

Το ίδρυμα Ευγενίδου, μετά το υπ' αρ. 2117.6/1/93 της 21/5/93, έγγραφο του ΥΕΝ και προκειμένου να βοηθήσει τους σπουδαστές των ΑΔΣΕΝ στη μελέτη των μαθημάτων τους, απεφάσισε κατ' εξαίρεση να προβεί στην προσωρινή εκτύπωση του βιβλίου Φυσική ΙΙ (Σημειώσεις) ΑΔΣΕΝ/Μηχανικών, όπως αυτό παραδόθηκε από το συγγραφέα.

Είναι προφανές ότι, εφ' όσον δεν έχει τηρηθεί η πάγια διαδικασία συγγραφής, ελέγχου και εκδόσεως του βιβλίου, η οποία ακολουθείται απαρεγκλίτως από την Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου, τόσο η έκταση της ύλης του βιβλίου, όσο το περιεχόμενο και η στάθμη του, δεν εκφράζουν τις απόψεις της επιτροπής, αλλά μόνον του συγγραφέα.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΙ

ΑΔΣΕΝ - ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΩΝ/ΝΟΥ ΛΙΩΤΣΙΟΥ

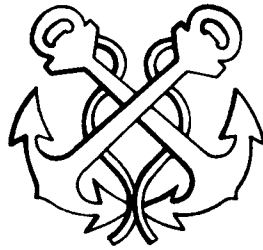
ΦΥΣΙΚΟΥ Α.Π.Θ.

ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΑΔΣΕΝ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΑΘΗΝΑ
2001



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
Α.Δ.Σ.Ε.Ν.
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΑΙΑΣ

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Σελ.

●	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
●	Τμήμα Α'	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	
●	Κεφάλαιο 1ο	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	3
	1.1	Βοηθητικές έννοιες από την Ατομική Φυσική	
	1.2	Θερμική κίνηση στα στερεά, υγρά και αέρια	
	1.3	Κινητική θεωρία των αερίων	
	1.4	Κατανομή ταχυτήτων κατά MAXWELL-BOLTZMANN	
	1.5	Εσωτερική ενέργεια	
	1.6	Εφαρμογές Κινητικής θεωρίας των αερίων	
		α. Μέτρηση πίεσης αερίου	
		β. Μέτρηση θερμοκρασίας	
	1.7	Θερμοκρασία	
	1.8	Θερμόμετρα (Κλίμακες και τύποι Θερμομέτρων)	
		Λυμένες Ασκήσεις	14
		Αλυτες Ασκήσεις	16
●	Κεφάλαιο 2ο	ΔΙΑΣΤΟΛΗ	17
	2.1	Γραμμική Διαστολή στερεών και Νόμοι	
		α. Εφαρμογές	
		β. Ελαστικές τάσεις που αναπτύσσονται από την Διαστολή	
	2.2	Επιφανειακή Διαστολή	
	2.3	Κυβική Διαστολή	
		α. Κυβική Διαστολή υγρών	
		β. Κυβική Διαστολή αερίων	
		Λυμένες Ασκήσεις	23
		Αλυτες Ασκήσεις	25

● **Κεφάλαιο 3ο ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ**27

- 3.1 Θερμότητα (ορισμός μονάδες θερμότητας)
- 3.2 Ειδική θερμότητα (ορισμός μονάδες)
- 3.3 Θερμοχωρητικότητα (ορισμός μονάδες)
- 3.4 Θεμελιώδης Νόμος Θερμιδομετρίας
- 3.5 Ατομική - Μοριακή ειδική θερμότητα (ορισμοί, μονάδες)
- 3.6 Μεταβολές ειδικής θερμότητας σμμάτων
- 3.7 Μηχανικό ισοδύναμο
- 3.8 Ηλεκτρικό ισοδύναμο
- 3.9 Θερμιδομετρία

Λυμένες Ασκήσεις 33

Αλυτες Ασκήσεις 35

● **Κεφάλαιο 4ο ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ**36

Νόμοι ιδανικών αερίων

- 4.1 Νόμος όγκων
- 4.2 Υπόθεση Avogadro
- 4.3 Νόμος Dalton
- 4.4 **ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ** ιδανικού αερίου
- 4.5 Διάγραμμα P-V
- 4.6 **Εργο και θερμότητα** ιδανικού αερίου
- 4.7 **ΘΕΡΜΙΚΗ - ΨΥΚΤΙΚΗ** μηχανή
- 4.8 **ΕΝΤΡΟΠΙΑ**

Λυμένες Ασκήσεις 43

Αλυτες Ασκήσεις 45

● **Κεφάλαιο 5ο ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΦΑΣΕΩΝ**47

- 5.1 Γενικά
- 5.2 Τήξη και πήξη
- 5.3 Μεταβολή του όγκου κατά την τήξη και πήξη
- 5.4 Επίδραση της πίεσης και διαλυμένων ουσιών στο σημείο τήξης

5.5	Εξαέρωση.....	50
5.6	Εξάτμιση	
5.7	Βρασμός	
5.8	Θερμότητα εξαέρωσης	
5.9	Μέτρηση θερμότητας εξαέρωσης	
5.10	Εξάχνωση	
5.11	Ισορροπία φάσεων - Τριπλό σημείο	
5.12	Ισόθερμοι Andrews	
5.13	Εξίσωση CLAUSIUS -CLAPEYRON για την εξαέρωση	
5.14	Υγροποιημένα αέρια	
5.15	Αέρια υγροποιούμενα σε χαμηλές θερμοκρασίες	
5.16	Χαμηλές θερμοκρασίες	
5.17	Υγρασία (Απόλυτη και σχετική, σημείο Δρόσου)	
5.18	Εύκρατες συνθήκες διαβίωσης - Κλιματισμός	
	Λυμένες Ασκήσεις.....	63
	Αλυτες Ασκήσεις.....	64

● **Τμήμα Β' ΑΤΟΜΙΚΗ και ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ**

● **Κεφάλαιο 6ο ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ.....67**

- 6.1. Εισαγωγή**
1. Θεωρία κβάντα
 2. Θεωρία της Σχετικότητας
- 6.2. Μελέτη του Ατόμου**
1. Δομή του Ατόμου- Ατομικά πρότυπα
 2. Κβαντικοί αριθμοί
 3. Ενεργειακές στάθμες
 4. Διέγερση - Ιονισμός
 5. Εφαρμογές Διέγερσης (LASER - MASER)

● Κεφάλαιο 7ο	ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ	85
---------------	-----------------------	----

Εισαγωγή

- | | | |
|------------|--|--|
| 7.1 | Δομή του πυρήνα | |
| | 1. Νουκλεόνια | |
| | 2. Κατηγορίες πυρήνων | |
| 7.2 | Ενέργεια πυρήνα | |
| | 1. Πυρηνικές δυνάμεις | |
| | 2. Φύση των πυρηνικών δυνάμεων | |
| | 3. Έλλειμα μάζας - Ενέργεια σύνδεσης | |
| 7.2 | Ενέργεια πυρήνα | |
| | 1. Πυρηνικές δυνάμεις | |
| | 2. Φύση των πυρηνικών δυνάμεων | |
| | 3. Έλλειμα μάζας - Ενέργεια σύνδεσης | |
| 7.3 | Φυσική ραδιενέργεια | |
| | 1. Ασταθείς πυρήνες | |
| | 2. Αποτελέσματα ραδιενέργειας | |
| | 3. Φύση της ραδιενέργειας | |
| | 4. Ραδιενεργή διάσπαση | |
| | 5. Νόμος ραδιενεργών μετατροπών - Χρόνος υποδιπλασιασμού | |
| | 6. Οικογένειες φυσικών ραδιενεργών στοιχείων | |
| 7.4 | Μέθοδοι Ανίχνευσης και Μέτρησης ακτινοβολιών | |
| | 1. Μέθοδοι παρατήρησης σωματιδίων | |
| | 2. Ο ιονισμός σαν μέθοδος παρατήρησης | |
| | 3. Οπτικές μέθοδοι παρατήρησης | |
| | 4. Απαριθμητές | |
| 7.5 | Δοσιμετρία | |
| | 1. Μονάδες ραδιενέργειας | |
| | 2. Μονάδες Δόσης | |
| | 3. Καταστρεπτικές δράσεις ακτινοβολιών | |
| | 4. Ασφάλεια - Προφυλάξεις | |

● ΒΙΒΙΟΓΡΑΦΙΑ	105
---------------	-------	-----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Σημειώσεις αυτές γράφτηκαν για να δώσουν ένα πλήρες και ενιαίο βοήθημα στους σπουδαστές των Σχολών Μηχανικών Ε.Ν. για το μάθημα ΦΥΣΙΚΗ της Δεύτερης Διδακτικής περιόδου του Νέου Κανονισμού Σπουδών.

Με τον Νέο κανονισμό σπουδών Εναλλασόμενης Εκπαίδευσης, δημιουργήθηκε ένα κενό Βιβλιογραφίας στο συγκεκριμένο μάθημα γιατί άλλαξε το Αναλυτικό πρόγραμμα, προστέθηκαν νέα κεφάλαια στην Διδακτέα ύλη και αναπροσαρμόστηκαν οι εβδομαδιαίες ώρες διδασκαλίας. Ετσι τα υπάρχοντα βοηθήματα αποδείχθηκαν ανεπαρκή τόσο στην κάλυψη της ύλης, όσο και στην έκταση των Ασκήσεων που υπήρχαν και στην υποδειγματική επίλυσή τους.

Η ύλη πλέον διακρίνεται σε δύο ξεχωριστά τμήματα :

Το πρώτο μέρος αποτελείται από την ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.

Η θερμότητα σαν έννοια εξετάζεται, ερμηνεύεται και μετρείται. Αναπτύσσεται η μέθοδος της Θερμιδομετρίας για τον υπολογισμό της ειδικής θερμότητας των σωμάτων, γίνεται μια πρώτη επαφή με τις θερμικές μηχανές και τον πιο απλό κύκλο τους (CARNOT) και εξετάζονται τα φαινόμενα και οι εφαρμογές που σχετίζονται με τις μετατροπές φάσεων της ύλης.

Εχει γίνει πλέον συνείδηση στους σπουδαστές μας πως η κατανόηση και η εμπέδωση, ειδικά του τομέα της ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ σαν ειδικού μέρους της Γενικής Φυσικής, είναι βασική προϋπόθεση για την επιτυχή και αβίαστη αντιμετώπιση μιας σειράς περισσότερο ειδικευμένων και εφαρμοσμένων μαθημάτων (Θερμοδυναμική, ΜΕΚ, Ατμοστρόβιλοι κ.λ.π.). Αλλά αποδείχθηκε και απαραίτητο βοήθημα για πολλά προβλήματα και απορίες που τους δημιουργούνται κατά την Πρακτική τους εκπαίδευση εν πλώ.

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει στοιχεία και βασικές έννοιες της ΑΤΟΜΙΚΗΣ και ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ Φυσικής.

Ακολουθώντας πάντοτε το Αναλυτικό πρόγραμμα γίνεται μιά σύντομη προσπάθεια να αντιμετωπισθούν βασικές γνωστές έννοιες του Ατομικού χώρου και να γίνει μια πρώτη επαφή με τον χώρο του Πυρήνα και τις τεράστιες δυνάμεις που είναι εγκλωβισμένες μέσα του. Παράλληλα επισημαίνονται οι κίνδυνοι που εμφανίζονται κατά την απόπειρα του ανθρώπου να εκμεταλλευτεί την Ενέργεια των Πυρηνικών δυνάμεων και αναπτύσσονται τα μέτρα ανίχνευσης και προφύλαξης από τις ακτινοβολίες.

Είναι η δεύτερη χρονιά που οι Σημειώσεις του Συγγραφέα μοιράστηκαν και διδάσκονται στους σπουδαστές της Σχολής Μηχανικών της ΑΔΣΕΝ Μακεδονίας. Γράφτηκαν ακολουθώντας το Νέο Αναλυτικό πρόγραμμα τόσο στην έκταση της ύλης, όσο και στην διάρθρωσή της σε κεφάλαια, ενότητες και παραγράφους.

Οι απόψεις των σπουδαστών ελήφθησαν υπ' όψη και έτσι κάποια θέματα αναπτύχθηκαν επιγραμματικά με μορφή ορισμών, ενώ κάποια άλλα, κυρίως θεωρητικά (Μετατροπές φάσεων, εντροπία), με περισσότερη έκταση. Σημασία μεγάλη δόθηκε στις Ασκήσεις εμπέδωσης της θεωρίας. Ετσι προτείνονται υποδειγματικές όσο και αναπτυγμένες λύσεις σε αρκετά από τα πλέον χαρακτηριστικά θεωρητικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σπουδαστές στην πορεία της διδασκαλίας του μαθηματος.

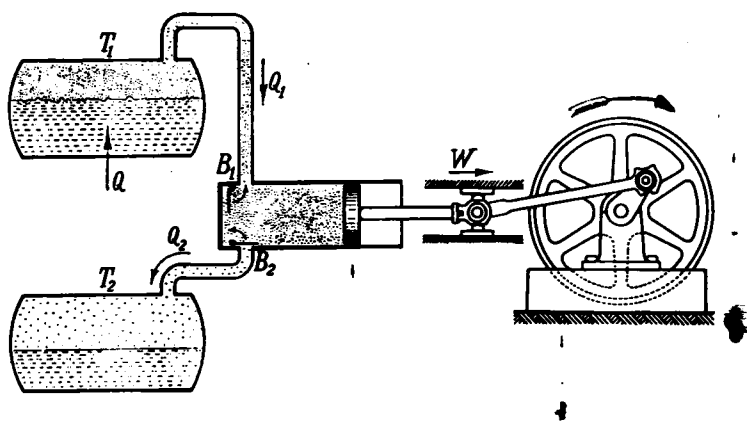
Τέλος έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν όσο το δυνατόν περισσότερα σχεδιαγράμματα, γραφικές παραστάσεις, σχήματα ακόμη και φωτογραφίες για να αποδοθεί καλλίτερα η θεωρία και να "ζωντανέψουν" οι περιγραφές οργάνων, πειραματικών διατάξεων και εννοιών.

Κλείνοντας τον πρόλογο αυτό, ευχαριστώ θερμά τους σπουδαστές της Σχολής μου για τα σχόλια και τις παρατηρήσεις τους, γιατί με την δική τους συμμετοχή ολοκληρώθηκε η συγγραφή με γνώμονα τις ανάγκες τους στην αντιμετώπιση των αποριών και των αδυναμιών τους στο αντικείμενο.

Ελπίζω πως η προσπάθεια αυτή, με την έκδοση των ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΝ, θα βοηθήσει και τους σπουδαστές των άλλων Σχολών ΑΔΣΕΝ, ώστε με ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο και σύντομο βοήθημα στα χέρια τους, να αντιμετωπίσουν με επιτυχία τις βασικές έννοιες του μαθήματος και να έλθουν σε μια πρώτη επαφή με την Θερμική και την Πυρηνική Ενέργεια, την εκμετάλλευσή τους και τις εφαρμογές τους.

Κλιώσιος
Θεσσαλονίκη 1993

ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ



Κεφάλαιο 1ο

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

● 1.1 Βοηθητικές έννοιες από την Ατομική Φυσική

Για να δώσουμε μια εικόνα της θερμοκρασίας, πρέπει να θυμίσουμε κάποιες βοηθητικές έννοιες από την Ατομική Φυσική απαραίτητες για την κατανόηση των κεφαλαίων που ακολουθούν. Ξεκινούμε λοιπόν από την δομή της ύλης.

Τα σώματα και των τριών φυσικών καταστάσεων είναι δυνατόν κάτω από κατάλληλες συνθήκες να υποστούν τεμαχισμό ο οποίος όμως δεν υπερβαίνει κάποια όρια. Τα ελάχιστα σωματίδια της ύλης που προκύπτουν, τα οποία υπάρχουν σε ελεύθερη κατάσταση και διατηρούν τις ιδιότητες του αρχικού σώματος από το οποίο προήλθαν, είναι τα μόρια. Αυτά δεν διασπώνται περισσότερο με φυσικές μεθόδους αλλά μόνο με χημικές, οπότε μας δίνουν τα άτομα.

Τα άτομα είναι τα ελάχιστα σωματίδια της ύλης, που λαμβάνουν μέρος σε χημικές μεταβολές και τα οποία μεταφέρονται αναλλοίωτα από ένωση σε ένωση. Αυτά δεν διασπώνται περισσότερο ούτε με φυσικές, ούτε με χημικές μεθόδους.

Ατομικό βάρος (ΑΒ) στοιχείου, λέγεται ο καθαρός αριθμός που καθορίζει πόσες φορές είναι βαρύτερο το άτομο του στοιχείου από την μονάδα Ατομικής μάζας (το 1/12 του βάρους του ατόμου του ισότοπου του άνθρακα 12.)

Μοριακό βάρος (ΜΒ) στοιχείου ή χημικής ένωσης, λέγεται ο καθαρός αριθμός που καθορίζει πόσες φορές είναι βαρύτερο το μόριο του στοιχείου ή της ένωσης από την μονάδα Ατομικής μάζας.

Γραμμοάτομο (gr-at) στοιχείου, είναι ποσότητα μάζας του στοιχείου σε γραμμάρια ίση με τον αριθμό που εκφράζει το ΑΒ του στοιχείου.

Γραμμομόριο (mole) στοιχείου ή ένωσης είναι ποσότητα μάζας του στοιχείου σε γραμμάρια ίση με τον αριθμό που εκφράζει το ΜΒ του στοιχείου ή της ένωσης. Το mole κάθε σώματος κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης περιέχει τον ίδιο αριθμό μορίων. Ισος είναι και ο αριθμός των ατόμων που περιέχονται στο gr-at κάθε στοιχείου. Ο αριθμός αυτός είναι ο γνωστός αριθμός Avogadro που συμβολίζεται με Ν. (Ν= 6,023.10²³ μόρια/mole ή άτομα/gr-at).

Μοριακός όγκος ή γραμμομοριακός όγκος V_m αερίου, λέγεται ο όγκος του mole του. Υπό τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης όλα τα αέρια έχουν τον ίδιο γραμμομοριακό όγκο. Όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης είναι οι κανονικές (θ=0° C και P=1atm), τότε ο V_m είναι για όλα τα αέρια 22,4lt.

● 1.2. Θερμική κίνηση σε στερεά, υγρά και αέρια

Πρώτος το 1827 ο Άγγλος βοτανολόγος R. Brown παρατήρησε με το μικροσκόπιο τρεμουλιαστή κίνηση κόκκων γύρης πάνω σε νερό. Θερμαίνοντας το νερό η κίνηση γινόταν περισσότερο έντονη, ενώ ψύχοντάς το γύριζε στον αρχικό της ρυθμό. Ο Brown παρακολούθησε το αποτέλεσμα μεγάλου αριθμού κρούσεων των μορίων του νερού πάνω στους κόκκους της γύρης.

Σήμερα ξέρουμε ότι τα σωματίδια κάθε στερεού, που είναι διαλυμένο σε υγρό, κάνουν τέτοια κίνηση. Και μάλιστα η κίνηση είναι τυχαία και όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια, με τόσο μεγαλύτερες ταχύτητες κινούνται. Τα μόρια όλων των σωμάτων κάνουν συνεχώς κινήσεις, είτε ταλάντωσης γύρω από την θέση ισορροπίας τους, είτε μεταφορικής κίνησης ανάλογα με την φάση που βρίσκεται η ύλη στην οποία ανήκουν τα μόρια. Ετσι όταν πρόκειται για ένα κρυσταλλικό στερεό σώμα θα παρατηρήσουμε πως θερμαίνοντας το σώμα, τα μόριά του αυξάνουν το πλάτος της ταλάντωσης γύρω από την θέση ισορροπίας τους καθώς και την κινητική τους ενέργεια. Αντίστοιχα στην περίπτωση αερίου σώματος παρατηρούμε πως η μεταβολή της θερμοκρασίας, του μεταβάλλει ανάλογα την μεταφορική κινητική ενέργεια των δομικών του λίθων (ατόμων ή μορίων).

● 1.3. Κινητική θεωρία των αερίων

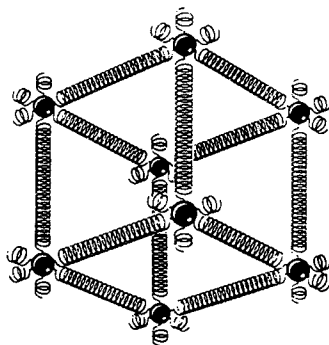
Για να περιγράψουμε με επιτυχία την συμπεριφορά των αερίων, ορίζουμε σαν τέλειο ή ιδανικό αέριο, ένα πρότυπο με τις παρακάτω ιδιότητες :

α. Τα μόρια του προτύπου βρίσκονται σε συνεχή και άτακτη κίνηση που υπακούει στους νόμους της Κλασικής Μηχανικής του Νεύτωνα. Κινούνται συνεχώς με διαφορετικές ταχύτητες και προς όλες τις διευθύνσεις.

β. Ο αριθμός των μορίων είναι μεγάλος. Τα μόρια συγκρούονται τελείως ελαστικά μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του δοχείου που περικλείουν το πρότυπο αέριο. Η διεύθυνση και το μέτρο της ταχύτητας αλλάζουν απότομα μετά από αυτές τις κρούσεις.

Ετσι η τροχιά κάθε μορίου είναι τεθλασμένη, αλλά λόγω του μεγάλου αριθμού τους θεωρούμε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός κρούσεων διατηρεί την συνολική κατανομή των ταχυτήτων.

γ. Ο όγκος κάθε μορίου είναι πολύ



Μόριο στερεού σώματος

Τα ελατήρια παριστάνουν τις ελαστικές δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομά του.

μικρός σε σχέση με τον συνολικό όγκο του αερίου, το σχήμα τους δε θεωρείται σφαιρικό.

- δ. Πάνω στα μόρια δεν εξασκούνται σημαντικές δυνάμεις παρά μόνο κατά την διάρκεια των κρούσεων. Έτσι ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κρούσεις θεωρούμε πως κάθε μόριο κινείται ευθύγραμμα και ισοταχώς.
- ε. Οι κρούσεις είναι λίγες και διαρκούν ελάχιστα. Κατά την διάρκειά τους διατηρείται και η ορμή και η κινητική ενέργεια των μορίων.

Με την βοήθεια αυτού του προτύπου η Κινητική θεωρία των αερίων ερμηνεύει εύκολα όλους τους Νόμους των αερίων. Εφαρμόζει απλά τους Νόμους της Μηχανικής του Νεύτωνα σε μεγάλο αριθμό μορίων ιδανικού αερίου και επεξεργάζεται Στατιστικά τα αποτελέσματα.

Βέβαια η συμπεριφορά των πραγματικών αερίων αποκλίνει από αυτή του προτύπου. Η διαφορετική και περισσότερο πολύπλοκη μοριακή δομή ευθύνεται για αυτή την απόκλιση, έτσι π.χ. παρατηρούμε πως το τριατομικό CO_2 συμπεριφέρεται περισσότερο διαφορετικά από το ιδανικό αέριο από ότι το μονοατομικό He.

● 1.4. Κατανομή ταχυτήτων κατά MAXWELL-BOLTZMANN

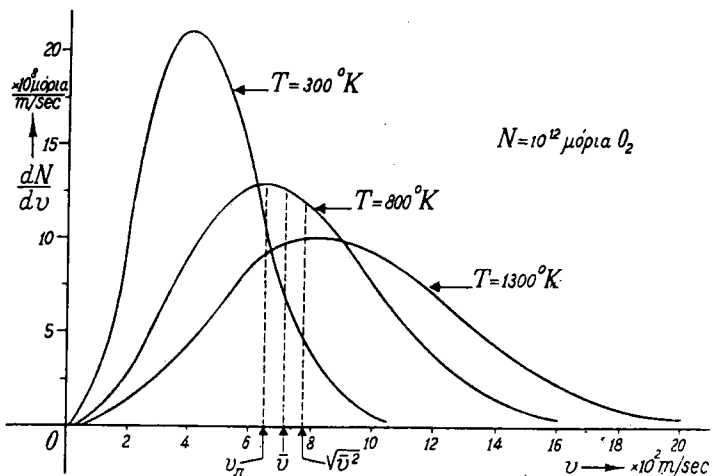
Εφαρμόζοντας την Κινητική θεωρία ο MAXWELL κατάφερε να κατανείμει τα μόρια του αερίου στις διάφορες ταχύτητές τους. Έτσι για δείγμα αερίου N μορίων, ο νόμος της κατανομής μοριακών ταχυτήτων δίνεται από την εξίσωση

$$N(v) = 4\pi N (m/2\pi kT)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT}$$

Στην εξίσωση αυτή $N(v)/dv$ είναι ο αριθμός μορίων του δείγματος που έχουν ταχύτητες ανάμεσα σε τιμές v και $v+dv$, T είναι η απόλυτη θερμοκρασία του αερίου, k η σταθερά Boltzmann και m η μάζα ενός μορίου.

Παρατηρούμε πως για δεδομένο αέριο η κατανομή ταχυτήτων εξαρτάται ΜΟΝΟ από την θερμοκρασία.

Στο παράπλευρο σχήμα ο MAXWELL



Κατανομή ταχυτήτων κατά MAXWELL-BOLTZMANN

ομαδοποίησε $N=10^{12}$ αριθμούς μορίων οξυγόνου σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (300, 800, 1300°K) που έχουν ταχύτητες ανάμεσα σε δύο τιμές π.χ. v_1, v_2 .

Τον αριθμό των μορίων εμφάνισε σαν εμβαδόν ανάμεσα στην καμπύλη και τις δύο καθέτους v_1, v_2 στην προηγούμενη γραφική κατανομή που φέρει το όνομά του.

Συγκεκριμένα, ο κατακόρυφος άξονας περιέχει αριθμούς μορίων που έχουν ταχύτητες μεταξύ των τιμών v και $v+dv$, ενώ ο οριζόντιος άξονας περιέχει τιμές v ταχυτήτων των μορίων.

Το μέγιστο της κατανομής, δηλ. η πιθανότερη ταχύτητα που μπορεί να έχουν τα περισσότερα μόρια, συμβολίζεται με v_{π} και εξαρτάται ΜΟΝΟ από την θερμοκρασία τους, ενώ \bar{v} είναι η μέση τιμή ταχύτητας των μορίων.

Επίσης παρατηρείται πως $\bar{v}^2 > \bar{v} > v_{\pi}$.

Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη είναι ο ολικός αριθμός μορίων του αερίου. Σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, ο αριθμός των μορίων που αντιστοιχούν σε δεδομένο διάστημα ταχυτήτων dv αυξάνεται, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, μέχρι ένα μέγιστο και μετά μειώνεται ασυμπτωτικά προς το μηδέν.

Επίσης η καμπύλη πρέπει να γίνεται περισσότερο αμβλεία καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία για να διατηρηθεί σταθερό το εμβαδόν κάτω από αυτή (ολικός αριθμός μορίων).

Ετσι όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνονται και οι ταχύτητες των μορίων επομένως αυξάνεται και η μέση τιμή τους. Η εξάρτηση της ταχύτητας από την θερμοκρασία δίδεται από την σχέση:

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{3kT/m}$$

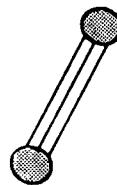
● 1.5. Εσωτερική ενέργεια

Η Κινητική θεωρία των αερίων προϋποθέτει διατήρηση της Κινητικής Ενέργειας των μορίων που οφείλεται στην συνεχή και τυχαία τους κίνηση.

Ορίζουμε σαν **βαθμούς ελευθερίας** f το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών που απαιτούνται για να περιγράψουμε πλήρως την κίνηση των μορίων.

Ετσι ένα μονοατομικό μόριο έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας, όσες και οι κατευθύνσεις κίνησής του στον χώρο, ενώ ένα διατομικό με σταθερό ισχυρό δεσμό μεταξύ των ατόμων του, έχει πέντε βαθμούς ελευθερίας: τρεις που περιγράφουν την μεταφορική του κίνηση και δύο που περιγράφουν την περιστροφική του κίνηση.

Σαν **εσωτερική ενέργεια** U



Διατομικό μόριο με **σταθερή** σύνδεση ατόμων



Διατομικό μόριο με **χαλαρή** σύνδεση ατόμων

αερίου ή γενικότερα συστήματος, ορίζουμε το άθροισμα των ενεργειών των δομικών του λίθων, λόγω της θέσης τους ή λόγω της κίνησής τους. Αναφέρουμε δύο χαρακτηριστικά γνωρίσματα της εσωτερικής ενέργειας:

α. Σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, το αέριο έχει μικρή πυκνότητα και θεωρούμε αμελητέες τις δυνάμεις μεταξύ των μορίων του. Τότε η εσωτερική του ενέργεια εξαρτάται ΜΟΝΟ από την θερμοκρασία και την μάζα του.

β. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας μεταξύ δύο καταστάσεων θερμοδυναμικής ισορροπίας Α και Β, εξαρτάται ΜΟΝΟ από τις καταστάσεις αυτές και όχι από τον τρόπο που έγινε η μεταβολή. Ετσι σ' αυτή την περίπτωση η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας κυκλικής μεταβολής είναι μηδέν.

Τέλος σύμφωνα με το θεώρημα **ισοκατανομής της ενέργειας**, η εσωτερική ενέργεια συστήματος υπολογίζεται αν αντιστοιχίσουμε ενέργεια $kT/2$ σε κάθε βαθμό ελευθερίας του συστήματος.

Υπολογισμός εσωτερικής ενέργειας

Υπενθυμίζουμε πως $\eta = N/N_A$ και ορίζουμε σαν $\kappa = R/N_A$, όπου η ο αριθμ. moles, N ο αριθμ. μορίων του αερίου, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων, N_A ο αριθμ. Avogadro και κ η σταθερά Stefan-Boltzmann.

Έχουμε λοιπόν σύμφωνα με το Θεώρημα Ισοκατανομής της Ενέργειας ανά βαθμό ελευθερίας, \bar{E} μέση ενέργεια ενός μορίου του αερίου και ολοκλήρου του αερίου (N μορίων) η εσωτερική ενέργεια

$$\bar{E} = f \cdot (\kappa T / 2)$$

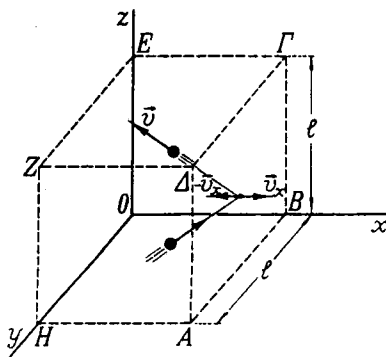
$$U = \bar{E} \cdot \lambda = f N \kappa T / 2 = f \eta R T / 2.$$

● 1.6. Εφαρμογές Κινητικής θεωρίας αερίων

● α. Μέτρηση πίεσης αερίου

Θεωρούμε μικρό κύβο πλευράς l με τοιχώματα τελείως ελαστικά μέσα στον οποίο βρίσκεται ιδανικό αέριο.

Παρακολουθούμε την κίνηση μορίου μάζας m και ταχύτητας v . Κατά την κίνησή του το μόριο συγκρούεται κεντρικά και ελαστικά με το τοίχωμα X του κύβου και αναπηδά. Η ορμή του



διατηρείται, οπότε $\Delta p = 2mv_x$

Αν κατά την κίνησή του δεν συγκρούεται με άλλο μόριο, για να διανύσει απόσταση $2l$ χρειάζεται χρόνο $t = 2l/v_x$.

Κατά προσέγγιση, σε χρόνο Δt που διαρκεί η κρούση το μόριο έχει συγκρουσθεί μια φορά με το τοίχωμα X και έχει μεταβάλει την ορμή του κατά $2mv_x$.

Η έδρα X , κατά την κρούση, δέχθηκε από το μόριο δύναμη

$$f_x = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{2l/v_x} \Rightarrow f_x = \frac{mv_x^2}{l}$$

$$\Delta t = 2l/v_x$$

και από τα N μόρια

$$F_x = mv_{1x}^2 + mv_{2x}^2 + \dots + mv_{Nx}^2 \quad \text{ή}$$

$$F_x = m(v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{Nx}^2) \Rightarrow F_x = \frac{Nm}{N} (v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{Nx}^2)$$

Ο όρος $\frac{(v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{Nx}^2)}{N}$

είναι η μέση τιμή του τετραγώνου της ταχύτητας που έχουν τα μόρια του αερίου κατά τον άξονα X , αν την παραστήσουμε με \bar{v}_x^2 .

τότε η δύναμη γίνεται $F_x = \frac{Nm}{N} \bar{v}_x^2$

Ομοίως βρίσκουμε τις δυνάμεις F_x, F_y που δέχονται τα τοιχώματα τα κάθετα στις διευθύνσεις xx' και yy' : $F_y = \frac{Nm}{N} \bar{v}_y^2, F_z = \frac{Nm}{N} \bar{v}_z^2$

Το πηλίκο $P_x = \frac{F_x}{A}$ είναι η πίεση που δέχεται κατά την κρούση η έδρα η

κάθετη στην διεύθυνση X και ίσο με $P_x = \frac{F_x}{A} = \frac{Nm}{N} \frac{\bar{v}_x^2}{3}$

ομοίως $P_y = \frac{F_y}{A} = \frac{Nm}{N} \frac{\bar{v}_y^2}{3}$ και $P_z = \frac{F_z}{A} = \frac{Nm}{N} \frac{\bar{v}_z^2}{3}$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ βρίσκεται ότι οι πιέσεις $P_x = P_y = P_z = P$, άρα από τις τρεις παραπάνω σχέσεις $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$,

όμως από τα Μαθηματικά ξέρουμε πως $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ και το ίδιο ισχύει για $\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$ και τελικά $\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2 = 3\bar{v}_y^2 = 3\bar{v}_z^2$

Άρα η πίεση που ασκείται σε κάθε τοίχωμα του δοχείου, δηλ. ολόκληρη η πίεση του αερίου είναι $P = (Nm/N) * (\bar{v}^2/3)$.

Αν V ο όγκος του δοχείου, $N_1 = N/V$ ο αριθμός των μορίων του ιδανικού αερίου ανά μονάδα όγκου και d η πυκνότητά του, τότε η πίεσή του γράφεται:

$$P = (Nm/V) * (\bar{v}^2/3), \text{ ή } P = N_1 m \bar{v}^2/3, \text{ ή } P = d \bar{v}^2/3.$$

Μια άλλη σχέση της πίεσης είναι η

$$P = (2N_1/3) (m\bar{v}^2/2)$$

αλλά $m\bar{v}^2/2$ είναι η μέση Κινητική

Ενέργεια κάθε μορίου του αερίου, άρα

$$P = (2N_1 \bar{E}_k)/3$$

● 1.6.β. Μέτρηση της θερμοκρασίας

Η σχέση της πίεσης γράφεται $P = (2N \bar{E}_k) / 3V \Rightarrow PV = (2N \bar{E}_k) / 3$.

