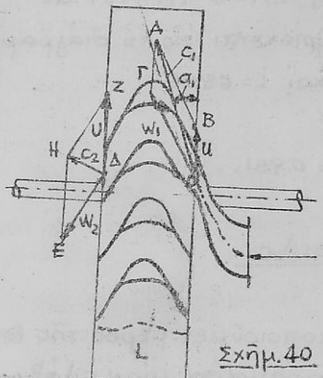
Εἰς τοὺς ἀτμοστροβίλους χρησιμοποιοῦμεν μέρος τῆς θερμικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀτμοῦ διὰ νὰ παράγωμεν μίαν φλέβαν ἀτμοῦ μεγάλης ταχύτητος. Τὴν φλέβαν ταύτην ὁδηγοῦμεν διὰ μέσου στερεῶν πτερυγίων, σταθερῶν καὶ κινητῶν. Ὁ ἀτμὸς ἐξασκεῖ ἐπὶ τῶν πτερυγίων τούτων μίαν δύναμιν διότι ἀναγκάζεται νὰ ἀλλάξῃ πορείαν.

Ἡ δύναμις αὐτὴ ἀναγκάζει τὰ κινητὰ πτερύγια (τὰ ὁποῖα εὑρίσκονται ἐπὶ περιστρεφομένων τυμπάνων) νὰ κινηθοῦν ἤτοι νὰ ἐκτελέσουν μηχανικὸν ἔργον. Ὁ ἀτμὸς χάνει συνεχῶς τὴν κινητικήν του ἐνέργειαν διερχόμενος διὰ τῶν πτερυγίων, μέρος δὲ τῆς ἐξαφανιζομένης κινητικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀτμοῦ μετατρέπεται εἰς ἔργον ὑπὸ τῶν κινητῶν πτερυγίων τοῦ ἀτμοστροβίλου.

2) Μονοβάθμιος ἰσόθλιπτος ἀτμοστρόβιλος

Εἰς τὸν ἀτμοστρόβιλον τοῦτον ὁ ἀτμὸς διερχόμενος δι' ἑνὸς ἀκροφυσίου ἐξέρχεται ἐκ τούτου μὲ μίαν ταχύτητα $OA = c_1$ καὶ εἰσέρχεται εἰς τὰ πτερύγια τοῦ κινητοῦ τροχοῦ (στροφείου L ὁ ὁποῖος περιστρέφεται περὶ ἄξονα)

(Σχ. 40) Ἔστω u ἡ περιφερειακή ταχύτης τῶν πτερυγίων. Ὁ ἀτμός ἀπολύτου ταχύτητος c_1 εἰσερχόμενος ἐντός τοῦ πτερυγίου τοῦ κινουμένου μέ ταχύτητα u κινεῖται ὡς πρός αὐτό μέ μίαν ταχύτητα διάφορον τῆς c_1, ἡ ὁποία ὡς γνωστόν ἐκ τῆς μηχανικῆς καλεῖται <u>σχετική ταχύτης</u>.



<u>Σχῆμ.40</u>

Ἡ σχετική ταχύτης ὡς γνωστόν εὑρίσκεται διά κατασκευῆς τοῦ παραλληλογράμμου <u>ΟΒΑΓ</u> τοῦ ὁποίου εἶναι γνωστή ἡ ὑποτείνουσα $OA = c_1$ καί ἡ μία πλευρά $OB = u$ εἶναι δέ ἡ $O\Gamma = w_1$

Τά πτερύγια ἔχουν εἰς τήν θέσιν εἰσόδου τοῦ ἀτμοῦ τήν διεύθυνσιν τῆς W_1 διά νά εἰσέρχεται ὁ ἀτμός ἄνευ κρούσεων εἰς αὐτά.

Ὁ ἀτμός ἐντός τοῦ πτερυγίου ἀλλάσει κατεύθυνσιν, ἐπειδή ὅμως τό πτερύγιον καθ' ὅλον του τό μῆκος ἔχει <u>σταθεράν διατομήν</u>, ἕπεται ὅτι ἐάν παραληφθοῦν αἱ τριβαί κατά τήν ροήν τοῦ ἀτμοῦ, θά εἶναι σταθερά ἡ <u>ἀπόλυτος τιμή</u> τῆς σχετικῆς ταχύτητος καθ' ὅλον τό μῆκος τοῦ πτερυγίου. Ἤτοι ἐάν ἡ σχετική ταχύτης τοῦ ἀτμοῦ κατά τήν ἔξοδον ἐκ τοῦ πτερυγίου εἶναι w_2 τότε θεωρητικῶς

$$w_2 = w_1$$

Ἡ ἀπόλυτος ταχύτης τοῦ ἀτμοῦ κατά τήν ἔξοδον του εὑρίσκεται ἐάν κατασκευασθῇ τό παραλληλόγραμμον ΔΖΗΕ, τοῦ ὁποίου γνωρίζομεν τάς δύο πλευράς $\Delta E = W_2 = w_1$ καί $\Delta Z = u$. εἶναι δέ ἡ $\Delta H = c_2 =$ <u>ἀπόλυτος ταχύτης ἐξόδου</u>

Διά νά ἐκμεταλλευθῶμεν ὅσω τό δυνατόν τήν κινητικήν ἐνέργειαν τοῦ ἀτμοῦ προσπαθοῦμεν ὥστε ἡ c_2 νά εἶναι ὅσω το δυνατόν μικροτέρα.

Ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ c_2 γίνεται ἐλαχίστη ὅταν:

$u = \frac{C_1}{2} \cdot$ συν. a_1 (a_1 = γωνία εἰσόδου ὡς φαίνεται ἐκ τοῦ σχήματος) καί ἐπειδή a_1 μικρόν (13° ἕως 20°) ἤτοι συν. $a_1 \simeq 1$ ἕπεται ὅτι ἡ C_2 γίνεται ἐλαχίστη ὅταν:

$$u \simeq \frac{C_1}{2} \ldots\ldots\ldots (102)$$

Ἤτοι διά νά χρησιμοποιηθῇ καλῶς ἡ κινητική ἐνέργεια τοῦ ἀτμοῦ ἐντός τῶν κινητῶν πτερυγίων πρέπει ἡ περιφερειακή ταχύτης τῶν πτερυγίων νά εἶναι τό ἥμισυ τῆς ταχύτητος εἰσόδου τοῦ ἀτμοῦ εἰς αὐτά.

Ὁ ἀτμός εἰς τό ἀκροφύσιον ὑφίσταται μίαν θερμικήν πτῶσιν $i_1 - i_2 = H$ ἄρα ἡ ταχύτης ἐξόδου αὐτοῦ ἐκ τοῦ ἀκροφυσίου εἶναι

$$C_1 = \sqrt{\frac{2g}{A}(i_1 - i_2)} = \sqrt{2gH}$$

ἡ δέ κινητική ἐνέργεια τοῦ ἀτμοῦ τοῦ εἰσερχομένου εἰς τό πτερύγιον εἶναι:

$$W = A\frac{C_1^2}{2g} = \frac{A}{2g} \cdot \frac{2g}{A}(i_1 - i_2) = i_1 - i_2 = H \text{ εἰς } Kcal/_{Kg}$$

Ἐάν ἦτο δυνατόν νά χρησιμοποιηθῇ ἐντός τῶν πτερυγίων ὅλη ἡ κινητική ἐνέργεια τοῦ ἀτμοῦ διά τήν παραγωγήν μηχανικοῦ ἔργου τότε τό παραγόμενον ἔργον θά ἦτο:

$$L_\theta = \frac{i_1 - i_2}{A} = \frac{H}{A} \quad Kgm/_{Kg} \ldots\ldots (103)$$

Εἰς τήν πραγματικότητα ὅμως ὁ ἀτμοστρόβιλος παράγει ἔργον L μικρότερον κατά 8 ÷ 15% τοῦ θεωρητικοῦ L_θ διότι

α) ὁ ἀτμός ἐξερχόμενος ἐκ τῶν πτερυγίων ἔχει μίαν ταχύτητα C_2 ἤτοι μίαν κινητικήν ἐνέργειαν ἴσην πρός $\frac{AC_2^2}{2g}$, ἡ ὁποία εἶναι συνήθως ἴση πρός 3 ἕως 5% τῆς W, τό ποσόν δέ τοῦτον τῆς κινητικῆς ἐνεργείας δέν μετετράπη εἰς ἔργον.

β) Ὁ ἀτμός ὑφίσταται ἀπωλείας τῆς κινητικῆς του ἐνεργείας ἐντός τῶν πτερυγίων λόγῳ τριβῶν, αἱ δέ ἀπώλειαι αὗται αὐξάνουν ἐκ νέου τήν θερμοπεριεκτικότητα τοῦ ἀτμοῦ καί μειώνουν κατ' ἴσον ποσόν τό μηχανικόν ἔργον.

Οὕτω λόγῳ τῶν ἀπωλειῶν ἡ σχετική ταχύτης W_2 εἰς τήν ἔξοδον τῶν πτερυγίων δέν εἶναι ἴση πρός τήν σχετικήν ταχύτητα W_1 εἰς τήν εἴσοδον, ἀλλά εἶναι συνήθως $W_2 = 0{,}8W_1$.

Ὥστε εἰς τὴν πραγματικότητα διὰ νὰ κατασκευάσωμεν τὸ παραλληλόγραμμον ΔΖΗΕ (Σχ.40) τῶν ταχυτήτων εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ πτερυγίου πρέπει νὰ λάβωμεν $W_2 \cong 0.8 W_1$.

Παράδειγμα:

Ἕνας μονοβάθμιος ἰσόθλιπτος ἀτμοστρόβιλος ἐργάζεται μὲ ἀτμὸν ξηρὸν κεκορεσμένον πιέσεως 6 at.