Αν N_A η σταθερά Avogadro, η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων γράφεται $PV = \eta RT$ με το σταθερό πηλίκο $R/N_A = \kappa$, (σταθερά Boltzmann) και όπου $N = \eta N_A$ ο αριθμός των μορίων του αερίου και η ο αριθμός moles του αερίου.

Ετσι από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει $(2N \bar{E}_k) / 3 = N \kappa T \Rightarrow \bar{E}_k = 3 \kappa T / 2$ και τελικά

$$T = 2 \bar{E}_k / 3 \kappa.$$

Δηλ. η μέση κινητική ενέργεια για κάθε μόριο αερίου που οφείλεται στην τυχαία μεταφορική τους κίνηση είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του αερίου.

Τελικά το πρότυπο του ιδανικού αερίου με την βοήθεια της κινητικής θεωρίας:

1. Ερμηνεύει την πίεση του αερίου με την βοήθεια των ελαστικών κρούσεων των μορίων του με τα τοιχώματα του δοχείου και
2. Συσχετίζει την απόλυτη θερμοκρασία με την μεταφορική κινητική ενέργεια των μορίων του αερίου.

● 1.7. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Κατά την μελέτη των διαφόρων θερμικών φαινομένων (θερμική διαστολή, βρασμός, τήξη), σπουδαίο ρόλο παίζει η έννοια της θερμοκρασίας. Όπως είδαμε με την βοήθεια της Κινητικής θεωρίας των αερίων σαν **θερμοκρασία** ορίζουμε το μέτρο της μέσης τιμής της Κινητικής ενέργειας, λόγω θερμικής κίνησης, των δομικών λίθων συστήματος (ατόμων, μορίων).

Δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες που βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, αποκοτούν τελικά κοινή θερμοκρασία. Τότε λέμε πως τα δύο σώματα βρίσκονται σε **θερμική ισορροπία**. Εκείνο το ποσό ενέργειας που τα δύο σώματα αντάλλαξαν μεταξύ τους ώστε να αποκατασταθεί θερμική ισορροπία χαρακτηρίζεται σαν **θερμότητα**.

Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι ο **βαθμός** που αναφέρεται σε κάποια συγκεκριμένη κλίμακα θερμοκρασίας.

Όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι τα **θερμόμετρα**. Βαθμολογούνται σε κάποιες κλίμακες θερμοκρασιών με την βοήθεια φυσικών σταθερών.

Συνήθως επιλέγεται σαν αρχή το σημείο τήξης του πάγου και σαν άνω όριο το σημείο βρασμού του απεσταγμένου νερού σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης.

Σήμερα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω **κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας**.

α. Απόλυτη: Βάση της και αρχή της το απόλυτο μηδέν. Δηλ. εκείνη η τιμή της θερμοκρασίας στην οποία παύει κάθε κίνηση των μορίων του συστήματος.

Πειραματικά απρόσιτο. Η ύλη σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν παύει να ακολουθεί στην συμπεριφορά της τους νόμους της Κλασικής Μηχανικής και μόνο η ΚβαντοΜηχανική μπορεί να παρακολουθήσει κάποια κίνηση των μορίων σ' αυτές τις θερμοκρασίες. Μονάδα μέτρησης είναι οι $T(^{\circ}K)$ βαθμοί Κέλβιν.

- β. Κελσίου:** Σαν φυσικές σταθερές για τον καθορισμό της επιλέχθηκαν σαν θερμοκρασία τήξης του πάγου οι 0 βαθμοί και σαν θερμοκρασία βρασμού του νερού οι 100 βαθμοί. Ανάμεσα σ' αυτές τις τιμές η κλίμακα χωρίζεται σε 100 ίσες υποδιαίρεσεις γι αυτό και η ονομασία της εκατονταβάθμια. Μονάδα μέτρησης είναι οι $\theta(^{\circ}C)$ βαθμοί Κελσίου.
- γ. Reamur:** Ορίσθηκε ανάλογα με την κλίμακα Κελσίου με την διαφορά πως το σημείο τήξης του πάγου αντιστοιχεί σε 0 βαθμούς, ενώ το σημείο βρασμού του νερού σε 80. Έτσι οι 100 βαθμοί της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχούν σε 80 βαθμούς της κλίμακας Reamur. Χρησιμοποιείται κυρίως στις Αγγλοσαξωνικές χώρες όπως και η επόμενη κλίμακα
- δ. Fahrenheit:** Ορίσθηκε επίσης ανάλογα με την Κελσίου με την διαφορά πως το σημείο τήξης του πάγου αντιστοιχεί σε 32 βαθμούς, ενώ το σημείο βρασμού του νερού σε 212. Έτσι οι 100 βαθμοί της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχούν σε 180 βαθμούς της κλίμακας Fahrenheit.
- ε. Kelvin, Rankine:** Τις απόλυτες τιμές θερμοκρασίας τις μετράμε σε δύο κλίμακες, τις κλίμακες Κελβίν και Rankine.
Στην θερμοκρασία $-273^{\circ}C$, από την καταστατική εξίσωση ($Pv=mkT$), το γινόμενο του όγκου επί την πίεση αερίου μηδενίζεται ($T=0$). Επειδή δεν είναι δυνατόν να δεχθούμε μηδενισμό του όγκου του αερίου, δεχόμαστε πως σ' αυτή την θερμοκρασία μηδενίζεται η πίεση του αερίου. Δηλ. παύουν οι κρούσεις των μορίων με τα τοιχώματα του δοχείου που περικλείει το αέριο, άρα θεωρούμε πως τα μόρια ακινητοποιούνται. Επομένως παύουμε να έχουμε αέριο κατάσταση.
Αυτή ακριβώς την θερμοκρασία θεωρούμε σαν αρχή της κλίμακας Κέλβιν στην οποία η θερμοκρασία τήξης του πάγου είναι $273^{\circ}K$.
Η κλίμακα Rankine είναι ανάλογη της Κέλβιν και χρησιμοποιείται επίσης σαν απόλυτη κλίμακα θερμοκρασιών.
Η αντιστοιχία των παραπάνω κλιμάκων με την κλίμακα Κελσίου, δίνεται από τις εξισώσεις:

$$T(^{\circ}K) = \theta(^{\circ}C) + 273, \quad \frac{C}{F-32} = \frac{5}{9}, \quad \text{Rank.} = F + 460, \quad \text{Rank.} = 1,8K.$$

1.8 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ

Τα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας ανάλογα με την φυσική αρχή λειτουργίας τους χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες.

α) Μεταβολή της τιμής της ωμικής αντίστασης με την θερμοκρασία.

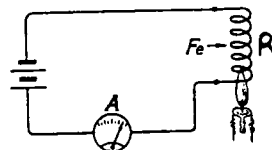
Συνδέουμε τα άκρα ωμικής αντίστασης R με ηλεκτρική πηγή E με την βοήθεια αμπερομέτρου A .

Αν κλείσουμε το κύκλωμα και αρχίσουμε να θερμαίνουμε την R , παρατηρούμε πως η ένταση του ρεύματος I ελαττώνεται. Δηλ. με σταθερή τάση τροφοδοσίας, σύμφωνα με τον νόμο του Ohm η τιμή της ωμικής αντίστασης R αυξήθηκε.

$$H \text{ εξίσωση } R_{\theta} = R_0 \cdot (1 + \alpha\theta)$$

δίνει την θερμοκρασία θ στην οποία αντιστοιχεί τιμή ωμικής αντίστασης R_{θ} (R_0 η τιμή της αντίστασης στους 0°C και α ο θερμικός συντελεστής αντίστασης εξαρτώμενος από την φύση του υλικού της).

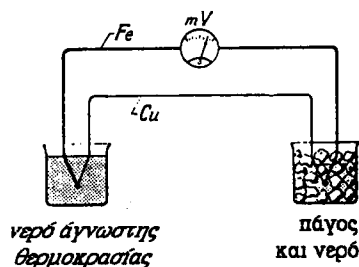
Σ' αυτή την αρχή βασίζεται η λειτουργία των ωμικών θερμομέτρων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση χαμηλών θερμοκρασιών.



η θέρμανση αυξάνει την τιμή της ωμικής αντίστασης R

β) Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο.

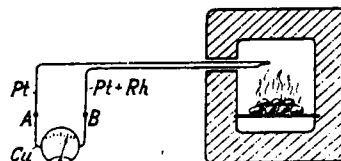
Σε κύκλωμα αποτελούμενο από δύο σύρματα διαφορετικών μετάλλων, με τα σημεία επαφής τους να βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού. Αν η μία επαφή βρίσκεται συνέχεια σε σταθερή θερμοκρασία αναφοράς (0°C), τότε η ένδειξη μιλιβολτομέτρου που μετρά αυτή την τάση εξαρτάται ΜΟΝΟ από την θερμοκρασία της άλλης επαφής.



Για θερμοκρασίες μέχρι 700°C χρησιμοποιείται ζεύγος αγωγών από Fe και Cu-Ni (κωνσταντάνη), γι ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες ζεύγος από Pt και κράμα Pt-Rh .

γ) Ακτινοβολία θερμική.

Όταν θέλουμε να μετρήσουμε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (εσωτερικό κλιβάνων), χρησιμοποιούμε τα οπτικά πυρόμετρα. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ιδιότητα των σωμάτων να εκπέμπουν τόσο εντονότερη θερμική ακτινοβολία όσο υψηλότερη



θερμοηλεκτρικό θερμοόμετρο για μέτρηση υψηλών θερμοκρασιών

θερμοκρασία έχουν. Η σχέση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται A από σώμα θερμοκρασίας T είναι $A = \sigma \cdot T^4$.

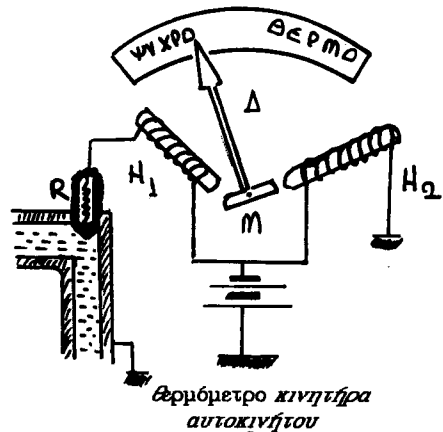
δ) Θερμόμετρα αυτοκινήτου:

Είναι βιομηχανική εφαρμογή των θερμομέτρων ωμικής αντίστασης. Θέλουμε να μετρήσουμε θερμοκρασίες που η ένδειξή τους (καντράν) βρίσκεται μακριά από το σημείο μέτρησης (ψυγείο).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στο ψυγείο, αυξάνει την τιμή ωμικής αντίστασης R άνθρακα που βρίσκεται μέσα σ' αυτό. Έτσι με σταθερή τάση τροφοδοσίας (μπαταρία), σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, μειώνεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει κατάλληλο κύκλωμα.

Η μετακίνηση της ενδεικτικής βελόνας μιλιαμετρομέτρου βαθμολογημένου σε βαθμούς Κελσίου, μας δίνει την ζητούμενη ένδειξη θερμοκρασίας.

(Στο κύκλωμα του σχήματος δύο ηλεκτρομαγνήτες δημιουργούν κατάλληλα μαγνητικά πεδία που ελέγχουν την μετακίνηση της ενδεικτικής βελόνας του θερμομέτρου).



ε) Θερμική διαστολή

Τα περισσότερα εύχρηστα και σε ευρεία εφαρμογή θερμομόμετρα. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην μεταβολή του όγκου των σωμάτων που προκαλείται από την μεταβολή της θερμοκρασίας τους (κυβική διαστολή).

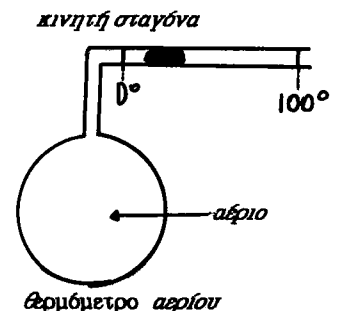
Έτσι έχουμε τα θερμομόμετρα:

1. αερίου

Κινητή σταγόνα έγχρωμου υγρού (υδραργύρου), κινείται ακολουθώντας την αύξηση του όγκου θερμαινόμενου αερίου. Η κίνηση της σταγόνας πάνω σε κλίμακα θερμοκρασιών μας δίνει την ζητούμενη ένδειξη.

2. υγρού

Η λειτουργία τους στηρίζεται στην κυβική διαστολή των υγρών που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας τους.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

*1. Προσοχή χρειάζεται στην επιλογή του καταλλήλου υγρού.

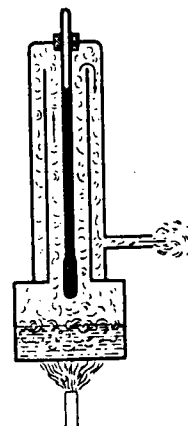
- α) Η πυκνότητα, το χρώμα, το σημείο πήξης, το σημείο εξαέρωσης, οι δυνάμεις συνοχής και συναφείας με τα τοιχώματα του δοχείου, είναι μερικοί παράγοντες που μας οδήγησαν στην επιλογή του Υδραργύρου σαν το πλέον κατάλληλο υγρό.
- β) Επίσης κατά την μέτρηση χαμηλών θερμοκρασιών πρέπει να ληφθεί υπ' όψη το σημείο πήξης του υγρού (υδραργύρου $-38,9^{\circ}\text{C}$).

Για χαμηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιούμε θερμόμετρα τολουόλης (-95°C) και αυθυλικής αλκοόλης ($-114,6^{\circ}\text{C}$). Στα θερμόμετρα υδραργύρου οι θερμομετρικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η Κελσίου και Φαρενάϊτ.

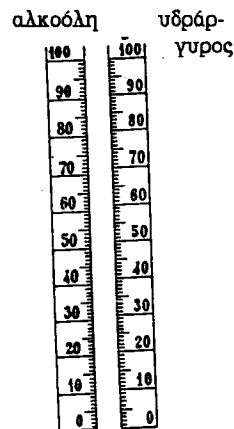
*2. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την βαθμολόγηση και κατά την διόρθωση ενδείξεων των θερμομέτρων υγρού.

- α) Για να εξασφαλίσουμε θερμοκρασίες 0°C πρέπει να βυθίσουμε το θερμόμετρο σε μίγμα πάγου και νερού και για να εξασφαλίσουμε 100°C το βυθίζουμε σε περιβάλλον κορεσμένων υδρατμών.
- β) ρέπει να προσέξουμε ώστε ολόκληρη η μάζα του υγρού να βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία κατά την βαθμολόγηση, διαφορετικά πρέπει να διορθώνουμε κάθε φορά την ανάγνωση της ένδειξης.
- γ) Προσοχή χρειάζεται στην χρήση των θερμομέτρων με διαφορετικά υγρά εκτός του υδραργύρου. Πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τον τρόπο διαστολής των υγρών αυτών.

Για παράδειγμα σε θερμόμετρα αλκοόλης που είναι βαθμολογημένα σε κλίμακα Κελσίου, οι χαραγμένες γραμμές που αντιστοιχούν σε βαθμούς, ΔΕΝ είναι ισαπέχουσες όπως των αντίστοιχων υδραργυρικών θερμομέτρων. (Η αυθυλική αλκοόλη διαστέλεται ανομοιόμορφα).



Διόρθωση ένδειξης



θερμομετρικές κλίμακες δύο διαφορετικών υγρών με άνισα χαραγμένες υποδιαίρεσεις

- Εξισώσεις μετατροπής κλιμάκων χρήσιμες σε επίλυση ΑΣΚΗΣΕΩΝ

$$C/5 = (K-273)/5 = R/4 = (F-32)/9 = (\text{Rank}-491)/9$$

Μεταξύ των μεταβολών ενδείξεων θερμοκρασίας :

$$\Delta C/5 = \Delta K/5 = \Delta R/4 = \Delta F/9 = \Delta \text{Rank} / 9.$$

- Γνωστές φυσικές σταθερές

$$\begin{aligned} \text{πυκνότητα νερού } d &= 1\text{gr/ml} = 1000\text{Kg/m}^3 \\ \text{θερμοκρασία περιβάλλοντος} &= 20\text{-}21^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

α) Λυμένες

- 1. Σε ποιά θερμοκρασία οι κλίμακες Φαρενάιτ (Fahrenheit)- Κέλβιν (Kelvin) και Κελσίου (Celsius)- Κέλβιν δείχνουν την ίδια ένδειξη ;
ΛΥΣΗ

- α) Χρησιμοποιώ την εξίσωση μετατροπής κλίμακας Κελσίου σε Φαρενάιτ :
- $$\frac{C}{F-32} = \frac{5}{9} \quad (1),$$

αλλά η κλίμακα Κελσίου μετατρέπεται σε κλίμακα Κέλβιν με την εξίσωση: $T=C+273 \Rightarrow C=T-273 \quad (2).$

Αντικαθιστώ την (2) στην (1) και έχω :

$$\frac{T-273}{F-32} = \frac{5}{9}.$$

Έτσι έχω μία εξίσωση με ένα ΜΟΝΟ άγνωστο τον x , αφού θέλω η ένδειξη $T=F$.

$$\text{Επιλύω λοιπόν την εξίσωση } \frac{x-273}{x-32} = \frac{5}{9} \quad \text{και τελικά} \\ \text{έχω } \underline{x=574,25^\circ}.$$

β) Χρησιμοποιώ την εξίσωση μετατροπής της κλίμακας Κελσίου σε κλίμακα Κέλβιν : $T=C+273$.

Ο άγνωστος x είναι η κοινή τιμή $T=C=x$.

Δηλαδή πρέπει να επιλύσω την εξίσωση $x=x+273$, η οποία

ΔΕΝ έχει ΠΟΤΕ λύση, έτσι η απάντηση είναι πως

οι δύο κλίμακες Κελσίου-Κέλβιν ΔΕΝ έχουν ΠΟΤΕ κοινή ένδειξη.

(Αναμενόμενο αποτέλεσμα, αφού πρόκειται για την ΙΔΙΑ κλίμακα με διαφορετική αρχή).

- 2. Πότε η ένδειξη της κλίμακας Κελσίου είναι ίση με το διπλάσιο της ένδειξης Φαρενάιτ ;

ΛΥΣΗ

Χρησιμοποιώ την εξίσωση μετατροπής κλίμακας Κελσίου σε Φαρενάιτ :

$$\frac{C}{F-32} = \frac{5}{9} \quad (1),$$

$$\text{έχω } \frac{C}{(C/2)-32} = \frac{5}{9},$$

με μοναδικό άγνωστο την τιμή C ,

Έτσι λύνω ως προς C και τελικά έχω ότι για την τιμή $-24,6^\circ$ η κλίμακα Κελσίου δίνει διπλάσια ένδειξη από την κλίμακα Φαρενάιτ.

β) Προς Λύση

- 1. Θερμόμετρο είναι βαθμολογημένο σε δύο κλίμακες, Celsius και Fahrenheit. Σε ποιά θερμοκρασία οι ενδείξεις των δύο κλιμάκων συμπίπτουν;
- 2. Την ίδια μέρα η θερμοκρασία στην Αθήνα είναι 20°C και στο Λονδίνο 77°F . Πόση διαφορά θερμοκρασίας βρίσκεται μεταξύ των δύο πόλεων ο κάτοικος των Αθηνών και πόση ο κάτοικος του Λονδίνου;
- 3. Να τραπούν οι παρακάτω ενδείξεις της κλίμακας Fahrenheit -15, 50, 200, σε ενδείξεις των κλιμάκων : Celsius, Kelvin, Reamur και Rankine.
- 4. Κατασκευάστε δική σας κλίμακα θερμοκρασιών για βαθμολόγηση υγρού θερμομέτρου και βρείτε οι -30° της δικής σας κλίμακας σε ποιές τιμές των κλιμάκων Celsius, Kelvin, Reamur και Rankine αντιστοιχούν.
- 5. Σε θερμόμετρο, κατά λάθος κατά την βαθμολόγησή του, σημειώθηκε σαν σημείο τήξης του πάγου η ένδειξη $+10$, σαν σημείο βρασμού του νερού δε, η ένδειξη $+89$. Ποιά είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος που αντιστοιχεί στην ένδειξη του συγκεκριμένου θερμομέτρου και ποιά ένδειξή του δίνει την πραγματική θερμοκρασία;
- 6. Σε αβαθμολόγητο υδραργυρικό θερμόμετρο έχει τεθεί σαν σημείο τήξης του πάγου ύψος στήλης 4cmHg , ενώ σαν σημείο βρασμού αποσταγμένου νερού ύψος στήλης $22,8\text{cmHg}$. Αν το σημείο βρασμού αλκοόλης αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο θερμόμετρο σε ύψος στήλης $18,6\text{cmHg}$, βρείτε αυτή την θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$.

Κεφάλαιο 2ο

ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

● 2.1 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ

Όλα σχεδόν τα στερεά μεταβάλλουν τις διαστάσεις τους όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία τους. Εδώ θα εξετάσουμε την μεταβολή του μήκους των στερεών με την μεταβολή της θερμοκρασίας τους.

Βρέθηκε πειραματικά πως

$$dl = \beta * l * d\theta$$

$$\text{με } \beta = \frac{1}{l} * \frac{dl}{d\theta}$$

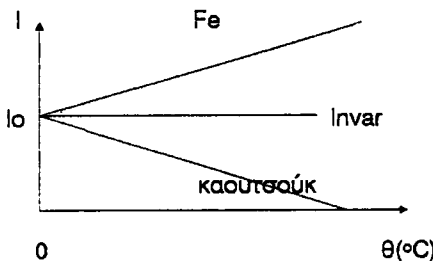
όπου β ο συντελεστής γραμμικής διαστολής. Μετρείται σε grad^{-1} , εξαρτάται από το υλικό του σώματος και είναι ανεξάρτητος από την θερμοκρασία.

Η παραπάνω σχέση γράφεται και με την μορφή

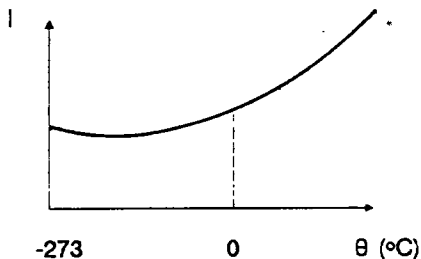
$$l_{\theta} = l_0 * (1 + \beta * d\theta)$$

που δίνει γραμμική εξάρτηση στο τελικό μήκος του σώματος l_{θ} από την μεταβολή $d\theta$ της θερμοκρασίας. Αυτή η εξίσωση παριστάνεται γραφικά με ευθεία γραμμή σε γραφική παράσταση $l=l(\theta)$.

Για τα περισσότερα μέταλλα ο συντελεστής γραμμικής διαστολής β είναι θετικός, για άλλα σώματα (π.χ. καουτσούκ) είναι αρνητικός. Το κράμα Invar (64%Fe, 36%Ni), έχει ασήμαντο συντελεστή γραμμικής διαστολής οπότε το μήκος του είναι πρακτικά ανεξάρτητο από την μεταβολή της θερμοκρασίας.



Μεταβολή του μήκους ανάλογα με την θερμοκρασία



Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ο συντελεστής γραμμικής διαστολής β μηδενίζεται

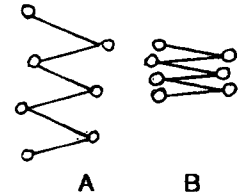
Πειραματικά η μεταβολή του μήκους με την θερμοκρασία αποδεικνύεται πως δεν μας δίνει ευθεία γραμμή, αλλά καμπύλη, όπως στην παραπάνω γραφική παράσταση. Επομένως ο συντελεστής β γραμμικής διαστολής **ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ** ΚΑΙ

από την ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Ελαττώνεται ακολουθώντας την μείωση της θερμοκρασίας και στην θερμοκρασία του απολύτου μηδενός (-273°C) μηδενίζεται.

Τελικά MONO για πολύ μικρές περιοχές θερμοκρασίας ισχύει η σχέση $l_θ = l_0 * (1 + β * dθ)$, όπου ο συντελεστής γραμμικής διαστολής β θεωρείται ανεξάρτητος από την θερμοκρασία και πρακτικά σταθερός.

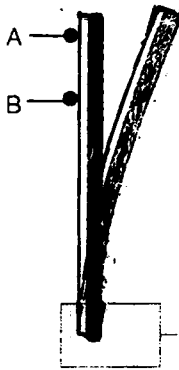
Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τιμές συντελεστών γραμμικής διαστολής γνωστών σωμάτων. Επίσης στο παρακάτω σχεδιάγραμμα φαίνεται η συστολή του καουτσούκ που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας του.

Συντελεστές γραμμικής διαστολής σε 10^{-6}grad^{-1}			
Κράμα Invar	0	Σίδηρος	12
Χαλαζίας	0	Μπετόν	12
Γυαλί Pyrex	4	Χαλκός	17
Γυαλί κοινό	9	Ορείχαλκος	19
Λευκόχρυσος	9	Ψευδάργυρος	26
Χάλυβας	11	Μόλυβδος	29



Σχηματική παράσταση αλυσίδας μορίων καουτσούκ σε θερμοκρασίες Α χαμηλή και Β υψηλή

● 2.1.α ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Διμεταλλικοί διακόπτες

α) Διμεταλλικοί Διακόπτες

Οι συντελεστές γραμμικής διαστολής διαφορετικών στερεών διαφέρουν μεταξύ τους γιατί εξαρτώνται από την φύση του υλικού. Έτσι κατά την θέρμανση δύο στερεά συγκολλημένων σωμάτων η μεταβολή του μήκους τους είναι διαφορετική, οπότε ή παραμορφώνονται ή ξεκολλούν.

Όταν τα δύο σώματα έχουν την μορφή μεταλλικών ελασμάτων στερεά συγκολλημένων καθ' όλο το μήκος τους, η ανομοιόμορφη διαστολή προκαλεί κάμψη τους.

Με αυτό τον τρόπο απομακρύνονται από κατάλληλα διαμορφωμένη θερμική επαφή προκαλώντας διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμά τους.

Χρησιμοποιούνται σε:

- ηλεκτρικά κυκλώματα σαν θερμοστάτες, διακόπτες, ασφάλειες
- μεταλλικά θερμομέτρα
- μηχανισμούς ακρίβειας (ωρολογιακοί μηχανισμοί που ΔΕΝ πρέπει να επηρεάζονται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας)

β) Ηλεκτρικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Ο ίδιος κίνδυνος αποκόλλησης λόγω διαφορετικών συντελεστών γραμμικής διαστολής β, παρουσιάζεται στην αεροστεγή σύντηξη μετάλλου-υάλου. Τα σύρματα των λαμπτήρων φροντίζουμε να έχουν τον ίδιο συντελεστή γραμμικής διαστολής με την ύαλο, ώστε να παραμένει τέλεια η σύντηξή τους στην βάση των λαμπτήρων. Τέτοια σύρματα είναι τα διμεταλλικά Dument που κατασκευάζονται από νικελιούχο χάλυβα που περιβάλλεται από στρώμα χαλκού.

γ) PYREX

Τα γυάλινα αντικείμενα θερμαινόμενα τοπικά, διαστέλλονται ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να σπάζουν. Το γυαλί είναι κακός αγωγός της θερμότητας και τα άμεσα θερμαινόμενα μέρη του κατακρατούν την θερμότητα μεταφέροντας την ελάχιστα στα γειτονικά τους. Έτσι η γυάλινη βάση σκεύους που βρίσκεται σε ΑΜΕΣΗ επαφή με το θερμαντικό σώμα, θερμαίνεται και διαστέλεται πολύ περισσότερο από τα τοιχώματα. Σ' αυτά η θερμότητα φθάνει δύσκολα με διάδοση μέσα από την γυάλινη μάζα, με αποτέλεσμα την θραύση.

Το ειδικό γυαλί Pyrex έχει μικρό συντελεστή γραμμικής διαστολής ώστε πρακτικά να μην διαστέλεται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και επομένως να μην καταστρέφεται σε απότομες μεταβολές της.

Χρησιμοποιείται για την κατασκευή συσκευών και οργάνων που πρέπει να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως όργανα εργαστηρίων, μαγειρικά σκεύη.

● 2.1.β ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ προερχόμενες από διαστολή-συστολή στερεών

Ο νόμος του Hooke

$$\Delta l = \frac{F}{E} \cdot \frac{l}{A}$$

μας δίνει την μεταβολή Δl του μήκους σώματος αρχικού μήκους l , επιφανείας A όταν δράσει πάνω του δύναμη F .

Επίσης μεταβολή κατά Δl του μήκους του σώματος μας δίνει και η κατά $\Delta \theta$ μεταβολή της θερμοκρασίας του. ($\Delta l = \beta \cdot l \cdot \Delta \theta$).

Συνδυάζοντας τους δύο νόμους καταλήγουμε πως η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί εμφάνιση τάσεων (δυνάμεων), επικίνδυνων και καταστροφικών στα άκρα στερεών, σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητο να διατηρούνται σταθερές οι διαστάσεις των σωμάτων αυτών. (Σιδηροτροχιές, πλάκες πεζοδρομίων, μεταλλικά μέρη σκελετού κτιρίων, γεφυρών). Πάντοτε σε τέτοιες κατασκευές αφήνονται κενά διαστήματα ασφάλειας, ώστε να μην εμποδιστεί η διαστολή και αναπτυχθούν καταστροφικές δυνάμεις.

Από τις δύο παραπάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε την τάση που πρέπει να ασκήσουμε στα άκρα σώματος για να εμποδίσουμε την μεταβολή του μήκους του που προήλθε από μεταβολές της θερμοκρασίας.

Έτσι εξισώνοντας τα πρώτα μέλη των σχέσεων τελικά έχουμε

$$F = E \cdot \beta \cdot A \cdot \Delta\theta$$

ή τάση που εφαρμόζεται ανά μονάδα επιφάνειας

$$F = E \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

● 2.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Κατά ανάλογο τρόπο με την γραμμική διαστολή, σε σώματα δύο διαστάσεων η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά $\Delta\theta$ προκαλεί μεταβολή της αρχικής επιφάνειας A_0 κατά ΔA που δίνεται από την σχέση

$$dA = A_0 \cdot \alpha \cdot d\theta$$

με

$$\alpha = \frac{1}{A_0} \cdot \frac{dA}{d\theta}$$

όπου α ο συντελεστής επιφανειακής διαστολής σε grad^{-1} .

Ο συντελεστής επιφανειακής διαστολής εξαρτάται και αυτός από την φύση του σώματος και από την θερμοκρασία.

Για επιφάνεια A_θ σε θερμοκρασία θ ισχύει η σχέση

$$A_\theta = A_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

όπου A_0 η επιφάνεια σε αρχική θερμοκρασία θ_0 .
Αποδεικνύεται πως κατά μέτρο ο συντελεστής επιφανειακής διαστολής α είναι διπλάσιος από τον συντελεστή γραμμικής διαστολής β , δηλ. $\alpha = 2\beta$.

(ΑΠΟΔΕΙΞΗ :

Από την σχέση της γραμμικής διαστολής $l = l_0(1 + \beta\theta)$ έχουμε με ύψωση στο τετράγωνο $l^2 = l_0^2(1 + \beta\theta)^2 = l_0^2(1 + 2\beta\theta + \beta^2\theta^2) \Rightarrow \Delta = A_0(1 + 2\beta\theta)$ (3)

διότι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής β είναι πολύ μικρός άρα και το γινόμενο $\beta\theta$ είναι πολύ μικρό, πολύ περισσότερο το γινόμενο $\beta^2\theta^2$.

Συγκρίνοντας τις σχέσεις της γραμμικής και της επιφανειακής διαστολής τελικά προκύπτει $\alpha = 2\beta$).

● 2.3 ΚΥΒΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά $\Delta\theta$ επηρεάζει και τον όγκο των σωμάτων κατά

$$\Delta V = \gamma \cdot V \cdot \Delta\theta$$

με συντελεστή κυβικής διαστολής μετρούμενο σε grad^{-1} .

$$\gamma = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{d\theta}$$

Ισχύει και η σχέση

$$V_\theta = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

με V_θ ο όγκος σε τελική θερμοκρασία θ και V_0 ο όγκος σε αρχική θερμοκρασία θ_0 .

Αποδεικνύεται πως ο συντελεστής κυβικής διαστολής γ είναι μεγαλύτερος ΚΑΙ από τον συντελεστή επιφανειακής διαστολής α ΚΑΙ από τον συντελεστή γραμμικής διαστολής β και μάλιστα είναι τριπλάσιος του β .

Η σχέση προκύπτει ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ σαν ερμηνεία των ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ αποτελεσμάτων που έδειξαν πως για την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας $\Delta\theta$ ο όγκος του σώματος μεταβλήθηκε περισσότερο από την μεταβολή της επιφανείας του και από την μεταβολή του μήκους του.

(ΑΠΟΔΕΙΞΗ :

Η γνωστή σχέση $l=l_0(1+\beta\theta)$ υψώνεται στην τρίτη για να μας δώσει όγκο και γίνεται $l^3=l_0^3(1+\beta\theta)^3 = l_0^3(1+3\beta\theta+3\beta^2\theta^2+\beta^3\theta^3) \Rightarrow V=V_0(1+3\beta\theta)$, διότι $\beta\theta$ ελάχιστα, πολύ περισσότερο το $\beta^2\theta^2$ και το $\beta^3\theta^3$.

Συγκρίνοντας αυτή την σχέση με την εξίσωση της γραμμικής διαστολής καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως $\gamma=3\beta$).

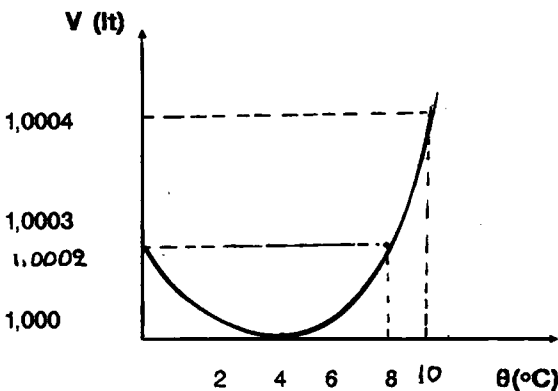
● 2.3.α. Κυβική Διαστολή ΥΓΡΩΝ

Η κυβική διαστολή των υγρών ακολουθεί την γενική αρχή κυβικής διαστολής με την διαφορά πως ο **συντελεστής κυβικής διαστολής γ των υγρών εξαρτάται από την θερμοκρασία**. Δηλαδή γραφική παράσταση της σχέσης $V=V(\theta)$ ΔΕΝ είναι ευθεία, αλλά καμπύλη.