Ὁ ἀτμὸς ἐξέρχεται εἰς τὸν ἐλεύθερον ἀέρα πιέσεως ἴσης πρὸς 1 at. Τὸ ἀκροφύσιον ἔχει διατομὴν εἰς τὴν ἔξοδον ἴσην πρὸς 10 cm^2, τὸ δὲ στροφεῖον διάμετρον 0.6 m.

Νὰ εὑρεθῇ ἡ ταχύτης ἐξόδου τοῦ ἀτμοῦ ἐκ τοῦ ἀκροφυσίου, ἡ περιφεριακὴ ταχύτης τῶν πτερυγίων καὶ αἱ στροφαὶ τοῦ στροφείου διὰ νὰ ἔχωμεν τὴν μεγίστην παραγωγὴν μηχανικοῦ ἔργου καὶ ἡ ἰσχὺς τοῦ στροβίλου (τὸ ἔργον τὸ παραγόμενον εἰς 1 sec)

Λύσις: Ἡ ταχύτης C_1 ἐξόδου τοῦ ἀτμοῦ ἐκ τοῦ ἀκροφυσίου εἶναι συμφώνως πρὸς τὸ παράδειγμα τῆς σελίδος 126 $C_1 = 780$ m/sec. καὶ ἡ ποσότης τοῦ ἐκκρέοντος ἀτμοῦ εἰς 1 sec. εἶναι $G = 0.5$ kg/sec.

Ἡ εὐνοϊκωτέρα περιφερειακὴ ταχύτης τῶν πτερυγίων εἶναι ὡς ἴδωμεν (ἐξίσωσις 102) $U = \frac{C_1}{2} = \frac{780}{2} = 390$ m/sec.

Ὁ ἀριθμὸς στροφῶν τοῦ στροφείου ἀνὰ λεπτὸν εὑρίσκεται ἐκ τῆς σχέσεως

$$u = \frac{\pi d n}{60} \quad \text{ἤ} \quad n = \frac{60 u}{\pi d} = \frac{60 \cdot 390}{3.14 \cdot 0.6} = 12.400 \ \text{στροφ/min.}$$

(d = διάμετρος τοῦ στροφείου). 1 kg ἀτμοῦ δύναται ὡς ἴδωμεν νὰ παράγῃ θεωρητικῶς εἰς τὸν ἀτμοστρόβιλον ἔργον L_θ = πρὸς $L_\theta = \frac{L_1 - L_2}{A} = (659 - 587) \cdot 427 = 30.700$ kg/m (ἐξισ. 103)

Ἐπειδὴ δὲ διὰ τοῦ στροβίλου διέρχεται ποσότης ἀτμοῦ ἴση πρὸς $G = 0.5$ kg/sec. ἔπεται ὅτι τὸ ἔργον τὸ παραγόμενον εἰς 1 sec. ἤτοι ἡ ἰσχὺς τοῦ στροβίλου εἶναι:

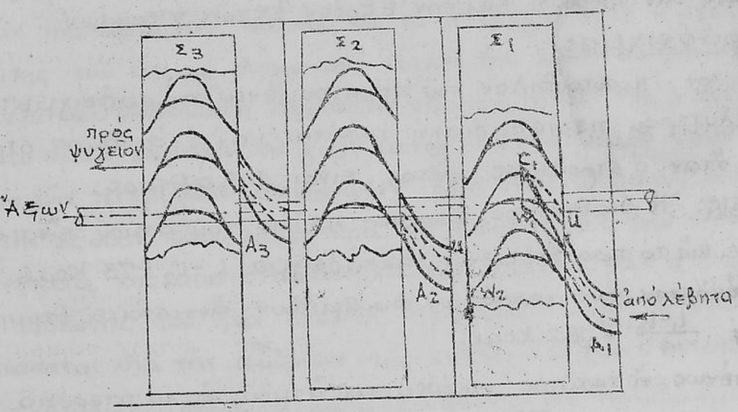
$$N_\theta = \frac{G \cdot L_\theta}{75} = \frac{0.5 \cdot 30700}{75} = \frac{15.350}{75} = 205 \ \text{Ps (ἵπποι)}$$

Ἡ πραγματικὴ ἰσχὺς ὡς ἴδωμεν εἶναι $N_\pi = 0{,}92 \div 0{,}85$ N_θ = 198 ἕως 174 Ps.

3) Πολυβάθμιος ἰσόθλιπτος ἀτμοστρόβιλος

Ὁ μονοβάθμιος ἀτμοστρόβιλος δίδει ὡς ἴδομεν καὶ εἰς τὸ προηγούμενον παράδειγμα διὰ σχετικῶς μεγάλας θερμικὰς πτώσεις, τόσον μεγάλας περιφερειακὰς ταχύτητας καὶ ἀριθμοὺς στροφῶν ὥστε μόνον εἰς ἐξαιρετικὰς περιπτώσεις χρησιμοποιεῖται. Δυνάμεθα νὰ ἀποφύγωμεν τὸ μειονέκτημα αὐτὸ ἐὰν περισσοτέρους μονοβαθμίους ἰσοθλίπτους στροβίλους διατάξωμεν οὕτως ὥστε, ὁ ἀτμὸς ὁ ἐξερχόμενος ἐκ τοῦ αου νὰ εἰσέρχεται εἰς τὸν βον ἐξερχόμενος ἐκ τοῦ δευτέρου νὰ εἰσέρχεται εἰς τὸν γον καὶ ο.κ.