Η μάζα υγρού εξαρτάται και από την πυκνότητα του υγρού. Ετσι μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί και μεταβολή της πυκνότητας του υγρού πέρα από την μεταβολή του όγκου, ώστε να παραμείνει σταθερή η μάζα του υγρού.

$$\text{Έχουμε } m=d_0V_0 = dV \Rightarrow d_0V_0=dV_0(1+\gamma\theta) \Rightarrow \boxed{d=d_0/(1+\gamma\theta)}$$

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεταβολής της πυκνότητας είναι η ανώμαλη κυβική διαστολή του νερού.



διάγραμμα $V=V(\theta)$

Θερμαίνουμε τον όγκο σταθερής ποσότητας νερού ξεκινώντας από αρνητικές τιμές θερμοκρασίας. Παρατηρούμε στο διπλανό διάγραμμα ότι ελατώνεται μέχρι την θερμοκρασία των $+4^\circ\text{C}$ όπου παίρνει την μικρότερη τιμή του. Μετά ο όγκος παρακολουθεί κανονικά την αύξηση της θερμοκρασίας αυξανόμενος γραμμικά.

Δηλαδή στο αντίστοιχο διάγραμμα όγκου-θερμοκρα-

Συντελεστές κυβικής διαστολής υγρών σε $10^{-6} \text{ grad}^{-1}$	
Υδράργυρος	182
Νερό (20°C)	207
Αιθυλική αλκοόλη	1120
Βενζόλιο	1237
Γυαλί (Υένας)	25
Σίδηρος	36
Αέρας	3660

σίας ο συντελεστής κυβικής διαστολής γ του νερού έχει αρνητική τιμή από 0°C μέχρι +4°C, τιμή μηδέν στους +4°C και θετική τιμή από τους +4°C και πάνω.

Βιολογική σημασία ανώμαλης κυβικής διαστολής νερού

Αποτέλεσμα αυτής της ανώμαλης κυβικής διαστολής του νερού είναι η διατήρηση της ζωής στις λίμνες και στους ποταμούς κατά τους χειμερινούς μήνες.

Τα στρώματα νερού θερμοκρασίας +4°C έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα επομένως και μεγαλύτερο βάρος και έτσι παγιδεύονται στον πυθμένα. Η θερμοκρασία του νερού του πυθμένα καθ' όλη την διάρκεια του χειμώνα παραμένει σταθερή +4°C διατηρώντας την ζωή, ενώ τα ψηλότερα υδάτινα στρώματα ψύχονται και παγώνουν ακολουθώντας την πτώση θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

● 2.3.β Κυβική Διαστολή ΑΕΡΙΩΝ

Η μεταβολή της θερμοκρασίας αερίου με σταθερή πίεση, συνδέεται με την σχέση μεταβολής όγκου

$$\Delta V = \alpha \cdot V_0 \cdot \Delta \theta$$

όπου α ο συντελεστής κυβικής διαστολής των αερίων υπό σταθερή πίεση.

με

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta \theta}$$

που μετρείται σε grad^{-1} .

Επίσης για τον όγκο V_θ σε τελική θερμοκρασία θ ισχύει και η σχέση

$$V_\theta = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \theta)$$

με V_0 ο όγκος σε κανονική θερμοκρασία απολύτου μηδενός -273°C και υπό σταθερή κανονική πίεση 1atm.

Η κυβική διαστολή των αερίων διαφέρει από την αντίστοιχη των υγρών στα παρακάτω σημεία :

- ο συντελεστής κυβικής διαστολής α έχει σταθερή τιμή ανεξάρτητη από την θερμοκρασία, ίδια για όλα τα αέρια ίση με $1/273 \text{ grad}^{-1}$
- η τιμή V_0 στην σχέση κυβικής διαστολής των αερίων $V = V_0(1 + \alpha\theta)$ αναφέρεται στον συγκεκριμένο όγκο που έχει το αέριο υπό κ.σ.(κανονικές συνθήκες).

γ) η κυβική διαστολή του όγκου των αερίων με την αύξηση της θερμοκρασίας αναφέρεται σε μεταβολή με σταθερή πίεση και ο α είναι ο συντελεστής κυβικής διαστολής των αερίων υπό σταθερή πίεση.

Ακόμη πρέπει να αναφέρουμε πως η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί στα αέρια ΚΑΙ μεταβολή της πίεσης τους υπό σταθερό όγκο σύμφωνα με την σχέση:

$$\Delta P = P_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \quad \text{ή} \quad P = P_0 (1 + \alpha \theta)$$

όπου P_0 η πίεση του αερίου υπό κ.σ. (κανονικές συνθήκες) και $\alpha = \gamma$, (θερμικός συντελεστής αερίων).

Όμοια με τα υγρά, η μεταβολή της θερμοκρασίας στα αέρια προκαλεί μεταβολή και της πυκνότητάς τους d που σε θερμοκρασία θ δίνεται από την σχέση:

$$d_\theta = \frac{d_0}{(1 + \alpha \Delta \theta)}$$

όπου d_0 η πυκνότητα του αερίου υπό κ.σ. (κανονικές συνθήκες).

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Λυμένες

- 1. Ατσάλινο πώμα έχει διάμετρο 8cm στους 20°C. Σε ποιά θερμοκρασία θα ταιριάζει ακριβώς σε τρύπα σταθερής διαμέτρου 7,998cm; Δίνεται ο $\beta_{\text{ατσάλ}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$.

ΛΥΣΗ

Για την γραμμική διαστολή έχουμε την σχέση $\Delta l = l_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$ (1)

Εδώ $\Delta l = 8 - 7,998 \text{cm}$, $\Delta \theta = \theta_{\text{τελ}} - 20$ (2).

Λύω την σχέση (1) ως προς $\Delta \theta$ και έχω $\Delta \theta = \frac{\Delta l}{\beta \cdot l_0}$, αντικαθιστώ και

$$\text{έχω } \Delta \theta = \frac{(8 - 7,998) \text{cm} \cdot 10^6 \text{grad}^{-1}}{11 \cdot 8 \text{cm}} \Rightarrow \Delta \theta = - 22,727^\circ \text{C}.$$

Για να εφαρμόσει το πώμα σε τρύπα μικρότερης διαμέτρου ΠΡΕΠΕΙ να ΣΥΣΤΑΛΕΙ, άρα πρέπει να ΨΥΧΘΕΙ και έτσι ερμηνεύεται το πρόσημο (-) στην μεταβολή της θερμοκρασίας $\Delta \theta$, σαν πτώση θερμοκρασίας.

Από την (2) έχω $\Delta \theta = \theta_{\text{τελ}} - 20 \Rightarrow \theta_{\text{τελ}} = \Delta \theta + 20$.

Αντικαθιστώ την τιμή $\Delta \theta$ που βρήκα και έχω

$$\theta_{\text{τελ}} = (-22,727 + 20)^\circ \text{C} \Rightarrow \theta_{\text{τελ}} = -2,727^\circ \text{C}.$$

- 2. Γυάλινο μπουκάλι είναι γεμμάτο με 60cm³ υδράργυρο σε θερμοκρασία 20°C. Αν η θερμοκρασία ανέβει στους 40°C, πόσος υδράργυρος θα χυθεί ; (μετρημένος στην τελική θερμοκρασία).

Δίνονται $\beta_{\gamma\alpha\lambda} = 9 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$ και συντελεστής κυβικής διαστολής $\gamma_{\text{υδραργ}} = 18 \cdot 10^{-5} \text{grad}^{-1}$.

Λ Υ Σ Η

Για την κυβική διαστολή έχουμε την σχέση $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta \theta$.

Ο όγκος του υδραργύρου που θα χυθεί θα οφείλεται στην μεγαλύτερη κυβική διαστολή του υδραργύρου από την αντίστοιχη του γυαλιού και θα δοθεί από την εξίσωση

$$\Delta V_{\text{υδραργ}} - \Delta V_{\gamma\alpha\lambda} = (\gamma_{\text{υδραργ}} - \gamma_{\gamma\alpha\lambda}) \cdot V_0 \cdot \Delta \theta \quad (2)$$

Ο αρχικός όγκος V_0 των δύο υλικών ήταν ο ίδιος γιατί το γυάλινο μπουκάλι ήταν ΓΕΜΜΑΤΟ από υδράργυρο. Η σχέση που συνδέει τον συντελεστή γραμμικής διαστολής β με τον αντίστοιχο κυβικής διαστολής γ για το ίδιο σώμα είναι η $\gamma = 3\beta$.

Ετσι με αντικατάσταση στην (2) έχουμε

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{υδραργ}} - \Delta V_{\gamma\alpha\lambda} &= (\gamma_{\text{υδραργ}} - 3\beta_{\gamma\alpha\lambda}) \cdot V_0 \cdot \Delta \theta = \\ &= \frac{(180 - 9) \cdot 60 \text{cm}^3 \cdot 20 \text{grad}}{10^6} = \\ &= \underline{0,2 \text{cm}^3 \text{ υδραργύρου ΧΥΝΟΝΤΑΙ}} \end{aligned}$$

- 3. Οι άκρες ασάλινης ράβδου διατομής 1,5 cm², στηρίζονται ανάμεσα σε δύο σημεία σε θερμοκρασία 35°C. Πόση είναι η δύναμη που θα ασκηθεί από τα υποστηρίγματα στην ράβδο, όταν κατεβάσουμε την θερμοκρασία στους 10°C ; Δίνονται το μέτρο του Young

$E = 2,28 \cdot 10^{11} \text{N/m}^2$ και ο $\beta_{\text{ασαλ}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$.

Λ Υ Σ Η

Για το μέτρο E έχουμε την σχέση $E = \frac{\text{διαμήκης τάση}}{\text{σχετική επιμήκυνση}} \quad (1)$

με διαμήκη τάση F/A και σχετική επιμήκυνση ή συστολή $\Delta l/l_0$, έτσι η σχέση (1) γίνεται $E = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} = \frac{F \cdot l_0}{\Delta l \cdot A}$.

Επιλύω ως προς F και έχω $F = E \cdot \Delta l \cdot A / l_0 \quad (2)$.

Αλλά $\Delta l = \beta \cdot l_0 \cdot \Delta \theta$, επομένως τώρα η (2) γίνεται

$$F = \frac{E \cdot \beta \cdot l_0 \cdot \Delta \theta}{l_0} = E \cdot \beta \cdot \Delta \theta \quad (3)$$

Αντικαθιστώ τις τιμές στην (3)

[$\Delta \theta = 35 - 10 = 25^\circ\text{C}$, $1 \text{m}^2 = 10^4 \text{cm}^2$ και επομένως $1,5 \text{cm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$]
και έχω

$$F = \frac{2,28 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot 1,5 \text{ m}^2 \cdot 11 \cdot 25 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{m}^2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \text{ grad}} = 9405 \text{ N} \Rightarrow \underline{F = 9,4 \text{ kN}}$$

- 4. Οξυγόνο σε θερμοκρασία 10°C και πίεση 1 atm, έχει όγκο 500lt. Ποιός θα είναι ο όγκος του σε 40°C και πίεση 1,5atm;

ΔΥΣΗ

Επειδή η μάζα του οξυγόνου παραμένει σταθερή χρησιμοποιούμε την εξίσωση $\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$

και επιλύουμε ως προς άγνωστο τον όγκο V_2 στην κατάσταση 2

$$\text{Έτσι έχουμε } V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot P_2}$$

$$\text{με } T_1 = 273 + 10 = 293 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ και } T_2 = 273 + 40 = 313^\circ\text{K}$$

αντικαθιστούμε τις τιμές και έχουμε

$$V_2 = \frac{1\text{atm} \cdot 500\text{lt} \cdot 313^\circ\text{K}}{293^\circ\text{K} \cdot 1,5\text{atm}} \Rightarrow V_2 = \underline{368,67\text{lt}}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

προς Λύση

- 1. Μια γυάλινη ράβδος έχει μήκος 412,5mm στους 0°C. Όταν θερμανθεί στους 98,5°C, επιμηκύνεται κατά 0,329mm.. Πόσος είναι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής της ράβδου ;
- 2. Σιδερένιο στεφάνι διαμέτρου 20cm, έχει σχισμή πλάτους 0,5mm. Ζητείται το πλάτος της σχισμής όταν η θερμοκρασία του στεφανιού αυξηθεί κατά 500°C.
- 3. Χαλύβδινη ράβδος, μήκους 20cm της οποίας η εγκάρσια διατομή έχει εμβαδόν 2cm², θερμαίνεται από τους 20°C στους 200°C. Ποιά δύναμη πρέπει να ασκηθεί πάνω στα άκρα της για να εμποδίσει την διαστολή της ; ($E=2 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2$, $\beta_x=11 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$).
- 4. Μια ορθογώνια πλάκα από χαλκό έχει διαστάσεις 0,18m*1,5m στους 0°C. Πόσο αυξάνεται η επιφάνεια της, όταν θερμανθεί από τους 5°C στους 45°C ; ($\beta_{\text{χαλκού}}=14 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$).

- 5. Σιδερένια σφαίρα έχει διάμετρο 19mm στους 0°C. Ποιά θερμοκρασία πρέπει να αποκτήσει η σφαίρα, ώστε να μην χωρά να περάσει μέσα από μεταλλικό δακτυλίδι διαμέτρου 19,04mm Πόσο αυξάνεται τότε ο όγκος της σφαίρας ; ($\beta_{Fe} = 12 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$).
- 6. Γυάλινος κυλινδρικός σωλήνας έχει ύψος 1m και τομή 1cm² στους 0°C. Ο σωλήνας είναι κατακόρυφος και περιέχει υδράργυρο που σχηματίζει στήλη ύψους 0,96m στην ίδια θερμοκρασία. Σε ποιά θερμοκρασία ο σωλήνας θα είναι γεμμάτος υδράργυρο ;
($\gamma_{υδραργ} = 18 \cdot 10^{-5} \text{grad}^{-1}$ και $\gamma_{γυαλ} = 24 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$).
- 7. Μάζα αέρα έχει όγκο 200cm³ στους 0°C. Σε ποιά θερμοκρασία ο όγκος του αέρα διπλασιάζεται όταν θερμανθεί υπό σταθερή πίεση ;
- 8. Στον πυθμένα λίμνης σχηματίζονται φυσαλίδες μεθανίου, οι οποίες όταν φθάνουν στην επιφάνεια της λίμνης έχουν αποκτήσει τετραπλάσιο όγκο. Στον πυθμένα η θερμοκρασία είναι 10°C και στην επιφάνεια η θερμοκρασία 20°C και η ατμοσφαιρική πίεση 1atm. Πόσο είναι το βάθος της λίμνης ;

Κεφάλαιο 3ο

ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ-ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

● 3.1 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ Q

Το είδος της ενέργειας που μεταφέρεται μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας που βρίσκονται σε θερμική επαφή, μέχρι να αποκατασταθεί θερμική ισορροπία.

Μετρείται σε *cal* (θερμίδες). Πρότυπο υλικό το νερό.

Μία θερμίδα είναι το ποσό της θερμότητας που απαιτείται ώστε 1gr νερού να αυξήσει την θερμοκρασία του κατά 1°C.

Btu (British Thermal Unit). Βρετανική μονάδα θερμότητας: μονάδα θερμότητας στο Αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων. Δηλώνει το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται 1 λίμπρα (lb) νερού για να αυξήσει την θερμοκρασία της κατά 1° Fahrenheit.

(1lb νερού=453,6gr. Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C αντιστοιχεί σε μεταβολή θερμοκρασίας κατά 5/9°F), επομένως 1Btu=252cal.

● 3.2 ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ c σώματος.

Το ποσό της θερμότητας που απαιτείται ώστε 1gr του σώματος να αυξήσει την θερμοκρασία του κατά 1°C.

Μετρείται σε cal/gr*grad.

● 3.3 ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ K

Το γινόμενο m*c στην εξίσωση της θερμιδομετρίας λέγεται θερμοχωρητικότητα του σώματος και εκφράζει το ποσό της θερμότητας που απαιτείται ώστε ολόκληρη η μάζα του σώματος να αυξήσει την θερμοκρασία της κατά 1°C. Μετρείται σε cal/grad.

● 3.4 Εξίσωση ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Η ποσότητα θερμότητας Q που αποβάλλει ή προσλαμβάνει ένα σώμα, είναι ανάλογη της μάζας του m, της μεταβολής της θερμοκρασίας του Δθ και είναι

ανάλογη της ειδικής θερμότητας c που εξαρτάται από την φύση του σώματος.

● 3.5 ΑΤΟΜΙΚΗ-ΜΟΡΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Επιλύοντας την εξίσωση της θερμοδομετρίας ως προς ειδική θερμότητα c , καταλήγουμε στην σχέση

$$c = (Q/m) \cdot \Delta\theta$$

Αν στην θέση της μάζας m , αντί για gr βάλω τον αριθμό η γραμμομορίων (moles) του σώματος έχω την σχέση της **Μοριακής ειδικής θερμότητας**:

$$C = Q/\eta \cdot \Delta\theta, \text{ όπου } C = m \cdot c.$$

Με τον ίδιο τρόπο αντικαθιστώντας την μάζα m του σώματος στην ίδια εξίσωση με τον αριθμό n' γραμμοατόμων ($gr-at$) του σώματος, έχω την σχέση της **Ατομικής ειδικής θερμότητας**

$$C = (Q/n') \cdot \Delta\theta \text{ με } C = n' \cdot c.$$

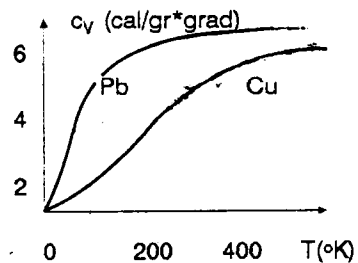
● 3.6 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στερεά

Η Ατομική ειδική θερμότητα των στερεών σε συνθήκες και σε υψηλές θερμοκρασίες είναι σταθερή και ίση περίπου με $6 \text{ cal/gr-at} \cdot \text{grad}$. (**Νόμος Dulong-Petit**)

Σε χαμηλές θερμοκρασίες ελαττώνεται και τέλος μηδενίζεται όταν η θερμοκρασία πλησιάζει το απόλυτο μηδέν.

Τέλος για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες η ατομική θερμότητα είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της απολύτου θερμοκρασίας (**Νόμος Debye**).



ειδική θερμότητα στερεού σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας

Υγρά

Καμμία σχέση δεν υπάρχει για τις Μοριακές ειδικές θερμότητες των υγρών. Απλά για τα περισσότερα υγρά η τιμή της βρίσκεται ανάμεσα σε $0,3-0,6 \text{ cal/gr} \cdot \text{grad}$ όταν δεν σχηματίζουν συμπλέγματα μορίων.

Γενικά τα υγρά και τα στερεά σώματα έχουν ειδικές θερμότητες με τιμές μικρότερες από την μονάδα, εκτός της ειδικής θερμότητας του νερού που έχει τιμή ίση με την μονάδα. Αυτή η μεγάλη τιμή εξασφαλίζει και μεγάλη θερμοχωρητικότητα στα νερά θαλασσών και λιμνών, με αποτέλεσμα οι μεταβολές της θερμοκρασίας τους να γίνονται με πολύ αργότερο ρυθμό από

αυτόν της ξηράς. Έτσι έχουμε σημαντικό επηρεασμό του κλίματος των παραθαλάσσιων περιοχών.

Επίσης η ειδική θερμότητα των σωμάτων παρακολουθεί τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μάλιστα η αύξηση είναι μεγαλύτερη για τα υγρά σώματα και μικρότερη για τα στερεά. Ελαττώνεται με την πτώση της θερμοκρασίας, ταχύτατα για περιοχές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών μέχρι να μηδενιστεί λίγο πριν το απόλυτο μηδέν.

Ακόμη αύξηση της πίεσης που ασκείται στο σώμα, προκαλεί μείωση της ειδικής θερμότητας του σώματος.

Αέρια

Στα αέρια η μεταβολή της θερμοκρασίας εξαρτάται από τον όγκο ή από την πίεση του αερίου. Έτσι θα έχουμε δύο διαφορετικές ειδικές θερμότητες. Την ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση c_p , όταν το ποσό της θερμότητας προσλαμβάνεται από το αέριο κατά την διάρκεια ισοβαρούς μεταβολής και την ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο c_v . Σ' αυτή την περίπτωση η πρόσληψη της θερμότητας γίνεται από το αέριο κατά την διάρκεια ισόχωρης μεταβολής.

Κατά την ισόχωρη μεταβολή η θερμότητα που προσλαμβάνεται χρησιμοποιείται για την θέρμανση του σώματος, ενώ στην ισοβαρή πρόσληψη έχουμε θέρμανση του σώματος ΚΑΙ παραγωγή Μηχανικού έργου. Έτσι οι δύο τιμές των ειδικών θερμότητων είναι διαφορετικές με

$$c_p > c_v$$

Πειραματικά συνήθως υπολογίζεται η Μοριακή ειδική θερμότητα των αερίων υπό σταθερή πίεση c_p και έμεσα η ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο c_v .

Και οι δύο ειδικές θερμότητες είναι σταθερές και χαρακτηριστικές για κάθε αέριο με λόγο τον εκθέτη της αδιαβατικής μεταβολής

$$\gamma = c_p / c_v$$

και διαφορά την παγκόσμια σταθερά R των ιδανικών αερίων

$$c_p - c_v = R$$

Σε χαμηλές θερμοκρασίες η Μοριακή ειδική θερμότητα ελαττώνεται παρακολουθώντας την ελάττωση της θερμοκρασίας.

● 3.7 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ

Μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα με την βοήθεια του Μηχανικού ισοδυνάμου της θερμότητας J

$$j = 4,19 \text{ joule/cal}$$

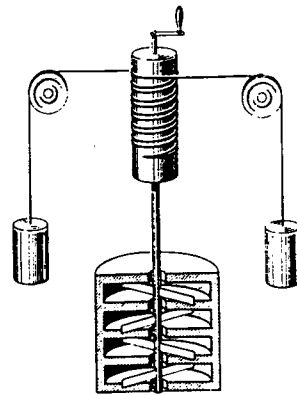
σύμφωνα με την σχέση

$$W = j * Q$$

Αυτή η μετατροπή παρατηρείται στο φαινόμενο Joule, όπου η Δυναμική ενέργεια μάζας m μετατρέπεται με την βοήθεια τροχαλίας σε περιστροφική

κινητική ενέργεια έλικα που αναταράσσει το νερό δοχείου. Με τις αυξανόμενες τριβές μεταξύ φτερωτής-νερού τελικά παρατηρείται θέρμανση του νερού. Μέτρηση της αύξησης της εσωτερικής ενέργειας του νερού μας οδήγησε στην προηγούμενη σχέση.

Τα δύο βάρη της διπλανής διάταξης, πέφτοντας ελεύθερα, περιστρέφουν τα πτερύγια που αναδεύουν το νερό του δοχείου. Έτσι έχουμε μετατροπή της Δυναμικής ενέργειας (των βαρών) σε Κινητική (πτερυγίων) και μετά σε θερμότητα λόγω τριβών ανάμεσα σε πτερύγια και νερό.



Πειραματική διάταξη Joule
για την μέτρηση του Μηχανικού
ισοδύναμου της θερμότητας.

● 3.8 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ

Κατά την διόδο ηλεκτρικού ρεύματος έντασης I μέσα από ηλεκτρική αντίσταση R για κάποιο χρονικό διάστημα Δt , ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στην αντίσταση και την θερμαίνει. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα δίδεται από το **ηλεκτρικό ισοδύναμο της θερμότητας a**

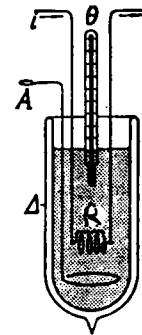
$$a = 0,24 \text{ cal/joule}$$

Το φαινόμενο περιγράφεται από την σχέση

$$Q = a \cdot I^2 \cdot R \cdot t$$

Επίσης με την διπλανή πειραματική διάταξη σχετίζουμε άμεσα θερμότητα και Μηχανικό έργο.

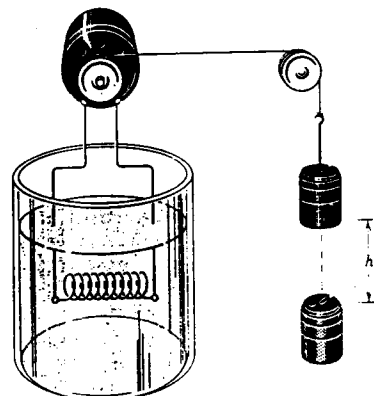
Ένα βάρος πέφτοντας ελεύθερα από ύψος h , προσφέρει έργο σε μια ηλεκτρική γεννήτρια. Αυτή στέλνει ηλεκτρικό ρεύμα σε κατάλληλη ωμική αντίσταση βυθισμένη σε νερό που τελικά θερμαίνεται. Τελικά έχουμε μετατροπή του έργου του βάρους σε Θερμότητα.



Θερμιδόμετρο νερού

Το συγκεκριμένο όργανο χρησιμοποιείται για να υπολογισθεί το ποσό της θερμότητας που προσφέρει η ωμική αντίσταση R .

Γεννήτρια τροχαλία

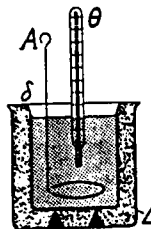


● 3.9 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

Μέθοδος ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ της Φυσικής με την βοήθεια της οποίας υπολογίζουμε ποσά θερμότητας, ή την ειδική θερμότητα σώματος.

Όργανο που χρησιμοποιείται: Θερμιδόμετρο. Αποτελείται από θερμικά μονωμένο δοχείο (Dewar) γνωστής μάζας και ειδικής θερμότητας.

Απλό θερμιδόμετρο νερού



Είναι γεμμάτο από υγρό αναφοράς γνωστής : μάζας, ειδικής θερμότητας και θερμοκρασίας.

Μέσα στο υγρό είναι βυθισμένα θερμόμετρο και αναδευτήρας.

Το σύστημα δοχείο,υγρό, θερμόμετρο, αναδευτήρας, θεωρούμε ότι βρίσκονται σε θερμική ισορροπία.

Φυσική αρχή λειτουργίας :

Το ποσό θερμότητας που το σώμα προσφέρει στο θερμιδόμετρο $Q_ο$, προσλαμβάνεται από το υγρό που υπάρχει μέσα στο δοχείο $Q_υ$ και από το ίδιο το δοχείο $Q_δ$.

Ετσι έχουμε την Ενεργειακή **θεμελιώδη εξίσωση της θερμιδομετρίας :**

$$Q_ο = Q_υ + Q_δ$$

$$m_ο * c_ο * (\theta_ο - \theta_τ) = m_υ * c_υ * (\theta_τ - \theta_υ) + m_δ * c_δ * (\theta_τ - \theta_δ)$$

Όπου $\theta_ο$ η αρχική θερμοκρασία του σώματος, $\theta_τ$ η τελική θερμοκρασία του συστήματος δοχείου-υγρού, $c_υ$ η ειδική θερμότητα του υγρού αναφοράς (συνήθως νερού) και $c_ο$ η άγνωστη ειδική θερμότητα του σώματος που συνήθως θέλουμε να μετρήσουμε.

Γενικά η μεθοδολογία που χρησιμοποιούμε είναι η **μέθοδος ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ**

α) για στερεά σώματα.

Τοποθετούμε μέσα στο θερμιδόμετρο το σώμα αφού προηγουμένα μετρήσαμε την θερμοκρασία και την μάζα του. Η μεταβολή στην θερμοκρασία του νερού του δοχείου (που μετρείται με κατάλληλο θερμόμετρο), οφείλεται στο ποσό θερμότητας που έδωσε το σώμα. Από την εξίσωση της θερμιδομετρίας λύνουμε ως προς τον μοναδικό άγνωστο $c_ο$ την ειδική θερμότητα του σώματος.

Χρησιμοποιούμε θερμιδόμετρο με γνωστά στοιχεία (ειδικές θερμότητες και μάζες δοχείου-υγρού γνωστές εκ των προτέρων).

β) για υγρά σώματα.

Τοποθετούμε το υγρό σώμα μέσα σε κατάλληλο δοχείο (με λεπτά μεταλλικά τοιχώματα αμελητέας θερμοχωρητικότητας) και το θερμαίνουμε.

Με γνωστή την θερμοκρασία του σώματος-δοχείου επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη διαδικασία.

Διαφορετικά, μπορούμε να αντικαταστήσουμε το υγρό αναφοράς (νερό) του θερμιδόμετρου με το υγρό του οποίου την ειδική θερμότητα θέλουμε να μετρήσουμε. Μετά βάζουμε μέσα στο θερμιδόμετρο σώμα στερεό, γνωστής θερμοχωρητικότητας και θερμοκρασίας. Το στερεό σώμα έχει συνήθως υψηλότερη θερμοκρασία από το θερμιδόμετρο και ΔΙΝΕΙ θερμότητα στο δοχείο και στο υγρό.

Έτσι από την εξίσωση της θερμιδομετρίας ο μοναδικός άγνωστος παρατηρούμε ότι είναι η ειδική θερμότητα του υγρού μας σώματος την οποία ζητούμε να υπολογίσουμε.

γ) για αέρια σώματα.

Διοχετεύουμε γνωστής θερμοκρασίας και σταθερής πίεσης αέριο μέσα σε κατάλληλο καμπύλο σωλήνα αμελητέας θερμοχωρητικότητας που διέρχεται μέσα από το θερμιδόμετρο. Μετράμε την θερμοκρασία του αερίου κατά την έξοδό του από το θερμιδόμετρο.

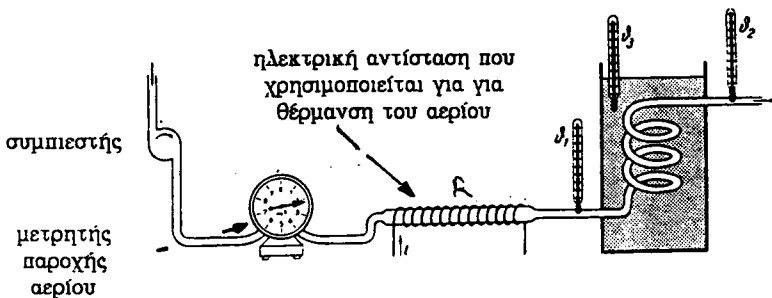
Η μεταβολή της θερμοκρασίας του αερίου οφείλεται σε δέσμευση ποσού θερμότητας Q από το θερμιδόμετρο. Χρησιμοποιούμε την εξίσωση της θερμιδομετρίας για να προσδιορίσουμε την ζητούμενη ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση c_p του αερίου.

Πειραματικά με την βοήθεια της θερμιδομετρίας, ΜΟΝΟ την ειδική θερμότητα υπε σταθερά πίεση c_p των αερίων μπορούμε να υπολογίσουμε. Την ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο c_v την υπολογίζουμε έμμεσα από την σχέση

$$\gamma = c_p / c_v.$$

Σ. 5 παρακάτω σχήμα φαίνεται πειραματική διάταξη υπολογισμού της c_p αερίου.

Το αέριο γνωστής σταθερής πίεσης (με χρησιμοποίηση κατάλληλου αεροσυμπιεστή) και σταθερής παροχής, θερμαίνεται σε θερμοκρασία εισόδου θ_1 . Διοχετεύεται σε θερμιδόμετρο γνωστής θερμοκρασίας θ_2 και κατά την έξοδό του έχει αποκτήσει τελική θερμοκρασία κοινή με το θερμιδόμετρο θ_3 . Χρησιμοποιούμε κατάλληλο σωλήνα σπειροειδή για την είσοδο του αερίου μέσα από το θερμιδόμετρο, ώστε να φέρουμε σε θερμική επαφή όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μάζα του αερίου για περισσότερο χρόνο.



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Λυμένες

- 1. Αναμιγνύω νερό θερμοκρασίας 80°C, μάζας 150gr με νερό θερμοκρασίας 35°C και μάζας 200gr. Ποιά θα είναι η τελική θερμοκρασία του συστήματος;

ΛΥΣΗ

Έχω $m_1=150\text{gr}$, $\theta_1=80^\circ\text{C}$ και το νερό ΔΙΝΕΙ

ποσό θερμότητας $Q_1=m_1 \cdot c \cdot (\theta_1 - \theta_r)$

$m_2=200\text{gr}$, $\theta_2=35^\circ\text{C}$ και το νερό ΠΑΙΡΝΕΙ

ποσό θερμότητας $Q_2=m_2 \cdot c \cdot (\theta_r - \theta_2)$.

$$\text{ΙΣΧΥΕΙ } Q_1 = Q_2 \Rightarrow$$

$$m_1 \cdot c \cdot (\theta_1 - \theta_r) = m_2 \cdot c \cdot (\theta_r - \theta_2) \Rightarrow$$

$$\theta_r = \frac{m_1 \cdot \theta_1 + m_2 \cdot \theta_2}{m_1 + m_2}$$

$$m_1 + m_2$$

αντικαθιστώ τις τιμές και τελικά έχω $\theta_r = 54,28^\circ\text{C}$

- 2. Μέσα σε γλυκερίνη 14,5°C ρίχνω κομμάτι ψευδαργύρου Zn θερμοκρασίας 98,3°C. Η μάζα των δύο σωμάτων είναι 400gr, η δε τελική θερμοκρασία του συστήματος είναι 19,6°C. Να υπολογισθούν οι μάζες της γλυκερίνης και η μάζα του Zn. Δίνονται $c_{\text{γλυκ}}=0,57\text{cal/gr} \cdot \text{grad}$ και $c_{\text{Zn}}=0,092\text{cal/gr} \cdot \text{grad}$.

ΛΥΣΗ

Έχω $m_{\text{γλυκ}} = ; \text{gr}$, $\theta_{\text{γλυκ}}=14,5^\circ\text{C}$ και η γλυκερίνη ΠΑΙΡΝΕΙ

ποσό θερμότητας $Q_{\text{γλυκ}}=m_{\text{γλυκ}} \cdot c_{\text{γλυκ}} \cdot (\theta_r - \theta_{\text{γλυκ}})$

$m_{\text{Zn}} = ; \text{gr}$, $\theta_{\text{Zn}}=98,3^\circ\text{C}$ και ο Zn ΔΙΝΕΙ

ποσό θερμότητας $Q_{\text{Zn}}=m_{\text{Zn}} \cdot c_{\text{Zn}} \cdot (\theta_{\text{Zn}} - \theta_r)$.

$$\text{ΙΣΧΥΕΙ } Q_{\text{Zn}} = Q_{\text{γλυκ}} \Rightarrow$$

$$m_{\text{Zn}} \cdot c_{\text{Zn}} \cdot (\theta_{\text{Zn}} - \theta_r) = m_{\text{γλυκ}} \cdot c_{\text{γλυκ}} \cdot (\theta_r - \theta_{\text{γλυκ}}) \Rightarrow$$

αντικαθιστώ τις τιμές και τελικά έχω $2907m_{\text{γλυκ}}=7240m_{\text{Zn}}$ (1)

αλλά $m_{\text{γλυκ}}+m_{\text{Zn}}=400$ (2),

από την (1) και (2) έχω $m_{\text{γλυκ}} = 285\text{gr}$, $m_{\text{Zn}}=115\text{gr}$

- 3. Θερμιδόμετρο από χαλκό (Cu) έχει μάζα 200gr και περιέχει 300gr πετρέλαιο θερμοκρασίας 18,5°C. Ρίχνουμε μέσα στο θερμιδόμετρο 100gr Μολύβδου (Pb) θερμοκρασίας 100°C και η τελική θερμοκρασία του συστήματος γίνεται 20°C. Να βρεθεί η ειδική θερμότητα του πετρελαίου, αν οι ειδικές θερμότητες $c_{Cu}=0,092\text{cal/gr}\cdot\text{grad}$ και $c_{Pb}=0,031\text{cal/gr}\cdot\text{grad}$.

Λ Υ Σ Η

Εχω $m_{Cu}=250\text{gr}$, $\theta_{Cu}=18,5^\circ\text{C}$:
 το δοχείο ΠΑΙΡΝΕΙ ποσό θερμότητας $Q_{Cu}=m_{Cu}\cdot c_{Cu}\cdot(\theta_{Cu}-\theta_f)$
 $m_{\text{πετρ}}=300\text{gr}$, $\theta_{\text{πετρ}}=18,5^\circ\text{C}$:
 το πετρέλαιο ΠΑΙΡΝΕΙ ποσό θερμότητας $Q_{\text{πετρ}}=m_{\text{πετρ}}\cdot c_{\text{πετρ}}\cdot(\theta_{\text{πετρ}}-\theta_f)$
 $m_{Pb}=100\text{gr}$, $\theta_{Pb}=100^\circ\text{C}$
 ο Μόλυβδος ΔΙΝΕΙ ποσό θερμότητας $Q_{Pb}=m_{Pb}\cdot c_{Pb}\cdot(\theta_{Pb}-\theta_f)$.

ΙΣΧΥΕΙ $Q_{Pb} = Q_{\text{πετρ}} + Q_{Cu} \Rightarrow$
 $m_{Pb}\cdot c_{Pb}\cdot(\theta_{Pb}-\theta_f) = m_{\text{πετρ}}\cdot c_{\text{πετρ}}\cdot(\theta_{\text{πετρ}}-\theta_f) + m_{Cu}\cdot c_{Cu}\cdot(\theta_{Cu}-\theta_f) \Rightarrow$

$$c_{\text{πετρ}} = \frac{m_{Pb}\cdot c_{Pb}\cdot(\theta_{Pb}-\theta_f) + m_{Cu}\cdot c_{Cu}\cdot(\theta_f-\theta_{Cu})}{m_{\text{πετρ}}\cdot(\theta_f-\theta_{\text{πετρ}})}$$

Με αντικατάσταση στις μονάδες τελικά προκύπτει $c_{\text{πετρ}} = 0,49\text{cal/gr}\cdot\text{grad}$

- 4. Μέσα σε θερμιδόμετρο θερμοχωρητικότητας 20cal/grad, περιέχονται 300gr πετρελαίου θερμοκρασίας 20°C. Τοποθετώ μέσα στο θερμιδόμετρο κράμα μάζας 500gr αποτελούμενο από 20% χαλκό και 80% νικέλιο. Η τελική θερμοκρασία του συστήματος γίνεται 30°C. Να βρεθεί η αρχική θερμοκρασία του κράματος, αν η $c_{Cu}=0,092\text{cal/gr}\cdot\text{grad}$, η $c_{Ni}=0,11\text{cal/gr}\cdot\text{grad}$ και η $c_{\text{πετρελ}}=0,5\text{cal/gr}\cdot\text{grad}$.

Λ Υ Σ Η

Εχω $\kappa_{\text{δοχ}}=20\text{cal/grad}$, $\theta_{\text{δοχ}}=20^\circ\text{C}$:
 το δοχείο ΠΑΙΡΝΕΙ ποσό θερμότητας $Q_{\text{δοχ}}=\kappa_{\text{δοχ}}\cdot(\theta_f-\theta_{\text{δοχ}})$
 $m_{\text{πετρ}}=300\text{gr}$, $\theta_{\text{πετρ}}=20^\circ\text{C}$:
 το πετρέλαιο ΠΑΙΡΝΕΙ ποσό θερμότητας $Q_{\text{πετρ}}=m_{\text{πετρ}}\cdot c_{\text{πετρ}}\cdot(\theta_f-\theta_{\text{πετρ}})$
 $m_{\text{κράμ}}=500\text{gr}$, $\theta_{\text{κράμ}}=50^\circ\text{C}$
 το κράμα ΔΙΝΕΙ ποσό θερμότητας $Q_{\text{κράμ}}=(m_{Cu}\cdot c_{Cu} + m_{Ni}\cdot c_{Ni})\cdot(\theta_{\text{κράμ}}-\theta_f)$.

ΙΣΧΥΕΙ

$$Q_{\text{κράμ}} = Q_{\text{δοχ}} + Q_{\text{πετρ}} \Rightarrow$$

$$(m_{Cu}\cdot c_{Cu} + m_{Ni}\cdot c_{Ni})\cdot(\theta_{\text{κράμ}}-\theta_f) = \kappa_{\text{δοχ}}\cdot(\theta_f-\theta_{\text{δοχ}}) + m_{\text{πετρ}}\cdot c_{\text{πετρ}}\cdot(\theta_f-\theta_{\text{πετρ}}) \quad (1)$$

$$\text{επίσης } m_{\text{Cu}} = \frac{20}{100} * 500 \text{ gr} \Rightarrow m_{\text{Cu}} = 100\text{gr}$$

$$\text{επομένως } m_{\text{Ni}} = 500 - m_{\text{Cu}} = 500 - 100 \Rightarrow m_{\text{Ni}} = 400\text{gr.}$$

Επιλύω την εξίσωση (1) ως προς $\theta_{\text{κρσμ}}$ και έχω

$$\theta_{\text{κρσμ}} = \frac{(k_{\text{δοχ}} + m_{\text{πετρ}} * c_{\text{πετρ}}) * (\theta_{\text{τ}} - \theta_{\text{πετρ}}) + \theta_{\text{τ}}}{m_{\text{Cu}} * c_{\text{Cu}} + m_{\text{Ni}} * c_{\text{Ni}}} \quad \text{και τελικά με αντικατάσταση}$$

$$\text{έχω } \theta_{\text{κρσμ}} = \underline{61,95^{\circ}\text{C}}$$

Α Σ Κ Η Σ Ε Ι Σ

προς Λύση

- 1. Πόσο νερό θερμοκρασίας 17°C και πόσο θερμοκρασίας 80°C πρέπει να αναμιξώ για να πάρω 50gr νερό θερμοκρασίας 35°C ;
- 2. Σε δοχείο αλουμινίου μάζας 110gr , θερμαίνω $0,7\text{gr}$ νερό θερμοκρασίας 20°C . Τα 25% της θερμότητας που δίνει το θερμαντικό σώμα διαφεύγουν στο περιβάλλον. Πόση θερμότητα χρησιμοποιείται τελικά για την θέρμανση του νερού αν η θερμοκρασία του αυξηθεί κατά 60°C ; ($c_{\text{Al}}=0,214\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$).
- 3. Θερμιδόμετρο από χαλκό έχει μάζα 200gr και περιέχει 300gr πετρέλαιο θερμοκρασίας $18,5^{\circ}\text{C}$. Αν τοποθετήσω μέσα στο θερμιδόμετρο 100gr μολύβδου θερμοκρασίας 100°C , η τελική θερμοκρασία του συστήματος γίνεται 20°C . Να βρεθεί η ειδική θερμότητα του πετρελαίου, αν η $c_{\text{Cu}}=0,092\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$ και $c_{\text{Pb}}=0,031\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$.
- 4. Θερμιδόμετρο περιέχει 210gr νερό θερμοκρασίας $11,3^{\circ}\text{C}$. Προσθέτω 245gr νερό θερμοκρασίας $31,5^{\circ}\text{C}$ και τελικά η θερμοκρασία του συστήματος γίνεται $21,7^{\circ}\text{C}$. Να βρεθεί η θερμοχωρητικότητα του θερμιδομέτρου.
- 5. Η θερμοχωρητικότητα θερμομέτρου είναι $1,84\text{cal/grad}$. Το θερμόμετρο βυθίζεται μέσα σε νερό μάζας 100gr , θερμοκρασίας $73,6^{\circ}\text{C}$ και μετά τοποθετείται μέσα σε θερμιδόμετρο θερμοκρασίας $14,5^{\circ}\text{C}$ και θερμοχωρητικότητας $90,5\text{cal/grad}$. Ποιά θα είναι η ένδειξη του θερμομέτρου όταν αποκατασταθεί η θερμική ισορροπία;
- 6. Σε θερμιδόμετρο θερμοχωρητικότητας 10cal/grad , περιέχονται 150gr νερό θερμοκρασίας 18°C . Τοποθετώ μέσα στο θερμιδόμετρο κράμα μάζας 120gr με συστατικά χαλκό και νικέλιο αρχικής θερμοκρασίας 31°C . Η τελική θερμοκρασία του συστήματος γίνεται $22,4^{\circ}\text{C}$. Να βρεθεί η % σύσταση του κράματος, αν η $c_{\text{Cu}}=0,092\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$ και η $c_{\text{Ni}}=0,11\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$.

Κεφάλαιο 4ο

ΝΟΜΟΙ ΑΕΡΙΩΝ

Οι παρακάτω νόμοι αναφέρονται στο πρότυπο-ιδανικό αέριο.

● 4.1. Νόμος όγκων:

Κατά την χημική αντίδραση αερίων και υπό την αυτή θερμοκρασία και πίεση, παρουσιάζεται απλή αναλογία όγκων μεταξύ αερίων αντιδρώντων και προϊόντων.

● 4.2. Υπόθεση Avogadro:

Ισοι όγκοι αερίων κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων.

Αντίστροφα

Ο ίδιος αριθμός αερίων μορίων στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης κατέχει τον ίδιο όγκο. Όταν οι συνθήκες είναι κανονικές (θερμοκρασία 273°K και πίεση 1atm), τότε το ποιε του αερίου κατέχει όγκο 22,4lt (γραμμομοριακός όγκος).

● 4.3. Νόμος μερικών πιέσεων Dalton:

Μερική πίεση λέγεται η πίεση που έχει κάθε συστατικό αερίου μίγματος αν κατείχε μόνο του ολόκληρο τον όγκο του μίγματος.

Η πίεση μίγματος αερίων (μη αντιδρώντων μεταξύ τους χημικώς), είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων των συστατικών του μίγματος.

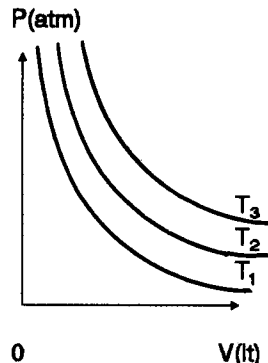
● 4.4. Μεταβολές ιδανικού αερίου.

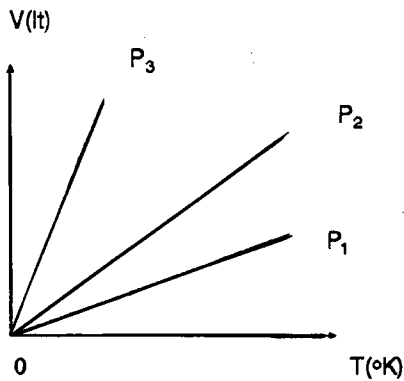
α) Ισόθερμη.

Μεταβολή με σταθερή θερμοκρασία. Περιγράφεται από τον νόμο Boyle-Mariotte: Η πίεση ορισμένης μάζας αερίου μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τον όγκο του εφ' όσον η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή.

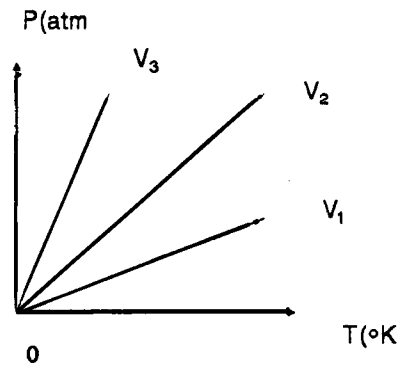
Δηλαδή για T σταθερό, $P \cdot V$ σταθερό.

(στο διπλανό σχήμα εμφανίζονται ισόθερμες καμπύλες με $T_1 < T_2 < T_3$)





Ισοβαρείς ευθείες με $P_1 > P_2 > P_3$



Ισόχωρες ευθείες με $V_1 > V_2 > V_3$

β) Ισοβαροίς.

Μεταβολή με σταθερή πίεση. Περιγράφεται από τον νόμο Charles: Η πίεση ορισμένης μάζας αερίου που βρίσκεται σε σταθερό όγκο, μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του αερίου. Δηλαδή για P σταθερή, V/T σταθερό.

γ) Ισόχωρη.

Μεταβολή με σταθερό όγκο. Περιγράφεται από τον νόμο Gay-Lussac: Ο όγκος αερίου μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία, όταν η μάζα και η πίεσή του παραμένουν σταθερά. Δηλαδή για V σταθερό, P/T σταθερό.

Οι νόμοι **Charles** και **Gay-Lussac** δεν ισχύουν για περιοχές θερμοκρασιών κοντά στο απόλυτο μηδέν. (Σ' αυτή την περιοχή η συμπεριφορά της ύλης εξετάζεται από την ΚβαντοΜηχανική).

δ) Καταστατική εξίσωση:

Στην περίπτωση που η μάζα των αερίων μεταβάλλεται, υπάρχει ανάγκη ενός νέου νόμου που να συνδέει την θερμοκρασία, την πίεση, τον όγκο και την μάζα του αερίου σε κατάσταση ισορροπίας. Πράγματι η εξίσωση

$$PV = ct * T$$

συνδυάζει και τους τρεις παραπάνω νόμους

με σταθερά ct εξαρτώμενη από την μάζα του αερίου και έτσι η προηγούμενη σχέση γράφεται

$$PV = nRT$$

όπου n ο αριθμός moles του αερίου και R η παγκόσμια σταθερά των αερίων με τιμή $R = 8,314 \text{ Joule/mole} \cdot \text{K} = 0,0821 \text{ litatm / mole} \cdot \text{K}$.

Η πρώτη χρονικά κυκλική μεταβολή με την οποία λειτούργησαν οι ατμομηχανές ήταν ο κύκλος **Carnot**.

Λειτουργεί με μέσο το νερό που μετατρέπεται σε ατμό σε λέβητα και εκτονώνεται παράγοντας Μηχανικό έργο.

Αποτελείται από την θερμή πηγή T_1 (λέβητας) όπου βράζει το νερό. Στην συνέχεια υπάρχει ένα κυλινδρικό δοχείο, θερμικά μονωμένο, με έμβολο όπου γίνεται η απότομη και γρήγορη εκτόνωση του ατμού. Τέλος υπάρχει η ψυχρή πηγή T_2 (ψυγείο - περιβάλλον), όπου αποδίδεται και υγροποιείται ο ατμός.

Ο κύκλος συμπληρώνεται με τέσσερις διαδοχικές αντιστρεπτές μεταβολές.

1η) Ισόθερμη εκτόνωση:

κατά την διάρκεια της θερμότητα Q_1 μεταφέρεται από την θερμή πηγή (λέβητας) στο μέσο (ατμός) με σταθερή θερμοκρασία T_1 .

2η) Αδιαβατική εκτόνωση:

μέσα στον κύλινδρο ο ατμός εκτονώνεται απότομα κινώντας έμβολο και παράγοντας ωφέλιμο μηχανικό έργο W .

3η) Ισόθερμη συμπίεση:

στο τέλος της εκτόνωσης και μετά από το έργο που παρήχθη ο ατμός αποβάλλει ισόθερμα στο περιβάλλον T_2 ποσό θερμότητας Q_2 που περίσσειψε και

4η) Αδιαβατική συμπίεση:

η θερμοκρασία του ατμού αυξάνεται αδιαβατικά σε T_1 και αρχίζει πάλι ο κύκλος.

Κατά την διάρκεια του κύκλου προσφέρεται στον ατμό ποσό θερμότητας Q_1 που μετατρέπεται σε ωφέλιμο μηχανικό έργο W και σε ποσό θερμότητας Q_2 . Αποδεικνύεται πως

$$Q_1/T_1 = Q_2/T_2$$

Σαν απόδοση μηχανής γενικά ορίζουμε το πηλίκο της ενέργειας που δαπανούμε για την λειτουργία της μηχανής, προς την ενέργεια που μας προσφέρει η μηχανή.

Ετσι η απόδοση θερμικής μηχανής Carnot είναι

$$\eta = W/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - (Q_2/Q_1) = 1 - (T_2/T_1) \text{ με } \eta < 1.$$

Όταν ο κύκλος λειτουργεί ανάστροφα, δηλαδή όλες οι παραπάνω γίνονται με την αντίθετη φορά λειτουργίας, τότε προσφέρουμε έργο (ηλεκτρική ενέργεια) και η μηχανή αφαιρεί από το περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας T_2 ένα ποσό θερμότητας Q_2 , τότε έχουμε την **ψυκτική μηχανή**.

Συγκεκριμένα σε ψυκτικές εγκαταστάσεις π.χ. οικιακό ψυγείο δίδουμε ενέργεια με ηλεκτροκινητήρα που στρέφει ένα συμπιεστή. Ετσι το μέσο (ψυκτικό υγρό) αφαιρεί ποσό θερμότητας Q_2 από το εσωτερικό του ψυγείου (χαμηλή θερμοκρασία) T_2 και το αποβάλλει σαν θερμότητα Q_1 σε ένα συμπεκνω-

4.7 ΘΕΡΜΙΚΗ - ΨΥΚΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ

Ο Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος ασχολείται με την μετατροπή της θερμότητας σε ωφέλιμο μηχανικό έργο και θέτει κάποιους όρους στην μετατροπή αυτή. Συγκεκριμένα:

α) Είναι αδύνατο να κατασκευάσουμε μηχανή που να μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε έργο κατά 100%, χωρίς απώλειες (**Kelvin-Planck**) και

β) Είναι αδύνατο να κατασκευάσουμε μηχανή που να μεταφέρει θερμότητα από ένα κρύο σώμα σε ένα ζεστό χωρίς να προσφερθεί ενέργεια με την μορφή μηχανικού έργου στην μηχανή από το περιβάλλον. (**Clausius**).

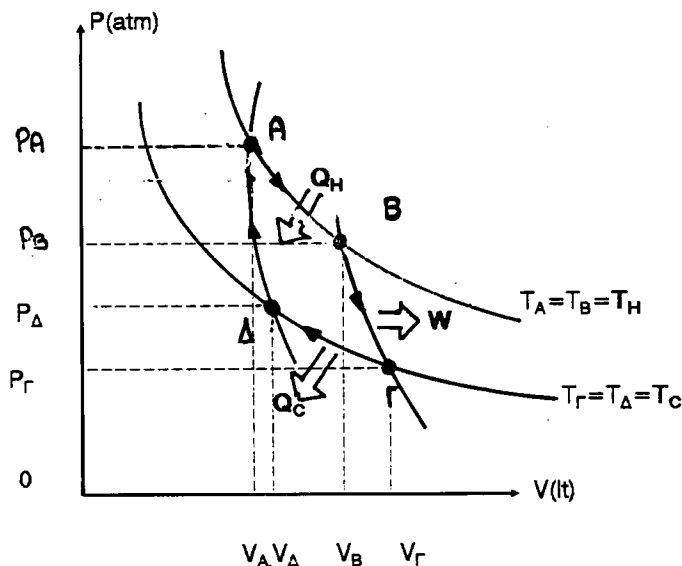
Στηριγμένες πάνω στις αρχές αυτές του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου λειτουργούν οι θερμικές μηχανές.

Κάθε μηχανή που μετατρέπει την θερμότητα σε ωφέλιμο μηχανικό έργο εκτελώντας κυκλική μεταβολή, χαρακτηρίζεται σαν **θερμική μηχανή**.

Για να λειτουργήσει χρειάζεται μια πηγή υψηλής θερμοκρασίας T_1 από όπου προσλαμβάνει το ποσό θερμότητας Q_1 . Ένα μέσο υγρό ή αέριο που εκτελεί την κυκλική μεταβολή και παράγει το ωφέλιμο Μηχανικό έργο. Μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας T_2 όπου αποθέτει σαν Q_2 το ποσό θερμότητας που περίσσεψε σαν θερμική απώλεια, υπακούοντας στον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο.

Τέτοιες θερμικές μηχανές είναι οι Μ.Ε.Κ., οι ατμομηχανές κλπ

$$\text{Στο παρακάτω σχήμα: } T_H = T_1 = T_A = T_B, \quad T_C = T_2 = T_\Gamma = T_\Delta, \\ Q_H = Q_1 = Q_{AB}, \quad Q_C = Q_2 = Q_{\Gamma\Delta} \quad W = W_{B\Gamma} = Q_H - Q_C = Q_1 - Q_2$$



τη υψηλότερης θερμοκρασίας T_1 που βρίσκεται έξω από το ψυγείο.

Σαν απόδοση ψυκτικής μηχανής ορίζουμε τον λόγο

$$\sigma_\lambda = Q_2/W = T_2/W \text{ με } \sigma_\lambda > 1$$

Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο λειτουργούν και οι **μονάδες κλιματισμού ή αντλίες θερμότητας**, μόνο που εδώ προσφέρουμε μεν έργο (ηλεκτρική ενέργεια), αλλά εδώ μας ενδιαφέρει το ποσό θερμότητας Q_1 που μεταφέρεται στην υψηλή θερμοκρασία T_1 γιατί το χρησιμοποιούμε για θέρμανση χώρων.

Συντελεστή απόδοσης στις αντλίες θερμότητας ορίζουμε το πηλίκο

$$\sigma_{\lambda a} = Q_1/W = T_1/W \text{ με } \sigma_{\lambda a} > 1$$

● 4.8 ENTROPIA

Εστω ότι γνωρίζουμε MONO την εξωτερική (μακροσκοπική) κατάσταση ενός θερμοδυναμικού συστήματος και προσπαθούμε να ερευνήσουμε την εσωτερική του (μικροσκοπική) κατάσταση. Δυστυχώς δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τον μικρόκοσμο και ειδικά όταν δέχεται εξωτερικές επιδράσεις καταλήγουμε σε "πιθανά" συμπεράσματα.

Ετσι κάνουμε κατά "προσέγγιση" παρατηρήσεις. Το μέτρο αυτής της αβεβαιότητας ή το μέτρο της "αταξίας" που παρατηρείται στο εσωτερικό του συστήματος το χαρακτηρίζουμε σαν **εντροπία S** του συστήματος.

Για να περιγράψουμε πλήρως την ενεργειακή κατάσταση ενός μακροσκοπικού συστήματος δεν αρκεί να γνωρίζουμε την ποσότητα MONO της ενέργειας που περικλείει το σύστημα, αλλά πρέπει να γνωρίζουμε ΚΑΙ την ποιότητα αυτής της ενέργειας. Κατά πόσο δηλαδή αυτή είναι ικανή και διαθέσιμη για παραγωγή Μηχανικού έργου. Από τον Δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο παρατηρούμε ότι το ποσό της εσωτερικής ενέργειας που περικλείεται στο σύστημα δεν είναι διαθέσιμο για παραγωγή έργου, είναι υποβαθμισμένο ενεργειακά.

Η εντροπία είναι ένας δείκτης της ποιότητας αυτής της ενέργειας της μη διαθέσιμης για παραγωγή έργου Αυτό ακριβώς το μέτρο της ποιότητας μας δίνει η εντροπία. Κατάσταση αυξημένης εντροπίας σημαίνει μικρή ικανότητα παραγωγής έργου, δηλαδή υποβαθμισμένο ενεργειακά σύστημα.

Οι πραγματικές διεργασίες που συμβαίνουν στην Φύση είναι όλες **μη αναστρέψιμες**. Σε όλες αυτές τις διεργασίες παρατηρείται ΑΥΞΗΣΗ της εντροπίας. Ετσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως κάθε διεργασία στην οποία παρατηρείται αύξηση εντροπίας, χαρακτηρίζεται σαν πραγματική μη αντιστρεπτή διεργασία. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε την εντροπία σαν ένδειξη της αναστρεψιμότητας μιας μεταβολής.

Η Στατιστική Μηχανική μας βοηθά να προβλέψουμε τι γίνεται με την εντροπία και τις μεταβολές της όταν δεν έχουμε αντιστρεπτές διεργασίες. Ετσι μας εισάγει την "πιθανότητα" P να βρίσκεται το σύστημά μας σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας κάποια χρονική στιγμή.

Συγκεκριμένα η εντροπία S μιας θερμοδυναμικής κατάστασης ισορροπίας και η πιθανότητα P να εμφανισθεί αυτή η κατάσταση, συνδέονται με την σχέση

$$S = k \cdot \ln P$$

όπου k η σταθερά Boltzmann.

Όταν πρόκειται για **αντιστρεπές διεργασίες** και συγκεκριμένα για ισόθερμες, τότε η εντροπία ορίζεται διαφορετικά.

Εστω ΔQ μικρό ποσό θερμότητας που ανταλλάσσει με το περιβάλλον ένα θερμοδυναμικό σύστημα κατά μήκος ισόθερμης διεργασίας σταθερής θερμοκρασίας T . Το πηλίκο $\Delta Q/T$ ορίζεται σαν **μεταβολή της εντροπίας ΔS** . Εδώ η εντροπία είναι ένα καταστατικό μέγεθος και χρησιμοποιείται τόσο κατά την περιγραφή της κατάστασης ισορροπίας του συστήματος, όσο και για την περιγραφή των μεταβολών του.

Η απόλυτη τιμή της δεν μας είναι γνωστή, αλλά μπορούμε να υπολογίσουμε τις μεταβολές της σαν το ωρισμένο ολοκλήρωμα

$$\int_{T_1}^{T_2} \Delta S = \Delta Q/T, \text{ από θερμοκρασία } T_1 \text{ μέχρι } T_2.$$

Γενικά οποιαδήποτε αντιστρεπτή διεργασία $1 \rightarrow 2$ μπορούμε να την χωρίσουμε σε πολλά ισόθερμα τμήματα και με την βοήθεια του ωρισμένου ολοκληρώματος από την θερμοδυναμική κατάσταση ισορροπίας 1 στην κατάσταση 2 να υπολογίσουμε με την παραπάνω σχέση την μεταβολή της εντροπίας ΔS_{12} .

Η μεταβολή της εντροπίας είναι ανεξάρτητη του δρόμου που ακολουθεί η αντιστρεπτή διεργασία και εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση ισορροπίας. Έτσι κατά μήκος κυκλικής μεταβολής η $\Delta S_{\text{κυκλ}} = 0$.

Για μια αντιστρεπτή μεταβολή τέλειου ή ιδανικού αερίου η μεταβολή στην εντροπία μπορεί να υπολογισθεί από τις παρακάτω σχέσεις. Θεωρούμε γνωστές και σταθερές τις ειδικές θερμότητες υπό σταθερή πίεση c_p και υπό σταθερό όγκο c_v καθώς και αυτή που αντιστοιχεί σε πολυτροπική μεταβολή c_n . Έτσι για μεταβολή από την θερμοδυναμική κατάσταση 1 στην 2 έχουμε :

$$S_2 - S_1 = m \cdot c_n \cdot \ln(T_2/T_1)$$

$$S_2 - S_1 = m \cdot c_v \cdot \ln(T_2/T_1) + m \cdot R \cdot \ln(V_2/V_1)$$

$$S_2 - S_1 = m \cdot c_p \cdot \ln(T_2/T_1) + m \cdot R \cdot \ln(p_2/p_1)$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Λυμένες

- 1. Θερμική μηχανή εργάζεται με ιδανικό αέριο που βρίσκεται στην κατάσταση A με πίεση 10atm, όγκο 2lt και θερμοκρασία 800°K. Το αέριο ισόθερμα αυξάνει τον όγκο του σε 6lt, πηγαίνοντας στην κατάσταση B και από κει ισόχωρα περνά στην κατάσταση Γ. Τέλος αδιαβατικά επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση A. Αν $\kappa=1,5$ (εκθέτης αδιαβατικής μεταβολής),
- α) Να υπολογιστούν όλες οι θερμοδυναμικές του μεταβλητές των καταστάσεων A,B,
 - β) να γίνει το διάγραμμα P-V
 - γ) να υπολογισθούν οι μεταβολές της εσωτερικής ενέργειας και της εντροπίας κατά την μεταβολή BΓ
 - δ) να υπολογισθεί ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης της θερμικής μηχανής και
 - ε) αν ο κύκλος διαγράφεται 10 φορές σε 1sec, να υπολογισθεί η ισχύς της μηχανής

ΛΥΣΗ

Φτιάχνουμε τον πίνακα των μεταβολών

$P_A=10\text{atm}$	$P_B=\dots\dots\text{atm}$	$P_\Gamma=\dots\dots\text{atm}$
$V_A=2\text{lt}$	$V_B=6\text{lt}$	$V_B=V_\Gamma=6\text{lt}$
$T_A=800^\circ\text{K}$	$T_B=T_A=800^\circ\text{K}$	$T_\Gamma=\dots\dots^\circ\text{K}$
A	B	Γ
ισόθερμη εκτόνωση ($V_B > V_A$)		ισόχωρη
		αδιαβατική συμπίεση ($V_A < V_\Gamma$)

Μεταβολή AB (ισόθερμη): $P_A \cdot V_A = P_B \cdot V_B \Rightarrow P_B = P_A \cdot V_A / V_B \Rightarrow P_B = 3,33\text{atm}$

Μεταβολή AΓ (αδιαβατική): $P_A \cdot V_A^\kappa = P_\Gamma \cdot V_\Gamma^\kappa \Rightarrow P_\Gamma = P_A \cdot (V_A / V_\Gamma)^\kappa \Rightarrow P_\Gamma = 1,92\text{atm}$

Μεταβολή BΓ (ισόχωρη): $P_B / T_B = P_\Gamma / T_\Gamma \Rightarrow T_\Gamma = P_\Gamma \cdot T_B / P_B \Rightarrow T_\Gamma = 461,3^\circ\text{K}$

Έχουμε $P_A \cdot V_A = m \cdot R \cdot T_A \Rightarrow m \cdot R = P_A \cdot V_A / T_A \Rightarrow m \cdot R = 0,025\text{lt} \cdot \text{atm} / ^\circ\text{K}$

Η μεταβολή AB είναι ισόθερμη και η μεταβολή της εντροπίας της δίνεται από την σχέση: $\Delta S = m \cdot R \ln(V_B / V_A) \Rightarrow \Delta S_{AB} = 0,0275\text{lt} \cdot \text{atm} / ^\circ\text{K}$

Η μεταβολή της εντροπίας της ΓΑ είναι μηδενική γιατί η ΓΑ είναι αδιαβατική μεταβολή $\Delta S_{\Gamma A} = 0$

Η ολική μεταβολή της εντροπίας είναι επίσης μηδενική γιατί ολόκληρη η μεταβολή είναι κυκλική και έτσι έχουμε :

$$\Delta S_{\text{ολ}} = 0 \Rightarrow \Delta S_{\text{AB}} + \Delta S_{\text{BF}} + \Delta S_{\text{ΓA}} = 0 \Rightarrow 0 = 0,0275 \text{ lt} \cdot \text{atm} / ^\circ\text{K} + \Delta S_{\text{BF}} + 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta S_{\text{BF}} = -0,0275 \text{ lt} \cdot \text{atm} / ^\circ\text{K}$$

Το έργο της μεταβολής ΓΑ δίνεται από την σχέση $W_{\text{ΓA}} = (P_A \cdot V_A - P_{\text{Γ}} \cdot V_{\text{Γ}}) / (1 - \kappa)$
 $\Rightarrow W_{\text{ΓA}} = -16,96 \text{ lt} \cdot \text{atm}$ και επειδή για την μεταβολή ΓΑ, $Q_{\text{ΓA}} = 0$ (αδιαβατική),
 από τον 1ο Θερμοδυναμικό νόμο ($Q = \Delta U + W$) έχουμε,

$$\Delta U_{\text{ΓA}} = -W_{\text{ΓA}} = 16,96 \text{ lt} \cdot \text{atm}.$$

Αλλά η ολική μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας είναι μηδενική γιατί έχουμε κυκλική μεταβολή, έτσι

$$\Delta U_{\text{ολ}} = \Delta U_{\text{AB}} + \Delta U_{\text{BF}} + \Delta U_{\text{ΓA}} = 0 = 0 + \Delta U_{\text{BF}} + 16,96 \text{ lt} \cdot \text{atm} \Rightarrow$$

$$\Delta U_{\text{BF}} = -16,96 \text{ lt} \cdot \text{atm}. \quad (\Delta U_{\text{AB}} = 0, \text{ γιατί είναι ισόθερμη η μεταβολή}).$$

Το έργο της μεταβολής AB δίνεται από την σχέση

$$W_{\text{AB}} = m \cdot R \cdot T_A \ln(V_B/V_A) \Rightarrow W_{\text{AB}} = 21,97 \text{ lt} \cdot \text{atm}$$

Το ολικό έργο του κύκλου υπολογίζεται από την σχέση

$$W_{\text{ολ}} = W_{\text{AB}} + W_{\text{BF}} + W_{\text{ΓA}}. \quad \text{Το } W_{\text{BF}} = 0 \quad (\text{ισόχωρη μεταβολή}).$$

$$\text{Επομένως } W_{\text{ολ}} = 21,97 \text{ lt} \cdot \text{atm} + 0 - 16,96 \text{ lt} \cdot \text{atm} \Rightarrow W_{\text{ολ}} = 5,01 \text{ lt} \cdot \text{atm}.$$

Ο 1ος Θερμοδυναμικός νόμος για την μεταβολή AB είναι $Q_{\text{AB}} = \Delta U_{\text{AB}} + W_{\text{AB}}$.
 Αλλά $\Delta U_{\text{AB}} = 0$ (ισόθερμη μεταβολή), άρα $Q_{\text{AB}} = W_{\text{AB}} = 21,97 \text{ lt} \cdot \text{atm}$

Ο θεωρητικός συντελεστής απόδοσης του κύκλου δίνεται από την σχέση

$$\eta_{\theta} = \frac{W_{\text{ωφέλιμο}}}{Q_{\text{εξοικονομη}}} = \frac{W_{\text{ολ}}}{Q_{\text{AB}}} >$$

$$\eta_{\theta} = 0,23 \quad \text{ή} \quad \text{απόδοση} \quad 23\%$$

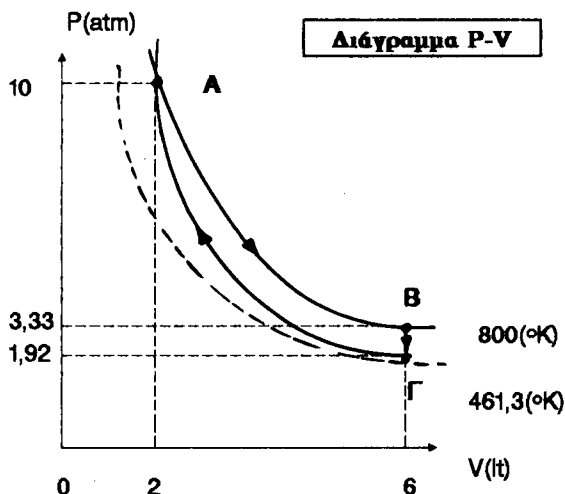
Η ισχύς του κύκλου για περίοδο $T = 0,1 \text{ sec}$ (δόθηκε η συχνότητα διαγραφής του κύκλου 10 κύκλοι ανά sec, από όπου υπολογίσθηκε ο χρόνος διαγραφής ενός κύκλου T), δίνεται από την σχέση

$$P = W_{\text{ολ}} / T \Rightarrow$$

$$P = 50,1 \text{ lt} \cdot \text{atm} / \text{sec}.$$

Με την βοήθεια του

συμπληρωμένου πλέον πίνακα των θερμοδυναμικών μεταβλητών P, V, T για τις τρεις θερμοδυναμικές καταστάσεις ισορροπίας του κύκλου Α, Β, Γ, σχεδιάζεται το **διάγραμμα P-V**.