Τοιοῦτον ἀτμοστρόβιλον δεικνύει τὸ σχ. 41.



Σχῆμ. 41

Ἤτοι ἐπὶ τῆς αὐτῆς ἀτράκτου τοποθετοῦμεν περισσοτέρους περιστρεφομένους δίσκους $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$ πρὸ ἑκάστου δὲ δίσκου διατάσσομεν ἀνὰ μίαν σειρὰν ἀκροφυσίων A_1, A_2, A_3, κλπ

Δι' ἕκαστον τῶν μονοβαθμίων ἀτμοστροβίλων, εἰς τοὺς ὁποίους χωρίζεται ὁ πολυβάθμιος τοιοῦτος ἰσχύουν τα ὅσα ἐλέχθησαν περὶ τῶν μονοβαθμίων στροβίλων.

Ἐπειδὴ ἡ περιφερειακὴ ταχύτης εἰς ὅλα τα τύμπανα εἶναι ἡ αὐτὴ διὰ νὰ ἔχωμεν τὴν μεγίστην δυνατὴν παραγωγὴν ἔργου πρέπει ἡ ταχύτης εἰσόδου τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὸν στρόβιλον νὰ

εἶναι διπλασία τῆς περιφερειακῆς ταχύτητος ἤτοι $c_1 = 2u$.
Πρὸς τοῦτο προσπαθοῦμεν ὥστε ἡ ταχύτης εἰσόδου τοῦ ἀτμοῦ εἰς ὅλα τὰ τύμπανα νὰ εἶναι ἡ αὐτή. Διὰ νὰ γίνῃ τοῦτο πρέπει εἰς ἑκάστην σειρὰν ἀκροφυσίων νὰ χρησιμοποιοῦμεν τὸ αὐτὸ ποσοστὸν τῆς ὅλης θερμικῆς πτώσεως τοῦ ἀτμοῦ.
Ἤτοι ἐὰν π.χ. ἔχομεν τέσσαρα περιστρεφόμενα τύμπανα πρέπει εἰς ἑκάστην ἐκ τῶν τεσσάρων σειρῶν ἀκροφυσίων να χρησιμοποιοῦμεν το 1/4 τῆς ὅλης θερμικῆς πτώσεως.
Εἰς ἕκαστον τῶν μονοβαθμίων ἀτμοστροβίλων τοῦ πολυβαθμίου τοιούτου εὑρίσκομεν τὴν σχετικὴν ταχύτητα ὡς καὶ τὴν ταχύτητα ἐξόδου σχηματίζοντες τὰ γνωστὰ παραλληλόγραμμα εἰς τὴν εἴσοδον καὶ τὴν ἔξοδον ἐκ τῶν πτερυγίων.

Παράδειγμα:

Εἰς τὸν ἀτμοστρόβιλον τοῦ προηγουμένου παραδείγματος ποία ἡ καλυτέρα περιφερειακὴ ταχύτης καὶ ὁ ἀριθμὸς στροφῶν ὅταν ὁ στρόβιλος οὗτος εἶναι 4 βάθμιος.

Λύσις: Ἡ διαθέσιμος θερμικὴ πτῶσις τοῦ ἀτμοῦ εἶναι ὡς ἴδομεν εἰς τὸ προηγούμενον παράδειγμα $i_1 - i_2 = 73$ Kcal.
Εἰς ἑκάστην τῶν τεσσάρων βαθμίδων ἀντιστοιχεῖ θερμικὴ πτῶσις $\frac{i_1-i_2}{4} \cong 18.2$ Kcal.
Ἑπομένως ἡ ταχύτης εἰσόδου τοῦ ἀτμοῦ εἰς τὰ πτερύγια εἶναι $c_1 = 91.5\sqrt{\frac{i_1-i_2}{4}} = 91 : \sqrt{18.2} \cong 390$ m/sec.
Ἡ εὐνοϊκωτέρα περιφερειακὴ ταχύτης εἶναι $u = \frac{c_1}{2} = 195$ m/sec. καὶ ὁ ἀριθμὸς στροφῶν ἀνὰ λεπτὸν εἶναι:

$$n = \frac{60u}{\pi d} = \frac{60 \cdot 195}{\pi \cdot 0.6} = 6200 \text{ στρ/min}.$$

Ὁ τετραβάθμιος στρόβιλος ὡς χρησιμοποιῶν τὴν αὐτὴν θερμικὴν πτῶσιν μὲ τὸν μονοβάθμιον παράγει ἀνὰ 1 kg ἀτμοῦ τὸ αὐτὸ μηχανικὸν ἔργον μὲ τὸν μονοβάθμιον. Παρέχει δὲ τὸ πλεονέκτημα ὅτι ὁ ἀριθμὸς στροφῶν του εἶναι τὸ 1/2 τοῦ ἀριθμοῦ στροφῶν τοῦ μονοβαθμίου μὲ τὴν αὐτὴν διάμετρον στροφείου, πρᾶγμα, τὸ ὁποῖον ἔχει μεγάλην σημασίαν, διότι ἡ περιφερει ακή ταχύτης του στροφείου δέν δύναται νά υπερβή ώρισμένον όριον διότι πέραν τούτου τό ύλικόν των πτερυγίων καί τοῦ στροφείου δέν θά άντέχη είς μεγάλας καταπονήσεις εκ φυγοκέντρου δυνάμεως.—

4) Ὑπέρθλιπτος ἀτμοστρόβιλος

Ὡς ἴδωμεν εἰς τόν ἰσόθλιπτον στρόβιλον ή διατομή των πτερυγίων είς τήν έξοδον τοῦ ἀτμοῦ είναι τουλάχιστον ἴση πρός τήν διατομήν αὐτῶν είς τήν εἴσοδον, οὕτως ὥστε ὁ ἀτμός διέρχεται διά τῶν πτερυγίων διατηρῶν θεωρητικῶς τήν αὐτήν σχετικήν ταχύτητα καί τήν αὐτήν πίεσιν.

Ἐάν ὅμως κατασκευάσωμεν τήν διατομήν ἐξόδου μικροτέραν τῆς διατομῆς εἰσόδου εἰς τά πτερύγια τότε ή σχετική ταχύτης τοῦ ἀτμοῦ λόγῳ τοῦ νόμου τῆς συνεχείας τῆς ροῆς βαίνει αὐξανομένη πρός τήν ἔξοδον, ἤτοι $W_2 > W_1$. Τοῦτο ὅμως δύναται νά γίνη μόνον ἐάν ὁ ἀτμός ὑποστῆ ἐντός τῶν πτερυγίων ἀποτόνωσιν ἤτοι ὅταν ή πίεσις αὐτοῦ εἰς τήν ἔξοδον εἶναι μικροτέρα τῆς πιέσεως εἰς τήν εἴσοδον. Συνεπεία τῆς ἀποτονώσεως αὐτῆς ἐλαττοῦται ή θερμοπεριεκτικότης του ἤτοι ἔχομεν θερμικήν πτῶσιν, ἡ ὁποία δαπανᾶται διά τήν αὔξησιν τῆς σχετικῆς ταχύτητος.

Οἱ ὑπέρθλιπτοι στρόβιλοι κατασκευάζονται ὡς πολυβάθμιοι. Ἀπό ἀπόψεως θερμοδυναμικῆς δέν διαφέρουν τῶν πολυβαθμίων ἰσοθλίπτων τό δέ ολικόν ἔργον θά εἶναι ἀνάλογον πρός τήν ολικήν θερμικήν πτῶσιν τοῦ ἀτμοῦ ὡς καί εἰς τάς ἰσοθλίπτους. —

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ V

Εἰδικοὶ ἀτμοὶ χρήσιμοι εἰς τὰς τεχνικὰς ἐφαρμογάς

1) Ἐκτὸς τῶν ὑδρατμῶν εἰς τὴν τεχνικὴν χρησιμοποιοῦνται καὶ ἀτμοὶ ἀμμωνίας, ὑπεροξειδίου τοῦ θείου, καὶ διοξειδίου τοῦ ἄνθρακος. Οἱ ἀτμοὶ οὗτοι λόγῳ τοῦ χαμηλοῦ των σημείου ζέσεως χρησιμοποιοῦνται κυρίως εἰς τὰς ψυκτικὰς μηχανάς.

Εἰς τὰς συνήθεις πιέσεις τὸ σημεῖον ζέσεως τῶν ἀτμῶν αὐτῶν εἶναι:

Ἀμμωνία $t_s = -33°C$.

Ὑπεροξείδιον τοῦ θείου $t_s = -10°C$.

Διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος $t_s = -78°C$.

Ὅλα ὅσα ἐλέχθησαν διὰ τοὺς ὑδρατμοὺς ἰσχύουν καὶ διὰ τοὺς ἀτμοὺς αὐτούς.

Ὁ κατωτέρω πίναξ VII δίδει διὰ τοὺς ἀτμοὺς τῆς ἀμμωνίας τὰ χαρακτηριστικὰ στοιχεῖα αὐτῶν ἐν σχέσει πρὸς τὸ σημεῖον ζέσεως αὐτῶν.