- 2..Θερμική Μηχανή λειτουργεί ιδανικά με κύκλο CARNOT. Ο θεωρητικός συντελεστής απόδοσης είναι 0,3 και στην ψυχρή δεξαμενή συνυπάρχουν πάγος και νερό. Αν ανά ώρα λιώνουν 100kg πάγου, να υπολογισθούν :

α) η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής

β) το ποσό θερμότητας που αφαιρείται ανά ώρα από την θερμή δεξαμενή

γ) η ισχύς λειτουργίας της μηχανής και

δ) αν η μηχανή λειτουργήσει σαν ψυκτική, και αφαιρεί από την ψυχρή δεξαμενή ποσό θερμότητας 1500cal ανά ώρα, πόση θερμότητα αποδίδει στον ίδιο χρόνο στην θερμή δεξαμενή;

Δ Υ Σ Η

Δεδομένα ο συντελεστής απόδοσης της θερμικής μηχανής $\eta_{\theta}=0,3$, η μάζα του πάγου που λιώνει ανά ώρα $m_{\pi}=100\text{gr}$ και η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου $\lambda_{\pi}=80\text{cal/grad}$.

Από την σχέση $\eta_{\theta}=1-(T_C/T_H)=>T_H=T_C/(1-\eta_{\theta})$ με αντικατάσταση έχουμε $T_H=390^{\circ}\text{K}$.

Από την σχέση $T_C/T_H=Q_C/Q_H=>Q_H=T_H*(Q_C/T_C)$ με αντικατάσταση έχουμε $Q_H=11,43*10^6\text{cal/h}$.

Από την σχέση της ισχύος $P=W/t=(Q_H - Q_C)/T$, για χρόνο ίσο με περίοδο T δηλ. μια ώρα), έχουμε $P=W/3600\text{sec}$ και με αντικατάσταση $P=95,2\text{W}$.

Η απόδοση της ψυκτικής μηχανής δίνεται από την σχέση $\eta' = T_C/(T_H - T_C)$ και με αντικατάσταση προκύπτει η απόδοση της ψυκτικής μηχανής $\eta' = 2,29$.

Από την σχέση $\eta' = Q_C/(Q'_H - Q_C)$

με αντικατάσταση υπολογίζεται η ποσότητα θερμότητας Q'_H που αποδίδει η ψυκτική μηχανή στην θερμή πηγή ανά ώρα $Q'_H=2143\text{cal/h}$.

Α Σ Κ Η Σ Ε Ι Σ

προς λύση

- 1. Να υπολογισθεί η μάζα 1m^3 υδρογόνου υπό κανονικές συνθήκες.
- 2. Να βρεθεί η μάζα του αέρα που βρίσκεται μέσα σε αίθουσα διαστάσεων $3\text{m}*4\text{m}*5\text{m}$, υπό πίεση μιας ατμόσφαιρας και στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο αέρας να θεωρηθεί ιδανικό αέριο $M.B.=29$.
- 3. Να υπολογισθεί η μάζα του υδρογόνου που περιέχεται μέσα σε φιάλη πίεσης 150atm , θερμοκρασίας 20°C και όγκου 40lt .

- 4. Να σχεδιασθεί σε διάγραμμα V-T μια ισοβαρής μεταβολή ενός ιδανικού αερίου για πιέσεις α) 1atm και β) 2atm
- 5. Θερμαίνω αέριο που βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο σταθερής πίεσης ίσης με την ατμοσφαιρική, οπότε ο όγκος του αυξάνεται από 1lt σε 2lt. Να υπολογισθεί το παραγόμενο έργο.
- 6. Ιδανικό αέριο όγκου 1lt, πίεσης 1atm και θερμοκρασίας 27°C, εκτελεί διαδοχικά τις παρακάτω μεταβολές
 - α) θερμαίνεται ισοβαρώς μέχρι διπλασιασμού του όγκου του
 - β) θερμαίνεται ισόχωρα μέχρι η πίεση του να διπλασιασθεί
 - γ) εκτονώνεται ισόθερμα μέχρι η πίεση του να γίνει 1atm
 Να υπολογισθούν στο τέλος κάθε μεταβολής οι μεταβλητές P,V,T και να σχεδιασθούν οι μεταβολές σε διάγραμμα P-V.
- 7. Αέριο που βρίσκεται σε αρχική κατάσταση P,V,T, εκτονώνεται ισόθερμα μέχρι ο όγκος του να γίνει 5V. Μετά συμπιέζεται ισοβαρώς μέχρι ο όγκος του να γίνει 2V.
 - α) να σχεδιασθούν σε διάγραμμα P-V οι παραπάνω μεταβολές
 - β) να γραμμοσκιασθεί το εμβαδόν που αντιστοιχεί στο συνολικά παραγόμενο έργο.
- 8. Ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα έχει όγκο 10lt σε κ.σ. Ο αέρας συμπιέζεται ισόθερμα μέχρι ο όγκος του να γίνει 2lt και μετά εκτονώνεται αδιαβατικά μέχρι να γίνει ο όγκος του 10lt. Να παρασταθούν γραφικά οι μεταβολές σε διάγραμμα P-V και να σημειωθούν πάνω του οι τιμές για κάθε περίπτωση. ($\gamma_{\text{αέρα}}=1,4$).
- 9. Θερμική μηχανή λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών 400°K και 300°K. Αν η μηχανή λειτουργεί με την θεωρητική της απόδοση και απορροφά από την θερμή πηγή θερμότητα 20kcal/sec, να βρεθούν
 - α) η θεωρητική απόδοση της μηχανής
 - β) η θερμότητα που απελευθερώνει η μηχανή στην ψυχρή δεξαμενή ανά δευτερόλεπτο και
 - γ) η ισχύς λειτουργίας της μηχανής.
- 10. Ψυκτική μηχανή δαπανά ισχύ 4 W και μετατρέπει σε πάγο -10°C σε μία ώρα, 50 gr νερό θερμοκρασίας 30°C. Να βρείτε τον συντελεστή απόδοσης της μηχανής αν η θερμότητα τήξης του πάγου είναι 80cal/gr και 1cal=4,2joule.

Κεφάλαιο 5ο

Μετατροπές φάσεων

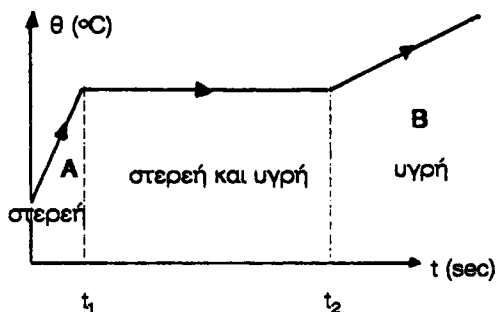
● 5.1 Γενικά

Τις τρεις μορφές που μπορεί να πάρει κάθε υλικό, στερεή, υγρή, αέρια, χαρακτηρίζουμε σαν φάσεις του υλικού.

Στην στερεή φάση συνήθως η ύλη βρίσκεται με μορφή κρυστάλλων. Οι δομικοί της λίθοι (άτομα, μόρια, ιόντα) που βρίσκονται στις κορυφές πολυέδρων και ισορροπούν σ' αυτές τις θέσεις κάτω από την επίδραση ισχυρών δυνάμεων (ομοιοπολικών δεσμών) που ασκούνται από τους γειτονικούς δομικούς λίθους που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις.

Στην αέρια φάση οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων είναι μεγάλες και οι δυνάμεις συνοχής (Van der Waals,) ασθενείς. Όταν τα αέρια βρίσκονται σε μεγάλη αραιώση οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων γίνονται αμελητέες και τα αέρια συμπεριφέρονται σαν ιδανικά. Όταν όμως, λόγω συμπίεσης, οι αποστάσεις ελαττωθούν τότε τα αέρια αποκτούν πολύπλοκες ιδιότητες και συμπεριφέρονται σαν ατμοί. Οι ατμοί υγροποιούνται εύκολα με μικρή ψύξη.

Η υγρή φάση είναι μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στην στερεή και την



θέρμανση
στερεής φάσης

τήξη

θέρμανση
υγρής φάσης

αέρια. Τα μόρια κινούνται συνεχώς ολισθαίνοντας σε συνεχή επαφή με τα γειτονικά τους και οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους είναι σημαντικές.

● 5.2 Τήξη και πήξη

Η μετατροπή της στερεής φάσης σε υγρή λέγεται τήξη ενώ το αντίθετο φαινόμενο πήξη.

Οι σταθερές θερμοκρασίες στις οποίες γίνονται οι μετατροπές φάσεως, λέγο-

Μεταβολή της θερμοκρασίας σώματος κατά την τήξη

νται θερμοκρασίες ή σημεία τήξης και πήξης αντίστοιχα.

Ξεκινώντας από την στερεή φάση (κατάσταση A στο προηγούμενο σχήμα) προσφέρουμε θερμότητα Q με σταθερή παροχή. Παρατηρούμε ότι όσο διαρκεί η στερεή φάση η θερμοκρασία αυξάνεται ομαλά συνεχώς ακολουθώντας την θεμελιώδη σχέση της θερμιδομετρίας $Q=mc\Delta\theta$.

Σε κάποια χρονική στιγμή t_1 , εμφανίζονται τα πρώτα μόρια υγρής φάσης. Μέχρι την μετατροπή ΟΛΩΝ των μορίων του στερεού σε αντίστοιχα μόρια υγρού, παρατηρούμε σταθερή θερμοκρασία παρά το γεγονός ότι συνεχίζουμε να προσφέρουμε θερμότητα Q με την ίδια παροχή.

Αυτό το ποσό θερμότητας που δαπανάται για την μετροπή της στερεής φάσης σε υγρή, δίκως να αυξάνει την θερμοκρασία του σώματος, λέγεται **λανθάνουσα θερμότητα τήξης λ** , του σώματος και μετρείται σε cal/gr.

Δίδεται από την σχέση

$$Q=m\lambda,$$

όπου λ το ποσό της

θερμότητας που χρειάζεται 1 gr στερεού σώματος που βρίσκεται στην θερμοκρασία τήξης, για να μετατραπεί σε υγρό της ίδιας θερμοκρασίας.

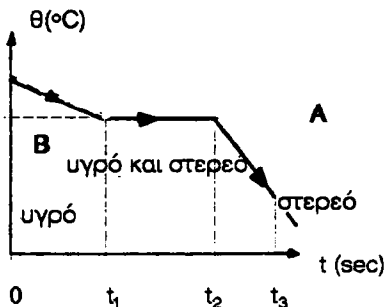
Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται από το σώμα σαν ενέργεια που καταστρέφει τους ισχυρούς δεσμούς που συγκρατούν τα μόρια του στερεού σε συγκεκριμένες αποστάσεις και θέσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα.

Τελικά χαλαρώνονται οι αντίστοιχες δυνάμεις και τα μόρια αυξάνουν την κινητική τους ενέργεια γιατί τώρα κάνουν και μικρές κινήσεις γύρω από την θέση ισορροπίας τους γλιστρώντας το ένα πάνω στο άλλο.

Καθ' όλο το χρονικό διάστημα που συμβαίνει η μετροπή φάσης, συνυπάρχουν η στερεή και η υγρή κατάσταση.

Συνεχίζουμε να θερμαίνουμε το σώμα. Κάποια χρονική στιγμή t_2 , η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνεται ακολουθώντας πλέον την βασική εξίσωση της θερμιδομετρίας $Q=mc\Delta\theta$. Αυτή την χρονική στιγμή ΟΛΑ τα μόρια του στερεού έχουν εξ ολοκλήρου μετατραπεί σε μόρια υγρού, η φάση είναι πλέον ΜΟΝΟ η υγρή και συνεχίζεται κανονικά η θέρμανση του υγρού

(κατάσταση B στο σχήμα).



Μεταβολή της θερμοκρασίας σώματος κατά την πήξη

Ακριβώς το αντίθετο φαινόμενο συμβαίνει με αφαίρεση θερμότητας Q με σταθερή παροχή.

Ξεκινούμε από την κατάσταση B (υγρή φάση) και καταλήγουμε στην κατάσταση A (στερεή φάση). Εχουμε σταθερή πτώση της θερμοκρασίας με ψύξη μέχρι να εμφανιστεί το πρώτο μόριο στερεής φάσης την χρονική στιγμή t_1 . Από κει και κάτω η θερμοκρασία παραμένει σταθερή μέχρι ΟΛΑ τα μόρια του υγρού να μετατραπούν σε αντίστοιχα μόρια στερεού την χρονική

στιγμή t_2 , οπότε και συνεχίζεται η ομαλή πτώση της θερμοκρασίας. Κατά την συνύπαρξη υγρής-στερεής φάσης γίνεται η **πήξη** του σώματος στην

Θερμοκρασία πήξης με την αποβολή της λανθάνουσας θερμότητας πήξης.

Οι εξισώσεις που παρακολουθούν τις μεταβολές είναι:

για τις καταστάσεις A και B η

$$Q = mc\Delta\theta,$$

ενώ για την μετατροπή φάσης η

$$Q = m\lambda'$$

λ' τώρα είναι η **λανθάνουσα**

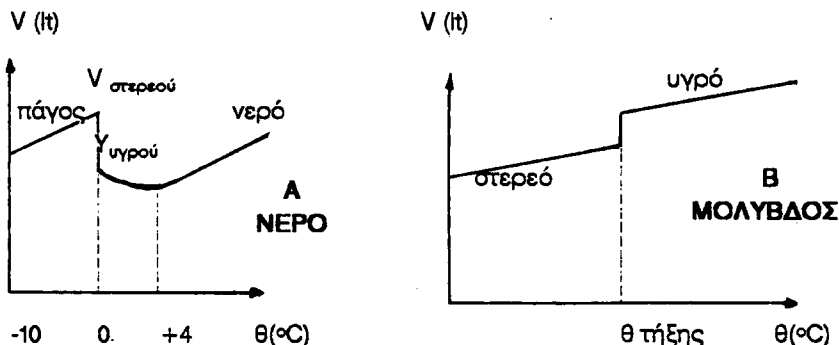
θερμότητα πήξης, δηλ. το ποσό της θερμότητας που πρέπει να αποβάλει 1 gr υγρού σώματος για να μετατραπεί σε στερεό στην θερμοκρασία πήξης.

● 5.3 Μεταβολή του όγκου κατά την τήξη-πήξη

Το γεγονός του πάγου που επιπλέει πάνω στο νερό εξηγείται με την μικρότερη πυκνότητα του πάγου. Αυτό συμβαίνει γιατί ο όγκος μάζας νερού αυξάνει, όταν αυτή η μάζα μετατραπεί σε πάγο. Παρακολουθώντας στην γραφική παράσταση **A** την μεταβολή του όγκου μάζας πάγου κατά την θέρμανσή της, διαπιστώνουμε την διαστολή του όγκου όσο παραμένουμε στην ίδια φάση (πάγος). Στο σημείο τήξης παρατηρούμε ΑΠΟΤΟΜΗ ΠΤΩΣΗ της τιμής του όγκου $V_{\text{υγρού}} < V_{\text{στερεού}}$.

Στην περιοχή από 0 μέχρι +4°C παρατηρείται η ανώμαλη κυβική διαστολή του νερού και πάνω από τους +4°C, έχουμε την κανονική κυβική διαστολή της ίδιας φάσης (υγρής).

Αυτή ακριβώς η αύξηση του όγκου των νερού κατά την πήξη τους, δημιουργεί και όλα τα προβλήματα καταστροφών στα δίκτυα Υδρευσης κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς και την ανάγκη χρήσης αντιπηκτικών ουσιών.



Το φαινόμενο αύξησης του όγκου κατά την πήξη ΔΕΝ είναι γενικό.

Υπάρχουν/πάρχουν ουσίες, όπως ο Μόλυβδος που όταν στερεοποιείται ελαττώνει τον όγκο του όπως στην γραφική παράσταση **B**.

● 5.4 Επίδραση της πίεσης και διαλυμένων ουσιών στο σημείο τήξης

α) Το σημείο τήξης μεταβάλλεται με την πίεση. Το σχήμα δείχνει την εξάρτηση του σημείου τήξης του πάγου από την πίεση. Συνήθως η καμπύλη τήξης είναι σχεδόν κατακόρυφη, που σημαίνει πως η επίδραση της πίεσης στο σημείο τήξης των διαφόρων υλικών είναι μικρή αλλά αισθητή.

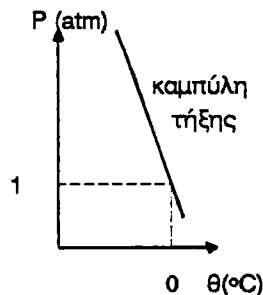
Το σημείο τήξης υλικού για πίεση 1atm λέγεται **κανονικό σημείο τήξης**.

Στην πράξη τα αποτελέσματα της εξάρτησης αυτής φαίνονται στις παγοδρομίες: η λεπίδα του παγοπέδου ασκεί το βάρος του παγοδρόμου πάνω στον πάγο. Η πίεση λόγω του ελάχιστου εμβαδού της λεπίδας είναι πολύ μεγάλη και έτσι έχουμε τήξη του πάγου στα σημεία επαφής, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του μηδενός. Το παραγόμενο νερό δρα σαν λιπαντικό διευκολύνοντας την κίνηση του παγοδρόμου.

Το αντίστροφο φαινόμενο εμφανίζεται σε άλλα υλικά, όπως π.χ. ο μόλυβδος: η αύξηση της πίεσης, ανεβάζει την τιμή του σημείου τήξης.

β) Επίσης παρατηρείται ελάττωση του σημείου πήξης, όταν δεν έχουμε καθαρό υγρό αλλά διάλυμά του με άλλες ξένες ουσίες. Ετσι διαλύοντας αλάτι μέσα σε νερό, κατεβάζουμε το σημείο πήξης του νερού στους -20°C (αυτοκινητόδρομοι τους χειμερινούς μήνες).

Αντιπηκτικά υγρά: Είναι μίγματα νερού, οιοπνεύματος και γλυκερίνης και χρησιμοποιούνται για να ελαττώνουν το σημείο πήξης του νερού αρκετά κάτω του μηδενός (ψυγεία αυτοκινήτων).



Τήξη του πάγου

● 5.5 Εξαέρωση

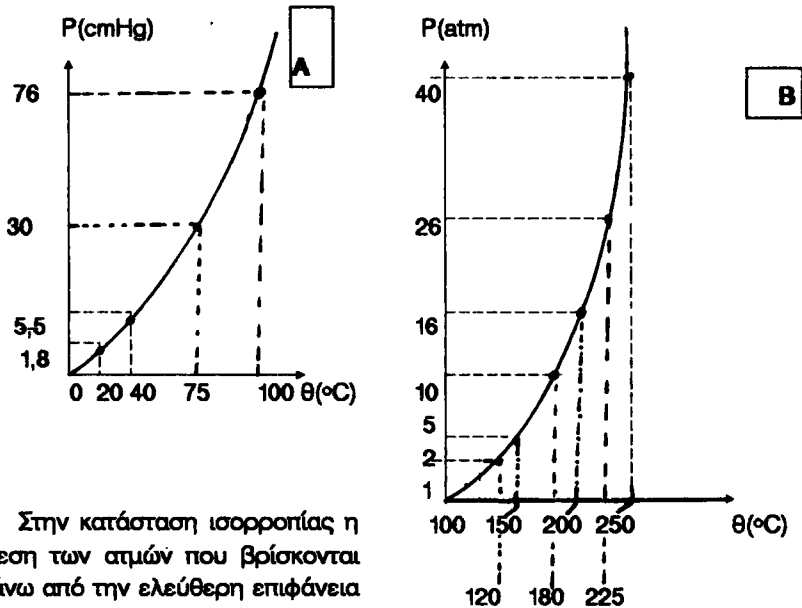
Προσφέροντας συνεχώς θερμότητα σε υγρό, κάποια στιγμή μετατρέπεται σε αέριο. Αυτή η μετατροπή της υγρής φάσης σε αέρια λέγεται **εξαέρωση**, ενώ η αντίθετη μετατροπή **υγροποίηση**.

Υπάρχουν ειδικές συνθήκες που επιτρέπουν την εξαέρωση. Ετσι σε κλειστό θερμαινόμενο δοχείο κάποια στιγμή παύει η εξαέρωση υγρού, σταματά η αύξηση της πίεσης, όταν ο χώρος έχει γεμίσει ατμούς και η πίεση έχει λάβει μια σταθερή τιμή. Ο χώρος έχει γεμίσει από κορεσμένους ατμούς και η πίεσή τους λέγεται **τάση κορεσμένων ατμών**. Σ αυτή την κατάσταση κόρου συνυπάρχει υγρή ΚΑΙ αέρια φάση. Η σταθερή τιμή της πίεσης δηλώνει την παύση της εξαέρωσης και την ύπαρξη ισορροπίας μεταξύ των δύο φάσεων. Όταν η πίεση του χώρου είναι μικρότερη της τάσης των κορεσμένων ατμών, οι ατμοί είναι ακόρεστοι και η εξαέρωση του υγρού μπορεί να συνεχιστεί.

Η τάση των κορεσμένων ατμών είναι ανεξάρτητη της ποσότητας του υγρού που υπάρχει στο δοχείο, είναι ανεξάρτητη του όγκου των ατμών και αυξάνει όταν αυξάνει η θερμοκρασία τους. Σε κάθε θερμοκρασία αντιστοιχεί ωρισμένη τάση κορεσμένων ατμών που εξαρτάται από την φύση του υγρού.

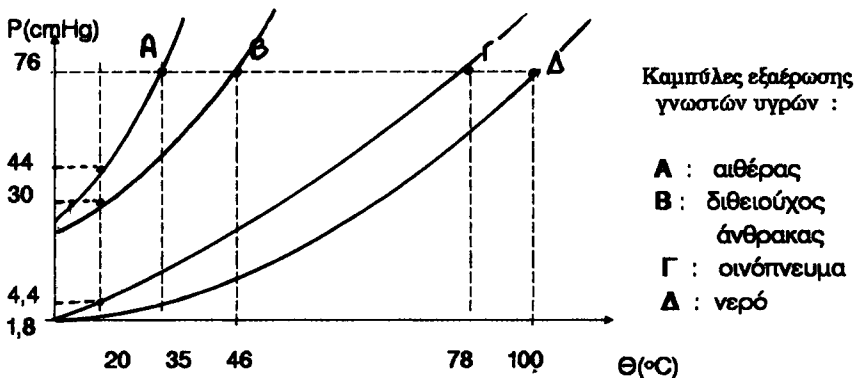
Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε δύο καμπύλες εξαέρωσης του ίδιου υγρού (νερό) για διαφορετικές θερμοκρασίες. Το **A** για θερμοκρασίες μικρότερες των 100°C και το **B** για θερμοκρασίες ανώτερες των 100°C .

Προσέξτε τον ρυθμό μεταβολής της καμπύλης εξαέρωσης για τις δύο διαφορετικές αυτές περιοχές θερμοκρασιών.



Στην κατάσταση ισορροπίας η πίεση των ατμών που βρίσκονται πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού είναι ίση με την τάση των κορεσμένων ατμών που αντιστοιχεί σ' αυτή την τιμή θερμοκρασίας.

Συνθήκη εξαέρωσης : Για να συνεχιστεί η εξαέρωση πρέπει η πίεση των ατμών να είναι **ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ** της τάσης των κορεσμένων ατμών.



● 5.6 Εξάτμιση

Εξάτμιση: Είναι η εξαέρωση που γίνεται αργά και ΜΟΝΟ από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού εξάτμιση και διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Όταν συμβαίνει σε κλειστό δοχείο, σταματά μόλις σχηματισθούν μέσα στον χώρο κορεσμένοι ατμοί, ενώ όταν γίνεται στην ελεύθερη ατμόσφαιρα συνεχίζεται μέχρι να εξαερωθεί ολόκληρο το υγρό.

Σε κάθε εξαέρωση απαιτείται πρόσληψη ποσού θερμότητας. Αυτό το ποσό δαπανάται για την καταστροφή των δυνάμεων συνοχής των μορίων του υγρού και όχι για την θέρμανσή του. Αυτή την θερμότητα το υγρό την αφαιρεί από την μάζα του, οπότε ψύχεται, ή από γειτονικά σώματα με τα οποία βρίσκεται σε επαφή και τότε ψύχει αυτά. Ετσι κατά την εξαέρωση υγρού, δημιουργείται ψύξη και μάλιστα τόσο μεγαλύτερη, όσο ταχύτερη είναι η εξαέρωση. Κατά την εξάτμιση οιοπνεύματος, αιθέρα που βρίσκεται πάνω στο χέρι μας αισθανόμαστε ψύχος γιατί η απαιτούμενη θερμότητας αφαιρείται από το χέρι μας.

Όταν δεν προσφέρεται εξωτερικά λοιπόν η θερμότητα που χρειάζεται για την εξαέρωση του υγρού, τότε το υγρό την αφαιρεί από το άμεσο περιβάλλον του ή από τον εαυτό του και τελικά προκαλεί ψύξη.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

- α) Βιομηχανία παραγωγής πάγου, ηλεκτρικά ψυγεία,
- β) Στήν Ιατρική για τοπική αναισθησία με ψύξη που προκαλείται από εξάτμιση πολύ πτητικού υγρού π.χ. αιθέρα).

● 5.7 Βρασμός

Η έντονη και ταχεία εξαέρωση από ολόκληρη την μάζα του υγρού με την μορφή φυσαλίδων λέγεται βρασμός.

Ο βρασμός σε συνθήκες σταθερής πίεσης, αρχίζει σε συγκεκριμένη θερμοκρασία που λέγεται κανονικό σημείο βρασμού ή σημείο ζέσεως, όταν το υγρό βρίσκεται σε κανονική πίεση 1atm. Η θερμοκρασία βρασμού διατηρείται η ίδια κατά την διάρκεια του βρασμού.

Σ' αυτή την θερμοκρασία πρέπει η τάση των κορεσμένων ατμών να γίνει ίση με την πίεση που ασκείται στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Αν λοιπόν μεταβάλουμε την εξωτερική πίεση, τότε επηρεάζουμε και την θερμοκρασία βρασμού καθυστερώντας ή επιταχύνοντας την έναρξή του (ταπείνωση ή ανύψωση σημείου ζέσεως).

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- α) Χύτρα ταχύτητας (PAPIN). Με την χύτρα PAPIN επιτυγχάνουμε σε κλειστό δοχείο θερμοκρασίες υψηλότερες των 100°C χωρίς να έχουμε βρασμό. Σε κλειστό μεταλλικό δοχείο θερμαίνουμε ομοιόμορφα νερό. Διαπιστώνουμε ότι η θερμοκρασία του χώρου φθάνει και ξεπερνά τους 100°C δίχως να

αρχίσει βρασμός. Το γεγονός αυτό εξηγείται εύκολα αν υπολογίσουμε την ολική πίεση που ασκείται στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέσα στο κλειστό δοχείο. Πάνω από το νερό υπάρχει ο αέρας που παγιδεύτηκε όταν κλείσαμε το δοχείο και οι κορεσμένοι υδρατμοί με πιέσεις αντίστοιχα $P_{\text{αέρα}}$ και $P_{\text{κυ.}}$. Έτσι η ολική πίεση που ασκείται συνεχώς πάνω στο νερό είναι $P_{\text{ολ}} = P_{\text{αέρα}} + P_{\text{κυ.}}$.

Τελικά παρατηρούμε ότι η $P_{\text{ολ}}$ πάντοτε για κάθε θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την τάση των κορεσμένων υδρατμών, άρα δεν μπορεί να αρχίσει βρασμός. Βέβαια όσο αυξάνει η θερμοκρασία η εξαέρωση συνεχίζεται, η ποσότητα των υδρατμών αυξάνει και επομένως και η ολική πίεση $P_{\text{ολ}}$. Η βαλβίδα ασφαλείας που υπάρχει στο δοχείο ανοίγει και φεύγει μια ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Η πίεση μέσα στο δοχείο πέφτει, γίνεται μικρότερη της τάσης κορεσμένων ατμών και αρχίζει έντονος βρασμός.

Ο λέβητας PAPIN χρησιμοποιείται:

α) Οικιακή χρήση (χύτρα ταχύτητας) Με την εκμετάλλευση αυτού του έντονου βρασμού που επαναλαμβάνεται αυτόματα συνεχώς με το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας και για σταθερή παροχή θερμότητας κάνουμε οικονομία θερμικής και κατ' επέκταση ηλεκτρικής ενέργειας.

β) Κλίβανοι αποστείρωσης. Επιτυγχάνουμε με τον ίδιο τρόπο βρασμό σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 100°C ($120-130$) $^{\circ}\text{C}$. Έτσι αποστειρώνουμε εργαλεία, μικροσυσκευές, όργανα στην Ιατρική, (εργαστήρια, Νοσοκομεία), στην Βιομηχανία κ.λ.π.

● 5.8 Θερμότητα εξαέρωσης

Το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται 1 gr υγρού για να μετατραπεί σε αέριο στην θερμοκρασία εξαερώσεως (ζέσεως), λέγεται **λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης L**.

Μετρείται σε cal/gr και υπολογίζεται από την σχέση

$$Q = mL$$

Το ποσό αυτό, μόλις η θερμοκρασία φθάσει το σημείο ζέσεως, παύει να χρησιμοποιείται για την θέρμανση του υγρού και απορροφάται από τα μόρια του υγρού στην προσπάθειά τους να χαλαρώσουν τις ισχυρές δυνάμεις συνοχής που τα συνδέουν.

Τελικά παύουν να βρίσκονται σε επαφή, αποκτούν ελευθερία τυχαίων κινήσεων με σημαντικές ταχύτητες και εν γένει ακολουθούν την θερμική κίνηση Brown. Δηλ. σ' αυτή την θερμοκρασία η προσφερθείσα θερμότητα έχει μετατρέψει τα μόρια του υγρού σε μόρια αερίου, έχει επιφέρει μεταβολή φάσεως.

Για να μετατρέψουμε την υγρή φάση σε αέρια, είτε την θερμαίνουμε, είτε αυξάνουμε τον όγκο της. Το αντίθετο αποτέλεσμα επιτυγχάνουμε με ψύξη, ή συμπύκνωση ή και τα δύο ταυτόχρονα.

Η αντίθετη ενέργεια, η αφαίρεση θερμότητας από αέριο ευρισκόμενο σε θερμοκρασία ζέσεως, το οδηγεί στην **υγροποίησή** του.

● 5.9 Μέτρηση θερμότητας εξαέρωσης :

Η μέτρηση της θερμότητας εξέρωσης γίνεται με την γνωστή μέθοδο Μειγμάτων της Θερμιδομετρίας. Μόνο που αντί για την ίδια υπολογίζουμε την λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης. Είναι ίση αριθμητικά με την αντίστοιχη θερμότητα εξαέρωσης και έχει τον ίδιο μηχανισμό λειτουργίας κατά την μεταβολή φάσης. Μετρείται και υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της λανθάνουσας θερμότητας εξαέρωσης, έχοντας την ίδια αριθμητική τιμή και απλά αντίθετη φορά λειτουργίας μ' αυτή

Για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιείται η γνωστή μέθοδος Μειγμάτων της Θερμιδομετρίας :

Παράγουμε κορεσμένους ατμούς της ουσίας μας σε φιάλη και τους υγροποιούμε σε κατάλληλο ψυκτήρα. Το υγρό που παράγεται και το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται κατά την ψύξη (θερμότητα υγροποίησης), οδηγείται σε κατάλληλο θερμιδόμετρο και εκεί με την μέθοδο Μειγμάτων υπολογίζεται η ζητούμενη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης και κατ' επέκταση η ίση της αριθμητικά θερμότητα εξαέρωσης.

● 5.10 Εξάχνωση

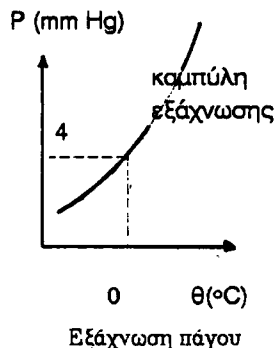
Η μετατροπή της στερεής φάσης σε αέρια κατ' ευθείαν δίχως να μεσολαβήσει η υγρή φάση λέγεται εξάχνωση. Υλικά που εξαχνώνονται : ιώδιο, ναφθαλίνη, στερεό διοξείδιο του άνθρακα, πάγος, καμφορά και γενικά στερεά σώματα που αναδίδουν οσμή.

Σαν τάση ατμών του στερεού χαρακτηρίζουμε την τιμή της πίεσης στην οποία σταματά η εξάχνωση.

Σε κάθε θερμοκρασία το στερεό σώμα και οι ατμοί του βρίσκονται σε ισορροπία όταν οι κορεσμένοι ατμοί έχουν ωρισμένη πίεση (τάση ατμών).

Μεταβάλλοντας την θερμοκρασία μεταβάλεται και η τάση των κορεσμένων ατμών. Στο διπλανό σχήμα παρακολουθούμε την καμπύλη εξάχνωσης του πάγου και διαπιστώνουμε πως σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του μηδενός ο πάγος εξαχνώνεται συνεχώς γιατί η τιμή της τάσης των ατμών του είναι αισθητή.

Κάθε σημείο της καμπύλης εξάχνωσης παριστάνει τις τιμές θερμοκρασίας-πίεσης που εξασφαλίζουν την ισορροπία ανάμεσα στο στερεό και στους ατμούς του, συνύπαρξη δηλαδή των δύο φάσεων στον ίδιο χώρο.



Το σημείο Α αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 0°C , (κανονικό σημείο τήξης). Για χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, το νερό βρίσκεται σε στερεή μορφή (πάγος) ενώ για υψηλότερες θερμοκρασίες σε υγρή μορφή.