ΠΙΝΑΞ VII

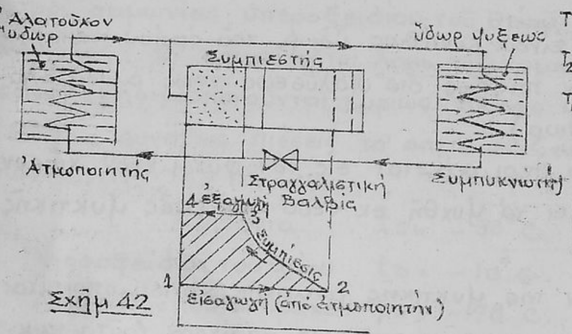
Χαρακτηριστικὰ μεγέθη τῶν ἀτμῶν ἀμμωνίας

1 Θερμοκρασ. εἰς °C t	2 πραγματικὴ πίεσις εἰς at p	3 Εἰδικὸς ὄγκος τοῦ ἀτμοῦ εἰς m^3/kg v''	4 Θερμοπερι- τοῦ ὑγροῦ εἰς i' kcal/kg	5 εκτικότης τοῦ ἀτμοῦ εἰς i'' kcal/kg	6 ἐντροπὴ τοῦ ὑγροῦ εἰς 1kg s'	7 Ἐντροπὴ τοῦ ἀτμοῦ εἰς 1 kg s''
− 20	1,90	0,637	−22.0	298.7	− 0,084	1.185
− 15	2.37	0.518	−16.6	300.3	− 0,062	1.168
− 10	2.92	0.425	−11.1	301.9	− 0,041	1.149
− 5	3.58	0,351	−5.6	303.3	− 0,020	1.132
+ 0	4.35	0,291	0	304.4	+ 0	1.116
+ 5	5.24	0.244	+ 5.7	305.5	+ 0,020	1.100
+ 10	6,27	0,205	+ 11.4	306.6	+ 0.041	1.083
+ 15	7.45	0,174	+ 17.1	307.2	+ 0.061	1.067
+ 20	8.79	0.148	+ 23.0	307.7	+ 0.081	1.051
+ 25	10.31	0.127	+ 28.8	308.1	+ 0.100	1.036
+ 30	12.01	0.109	+ 34.8	308.3	+ 0.121	1.021

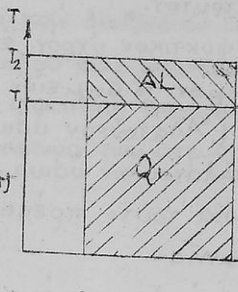
2) Ψυκτικαί Μηχαναί

Ἡ ψῦξις ἑνός χώρου ἐπιτυγχάνεται συνήθως, ἐάν διοχετεύσωμεν
ἔσω ψυχρόν ὑγρόν μέσῳ σωληνώσεων εὑρισκομένων εἰς τόν χῶ-
ρον τοῦτον.
Τό ψυκτικόν ὑγρόν εἶναι συνήθως ὕδωρ, τοῦ ὁποίου καταβι-
βάζομεν τό σημεῖον πήξεως διά διαλύσεως ἐντός αὐτοῦ ἅλα-
τος. (Ἁλατοῦχον ὕδωρ).
Τό ἁλατοῦχον ὕδωρ θερμαίνεται εἰς τόν ψυχόμενον χῶρον
καί διά τοῦτο πρέπει νά ψυχθῇ ἐκ νέου διά μιᾶς ψυκτικῆς
μηχανῆς.
Διά τήν λειτουργίαν τῆς ψυκτικῆς μηχανῆς χρησιμοποιεῖται
ἕνα ὑγρόν μέ χαμηλόν σημεῖον πήξεως, τό ὑγρόν τοῦτο κυκ-
λοφορεῖ ἐντός κλειστῆς σωληνώσεως.
Ἡ σωλήνωσις αὐτή διέρχεται δι' ἑνός χώρου τοῦ ἀτμοποιη-
τοῦ, ἐντός τοῦ ὁποίου κυκλοφορεῖ τό ἁλατοῦχον ὕδωρ περι-
βάλλον τήν σωλήνωσιν τοῦ ψυκτικοῦ ὑγροῦ, ἐντός δέ τοῦ
χώρου τούτου ἀτμοποιεῖται.
Ἕνας συμπιεστής παραλαμβάνει τούς ἀτμούς τοῦ ψυκτικοῦ
ὑγροῦ καί τούς συμπιέζει.
Ἐπειδή διά τήν ἀτμοποίησιν τοῦ ψυκτικοῦ ὑγροῦ τοῦτο παρα-
λαμβάνει θερμότητα ἀπό τό ἁλατοῦχον ὕδωρ, διά τοῦτο αὐ-
τό ψύχεται καί δύναται κατόπιν διερχόμενον διά τοῦ πρός ψῦ-
ξιν χώρου νά τόν ψύξῃ.
Οἱ ἀτμοί τοῦ ψυκτικοῦ ὑγροῦ πρέπει νά καταλαμβάνουν
μικρόν χῶρον διά νά εἶναι μικραί αἱ διαστάσεις τοῦ συμπιεσ-
τοῦ καί διά τοῦτο χρησιμοποιεῖται ὑγρόν, τοῦ ὁποίου ἡ πίε-
σις τῶν ἀτμῶν, εἰς τήν θερμοκρασίαν τοῦ ἁλατούχου ὕδα-
τος εἶναι ὑψηλή.-
Τοιαῦτα κατάλληλα ὑγρά εἶναι ἡ ἀμμωνία, τό ὑπεροξεί-
διον τοῦ θείου καί τό διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος.
Ὁ συμπιεστής συμπιέζει τούς ἀναρροφωμένους ἀτμούς τῆς

ἀμμωνίας καὶ τοὺς στέλλει ὑπό πίεσιν εἰς ἕνα συμπυκνωτήν, εἰς τὸν ὁποῖον οἱ ἀτμοί ὑγροποιοῦνται ἐκ νέου ψυχόμενοι διά κυκλοφορίας ὕδατος πέριξ τῆς σωληνώσεως αὐτῶν (Σχ. 42).