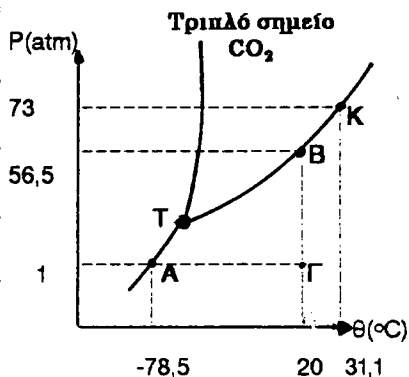
Αντίστοιχα το σημείο Β αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 100°C (κανονικό σημείο ζέσεως). Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, για χαμηλότερες τιμές το νερό συναντάται σε υγρή μορφή, ενώ για υψηλότερες θερμοκρασίες σε αέρια μορφή.

Ισορροπία φάσεων έχουμε όταν μέσα στον ίδιο χώρο η ύλη συνυπάρχει ταυτόχρονα με δύο διαφορετικές φάσεις. Αυτό συμβαίνει για σημεία που βρίσκονται πάνω σε μία από τις τρεις καμπύλες.

Στο τριπλό σημείο Τ συνυπάρχουν ΚΑΙ οι τρεις φάσεις και για το νερό το σημείο 73 αντιστοιχεί σε τιμές πίεσης 4,6 mm Hg και θερμοκρασίας $0,01^{\circ}\text{C}$.

Το σημείο Κ, χαρακτηρίζεται σαν κρίσιμο σημείο και είναι η τιμή της θερμοκρασίας κάθε σώματος πάνω από την οποία το σώμα βρίσκεται πάντοτε σε αέρια φάση ανεξάρτητα από την οσοδήποτε μεγάλη τιμή της πίεσής του.

Το διπλανό σχήμα παριστά το τριπλό σημείο του CO_2 . Κάτω από σταθερή ατμοσφαιρική συνήθη πίεση (1atm), παρατηρούμε πως περνάμε κατευθείαν από την στερή στην αέρια φάση, δίχως τήξη. Δηλαδή το θερμαινόμενο CO_2 με εξαχνωση υπό κανονική πίεση εξαερώνεται. Γι αυτό ονομάζεται ξηρός πάγος.



● 5.12 Ισόθερμοι Andrews

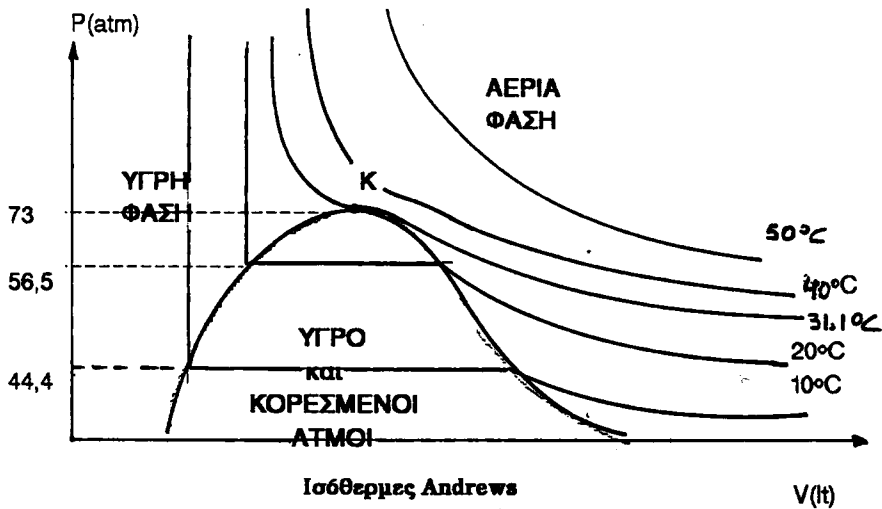
Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται η ισόθερμη συμπίεση που προκαλείται με την μεταβολή φάσης του CO_2 από αέρια σε υγρή. Στην ενδιάμεση κατάσταση εμφανίζεται μίγμα υγρού και ατμών.

Παρατηρούμε τις ισόθερμες καμπύλες πως στην υγρή περιοχή είναι κατακόρυφες ευθείες. Επομένως για μικρή μεταβολή όγκου πρέπει να ασκήσουμε πολύ μεγάλη πίεση (ασυμπίεστα τα ρευστά).

Στην περιοχή του μίγματος οι ισόθερμες γίνονται οριζόντιες. Εμφανίζεται σταθερότητα δηλ. της πίεσης και πράγματι η τάση των κορεσμένων ατμών είναι ανεξάρτητη του όγκου.

Στην αέρια φάση κοντά στην καμπύλη κόρου οι ισόθερμες παρουσιάζονται παραμορφωμένες δίχως πλέον οριζόντιο τμήμα (ατμός), ενώ υψηλότερα αρχίζουν να παίρνουν την μορφή της υπερβολής, γνωστή από το διάγραμμα P-V (ιδανικό αέριο).

Το κοινό σημείο των τριών περιοχών, ονομάζεται κρίσιμο σημείο και ορίζεται από την κρίσιμη πίεση και την κρίσιμη θερμοκρασία.



Παρατηρούμε πως αέριο σε θερμοκρασία μεγαλύτερη της κρίσιμης, όσο και αν συμπιεσθεί ισόθερμα, ΔΕΝ υγροποιείται. Θερμοδυναμική κατάσταση που περιγράφεται από κρίσιμες τιμές όγκου, θερμοκρασίας και πίεσης χαρακτηρίζεται σαν **κρίσιμη κατάσταση**.

Σ' αυτή την κατάσταση, η υγρή και η αέρια φάση παρουσιάζουν πολλές κοινές ιδιότητες, όπως δείκτη διάθλασης και πυκνότητα, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει διάκριση ανάμεσα στις δύο φάσεις. Έτσι για πιέσεις πάνω από την κρίσιμη τιμή, η καμπύλη τάσης κορεσμένων ατμών ΔΕΝ επεκτείνεται πάνω από το κρίσιμο σημείο. Κ, οπότε οι περιοχές υγρής και αερίου φάσης ΔΕΝ ξεχωρίζουν μεταξύ τους πλέον.

Το σμήνος των ισοθέρων καμπυλών του συγκεκριμένου αερίου και κάθε ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ αερίου έχει την μορφή του παραπάνω διαγράμματος και σχηματίζει τις **ισόθερμες του Andrews**.

Η περιοχή του μίγματος χωρίζεται από την αέρια περιοχή με την **καμπύλη κόρου**. Πάνω της βρίσκονται θερμοδυναμικές καταστάσεις που εμφανίζουν το σώμα αποκλειστικά σε μορφή κορεσμένων ατμών.

Χαρακτηρίζουμε σαν **ατμούς** τα αέρια που η θερμοδυναμική τους κατάσταση δηλώνεται από σημεία που βρίσκονται δίπλα στην καμπύλη κόρου.

Στην περιοχή των ατμών οι ισόθερμες δεν έχουν την μορφή υπερβολής. Όσο όμως αυξάνεται η θερμοκρασία σε τιμές πολύ μεγαλύτερες από την κρίσιμη θερμοκρασία, τότε εμφανίζεται η γνωστή από τον Νόμο Boyle-Mariote μορφή της υπερβολής στις ισόθερμες και το αέριο αρχίζει να αποκτά τις ιδιότητες του ιδανικού αερίου. Ακριβώς επειδή η κρίσιμη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (-140,7°C), είναι πολύ μικρότερη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, γι' αυτό ο ατμοσφαιρικός αέρας για θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρείται ιδανικό αέριο.

Στην κρίσιμη θερμοκρασία μπορούμε να υγροποιήσουμε ένα αέριο (συνύπαρξη υγρής και αερίου φάσης), ΜΟΝΟ όταν η πίεση και η πυκνότητά του πάρουν μια συγκεκριμένη τιμή (κρίσιμη πίεση, κρίσιμη πυκνότητα).

● 5.13 Εξίσωση CLAUSIUS-CLAPEYRON για την εξαέρωση

Ανάμεσα στην κλίση dP/dT της καμπύλης τάσης των κορεσμένων ατμών και της θερμοκρασίας dT , ισχύει η σχέση

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T^*V^*(V_{\text{αερίου}} - V_{\text{υγρού}})}$$

όπου L η λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης για 1gr υγρού και $V_{\text{αερίου}} - V_{\text{υγρού}}$ η μεταβολή όγκου που προήλθε από την εξαέρωση 1gr υγρού. Η επίλυση της σχέσης ως προς την θερμότητα εξαέρωσης ανά gr υγρού, μας δίνει

$$L = dP/dT \cdot T^* (V_{\text{αέριο}} - V_{\text{υγρό}})$$

Με την βοήθεια της πρώτης σχέσης υπολογίζουμε την αύξηση της τάσης dP κορεσμένων ατμών υγρού λόγω θέρμανσης dT . Παρατηρούμε με την βοήθεια της δεύτερης σχέσης, ότι με την θέρμανση, η θερμότητα εξαέρωσης ελαττώνεται μέχρι μηδενισμού της στην κρίσιμη θερμοκρασία.

(Διότι η μεταβολή όγκου $V_{\text{αέριο}} - V_{\text{υγρό}}$ μηδενίζεται στην κρίσιμη θερμοκρασία και η κλίση dP/dT έχει δεδομένη τιμή μη άπειρη)

● 5.14 Υγροποιημένα αέρια

Πολλά αέρια που χρησιμοποιούνται καθημερινά προσφέρονται σε υγρή μορφή στο εμπόριο. Η πίεση αυτών των αερίων στην συνηθισμένη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, γι' αυτό φυλάγονται μέσα σε χαλύβδινες φιάλες πιέσεως.

Στον διπλανό πίνακα εμφανίζονται τιμές τάσης κορεσμένων ατμών σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Πίεση σε atm	θερμοκρασία 20°C
SO ₂ 3,4	Freon 12
CO ₂ 56,5	(CF ₂ Cl ₂) 5,78
NH ₃ 8,7	Υγραέριο 5 (μίγμα προπανίου και βουτανίου)

● 5.15 Αέρια υγροποιούμενα σε χαμηλές θερμοκρασίες

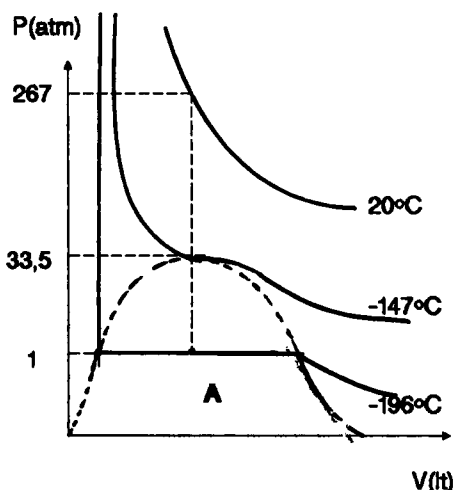
Η υγρόποίηση των αερίων N_2 , O_2 , H_2 δεν γίνεται μόνο με συμπίεση, αλλά πρέπει πρώτα να ψυχθούν σε χαμηλή θερμοκρασία.

Στο διπλανό σχήμα όπως φαίνεται από τις ισόθερμες Andrews για να υγροποιήσουμε το N_2 πρώτα το ψύχουμε κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία και μετά το συμπιέζουμε.

Παρατηρούμε πως αν συνεχίσουμε την ψύξη για την τιμή -196°C έχουμε τάση κορεσμένων ατμών 1 atm. Τότε το N_2 μπορεί να υγροποιηθεί δίχως συμπίεση. Αυτό είναι το γνωστό υγρό άζωτο.

Το υγρό άζωτο, το υγρό οξυγόνο, ο υγρός αέρας, αποθηκεύονται σε ειδικά δοχεία, αν θέλουμε τόσο χαμηλή θερμοκρασία, ώστε να έχουν τάση κορεσμένων ατμών 1atm. Φυλάγονται σε ειδικά ανοικτά δοχεία Dewar για να αποφύγουμε βρασμό ή αύξηση της πίεσής του με επακόλουθη έκρηξη.

Ισόθερμες Andrews N_2



● 5.16 Χαμηλές θερμοκρασίες

Για να επιτύχουμε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός χρησιμοποιούμε τις παρακάτω μεθόδους :

α) λίγο κάτω των 0°C : ψυκτικό μίγμα (τρία μέρη πάγου και ένα μέρος μαγειρικό αλάτι)

β) μέχρι -21°C : ψυκτικό μίγμα (100 μέρη CaCl_2 , 70 μέρη πάγου)

γ) μέχρι -70°C : στερεό CO_2 (ξηρός πάγος)

Εργαστηριακά ο ξηρός πάγος παρασκευάζεται με απλή εκτόνωση αερίου CO_2 σε φιάλη πίεσεως. Κατά την εκτόνωση η θερμοκρασία του κατεβαίνει τόσο πολύ ώστε μέρος του στεροποιείται. Αυτό συγκρατείται σε μάλινο σάκκο και αποθηκεύεται σε δοχείο Dewar

δ) μέχρι $-78,5^\circ\text{C}$: ξηρός πάγος με οινόπνευμα

ε) ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες : υγρό άζωτο, υγρός αέρας.

Αέριο	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{K}$
υγρό O_2	-183	90,2
" N_2	-195,8	77,4
" H_2		20,5
" He		4,3
απομανήτση		0,015

● 5.17 Υγρασία

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι πάντοτε μίγμα δύο φάσεων, αέριας και υγρής. Το πηλίκο της μάζας των υδρατμών m που βρίσκονται μέσα σε ένα αέριο μίγμα όγκου V , προς τον συνολικό όγκο του ατμοσφαιρικού αερίου μίγματος V , ορίζει την απόλυτη υγρασία β , υπολογίζεται από την σχέση

$$\beta = m/V$$

και μετρείται σε gr/m^3 .

Το πηλίκο της μάζας των υδρατμών m που περιέχει ορισμένος όγκος αέρα V , προς την μάζα $m_{κ.υ.}$ των κορεσμένων υδρατμών που θα έπρεπε να περιέχει ο ίδιος όγκος αέρα στην ίδια θερμοκρασία για να είναι κορεσμένος, ορίζει την σχετική υγρασία Σ υπολογίζεται από την σχέση

$$\Sigma = m/m_{κ.υ.}$$

και είναι καθαρός αριθμός και συνήθως ποσοστό επί %.

Η ίδια σχέση μπορεί να γραφεί με την μορφή όπου P η μερική πίεση των υδρατμών και $P_{κ.υ.}$ η τάση των κορεσμένων υδρατμών.

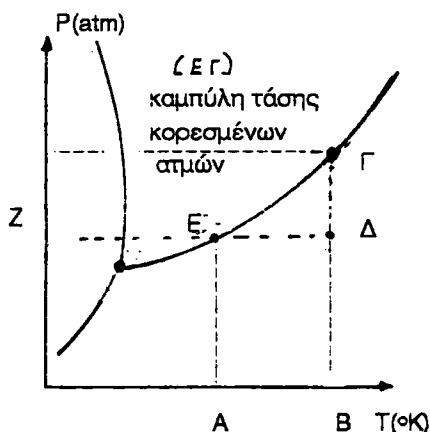
$$\Sigma = m/m_{κ.υ.}$$

Στο διπλανό διάγραμμα αν γνωρίζουμε την μερική πίεση P των υδρατμών και την θερμοκρασία T του ατμοσφαιρικού αέρα παριστάνουμε την ατμοσφαιρική κατάσταση με το σημείο Δ .

Η θερμοκρασία της κατάστασης Δ είναι $B(^{\circ}K)$ και η μερική πίεση των υδρατμών της $Z(atm)$.

Η τομή της $B\Delta$ με την καμπύλη τάσης των κορεσμένων ατμών δίνει την τάση των κορεσμένων υδρατμών $\Gamma(atm)$.

Επομένως το πηλίκο $(B\Delta)/(B\Gamma)$ είναι το πηλίκο $P/P_{κ.υ.}$, δηλαδή η σχετική υγρασία Σ .



Για τον υπολογισμό της απόλυτης και της σχετικής υγρασίας, χρήσιμη μας είναι η γνώση του σημείου δρόσου.

Ξέρουμε ότι οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας πάνω σε επιφάνειες ψυχρών σωμάτων, συμπυκνώνονται και σχηματίζουν στρώμα πολύ μικρών σταγονιδίων, την δρόσο (δροσιά, υγρασία).

Σαν σημείο δρόσου ατμοσφαιρικής κατάστασης ορίζουμε, εκείνη την τιμή της θερμοκρασίας στην οποία ψύχοντας τον αέρα τον καθιστούμε κορεσμένο και σχηματίζει δρόσο.

Ψύχουμε ισοβαρώς ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα πίεσης αρχικής $P=1atm$ και γνωστής αρχικής θερμοκρασίας T , μέχρι το σημείο δρόσου.

A) Τάση κορεσμένων ατμών και απόλυτη υγρασία σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας

θερμοκρασία (°C)	$P_{κ.υ.}$ (mmHg)	$\beta_{κ.υ.}$ (gr/m ³)
-15	1,44	1,32
-10	2,15	2,10
-5	3,16	3,20
0	4,58	4,90
5	6,54	6,72
10	9,21	9,41
15	12,79	12,9
20	17,54	17,3
25	23,76	23,0
30	31,83	30,4
35	42,18	39,6
40	55,32	51,1

B) Τάση $P_{κ.υ.}$ και μάζα m κορεσμένων υδρατμών που περιέχονται σε 1m³ αέρα

θερμοκρασία (°C)	$P_{κ.υ.}$ (mmHg)	m (gr/m ³)
-10	1,95	2,14
-5	3,01	3,24
0	4,58	4,84
5	6,5	6,80
10	9,2	9,2
15	12,8	12,8
20	17,5	17,3
25	23,8	23
30	31,8	30,3

Τότε από τον πίνακα Α ξέρουμε την τάση των κορεσμένων υδρατμών που αντιστοιχεί στο σημείο δρόσου, ξέρουμε και την μερική πίεση των υδρατμών που είναι η αρχική (ισοβαρής ψύξη), ξέρουμε και την μερική πίεση των υδρατμών που είναι η αρχική (ισοβαρής ψύξη), επομένως η **σχετική υγρασία** $\Sigma = P/P_{κ.υ.}$ υπολογίζεται.

Για τον υπολογισμό της απόλυτης υγρασίας β , από τον Β πίνακα βρίσκουμε την τιμή της απόλυτης υγρασίας $\beta_{δρόσου}$ στο σημείο $T_{δρόσου}$.

Αυτή ορίζεται από την σχέση

$$\beta_{δρόσου} = m/V_{δρόσου}$$

Αλλά $\beta = m/V$ και $m = \beta * V$, αντικαθιστούμε την μάζα m των υδρατμών στην σχέση

$$\beta_{δρόσου} = m/V_{δρόσου}$$

και έχουμε

$$\beta = \beta_{δρόσου} * (V_{δρόσου} / V)$$

Ομως $V_{δρόσου} / V = T_{δρόσου} / T$ και τελικά

$$\beta = \beta_{δρόσου} * (T_{δρόσου} / T)$$

● 5.18 Εύκρατες συνθήκες διαβίωσης-Κλιματισμός

Η ευχάριστη διαβίωση του ανθρώπου στον χώρο παραμονής και η παραγωγικότητά του στον χώρο εργασίας, προϋποθέτουν κάποιες συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες. Αυτές αφορούν τις τιμές της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ταχύτητας του αέρα που πρέπει να αναναιώνεται τακτικά.

α) Τιμές θερμοκρασίας ανάλογα με την εποχή, 20°C για τον χειμώνα και 26°C για το καλοκαίρι στους εσωτερικούς χώρους, κρίνονται ικανοποιητικές για την Ελλάδα.

β) Η σχετική υγρασία πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 45-60%. Η χαμηλή τιμή είναι κατάλληλη το καλοκαίρι όταν απαιτείται εξάτμιση του ιδρώτα και μάλιστα γρήγορη γιατί έτσι δημιουργείται ψύξη του δέρματος. Υψηλή τιμή υγρασίας εμποδίζει την εξάτμιση και προκαλεί εφίδρωση και δυσφορία.

γ) Ταχύτητα ανανεωμένου αέρα μεταξύ 0 και 0,1m/sec. Η τιμή 0 αναφέρεται σε ακίνητο, μη ανανεούμενο αέρα. Τιμή μεγαλύτερη της 0,1m/sec δημιουργεί "ρεύμα".

Οι παραπάνω συνθήκες ρυθμίζονται με ειδικές συσκευές τα καλούμενα **κλιματιστικά μηχανήματα** (air conditiones). Ρυθμίζεται η θερμοκρασία του χώρου, η υγρασία του και επιτυγχάνεται η κυκλοφορία και η ανανέωση του αέρα.

Αν προσπαθήσουμε απλά να θερμάνουμε τον χώρο με θερμαντικά σώματα ΜΟΝΟ, θα προκαλέσουμε και ταυτόχρονη μεταβολή της σχετικής υγρασίας με τελικές τιμές όχι πάντα κατάλληλες.

Ειδικά κατά την θέρμανση τους χειμερινούς μήνες κλειστών χώρων, η σχετική υγρασία πέφτει κάτω από την κανονική (72% των χειμώνα και 49% το καλοκαίρι για τα Ελλαδικά δεδομένα).

Γι αυτό οι εγκαταστάσεις κλιματισμού επεξεργάζονται τον αέρα σε διαδοχικά στάδια. Κατ' αρχήν ψύχεται ποσότητα αέρα κάτω του σημείου δρόσου, οπότε υγροποιείται. Το σχηματιζόμενο νερό αποβάλεται και έτσι έχουμε ρύθμιση της υγρασίας του συνολικού χώρου απομακρύνοντας μέρος των υδρατμών του μ' αυτό τον τρόπο. Μετά ο αέρας θερμαίνεται στην επιθυμητή θερμοκρασία και αφού καθαρισθεί από μικροοργανισμούς, στερεά σωματίδια, σκόνη, καπνό κ.λ.π. με ειδικά φίλτρα, τελικά διοχετεύεται στον χώρο διαμονής και εργασίας με συγκεκριμένη ροή, ταχύτητα και διεύθυνση ρεύματος.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Λυμένες

- **Γνωστά :** $\lambda_{\text{πάγου}} = 80\text{cal/gr}$, $c_{\text{πάγου}} = c_{\text{υδρατμού}} = 0,5\text{cal/gr*grad}$,
 $L_{\text{νερού}} = 540\text{cal/gr}$
- 1. Σε θερμιδόμετρο λιώνουν 0,8gr πάγου, όταν βάλουμε μέσα στο δοχείο 6,5gr ψευδαργύρου θερμοκρασίας 100°C. Να βρεθεί η ειδική θερμότητα του ψευδαργύρου.

ΛΥΣΗ

Για να λιώσει ο πάγος χρειάζεται ποσό θερμότητας $Q_{\text{π}} = m_{\text{π}} * \lambda_{\text{π}}$
όπου $m_{\text{π}} = 0,8\text{gr}$ και $\lambda_{\text{π}} = 80\text{cal/gr}$ γνωστή λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου. Με αντικατάσταση τελικά προκύπτει $Q_{\text{π}} = 64\text{cal}$.

Αυτό το ποσό θερμότητας το προσφέρει ο ψευδάργυρος που ψύχεται από τους 100°C σε 0°C και δίνεται από την σχέση $Q_{\text{Zn}} = m_{\text{Zn}} * c_{\text{Zn}} * (\theta_0 - \theta_1)$, όπου $m_{\text{Zn}} = 6,5\text{gr}$, c_{Zn} η ζητούμενη ειδική θερμότητα, $\theta_0 = 100^\circ$, $\theta_1 = 0^\circ\text{C}$.

Με αντικατάσταση προκύπτει ο μοναδικός άγνωστος η ειδική θερμότητα c_{Zn} του ψευδαργύρου και με επίλυση της εξίσωσης τελικά, $c_{\text{Zn}} = 0,0985\text{cal/gr*grad}$ Με αντικατάσταση προκύπτει ο μοναδικός άγνωστος η ειδική θερμότητα c_{Zn} του ψευδαργύρου και με επίλυση της εξίσωσης τελικά,
 $c_{\text{Zn}} = 0,0985\text{cal/gr*grad}$.

- 2. Υδρατμοί στους 30° C, έχουν όγκο 10lt και τάση 12atm. Σε τι κατάσταση βρίσκονται οι υδρατμοί, αν συμπιεστούν ισόθερμα μέχρι ο όγκος τους να γίνει 4lt; (μέγιστη τάση τους σε θερμοκρασία 30°C είναι 32atm)

ΛΥΣΗ

Από τον Νόμο της ισόθερμης μεταβολής έχουμε $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$,

με $P_1 = 12\text{atm}$, $V_1 = 10\text{lt}$, P_2 η άγνωστη πίεση και $V_2 = 4\text{lt}$.

Λύω ως προς $P_2 = P_1 * V_1 / V_2$ και με αντικατάσταση έχω $P_2 = 30\text{atm}..$

Παρατηρώ ότι η μέγιστη τάση των υδρατμών σ' αυτή την θερμοκρασία (30°C) είναι 32atm, δηλ. μεγαλύτερη από την τιμή της τάσης που βρήκαμε, άρα οι υδρατμοί ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΝ ακόρεστοι.

- 3. Πόση θερμότητα χρειάζεται για να μετατραπούν 60gr πάγου θερμοκρασίας -20°C σε υδρατμό θερμοκρασίας 130°C ;
(Δίνονται ειδική θερμότητα πάγου και υδρατμού $c=0,5\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$, λανθάνουσα θερμότητα τήξης πάγου $\lambda=80\text{cal/gr}$ και λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης νερού $L=540\text{cal/gr}$).

ΛΥΣΗ

Δεδομένα : μάζα πάγου $m_{\pi}=60\text{gr}$, αρχική θερμοκρασία πάγου $\theta_0=-20^{\circ}\text{C}$, ειδική θερμότητα νερού $c_v=1\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$, τελική θερμοκρασία συστήματος $\theta_r=130^{\circ}\text{C}$

Η μάζα του πάγου συνεχώς προσλαμβάνει ποσά θερμότητας .

- α) Το ποσό $Q_1=m_{\pi} \cdot c_{\pi} \cdot [0-(-20)]$ για να αυξήσει την θερμοκρασία της από -20°C σε 0°C . Με αντικατάσταση υπολογίζεται $Q_1=600\text{cal}$.
 - β) το ποσό $Q_2=m_{\pi} \cdot \lambda_{\pi}$ για να λιώσει και να μετραπεί σε νερό της αυτής -20°C σε 0°C . Με αντικατάσταση υπολογίζεται $Q_2=4800\text{cal}$.
 - γ) το ποσό $Q_3=m_v \cdot c_v \cdot (100-0)$ για να αυξήσει την θερμοκρασία το νερό πλέον από τους 0°C στους 100°C . Με αντικατάσταση υπολογίζεται $Q_3=6000\text{cal}$.
 - δ) το ποσό $Q_4=m_v \cdot L$ για να εξαερωθεί το νερό και να μετατραπεί σε υδρατμό της αυτής θερμοκρασίας των 100°C . Υπολογίζεται με την αντικατάσταση $Q_4=32400\text{cal}$
 - ε) το ποσό $Q_5=m_{\text{υδρ}} \cdot c_{\text{υδρ}} \cdot (130-100)$ για να αυξήσουν την θερμοκρασία τους οι υδρατμοί πλέον από σε 130°C . Υπολογίζεται $Q_5=900\text{cal}$.
- ΤΕΛΙΚΑ το απαιτούμενο ποσό θερμότητας για να μετατραπούν 60gr πάγου θερμοκρασίας -20°C σε υδρατμό 130°C , είναι το άθροισμα των Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 και μας δίνουν απαιτούμενο συνολικό ποσό θερμότητας $Q_{\text{ολικ}}=44700\text{cal}$.

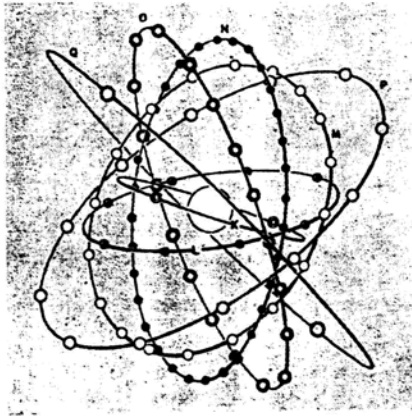
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

προς Λύση

- 1) Μέσα σε ανοιχτό δοχείο ασήμαντης θερμοχωρητικότητας , περιέχονται 500 gr πάγου θερμοκρασίας -20°C . Στον πάγο προσφέρεται θερμότητα με σταθερή παροχή 100cal/sec και για χρονικό διάστημα 700sec . Να παρασταθούν γραφικά οι σχέσεις : $\theta=\theta(t)$, $Q=Q(t)$, $Q=Q(\theta)$.
- 2) Κράμμα μετάλλου μάζας 300gr αποτελείται από Cu και Fe και θερμαίνεται στους 100°C . Μετά τοποθετείται μέσα σε θερμιδόμετρο από χαλκό μάζας 50gr που περιέχει 305gr πάγο θερμοκρασίας -23°C . Μετά την αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας , εμφανίζεται τελική θερμοκρασία 10°C . Ζητείται η μάζα κάθε μετάλλου του κράμματος. Δίδονται : $c_{\text{Cu}}=0,1\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$, $c_{\text{Fe}}=0,12\text{cal/gr}^{\circ}\text{grad}$.

- 3) Σε 500gr νερό θερμοκρασίας 20°C, ρίχνω κομμάτι πάγου μάζας 200gr και θερμοκρασίας -25°C. Ποιά είναι η τελική κατάσταση και η θερμοκρασία του συστήματος ;
- 4) Σε δοχείο ανακατεύονται 0,3kgr πάγου θερμοκρασίας -15°C με 1,8kgr νερό θερμοκρασίας 20°C και 0,15kgr υδρατμών θερμοκρασίας 120°C. Ποιά θα είναι η τελική κατάσταση και η θερμοκρασία του συστήματος ;
- 5) Σε ορειχάλκινο θεριδόμετρο μάζας 500gr, υπάρχουν 500gr πάγου θερμοκρασίας -20°C. Διοχετεύουμε στο θεριδόμετρο ρεύμα νερού θερμοκρασίας 80°C με παροχή 50gr/min. Σε 11min και 30sec λιώνει όλος ο πάγος. Μετά από πόσο χρόνο το θεριδόμετρο θα αποκτήσει τελική θερμοκρασία 20°C αν συνεχιστεί η παροχή του νερού ;
Δίνεται $c_{\text{ορειχ}} = 0,1 \text{ cal/gr} \cdot \text{grad}$ και $c_{\text{πάγου}} = 0,5 \text{ cal/gr} \cdot \text{grad}$
- 6) Μέσα σε 100gr νερό βρίσκονται 100gr πάγου. Πόση μάζα υδρατμών θερμοκρασίας 120°C πρέπει να διαβιβάσουμε στο σύστημα, ώστε να πάρουμε τελικά ΜΟΝΟ νερό θερμοκρασίας 15°C ;
- 7) Κομμάτι πάγου μάζας 100 gr επιπλέει πάνω σε νερό, μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο, όπου ρίχνουμε μέταλλο θερμοκρασίας 100°C και μάζας 150gr. Όταν αποκατασταθεί θερμική ισορροπία, εξακολουθεί να επιπλέει κομμάτι πάγου. Να υπολογισθεί η μάζα του πάγου που έλυσσε και η ελάτωση του όγκου του συστήματος πάγος-νερό..
Δίνονται $d_{\text{πάγου}} = 0,92 \text{ gr/cm}^3$ και $c_{\text{μετάλλου}} = 0,12 \text{ cal/gr} \cdot \text{grad}$
- 8) Σε θεριδόμετρο θερμοχωρητικότητας 50cal/grad, περιέχονται 2kgr πάγος, 5kgr νερό και 0,7kgr αλουμίνιο. Διοχετεύουμε μέσα στο δοχείο 80gr υδρατμού θερμοκρασίας 100°C. Ποιά είναι η τελική θερμοκρασία του συστήματος ; Ποιά είναι η τελική του κατάσταση ;
Δίνεται $c_{\text{αλουμ}} = 0,21 \text{ cal/gr} \cdot \text{grad}$.
- 9) Ανοικτό δοχείο 2lt, περιέχει ατμοσφαιρικό αέρα θερμοκρασίας 20°C και ποσότητα νερού. Το δοχείο κλείνεται αεροστεγώς και θερμαίνεται σε θερμοκρασία 100°C. Ποιά είναι η τελική ολική πίεση μέσα στο δοχείο ;
- 10) Διοξείδιο του άνθρακα σε σταθερή πίεση 10atm, διέρχεται από σωλήνα μέσα στον οποίο ψύχεται από θερμοκρασία 40°C μέχρι να υγροποιηθεί εντελώς. Να παρασταθεί σε διάγραμμα P-V η μεταβολή της κατάστασής του.

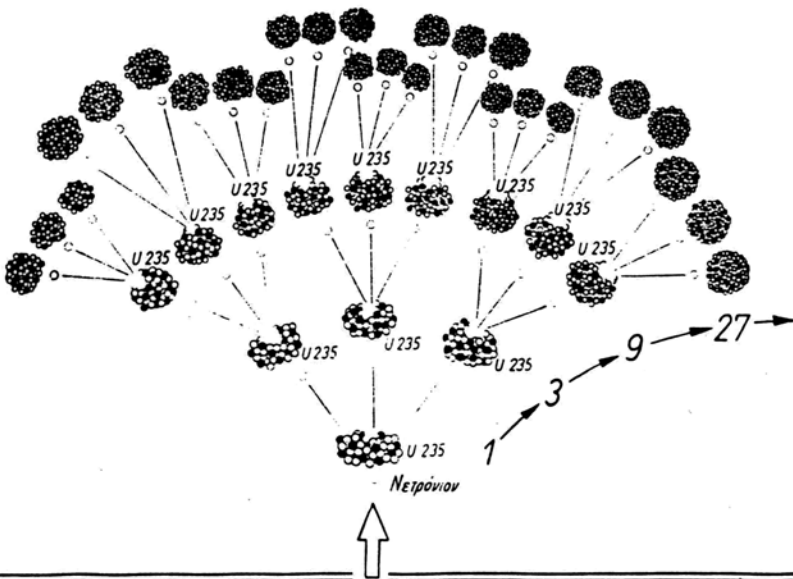
ΑΤΟΜΙΚΗ



ΚΑΙ

ΠΥΡΗΝΙΚΗ

ΦΥΣΙΚΗ



Κεφάλαιο 6ο

ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

1.Εισαγωγή

● 1.1 Θεωρία κβάντα

Τα περισσότερα φαινόμενα της Οπτικής, διάθλαση, ανάκλαση, συμβολή του φωτός, εξηγούνται ικανοποιητικά αν θεωρήσουμε ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο Huygens το 1677 διατύπωσε πρώτος την θεωρία για την κυματική φύση του φωτός και φαινόμενα όπως η συμβολή, η παράθλαση και η πόλωση του φωτός τον δικαίωσαν. Το φως σαν κύμα, έχει συχνότητα ν , μήκος κύματος λ και μεταδίδεται με ταχύτητα c που δίνεται από την εξίσωση

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Εκπέμπεται με ακτινοβολία και απορροφάται από την ύλη (άτομα) συνεχώς.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπως το συνεχές φάσμα του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, που δεν ερμηνεύονται με αυτή την θεωρία.