Σχήμ 42



Σχημ. 43

Τό ψυκτικόν ὑγρόν ἐξερχόμενον ἐκ τοῦ συμπυκνωτοῦ εἰσρέει πάλιν εἰς τὸν ἀτμοποιητήν διερχόμενον διά μέσου μιᾶς στραγγαλιστικῆς βαλβίδος. Εἰς αὐτήν πίπτει ἡ πίεσις τοῦ ψυκτικοῦ ὑγροῦ καὶ ἕνεκα τούτου αὐτό ἀτμοποιεῖται.

Ὁ συμπιεστής πρέπει νά δίδῃ τοιαύτην πίεσιν ὥστε νά ὑπερνικᾷ τήν πίεσιν τῶν ἀτμῶν τοῦ ψυκτικοῦ ὑγροῦ ἐντός τοῦ συμπυκνωτοῦ.

Ἡ πίεσις αὐτή εἶναι τόσον μεγαλυτέρα ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία τοῦ ὕδατος τό ὁποῖον κυκλοφορεῖ διά τοῦ συμπυκνωτοῦ. Μία ψυκτική μηχανή ἐργάζεται κατά τρόπον ἀντίστροφον ἀπό μίαν ἀτμομηχανήν. Ἤτοι ἀφαιρεῖ θερμότητα ἀπό ἕνα ὑγρόν χαμηλῆς θερμοκρασίας (τό ἁλατοῦχον ὕδωρ) καὶ τήν δίδει εἰς ἕνα θερμότερον ὑγρόν (τό ὕδωρ ψύξεως)

Ἐάν Q_1 ἡ θερμότης, τήν ὁποίαν λαμβάνει ἀπό τό ψυχρόν ὑγρόν καὶ Q_2 ἡ θερμότης τήν ὁποίαν δίδει εἰς τό θερμόν ὕδωρ τότε $Q_2 > Q_1$ διότι πρέπει τήν θερμότητα Q_1 νά ἀνυψώσῃ ἀπό τῆς θερμοκρασίας T_1 τοῦ ψυχροῦ ὑγροῦ εἰς τήν θερμοκρασίαν T_2 τοῦ θερμοῦ ὕδατος. Τοῦτο ὅμως δέν δύναται νά γίνῃ παρά ἐάν ὁ συμπιεστής δώσῃ ἕνα ἔργον L.

τοιοῦτον ὥστε $AL = Q_2 - Q_1$ ....(104)

Τό διάγραμμα τοῦ σχήματος 43 δίδει τήν θερμότητα Q_1 καί τό ἔργον AL ἐάν ἡ ψυκτική μηχανή ἐργάζεται συμφώνως πρός τόν κύκλον τοῦ Carnot.

Εἰς τό σχῆμα 42 φαίνεται τό διάγραμμα λειτουργίας τοῦ συμπιεστοῦ ἤτοι 1-2 = ἀναρρόφησις τῶν ἀτμῶν τῆς ἀμμωνίας, 2-3 = συμπίεσις τῶν ἀτμῶν, 3-4 = ἐξαγωγή τῶν ἀτμῶν.

Καλοῦμεν <u>συντελεστήν ψύξεως</u> τό λόγον $\varepsilon = \frac{Q_1}{AL}$ ἔνθα Q_1 λέγεται καί <u>ψυκτική ἰσχύς</u> καί εἶναι ἡ θερμότης ἡ ἀφαιρουμένη ἀπό τό ἁλατοῦχον ὕδωρ.

<u>Παράδειγμα:</u>

Μία ψυκτική μηχανή ἐργάζεται μέ ἀμμωνίαν. Εἰς μίαν πλήρη λειτουργίαν ὁ συμπιεστής ἀναρροφᾶ 1 kg ἀτμοῦ. Ἡ θερμοκρασία τοῦ ἁλατούχου ὕδατος εἶναι $-5°C$ καί τοῦ ὕδατος ψύξεως $+10°C$.

Νά εὑρεθῇ ἡ ψυκτική ἰσχύς καί ὁ συντελεστής ψύξεως ἐάν παραλείψωμεν ὅλας τάς ἀπωλείας.

<u>Λύσις:</u> 1) <u>Πιέσεις.</u> Ἡ πίεσις εἰς τόν ἀτμοποιητήν ὡς ἀντίστοιχος εἰς τήν θερμοκρασίαν $-5°C$ εἶναι $p_2 = 3.58$ at (πίναξ VII) Ἡ πίεσις εἰς τόν συμπυκνωτήν ἡ ἀντίστοιχος εἰς $+10°C$ εἶναι $p_3 = 6.27$ at.