Έτσι ο Planck για να ερμηνεύσει τα φαινόμενα εκπομπής του φωτός, δέχθηκε (1900) πως η ενέργεια που παράγεται από ακτινοβολία, διαδίδεται με ασυνεχή τρόπο με την μορφή ξεχωριστών μικρών κομματιών ενέργειας.

Ο δημιουργός της θεωρίας των κβάντα Max Planck, όρισε σαν κβάντα τα πολύ μικρά, αδιαίρετα και στοιχειώδη ποσά ενέργειας, τα οποία επέμπονται από ταλαντούμενο σύστημα ή μεταφέρονται από ακτινοβολία καθορισμένης συχνότητας.

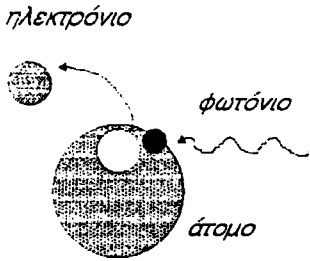
Η ολική ενέργεια της δέσμης εκπομπής, είναι το άθροισμα της ενέργειας κάθε quantum, με ενέργεια quantum

$$E = h \cdot \nu$$

Ο συντελεστής h είναι η σταθερά δράσης του Planck με τιμή $6,7 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$ στο σύστημα C.G.S.

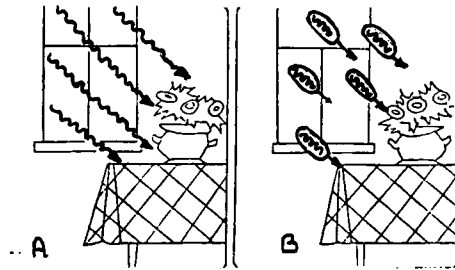
Όταν ακτινοβολία πέσει πάνω σε ορισμένα μέταλλα, τότε από τα άτομα του μετάλλου εκπέμπονται ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο).

Ο Einstein προσπαθώντας να ερμηνεύσει το φαινόμενο γενίκευσε την θεωρία του Planck και απέδειξε ότι τα άτομα απορροφούν την ακτινοβολία που



ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ φαινόμενο

Το φωτόνιο πέφτει πάνω στο άτομο, προσφέρει ενέργεια $h \cdot \nu$ και αποσπά ηλεκτρόνιο



Οι δύο θεωρίες για την μετάδοση του φωτός:
A με συνεχείς κυμάνσεις και B με κβάντα

πέφτει πάνω τους κατά κβάντα φωτός, τα φωτόνια με ενέργεια κάθε φωτονίου $E = h \cdot \nu$.

ΓΕΝΙΚΑ η θεωρία των κβάντα απέδειξε :

- 1ο. Τα άτομα της ύλης εκπέμπουν και απορροφούν την φωτεινή ακτινοβολία με μορφή φωτονίων και
- 2ο. Τα φωτόνια κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και μεταφέρουν ενέργεια ανάλογη της συχνότητας της ακτινοβολίας.

Παραδείγματα κβαντισμένων μεγεθών.

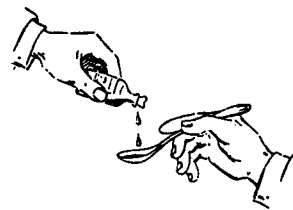
Φυσικό μέγεθος χαρακτηρίζεται κβαντισμένο, όταν κάθε τιμή του προκύπτει σαν ακέραιο πολλαπλάσιο μιας θεμελιώδους, στοιχειώδους και ομοειδούς ποσότητας .

Κβαντισμένα μεγέθη μπορούμε να διακρίνουμε και μάλιστα να διακρίνουμε τα κβάντα τους, ΜΟΝΟ στον Μικρόκοσμο και σε ατομικές διαστάσεις.

Έτσι με την θεωρία των κβάντα αναπτύχθηκε παράλληλα με την Κλασική Φυσική και η ΚβαντοΜηχανική που μελετά την ύπαρξη και τις κινήσεις των υποατομικών σωματιδίων

Κλασικό παράδειγμα κβαντισμένου μεγέθους είναι η ροή υγρού από σταγονόμετρο.

Επίσης το κούρδισμα ρολογιού, η ανύψωση του αυτοκινήτου με τον γρύλλο, είναι κινήσεις κβαντισμένες, και όχι συνεχούς ροής.



Απλό παράδειγμα κβαντισμένου μεγέθους : οι σταγόνες ροής του υγρού

● 1.2 Θεωρία της Σχετικότητας

Στην αφχή του 20ου αιώνα η Φυσική είχε οριστικά αποκαλύψει και εξετάσει τα τέσσερα βασικά μεγέθη : χώρο, χρόνο, μάζα και ενέργεια. Αλλά κάποια

νέωτερα δεδομένα που προέκυψαν από διάφορα πειράματα, όπως των Michelson -Morley (1887), δεν μπορούσαν να ερμηνευθούν με την Κλασική Νευτώνεια Μηχανική.

Ο Αϊνστάιν (1905) προσπάθησε να ερμηνεύσει τις αποκλίσεις των φαινομένων αυτών από την Κλασική Φυσική και κατέληξε στην διαμόρφωση της θεωρίας της Σχετικότητας που αμφισβήτησε τις κλασικές έννοιες της Φυσικής. Οι δύο νέες θεωρίες, η θεωρία των κβάντα και η θεωρία της Σχετικότητας άνοιξαν νέους ορίζοντες στην ανθρώπινη σκέψη και έθεσαν τις βάσεις της Νεώτερης Φυσικής.

Μεταγενέστερες πειραματικές και θεωρητικές μελέτες επιβεβαίωσαν, στήριξαν και συμπλήρωσαν την θεωρία της Σχετικότητας που αποτελείται από δύο τμήματα, την Ειδική και την Γενική θεωρία της Σχετικότητας.

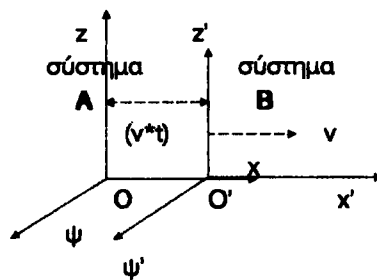
α) Ειδική θεωρία της Σχετικότητας

Ασχολείται με συστήματα αναφοράς που κινούνται με σταθερή ταχύτητα το ένα προς το άλλο.

Στο διπλανό σχήμα το σύστημα αναφοράς **A** είναι ακίνητο, ενώ το **B** κινείται ευθύγραμμα και ομαλά ως προς το A με ταχύτητα v και οι άξονές τους Ox και $O'x'$ πάντοτε συμπίπτουν.

Ισχύουν οι δύο παρακάτω αρχές της Ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας για τα συστήματα αναφοράς:

1. Οι νόμοι της Φυσικής που ισχύουν για ένα ακίνητο σύστημα αναφοράς, ισχύουν ακριβώς οι ίδιοι και για οποιοδήποτε άλλο σύστημα αναφοράς που κινείται ευθύγραμμα και ομαλά ως προς το πρώτο.



2. Για παρατηρητή που βρίσκεται στο ακίνητο σύστημα ανα-

φοράς ή και για αντίστοιχο παρατηρητή που βρίσκεται σε κινούμενο σύστημα, η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η ίδια και ανεξάρτητη από την σχετική ταχύτητα της φωτεινής πηγής προς τον παρατηρητή.

Οι δύο παραπάνω αρχές καταρρίπτουν την έννοια του απόλυτου χρόνου που κυλά ομοιόμορφα και εισάγουν νέες απόψεις στην Φυσική του Μικρόκοσμου. Έτσι έχουμε νέα δεδομένα για την εξάρτηση της μάζας κινούμενου σώματος από την ταχύτητα και εξετάζουμε την διαστολή του χρόνου και την συστολή του μήκους σαν συμπεράσματα των γενικών αρχών της Ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας.

● 1.2.1. Μεταβολή της μάζας με την ταχύτητα

Η Κλασική Μηχανική θεωρούσε την μάζα των σωμάτων σταθερή και ανεξάρτητη από την ταχύτητά τους. Η ειδική θεωρία της Σχετικότητας αποδεικνύει θεωρητικά την εξάρτηση της μάζας κινούμενου σώματος από την ταχύτητα κίνησής του.

Συγκεκριμένα αν m_0 η μάζα σώματος σε ηρεμία, τότε η τιμή της μάζας του σώματος m σε κίνηση με ταχύτητα v

δίνεται από την σχέση :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός

στο κενό με $c=3 \cdot 10^8 \text{ km/sec} = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}$

Στον Μακρόκοσμο οι ταχύτητες που παρατηρούνται είναι πολύ μικρότερες της ταχύτητας του φωτός, έτσι το κλάσμα $(v/c)^2$ είναι πολύ μικρό και τελικά προκύπτει $m \approx m_0$.

Στον Μικρόκοσμο όμως παρατηρούνται συχνά σωματίδια με ταχύτητες παραπλήσιες του φωτός και πειραματικά πράγματι αποδείχθηκε ότι η μάζα τους μεταβάλλεται όπως προέβλεψε η ειδική θεωρία της Σχετικότητας.

Παρατηρούμε στην σχέση μεταβολής της μάζας, ότι όσο η ταχύτητα του σωματιδίου αυξάνει, αυξάνει και η μάζα του και αν γίνει ίση με την ταχύτητα του φωτός τότε η μάζα του γίνεται άπειρη, επομένως και η αδράνεια του σώματος γίνεται άπειρη. Αρα ΔΕΝ μπορεί να κινηθεί ύλη με την ταχύτητα του φωτός στο κενό. Έτσι με την ειδική θεωρία της Σχετικότητας, η ταχύτητα του φωτός τέθηκε σαν άνω όριο ταχυτήτων στο σύμπαν.

● 1.2.2. Διατήρηση της υλοενέργειας

Η αρχή Διατήρησης της μάζας διατυπώθηκε από την Χημεία με την μορφή της Αρχής αφθαρσίας της ύλης. Η Φυσική ασχολήθηκε με την αρχή Διατήρησης της ενέργειας. Η ύλη και η ενέργεια θεωρούνταν δύο ξεχωριστές φυσικές οντότητες.

Η θεωρία της Σχετικότητας προέβλεψε με την σχέση εξάρτησης της μάζας-ύλης από την ταχύτητα και κατ' επέκταση από την Κινητική ενέργεια, ότι η ύλη μετατρέπεται σε ενέργεια και αντίστροφα. Αργότερα με την ανάπτυξη της Ατομικής Φυσικής και την έρευνα στον υποατομικό κόσμο, επιβεβαιώθηκε και πειραματικά, ότι υπάρχει ΜΟΝΟ ΜΙΑ φυσική οντότητα η υλοενέργεια, η οποία ανάλογα με τις συνθήκες εμφανίζεται με την μία ή την άλλη της μορφή. Έτσι οι δύο γνωστές αρχές Διατήρησης της ύλης και της ενέργειας συγχωρεύονται πλέον σε μία, την αρχή Διατήρησης της υλοενέργειας:

Η ποσότητα της υλοενέργειας που υπάρχει στην φύση είναι σταθερή. Κάθε ποσότητα ύλης είναι ισοδύναμη με ορισμένη ποσότητα ενέργειας και αντίστροφα. Η ισοδυναμία ύλης-ενέργειας δίνεται από την σχέση :

$$E = m \cdot c^2$$

με c την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

● 1.2.3. Συστολή μήκους-Διαστολή χρόνου

Η ειδική θεωρία της Σχετικότητας κατέληξε στο παρακάτω συμπέρασμα για την μέτρηση, του μήκους από απόσταση.

Εστω ότι κάποιο μήκος κινείται και μετρείται από κάποια απόσταση από ακίνητο παρατηρητή. Τότε το μήκος για τον ακίνητο παρατηρητή φαίνεται μικρότερο κατά Δl με $\Delta l = l_0 - l$ που δίνεται από την σχέση :

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

όπου l_0 το αρχικό κινούμενο μήκος,

l το μικρότερο φαινόμενο μήκος, v η σχετική ταχύτητα του κινουμένου μήκους ως προς τον ακίνητο παρατηρητή και c η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τον χρόνο. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικά γεγονότα για ακίνητο και για κινούμενο παρατηρητή ΔΕΝ είναι το ίδιο. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται μεγαλύτερο το χρονικό διάστημα που μετρείται από τον ακίνητο παρατηρητή κατά Δt με $\Delta t = t - t_0$ όπου ο χρόνος t δίνεται από την σχέση :

$$t = t_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

με t ο χρόνος για τον ακίνητο παρατηρητή

και t_0 ο χρόνος για τον παρατηρητή που κινείται με ταχύτητα v .

Η ειδική θεωρία της Σχετικότητας εισήγαγε τις νέες απόψεις περί Συστολής του μήκους και Διαστολής του χρόνου ανάμεσα σε μεγέθη σταθερά για την Κλασική Φυσική που μετρούνται σε ακίνητο και σε κινούμενο σύστημα αναφοράς.

Οι ενδιαφέρουσες αυτές νέες απόψεις, βρήκαν άμεση εφαρμογή στην Φυσική του Ατόμου και μάλιστα επαληθεύτηκαν κατά την διάσπαση των ασταθών σωματιδίων μ-μεσονίων.

● 1.3 Φύση της ακτινοβολίας

Με την κυματική φύση του φωτός ερμηνεύονται τα φαινόμενα της Φυσικής Οπτικής και της Γεωμετρικής Οπτικής κυρίως. Αλλά φαινόμενα όπως το Φωτοηλεκτρικό και το φαινόμενο Κόμπτον, επιβάλουν για την ερμηνεία τους την υλική σωματιδιακή φύση του φωτός.

Τελικά καταλήξαμε στην διπλή φύση ΚΑΙ κυματική ΚΑΙ σωματιδιακή και δεχθήκαμε ότι το φως είναι μάζα που μεταδίδεται με κυματική μορφή (υλοκύμα). Ανάλογα με τις καταστάσεις τονίζεται η μία ή η άλλη μορφή του.

Ετσι για μικρές συχνότητες διάδοσης (ραδιοφωνικά κύματα), το φως εμφανίζεται σαν κύμανση, ενώ σε μεγάλες συχνότητες (ορατό φως), εμφανίζεται και με τις δύο μορφές ανάλογα με την περίπτωση. Στις πολύ υψηλές συχνότητες (ακτίνες γ , X) εμφανίζεται αποκλειστικά με σωματιδιακή μορφή (φωτόνια).

Γενικά η Κλασική Φυσική δέχεται την ΣΥΝΕΧΕΙΑ των Φυσικών φαινομένων. Η ανακάλυψη των κβάντα από τον Πλάνκ, ήταν η πρώτη ένδειξη ασυνέχειας για ορισμένα τουλάχιστον Φυσικά φαινόμενα.

Τα φωτόνια του Αινστάιν και τα φαινόμενα που γίνονται με αυτά αποδεικνύουν τελικά ότι η ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ στην φύση ΔΕΝ είναι τόσο σπάνια.

Τελικά η διάκριση ανάμεσα στην Κλασική Φυσική και την κβαντοφυσική, έγινε ΟΥΣΙΩΔΗΣ. Πράγματι τα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην περιοχή του

ατόμου, είναι πάντοτε ΑΣΥΝΕΧΗ (Μικρόκοσμος, Μικροφυσική-Κβαντοφυσική). Ενώ η ΣΥΝΕΧΕΙΑ των φαινομένων, παραμένει στην μοριακή περιοχή και άνω (συνήθη φυσικά σώματα, Μακρόκοσμος, Μακροφυσική- Κλασσική Φυσική).

2.Μελέτη του χώρου του Ατόμου

● 2.1 Δομή του Ατόμου

● Ατομικά υπόδειγμα της Κλασσικής Φυσικής

1.Υπόδειγμα ελαστικών σφαιρών

Οι παρακάτω Φυσικοί Νόμοι και πειραματικά δεδομένα

- α) Μάζα και διάμετρος των ατόμων
- β) Νόμος διατήρησης της μάζας
- γ) Νόμος των σταθερών αναλογιών
- δ) Νόμος των απλών πολλαπλασίων
- ε) Νόμοι των αερίων
- στ)Νόμοι Κινητικής θεωρίας της θερμότητας
- ζ) Μεταβολές θερμοδυναμικών καταστάσεων

οδήγησαν τους επιστήμονες στο πρώτο και πλέον απλό μηχανικό υπόδειγμα ατομικής δομής.

Ονομάζεται υπόδειγμα **ελαστικών σφαιρών** και θεωρεί τα άτομα σαν ομογενείς, υλικές και τελείως ελαστικές μικρές σφαίρες.

Ακόμη και σήμερα όταν εξετάζουμε τον Μακρόκοσμο δεχόμαστε το πρότυπο αυτό, ειδικά στην θεωρία περί ιδανικών αερίων.

2. Ατομικό υπόδειγμα THOMSON

- α) η ανακάλυψη της ραδιενέργειας με την εκπομπή από τα άτομα θετικά και αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων, που θα έπρεπε να προυπάρχουν μέσα στα άτομα και
- β) η σχέση μεταξύ των ατόμων και του ηλεκτρισμού, όπως προέκυψε από το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης και από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις μέσα σε αέρια, μας ανάγκασαν να δεχθούμε ότι μέσα στα άτομα όχι μόνο υπάρχουν θετικά και αρνητικά φορτία, αλλά πρέπει να βρίσκονται και σε ισορροπία γιατί το άτομο παρουσιάζεται ηλεκτρικά ουδέτερο.

Ετσι ο Sir J.J.Thomson πρότεινε το 1904 το ομώνυμο υπόδειγμα, σύμφωνα με το οποίο:

- α) Τα άτομα είναι μικρές σφαίρες γεμμάτες, χωρίς κενά, από θετικά φορτία και μάζα (σταφιδόψωμο).
- β) Τα ηλεκτρόνια (σταφίδες) βρίσκονται ακίνητα σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στην μάζα του ατόμου, συγκρατούνται με ηλεκτροστατικές δυνάμεις και είναι τόσα ώστε να εξουδετερώνουν τα θετικά φορτία ώστε το άτομο να εμφανίζεται ηλεκτρικά ουδέτερο.

Με το ατομικό υπόδειγμα του Τόμσον, που χαρακτηρίστηκε σαν **σταφιδόψωμο**, ερμηνεύθηκε η συμπεριφορά γνωστών φορτισμένων σωματιδίων, όπως ιόντων και ελεύθερων ηλεκτρονίων, αλλά ούτε η ραδιενέργεια, ούτε η εκπομπή ακτινοβολίας β μπορούσαν να αντιμετωπισθούν.

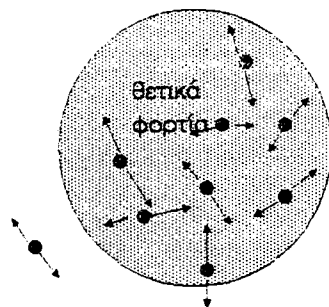
3. Πλανητικό ατομικό υπόδειγμα RUTHERFORD.

Η σκέδαση των σωματιδίων α κατά την διέλευση τους από λεπτό μεταλλικό φύλλο, οδήγησε τον Νεοζηλανδό Φυσικό Ράδερφορντ το 1911 να προτείνει το δικό του ατομικό πρότυπο:

- α) Ολοκλήρη σχεδόν η μάζα του ατόμου βρίσκεται συγκεντρωμένη στο κέντρο του, τον **πυρήνα**, που έχει διάμετρο 10^{-14} - 10^{-15} m, ενώ η διάμετρος ολοκλήρου του ατόμου είναι 10^{-9} - 10^{-10} m. Έτσι ο όγκος του πυρήνα είναι το 10^{-15} του όγκου του ατόμου. Δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος του ατόμου είναι κενό από ύλη.
- β) Ο πυρήνας είναι θετικά φορτισμένος και περιβάλλεται από ένα φλοιό αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων, αριθμού ικανού να εξουδετερώνει το θετικό φορτίο του και έτσι να εμφανίζεται το άτομο ηλεκτρικά ουδέτερο. Τα όρια του φλοιού καθορίζουν την διάμετρο του ατόμου και σχηματίζουν σταθερό περίβλημα.
- γ) Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα σαν πλανήτες γύρω από τον ήλιο (**πλανητικό πρότυπο**) και συγκρατούνται στις τροχιές τους με ελκτικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις που ενεργούν σαν κεντρομόλοι δυνάμεις.

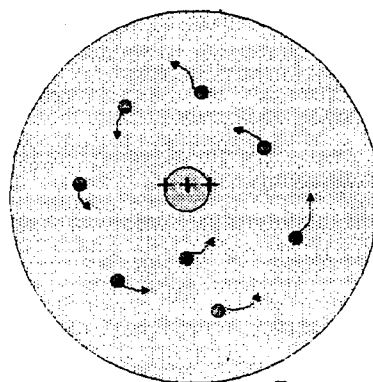
Παρά το γεγονός ότι για πρώτη φορά προτείνεται Δυναμικό υπόδειγμα, εν τούτοις και ο Ράδερφορντ δεν μπορεί με το υπόδειγμά του να εξηγήσει την εμφάνιση γραμμών στο συνεχές φάσμα εκπομπής των ατόμων.

Επίσης έρχεται σε σύγκρουση με τους νόμους της Κλασικής Δυναμικής σύμφωνα με τους οποίους κάθε ηλεκτρόνιο επειδή κινείται με επιτάχυνση, θα έπρεπε να εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα.



ταλαντούμενο
ηλεκτρόνιο

(σταφιδόψωμο)
τα ηλεκτρόνια μπορούν να
ταλαντεύονται γύρω από την θέση
ισορροπίας τους



ηλεκτρόνιο
αρνητικά
φορτισμένο

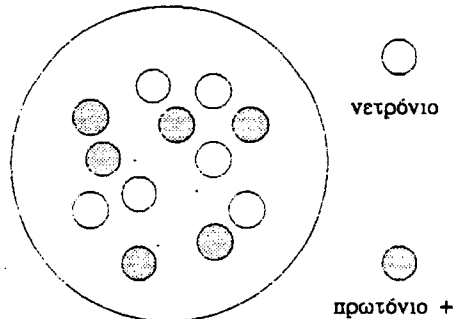
πυρήνας
θετικά
φορτισμένος

Ετσι θα έχανε συνέχεια κινητική ενέργεια με αποτέλεσμα την συνεχή μείωση της ακτίνας τροχιάς του, με επακόλουθο την πτώση του πάνω στον πυρήνα, κάτι που δεν συμβαίνει κατά τον Ράδερφορντ.

4. Σύγχρονη αντίληψη για το ατομικό πρότυπο

- α) Στο κέντρο του ατόμου υπάρχει συγκεντρωμένη η μάζα του, στον πυρήνα, ο οποίος είναι θετικά φορτισμένος και αποτελείται από δύο είδη σωματιδίων τα πρωτόνια και τα νετρόνια.
- β) Γύρω από τον πυρήνα σε μεγάλες αποστάσεις και σε συγκεκριμένες κυκλικές και ελλειπτικές τροχιές, περιφέρονται σωματίδια ελάχιστης μάζας, αρνητικά φορτισμένα, τα ηλεκτρόνια.

- γ) Από τα σωματίδια του πυρήνα, τα νουκλεόνια, το πρωτόνιο έχει μάζα 1836 φορές μεγαλύτερη από την μάζα του ηλεκτρονίου και φέρει το στοιχειώδες θετικό φορτίο ίσο με $+1,6021 \cdot 10^{-19} \text{Cb}$. Το νετρόνιο έχει μάζα λίγο μεγαλύτερη του πρωτονίου, αλλά είναι αφόρτιστο σωματίδιο.



Υπόδειγμα πυρήνα
με τα νουκλεόνια $p + n$

- δ) το ηλεκτρόνιο έχει ελάχιστη μάζα ίση με $9,109 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ και φέρει το στοιχειώδες αρνητικό φορτίο ίσο με το φορτίο του πρωτονίου.

- ε) Ο αριθμός πρωτονίων και ηλεκτρονίων είναι ίδιος και έτσι το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.

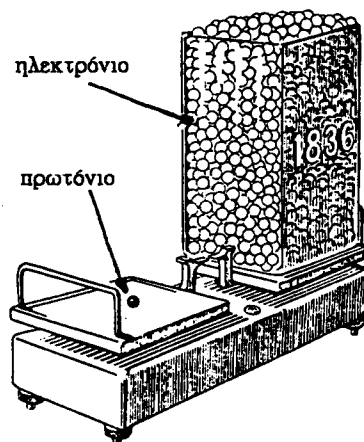
- στ) μέχρι το 1932 πιστεύαμε ότι ο Μικρόκοσμος περιείχε μόνο τρία είδη σωματιδίων: το πρωτόνιο, το ηλεκτρόνιο και το αφόρτιστο κβάντο της φωτεινής ακτινοβολίας, το φωτόνιο.

Εκτοτε ανακαλύφθηκε το νετρόνιο, το ποζιτρόνιο και το νετρίνο.

Με το νετρόνιο λύσαμε το πρόβλημα της δομής του πυρήνα.

Το νετρίνο εμφανίσθηκε σαν συνοδός του ηλεκτρονίου κατά την έρευνα της ραδιενέργειας β.

Το ποζιτρόνιο εμφανίσθηκε σαν θετικό ηλεκτρόνιο. Για πρώτη φορά είχαμε ένδειξη ύπαρξης σειράς



$$m_p = 1836 \cdot m_e$$

σωματιδίων αντίθετης συμπεριφοράς με τα ίδια γνωστά και έτσι παράλληλα με την ύλη δεχθήκαμε την ύπαρξη αντιύλης. Κάθε αντισωματίδιο διαφέρει κατά ένα τουλάχιστο χαρακτηριστικό από το αντίστοιχο σωματίδιο, συνήθως είναι αντιθέτου φορτίου.

<u>σωματίδια</u>	<u>αντισωματίδια</u>
ηλεκτρόνιο (-)	ποζιτρόνιο (+)
μ μεσόνιο (-)	μ μεσόνιο (+)
π μεσόνιο (-)	π μεσόνιο (+)
πρωτόνιο (+)	αντιπρωτόνιο (-)



Τα νουκλεόνια αποτελούνται από τρία quark

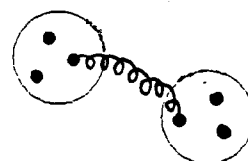
Τα σωματίδια της ύλης και της αντιύλης ανάλογα με την μάζα τους κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες

- α) Δεπτόνια** (ελαφρά σωματίδια): φωτόνιο, νεutrίνο, ηλεκτρόνιο, ποζιτρόνιο, μ μεσόνια (μίονια).
- β) Μεσόνια** (μέσης μάζας): Έχουν μάζα αρκετές εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη της μάζας του ηλεκτρονίου. Εδώ ανήκουν τα π μεσόνια (πιόνια), το η μεσόνιο, το ρ μεσόνιο, το ω μεσόνιο και το Κ μεσόνιο(καόνιο).
- γ) Βαρυόνια**(βαρέα σωματίδια): Νουκλεόνια (πρωτόνιο, νεutrόνιο) και τα υπερβαρέα υπερόνια.
- δ) Αδρόνια** . Σήμερα πιστεύουμε ότι τα νουκλεόνια ΔΕΝ είναι στοιχειώδη. Κατέχουν κάποια έκταση στον χώρο (10^{-13}cm) και αποτελούνται από τρία άλλα μικρότερα σωματίδια, τα quark.

Τα νουκλεόνια, μαζί με άλλα σωματίδια με παρόμοιες ιδιότητες, ανήκουν στην οικογένεια των αδρονίων. Όλα τα αδρόνια είναι σύνθετα σωματίδια και αποτελούνται συνήθως από τρία διαφορετικά quark. Το u (έχει φορτίο ίσο με $2/3q_e$) το d και το s έχουν το ίδιο φορτίο ίσο με $1/3 q_e$.

Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα quark μέσα στα αδρόνια είναι πολύ ισχυρότερες από τις βαρυτικές και τις ηλεκτρικές και λέγονται ισχυρές δυνάμεις. Το κβάντο αυτών των ισχυρών αλληλεπιδράσεων είναι το γλιουον.

Με τα στοιχειώδη παραπάνω υποατομικά σωματίδια ασχολείται η Φυσική των Στοιχειωδών σωματιδίων, ή Φυσική των Υψηλών Ενεργειών, με εφαρμογές κυρίως στην Πυρηνική Τεχνολογία.



Οι ισχυρές δυνάμεις μεταξύ δύο αδρονίων είναι δυνάμεις μεταξύ των quark των αδρονίων

● 2.2 Κβαντικοί αριθμοί

Τα ηλεκτρόνια κατά τον N.Bohr κινούνται σε συγκεκριμένες κυκλικές τροχιές σύμφωνα με τις δύο συνθήκες του (1913):

1η. Οι επιτρεπτές κυκλικές τροχιές περιστροφής των ηλεκτρονίων είναι

εκείνες στις οποίες έχουν στροφορμή ακέραιο πολλαπλάσιο της ποσότητας $h/2\pi$, όπου h η σταθερά του Planck και η ακέραιος θετικός αριθμός ο λεγόμενος κύριος κβαντικός αριθμός.

Δηλαδή

$$m \cdot v \cdot r = \eta \cdot h / 2\pi$$

2η. Όταν τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται στις επιτρεπτές από την 1η συνθήκη τροχιές, τότε το άτομο δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Ακτινοβολία εκπέμπει μόνο όταν ηλεκτρόνιο μεταπηδά από κάποια τροχιά σε άλλη, μικρότερης ενέργειας. Δηλαδή

$$E_{\text{αρχ}} - E_{\text{τελ}} = h \cdot \nu$$

Ο Γερμανός θεωρητικός Φυσικός A.Sommerfeld απέδειξε ότι το ηλεκτρόνιο εκτός από τις κυκλικές τροχιές μπορεί να διαγράφει και ελλειπτικές.

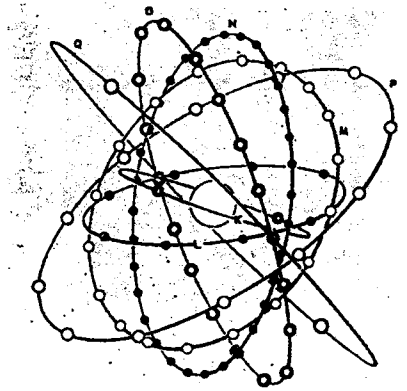
Η εισαγωγή των ελλειπτικών τροχιών του Σόμερφελντ εκτός από τις κυκλικές του Μπόρ, έκανε πιο περίπλοκη την ατομική δομή, αλλά εξήγησε την λεπτή υφή των γραμμών του φάσματος εκπομπής του υδρογόνου (οι φασματικές γραμμές του φάσματος εκπομπής του υδρογόνου παρουσιάζονται στον φασματογράφο όχι απλές, αλλά διπλές, τριπλές και περισσότερο περίπλοκες).

Οι κβαντικοί αριθμοί περιγράφουν πλήρως την κίνηση του ηλεκτρονίου.

Καθορίζουν την ακριβή του θέση και τον προσανατολισμό του εν σχέση με την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Κάθε ηλεκτρόνιο ανήκει σε κάποια κυκλική τροχιά ή φλοιό ή στιβάδα με αύξοντα αριθμό. Αριθμούμε από τον πυρήνα 1, 2, 3, κλπ και αντιστοιχούμε K, L, M, N, O, P, Q. Ταυτόχρονα βρίσκεται σε κάποια ελλειπτική υποτροχιά, υποστιβάδα, υποφλοιό με τιμές s, p, d, f, g και αντίστοιχη αρίθμηση 1η, 2η, 3η υποστιβάδα.

Οι κβαντικοί αριθμοί είναι τέσσερεις οι παρακάτω:

1. κύριος κβαντικός αριθμός η
παίρνει τιμές $\eta = 1, 2, 3, \dots, \eta$
2. δευτερευών κβαντικός αριθμός l
παίρνει τιμές $l = 0, 1, 2, 3, \dots, \eta - 1$
3. μαγνητικός κβαντικός αριθμός τροχιακής στροφορμής m_l
παίρνει τιμές $m_l = 0, +1, +2, \dots, +l$
4. μαγνητικός κβαντικός αριθμός ιδιοστροφορμής (spin) m_s
Παίρνει τιμές $m_s = \pm (1/2)$



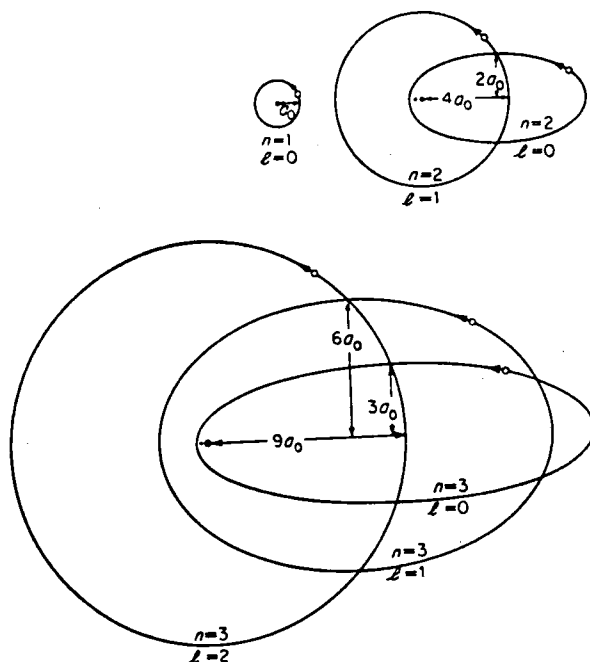
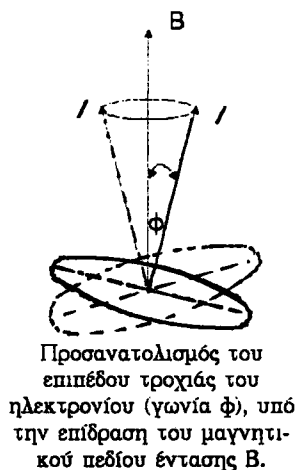
Κυκλικές και ελλειπτικές τροχιές των ηλεκτρονίων του ατόμου του Ουρανίου και η θέση τους σ' αυτές

α) Ο κύριος κβαντικός αριθμός η , ορίζει την ενέργεια του ηλεκτρονίου σε κάθε κβαντική τροχιά και προκύπτει από την 1η συνθήκη του Bohr. Οι διαδοχικές τιμές 1, 2, 3, αντιστοιχούν σε τροχιές K, L, M, κλπ. Έτσι ηλεκτρόνιο με $\eta=3$ βρίσκεται στην M στιβάδα.