2) <u>Κατανάλωσις ἔργου εἰς τόν συμπιεστήν.</u> Ἐάν i_2 ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἀναρροφωμένου καί i_3 τοῦ ἐκδιωκομένου ἀτμοῦ ἐκ τοῦ συμπιεστοῦ εἰς ἑκάστην λειτουργίαν ἔργον εἶναι $AL = i_3 - i_2$ (διότι τό διάγραμμα εἶναι ὅμοιον πρός τό διάγραμμα ἀτμομηχανῆς ἀλλά γίνεται κατ' ἀντίθετον διεύθυνσιν)

Ὁ ἀναρροφώμενος ἀτμός εἶναι ὑγρός. Δεχόμεθα ὅμως χάριν εὐκολίας ὅτι οὗτος μετά τήν συμπίεσίν του εἶναι ξηρός κεκορεσμένος, τότε λαμβάνομεν ἐκ τοῦ πίνακος VII

$i_3 = 306.6$ Kcal/kg καί $s_3 = 1.083$

Ἐάν κατά τήν ἀρχήν τῆς συμπιέσεως ἡ περιεκτικότης τῶν ἀτμῶν εἰς ξηρὸν κεκορεσμένον εἶναι X ($1-X$ ἡ περιεκτικότης εἰς ὑγρὰν ἀμμωνίαν) τότε σύμφωνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν 74 $S_2 = S_2'' X + S_2'(1-X) = 1.132\,X - 0.020(1-X)$.

Ἐὰν παραδεχθῶμεν ὅτι ἡ συμπίεσις γίνεται ἀδιαθέρμως τότε $S_2 = S_3$ ἄρα $1{,}132\,x - 0{,}020(1-X) = 1{,}083$ ἢ $X = 0{,}957$.

Ἄρα ἡ θερμοπεριεκτικότης εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς συμπιέσεως εἶναι: $i_2 = i_2'' X + i_2'(1-X) = 303.3 \cdot 0.957 - 5.6 \cdot 0.043$ ἢ

$i_2 = 290$ Kcal/kg.

Ἄρα ἡ κατανάλωσις ἔργου εἰς τὸν συμπιεστὴν εἶναι:

$$AL = i_3 - i_2 = 306.6 - 290.0 = 16{,}6 \text{ Kcal}$$

3) <u>Συμπύκνωσις.</u> Εἰς τὸν συμπυκνωτὴν ὁ ἀτμὸς ὑγροποιεῖται εἰς θερμοκρασίαν $+10°C$. Ἄρα ἡ θερμοπεριεκτικότης του θὰ πέσῃ καὶ θὰ γίνῃ $i_5 = 11.4$ Kcal/kg (πίναξ VII στήλη 4) Ἄρα τὸ ὕδωρ ψύξεως τὸ ὁποῖον κυκλοφορεῖ εἰς τὸν συμπυκνωτὴν παραλαμβάνει θερμότητα ἴσην πρὸς

$Q_1 = i_3 - i_5 = 306.6 - 11.4 = 295.6$ Kcal

4) <u>Ἀτμοποίησις.</u> Κατὰ τὴν δίοδον τοῦ ἀτμοῦ διὰ τῆς στραγγαλιστικῆς βαλβίδος ἡ θερμοπεριεκτικότης του δὲν μεταβάλλεται (ἴδε σελίς 121 ἐξίσωσις 90) ἤτοι μετὰ τὴν στραγγαλιστικὴν βαλβίδα ὁ ἀτμὸς ἔχει θερμοπεριεκτικότητα

$i_6 = i_5 = 11.4$ Kcal/kg.

Ἐπειδὴ ἡ θερμοπεριεκτικότης τοῦ ἀτμοῦ κατὰ τὴν ἔξοδον αὐτοῦ ἐκ τοῦ ἀτμοποιητοῦ εἶναι $i_2 = 290.0$ Kcal/kg ἔπεται ὅτι ἡ θερμότης ἡ ὁποία ἀφαιρεῖται ἐκ τοῦ ἁλατούχου ὕδατος (τοῦ ψυκτικοῦ ὑγροῦ) ἤτοι ἡ ψυκτικὴ ἰσχὺς τῆς μηχανῆς εἶναι:

$$Q = i_2 - i_6 = 290.0 - 11.4 = 278.6 \text{ Kcal}$$

Ἄρα ὁ συντελεστὴς ψύξεως εἶναι $E = \frac{Q}{AL} = \frac{278.6}{16.6} = 16.8$

Διὰ κάθε ὡριαῖον ἵππον τοῦ συμπιεστοῦ παραλαμβάνομεν ἀπὸ τὸ ἁλατοῦχον ὕδωρ θερμότητα ἴσην πρός:

$Q_0 = 632 \cdot E = 632 \cdot 16.8 = 10.600$ Kcal (ψυκτικὴ ἰσχύς)

(Ὡς γνωστὸν 1 ὡριαῖος ἵππος $= 632$ Kcal.)

ΤΕΛΟΣ