β) Ο δευτερευών κβαντικός αριθμός l , ορίζει την τροχιακή στροφορμή του ηλεκτρονίου. Λόγω περιστροφής το ηλεκτρόνιο έχει τροχιακή στροφορμή που παίρνει τιμές ακέραιο πολλαπλάσιο της $h/2\pi$. Οι διαφορετικές τιμές του l

αντιστοιχούν σε ηλεκτρόνιο της αυτής ενέργειας E (που βρίσκεται στον ίδιο φλοιό η), αλλά που κινείται με διάφορες μορφές αυτής της τροχιάς. Εστω ηλεκτρόνιο με $\eta=3$ και επομένως $l=0, 1, 2$. Το ηλεκτρόνιο κινείται στην στιβάδα M αλλά μπορεί να κινηθεί σε δύο διαφορετικές ελλειπτικές τροχιές που αντιστοιχούν στις τιμές του $l=0,1$ και σε μία κυκλική τροχιά που αντιστοιχεί στην τιμή $l=2$ του $l=0,1$ και σε μία κυκλική τροχιά που αντιστοιχεί στην τιμή $l=2$.

Δηλαδή ο δευτερεύων κβαντικός αριθμός δηλώνει ότι κάθε στιβάδα η είναι σύνθετη και αποτελείται από πολλές υποστιβάδες l εκ των οποίων αυτές που έχουν τιμές $l = \eta-2, \eta-3, \dots, 0$, είναι ελλειπτικές και αυτή με τιμή $l=\eta-1$ είναι κυκλική.



γ) μαγνητικός τροχιακός κβαντικός αριθμός

m_l

Η περιστροφή του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα ισοδυναμεί με κυκλικό ηλεκτρικό ρεύμα στο οποίο αντιστοιχεί μαγνητική διπολική ροπή m_l . Το διάνυσμα της μαγνητικής ροπής είναι κάθετο στο επίπεδο τροχιάς του ηλεκτρονίου, αλλά αντιπαράλληλο προς το διάνυσμα I της τροχιακής στροφορμής γιατί το ηλεκτρόνιο είναι αρνητικά φορτισμένο. Όταν το άτομο βρεθεί μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B , τότε το επίπεδο τροχιάς προσανατολίζεται έτσι ώστε το διάνυσμα I να γίνει

Κβαντικές τροχιές του ατόμου του Υδρογόνου
Οι ακέραιοι η και l είναι ο πρωτεύων και δευτερεύων κβαντικός αριθμός και δίνουν την θέση και το είδος της τροχιάς του ηλεκτρονίου.

Οι ακτίνες των τροχιών δίνονται σαν συνάρτηση της ακτίνας της βασικής τροχιάς a_0 .

Η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς είναι ίση με τον μεγάλο ημιάξονα της ελλειπτικής τροχιάς.

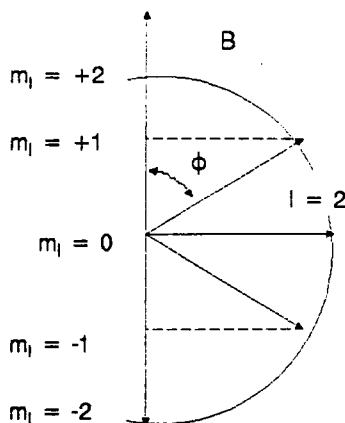
παράλληλο του διανύσματος B . Η Κυματομηχανική απέδειξε ότι η γωνία ϕ (μεταξύ των διανυσμάτων l και B) μπορεί να πάρει μόνο τιμές για τις οποίες η προβολή $l \cdot \cos\phi$ να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της τιμής $h/2\pi$.

Άρα η προβολή του διανύσματος l πάνω στην διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου πρέπει να είναι

$$m_l \cdot h/2\pi$$

όπου m_l ο μαγνητικός τροχιακός κβαντικός αριθμός.

Ο m_l παίρνει τιμές $l, \dots, 2, 1, 0, -1, -2, \dots, -l$ συνολικά $2l+1$. Έτσι για $l=3$, έχουμε τιμές $l=0, 1$ και τιμές $m_l=2, 1, 0, -1, -2$. Παρατηρούνται δηλ. περιορισμοί στον προσανατολισμό του επιπέδου τροχιά του ηλεκτρονίου η γνωστή κβάντωση κατεύθυνσης.



οι επιτρεπόμενες τιμές της γωνίας ϕ για $l=2$ που υπολογίζονται από την σχέση $m_l = l \cdot \cos\phi$

δ) Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός της ιδιοστροφορμής spin m_s ,

Το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα, αλλά περιστρέφεται ταυτόχρονα ΚΑΙ γύρω από τον εαυτό του. Έτσι έχει και ιδιοστροφορμή spin (s) με τιμές

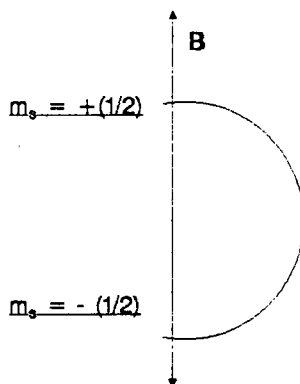
$$s = (1/2) \cdot h/2\pi$$

Λόγω του φορτίου του έχει και δική του μαγνητική διπολική ροπή, οπότε αν βρεθεί μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B , τότε λόγω κβάντωσης κατεύθυνσης το διάνυσμα του spin μπορεί να πάρει μόνο δύο τιμές παράλληλο ή αντιπαράλληλο με το διάνυσμα της έντασης B .

Έτσι και η προβολή του s πάνω στην διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου παίρνει τις τιμές

$$+(1/2) \cdot h/2\pi \quad \text{ή} \quad -(1/2) \cdot h/2\pi \quad \text{με} \quad m_s = \pm(1/2)$$

Στον επόμενο πίνακα εμφανίζονται οι τιμές των τεσσάρων κβαντικών αριθμών για τιμές κύριου κβαντικού αριθμού $n = 1, 2, 3, 4$.



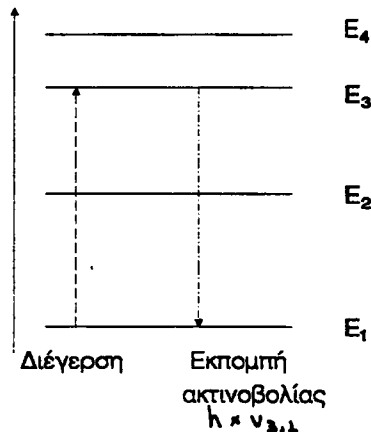
η	l	m_l	m_s
1	0	0	$+(1/2), -(1/2)$
2	0,1	-1,0,+1	$+(1/2), -(1/2)$
3	0,1,2	-2,-1,0,+1,+2	$+(1/2), -(1/2)$
4	0,1,2,3	-3,-2,-1,0,+1,+2,+3	$+(1/2), -(1/2)$

Άξονας ολικής
ενέργειας

2.3 Ενεργειακές στάθμες

Μπορούμε σε άξονα ενέργειας να παραστήσουμε την σχέση μεταξύ των επιτρεπόμενων τιμών ολικής ενέργειας.

Οι οριζόντιες γραμμές αντιστοιχούν στις διάφορες επιτρεπόμενες τιμές ολικής ενέργειας. Αυτές οι γραμμές ονομάζονται στάθμες ενέργειας και απέχουν η μία από την άλλη κατακόρυφη απόσταση ίση με την διαφορά των ολικών ενεργειών που παριστάνουν.



Διάταξη των ηλεκτρονίων του χαλκού στις διάφορες ενεργειακές στάθμες.

● 2.4 Διέγερση-Ιονισμός

Κάθε άτομο, όσα ηλεκτρόνια και αν περιλαμβάνει, μπορεί να υποστεί διέγερση. Αρκεί ένα ηλεκτρόνιο του να μεταπηδήσει από την συνηθισμένη τροχιά περιστροφής του σε άλλη μεγαλύτερης ενέργειας. Όταν το άτομο βρίσκεται στην κανονική του κατάσταση, τα ηλεκτρόνιά του κατανέμονται στις διάφορες τροχιές τους σύμφωνα με την 1η συνθήκη του Bohr και την απαγορευτική αρχή του Pauli:

Σε κάθε άτομο δεν είναι δυνατό περισσότερα από ένα ηλεκτρόνιά του να βρίσκονται σε ενεργειακή κατάσταση που χαρακτηρίζεται από την ίδια τετράδα κβαντικών αριθμών.

Αν το άτομο προσλάβει ενέργεια, τότε ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνιά του ανεβαίνουν σε τροχιές μεγαλύτερης ενέργειας και βρίσκεται πλέον σε κατάσταση διέγερσης. Αλλά αυτή η νέα του κατάσταση είναι ασταθής και έτσι μετά από σύντομο χρονικό διάστημα κάθε άτομο εκπέμπει ένα φωτόνιο και επανέρχεται σε τροχιά μικρότερης ενέργειας.

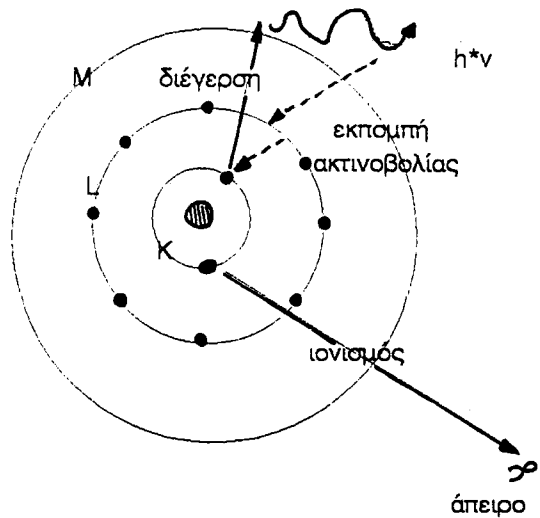
Μ' αυτό τον τρόπο προκαλούνται τα φάσματα εκπομπής των ατμών διαφόρων μετάλλων (νατρίου, υδραργύρου) και των διαφόρων αερίων (αργού,

υδρογόνου, ηλίου), όταν διεγείρονται π.χ. μέσα σε σωλήνες Κέσλερ (Geissler).

Υπάρχει περίπτωση η ενέργεια που θα προσφερθεί στο άτομο να είναι τόσο μεγάλη, ώστε ένα ηλεκτρόνιο του ή και περισσότερα όχι μόνο να μεταπηδήσουν σε επόμενες ενεργειακές στάθμες, αλλά να απομακρυνθούν τόσο από τον πυρήνα, ώστε να ξεφύγουν από την έλξη του και να εγκαταλείψουν το άτομο (τροχιά άπειρης ακτίνας). Τότε τα άτομα αυτά μετατρέπονται σε θετικά ιόντα και το φαινόμενο λέγεται ιονισμός του ατόμου.

Τα ηλεκτρόνια για να μεταπηδήσουν από την θεμελιώδη τους τροχιά έξω από τα όρια του ηλεκτρικού πεδίου του ατόμου, πρέπει να προσλάβουν ενέργεια ιονισμού ίση, στην περίπτωση του ατόμου του Υδρογόνου, με την ενέργεια της βασικής στάθμης.

Η ενέργεια ιονισμού, ή η μικρότερή της ενέργεια διέγερσης, προσφέρονται στο άτομο είτε με απορρόφηση ακτινοβολίας, είτε με κρούση του ατόμου με ταχέως κινούμενο άλλο άτομο ή σωματίδιο.



Ιονισμός ατόμου

● 2.5 Εφαρμογές Διέγερσης

● Maser - Laser

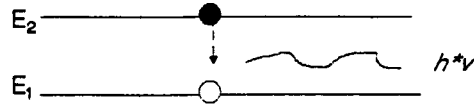
Το 1953 στην Αμερική προσπαθούσαν να βρουν ένα τρόπο να ενισχύουν τα σήματα που λάμβαναν με τα ραδιοτηλεσκόπια. Σκέφθηκαν λοιπόν την ιδιότητα του ατόμου να απορροφά ενέργεια και να την αποδίδει κατόπι με εκπομπή ακτινοβολίας.

Έτσι το 1954 ο Αμερικανός Φυσικός C.H.Townes κατασκεύασε τον πρώτο ενισχυτή που λειτουργούσε μ' αυτή την Φυσική αρχή και τον ονόμασε **maser** (**m**icrowave **a**mplifier by **s**timulated **e**mission of radiation) ενισχυτή μικροκυμάτων με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας.

Μετά το 1960 κατασκευάστηκαν ενισχυτές που εξέπεμπαν στην ορατή περιοχή του φάσματος και ονομάστηκαν **οπτικοί maser** ή **laser** αντί για μικροκύματα **microwave** ενίσχυαν **light** (φως).

Η βασική λειτουργία των maser-laser στηρίζεται στην απορρόφηση ακτινοβολίας (φωτόνιο h^*v) από άτομο που βρίσκεται στην θεμελιώδη του ενεργειακή κατάσταση E_1 .

Τότε ανεβαίνει σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη E_2 , με μεταπήδηση ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων του σε εξωτερικές τροχιές, με αποτέλεσμα την διέγερση του ατόμου. Το διεγερμένο πλέον



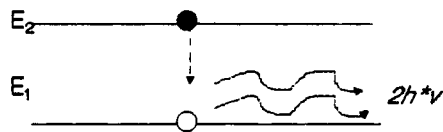
άτομο επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση E_1 εκπέμποντας αυτόματα ακτινοβολία ανάλογη της τιμής h^*v . Το μήκος κύματος αυτής της αυτόματης εκπομπής ακτινοβολίας δίνεται από την σχέση:

$$E_2 - E_1 = h^*v = h^*(c / \lambda)$$

με $v=c/\lambda$.

Εστω ένα ήδη διεγερμένο μ' αυτό τον τρόπο άτομο συλλαμβάνει ένα φωτόνιο ενέργειας, ίσης με την ενέργεια που ακτινοβολεί αυτόματα το άτομο. Τότε το φωτόνιο που απορροφήθηκε εξαναγκάζει το άτομο να επιστρέψει στην αρχική του στάθμη ενέργειας πολύ γρηγορότερα από την περίπτωση της αυτόματης εκπομπής.

Τώρα όμως έχουμε περίπτωση εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας.



Το άτομο εκπέμπει ήδη ένα φωτόνιο στο οποίο προστίθεται και αυτό που προκάλεσε την εξαναγκασμένη εκπομπή.

Η προσπίπτουσα και η εκπεμπόμενη ακτινοβολία βρίσκονται σε συμφωνία φάσης, τα πλάτη τους προστίθενται και η ισχύς της αυξάνει. Η ακτινοβολία που προκύπτει από εξαναγκασμένη εκπομπή είναι πάντοτε σύμφωνη ακτινοβολία.

Λειτουργία laser

Οι ενισχυτές φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή, εκπέμπουν ισχυρή μονοχρωματική δέσμη φωτός με μορφή παράλληλων ακτίνων. Πράγματι δέσμη laser που κατευθύνθηκε στην Σελήνη σχημάτισε ίχνος προσπίπτοντος φωτός πάνω στην επιφάνειά της διαμέτρου ΜΟΝΟ 12km. (Αν σκεφθούμε την απόσταση Γης-Σελήνης θα διαπιστώσουμε την ελάχιστη διασπορά της δέσμης και την έντασή της).

Στα laser πρέπει να διεγείρουμε τα άτομα με προσπίπτοντα φωτόνια ενέργειας ίσης με αυτή που εκπέμπουν αυτόματα τα άτομα όταν μεταπίπτουν στην βασική τους ενεργειακή στάθμη. Ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο υλικό έχουμε τα συνεχή Laser (συνεχούς λειτουργίας) και τα Laser παλμού.

Στα laser παλμού το υλικό του οποίου τα άτομα διεγείρονται, είναι ράβδος από τον ημιπολύτιμο λίθο ρουμπίνι που είναι οξειδίο του αργιλίου.

Οι διαστάσεις της ράβδου είναι μήκος 48mm και διάμετρος 5mm με άκρα επίπεδα και παράλληλα το ένα πλήρως και το άλλο μερικά επαργυρωμένο. Την ράβδο περιβάλλει λυχνία αερίου μέσα στην οποία γίνονται εκκενώσεις πολύ μικρής διάρκειας. Το ρουμπίνι είναι τεχνητό και περιέχει 0,05% χρώμιο σε μορφή τρισθενών ιόντων και είναι το χρώμιο που δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα στον κρύσταλλο.

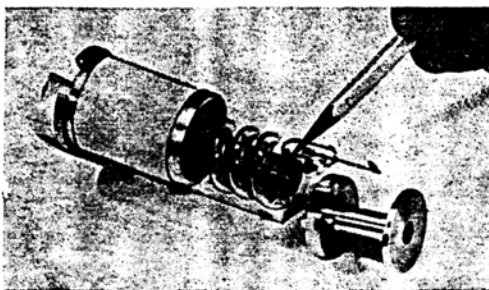
Με τις εκκενώσεις της λυχνίας εκπέμπεται ακτινοβολία συχνότητας μεγαλύτερης από εκείνη που αντιστοιχεί στο ερυθρό χρώμα, απορροφάται από τον κρύσταλλο και τότε ένα ηλεκτρόνιο του ατόμου του χρωμίου μεταπηδά από την θεμελιώδη του ενεργειακή στάθμη E_1 σε άλλη υψηλότερης ενέργειας E_3 . Αυτή είναι πολύ ασταθής και το ηλεκτρόνιο πέφτει σε χαμηλότερη στάθμη E_2 εκπέμποντας ταυτόχρονα ένα ερυθρό φωτόνιο. Ομοίως και αυτή είναι ασταθής και τελικά το ηλεκτρόνιο επανέρχεται στην θεμελιώδη E_1 εκπέμποντας άλλο ένα φωτόνιο. Αυτή η τελευταία πτώση είναι και η σημαντικότερη.

Στα συνεχούς λειτουργίας Laser η ράβδος ρουμπινίου έχει αντικατασταθεί από σωλήνα που περιέχει μίγμα ηλίου He και νέου Ne με δύο κάτοπτρα στις βάσεις του.

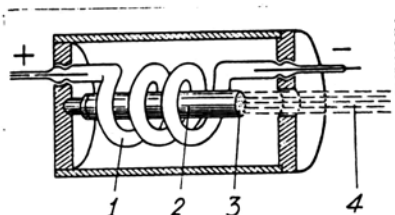
Αν συγκρατήσουμε για ορισμένο χρονικό διάστημα ένα αριθμό ηλεκτρονίων (ισάριθμων ατόμων) στην ασταθή ενεργειακή στάθμη E_2 και μετά όλα μαζί περάσουν στην βασική E_1 , εκπέμπεται παράλληλη δέσμη ερυθρού μονοχρωματικού φωτός η οποία ανακλάται άπειρες φορές στις δύο βάσεις και τελικά εξέρχεται με πολύ μεγάλη ενεργειακή ισχύ.

Χρήσεις

Λόγω της συγκέντρωσης και εστίασης ισχύος παράλληλης δέσμης φωτός, η κηλίδα που παράγεται από συσκευή Laser είναι 10000 φορές λαμπρότερη από την αντίστοιχη που θα παίρναμε από πηγή ηλιακού φωτός ίσης επιφάνειας εκπομπής με την αντίστοιχη του Laser.



το πρώτο Laser που κατασκευάστηκε από τον T.H.Maiman με τον σωλήνα ρουμπινίου στο κέντρο του



Laser ρουμπινίου

1. Λυχνία σπινθηρισμών με νέο
2. κρύσταλλος ρουμπινίου
3. ημιεπαργυρωμένη επιφάνεια
4. διάμετρος φωτεινής δέσμης

Η μεγάλη συγκεντρωμένη ισχύς, η καθοριζόμενη ελεγχόμενη και σταθερή διεύθυνση μετάδοσης της δέσμης και η έντονη ακτινοβολία αυστηρά μονοχρωματικού φωτός, είναι οι αρετές των Laser που βρίσκουν εφαρμογές σε πάρα πολλούς τομείς της Τεχνολογίας της Επιστημονικής έρευνας και της Τέχνης.

Έτσι χρησιμοποιούμε την δέσμη Laser:

- α) στην Μικροχειρουργική σαν φωτεινό, ακριβείας, χειρουργικό νυστέρι. Κόβει και ταυτόχρονα καυτηριάζει εμποδίζοντας την αιμοραγία (Χειρουργική εγκεφάλου, Οφθαλμολογία).
- β) την ισχύ και την πυκνότητα της δέσμης Laser εκμεταλλεύεται η Βιολογία. Χρησιμοποιεί τα θερμικά, μηχανικά, και ηλεκτρομαγνητικά αποτελέσματα της πρόσπτωσης της δέσμης πάνω στους ιστούς.

Σαν θερμικό αποτέλεσμα δράσης δέσμης πάνω σε ιστό, έχουμε την καταστροφή του ιστού με εμφάνιση φωτεινής λάμψης, εξαέρωσή του και σχηματισμό νέφους. Η επιφάνεια που δέχθηκε την δράση της δέσμης μετασχηματίζεται, φέρει τα χαρακτηριστικά εγκαύματος, το δε νέφος έχει υψηλή θερμοκρασία, μεγάλη πίεση και περιέχει ιόντα, ηλεκτρόνια και διεγερμένα άτομα.

Τα ηλεκτρομαγνητικής φύσης αποτελέσματα εμφανίζονται με τον σχηματισμό ελευθέρων ριζών, ή λόγω της ύπαρξης αμινοξέων, με την δημιουργία δεύτερης αρμονικής φωτεινής συχνότητας, δηλαδή σε διπλασιασμό της συχνότητας ακτινοβολίας Laser. Αν αυτή η συχνότητα πέσει σε υπεριώδη περιοχή του φάσματος μπορεί να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές σε μακρομόρια όπως το DNA.

Στον ανθρώπινο οργανισμό δύο αμίες απορροφούν έντονα ακτινοβολία Laser. Η μελανίνη και η αιμογλοβίνη, εκ των οποίων η δεύτερη δεν επηρεάζεται αλλά η πρώτη καταστρέφεται με εξαέρωση.

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται η μεγάλη σημασία της χρήσης ακτινοβολίας Laser τόσο στην Βιολογική έρευνά όσο και στην Θεραπευτική.

γ) στην Μεταλλουργία για την κοπή, διάτρηση, τήξη διαφόρων δύστηκτων μετάλλων με ακριβή, γρήγορο και πλέον εύχρηστο τρόπο παρακολουθώντας το φωτεινό ίχνος της προσπίπτουσας δέσμης.

δ) στην Αστρονομία, Αστροφυσική και Αστροναυτική γιατί η δέσμη Laser διανύει μεγάλες αποστάσεις χωρίς διασπορά και έτσι προσδιορίζουμε με ακρίβεια αποστάσεις, ταχύτητες, κινήσεις, τροχιές και των πλέον απομακρυσμένων αντικειμένων : αστρικά σώματα, τεχνητοί δορυφόροι...

ε) στις Τηλεπικοινωνίες με την μετάδοση σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Κατάλληλα διαμορφωμένες δέσμες Laser ανακλώνται σε τεχνητούς δορυφόρους και γεφυρώνουν Ηπείρους επιστρέφοντας στην επιφάνεια της Γης ραδιοφωνικά, τηλεφωνικά και τηλεοπτικά σήματα.

στ) στην Πυρηνική Τεχνολογία οι επιστήμονες προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν την ισχύ της δέσμης Laser για να επιτύχουν Πυρηνική σύντηξη ώστε να εκμεταλλευθούν την τεράστια ενέργεια που εκλύεται.

ζ) στην Πληροφορική στην κατασκευή εκτυπωτών με ακτίνα Laser. Διακρίνονται για την ταχύτητά τους, την αξιοπιστία τους, την ποιότητα εκτύπωσης

και την αθόρυβη λειτουργία τους.

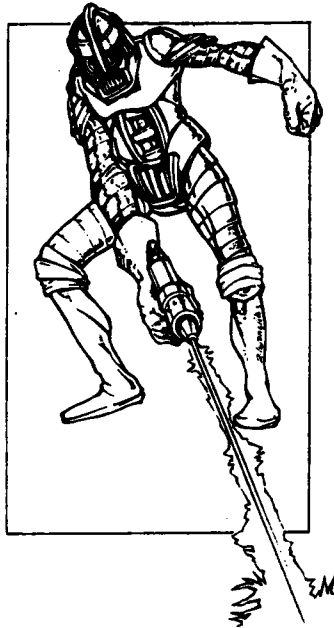
Το φως της δέσμης Laser είναι ακατάλληλο για φωτισμό επιφανειών γιατί η επιφάνεια που φωτίζεται φωσφορίζει και εμφανίζει κόκκους. Η ακτινοβολία είναι μονοχρωματική, συνήθως ερυθρά, με συγκεκριμένη στενή διεύθυνση μετάδοσης.

Ετσι αν επιλέξουμε το κατάλληλο μήκος κύματος για να μειώσουμε την ισχύ της, μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε :

η) στον τομέα της Τέχνης, γενικότερα για καλλιτεχνική δημιουργία :

Συνθέσεις με φωτισμό Laser, στον τομέα Επιστημονικής Φαντασίας (νέα οπτικά συστήματα, ταινίες καταστροφών " Πόλεμος των Αστρων"), οπτικά εφέ (προβολείς Laser) κλπ

Γενικά ο τομέας των Laser - Maser είναι σχετικά καινούργιος (μόλις από το 1960), ανοίγει καινούργιους ορίζοντες στην έρευνα και υπόσχεται πληθώρα εφαρμογών σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας..



Κεφάλαιο 7ο

Πυρηνική Φυσική

Εισαγωγή

Η Πυρηνική Φυσική ασχολείται με την μελέτη του πυρήνα των ατόμων.

Προϋποθέτει υψηλή γνώση Μαθηματικών και Φυσικής, ειδικευση σε ορισμένα κεφάλαια της Φυσικής, όπως θεωρία υλοκυμάτων και βέβαια ακολουθεί της μελέτης της Ατομικής και της Μοριακής Φυσικής.

Διαιρείται στην:

Πειραματική (εφαρμοσμένη) Πυρηνική Φυσική που βρίσκει εφαρμογές σε άλλες επιστήμες όπως Ιατρική, Γεωπονία

Θεωρητική (Βασική) που μελετά θεωρητικά την δομή του πυρήνα και την ύπαρξη και συμπεριφορά σωματιδίων που σχετίζονται μ' αυτόν και την

Πυρηνική Τεχνολογία που ασχολείται αποκλειστικά με την πειραματική μελέτη των Πυρηνικών αντιδραστήρων και εγκαταστάσεων.

7.1 Δομή του πυρήνα

● 7.1.1 Νουκλεόνια

Τα σωματίδια που αποτελούν τον πυρήνα λέγονται νουκλεόνια και είναι δύο ειδών τα πρωτόνια και τα νετρόνια.

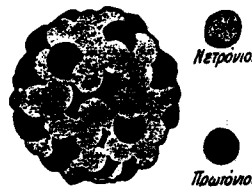
Το πρωτόνιο είναι θετικά φορισμένο με στοιχειώδες φορτίο $1,602 \cdot 10^{-19} \text{Cb}$ και έχει μάζα $1,6723 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$ και συμβολίζεται σαν p^+ .

Το νετρόνιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο σωματίδιο, με μάζα $1,6746 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$ και συμβολίζεται σαν n^0 .

Οι συμβολισμοί αυτοί αναφέρονται σε δύο χαρακτηριστικούς αριθμούς για κάθε σωματίδιο, τον Ατομικό αριθμό Z και τον Μαζικό αριθμό A .

Ο ατομικός αριθμός Z στοιχείου εκφράζει τον αύξοντα αριθμό του στοιχείου στο Περιοδικό Σύστημα, τον αριθμό ηλεκτρονίων του και τον αριθμό πρωτονίων του.

Ο μαζικός αριθμός A στοιχείου εκφράζει την μάζα του πυρήνα του στοιχείου και ορίζει το πλήθος των νουκλεονίων του.



Υπόδειγμα πυρήνα με τα νουκλεόνια

Είναι το άθροισμα των πρωτονίων και των νετρονίων. Άρα όπου N ο αριθμός νετρονίων του πυρήνα.

$$A = Z + N$$

Με την χρήση του μαζικού αριθμού A , του ατομικού αριθμού Z και του πλήθους των νετρονίων N , ορίζεται πλήρως η σύσταση κάθε ατομικού πυρήνα. Χρησιμοποιείται ευρύτατα ενιαίος συμβολισμός για να δηλωθεί ο πυρήνας του ατόμου. Στο χημικό σύμβολο του ατόμου γράφεται σαν άνω δείκτης δεξιά ή αριστερά ο μαζικός αριθμός A και αριστερά σαν κάτω δείκτης ο ατομικός αριθμός Z . Έτσι το ηλεκτρόνιο συμβολίζεται με ${}_{-1}e^0$ σαν σωματίδιο ελάχιστης μάζας με $A=0$ και με στοιχειώδες φορτίο $Z=1$.

● 7.1.2 Κατηγορίες πυρήνων

Σύμφωνα με τον αριθμό των πρωτονίων και ηλεκτρονίων, σύμφωνα με τον αριθμό των νουκλεονίων και σύμφωνα με τον αριθμό των νετρονίων, οι πυρήνες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες αντίστοιχα:

α) Ισότοποι πυρήνες

Τα ισότοπα στοιχείου (που έχουν ισότοπους πυρήνες) είναι παραλλαγές του ίδιου στοιχείου με τον ίδιο ατομικό αριθμό Z , αλλά με διαφορετικό πλήθος νετρονίων πυρήνα. Βρίσκονται στην ίδια θέση στο Περιοδικό Σύστημα (που ορίζεται από τον ατομικό αριθμό Z που έχουν κοινό), αλλά έχουν διαφορετικό μαζικό αριθμό A (ο διαφορετικός αριθμός νετρονίων διαφοροποιεί και την τιμή του αθροίσματος $A=Z+N$).

Σαν παράδειγμα κατηγοριών πυρήνων θα χρησιμοποιήσουμε το άτομο του Υδρογόνου, γιατί παρουσιάζει την απλούστερη ατομική και πυρηνική σύσταση. Έτσι το ${}_{1}H^1$ (το πρώτιο) έχει ένα ηλεκτρόνιο που περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα που αποτελείται από ένα πρωτόνιο.

Ισότοπά του είναι:

Το δευτέριο, ${}_{1}H^2$ (βαρύ υδρογόνο) και το τρίτιο, ${}_{1}H^3$ (υπερβαρύ υδρογόνο).

Το τρίτιο ΔΕΝ είναι σταθερό αλλά ραδιενεργό.

Τον Νοέμβριο του 1962 κατασκευάσθηκε τεχνητά στην Ιταλία και το ισότοπο ${}_{1}H^4$.

Το Υδρογόνο (Πρώτιο) αποτελείται πάντοτε από ένα ηλεκτρόνιο, αλλά ο πυρήνας του στην βασική του κατάσταση έχει ένα νουκλεόνιο.

Ένα πρωτόνιο αναγκαστικά γιατί ο αριθμός πρω-



Σχηματική παράσταση των ισοτόπων του ατόμου του Υδρογόνου κατά σειρά Πρώτιο, Δευτέριο, Τρίτιο

τονίων είναι ίδιος με τον αριθμό ηλεκτρονίων (το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο

Το δευτέριο έχει στον πυρήνα δύο νουκλεόνια, ένα πρωτόνιο πάντα και ένα νετρόνιο. Το τρίτιο έχει στον πυρήνα του τρία νουκλεόνια: ένα πρωτόνιο και δύο νετρόνια.

β) ισοβαρείς πυρήνες

Αυτοί οι πυρήνες έχουν τον ίδιο μαζικό αριθμό A (ίδιο βάρος), τον ίδιο δηλ. αριθμό νουκλεονίων. Έτσι το ισότοπο του άνθρακα ${}_6\text{C}^{14}$ με μαζικό αριθμό 14 και το ισότοπο του αζώτου ${}_7\text{N}^{14}$ με τον ίδιο μαζικό αριθμό, είναι μεταξύ τους ισοβαρή στοιχεία γιατί έχουν ισοβαρείς πυρήνες.

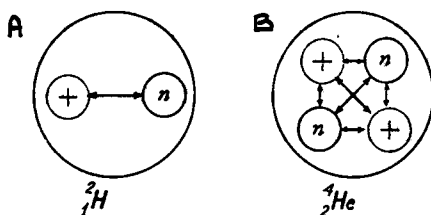
γ) ισότονοι πυρήνες

Περιέχουν το ίδιο πλήθος νετρονίων N και ανήκουν σε διαφορετικά στοιχεία.

Έτσι το ισότοπο του άνθρακα ${}_6\text{C}^{14}$ που αποτελείται από πυρήνα με $14-6=8$ νετρόνια και το ισότοπο του αζώτου ${}_7\text{N}^{15}$ με πυρήνα $15-7=8$ επίσης νετρονίων, είναι ισότονα στοιχεία γιατί έχουν ισότονους πυρήνες.

Η γνώση των ισότοπων μας είναι χρήσιμη για να προσδιορίσουμε τις χημικές και οπτικές ιδιότητες των στοιχείων. Επίσης τα τεχνητά ισότοπα, τα ραδιοϊσότοπα βρίσκουν πάρα πολλές εφαρμογές στην διάγνωση, την πρόληψη ασθενειών και την θεραπευτική στην Ιατρική. Τα ισοβαρή στοιχεία παρουσιάζουν διαφορετικές χημικές ιδιότητες και μας ενδιαφέρει η ταξινόμησή τους, όταν πρόκειται για έρευνα σταθερότητας ατομικών πυρήνων και για πυρηνικές μεταστοιχειώσεις.

7.2 Ενέργεια Πυρήνα



Πυρηνικές δυνάμεις δευτερίου ${}_1\text{H}^2$ (Α)
και σωματιδίου-α (πυρήνα ${}_2\text{He}^4$) (Β)

● 7.2.1 Πυρηνικές δυνάμεις

Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα νουκλεόνια στερεά συνδεδεμένα μεταξύ τους δεν ανήκουν στις γνωστές της Κλασικής Φυσικής.

Γύρω από τον πυρήνα αναπτύσσονται οι γνωστές ηλεκτρικές ελκτικές δυνάμεις Coulomb, που συγκρατούν τα ηλεκτρόνια σε περιφορά, αλλά μέσα στον πυρήνα αυτές οι δυνάμεις θα ασκούσαν τεράστιες απώσεις στα ομώνυμα θετικά φορτισμένα

πρωτόνια, γεγονός που δεν συμφωνεί με την σταθερότητα του πυρήνα.

Οι δυνάμεις μέσα στον πυρήνα ασκούνται ανάμεσα στα πρωτόνια και εξαουδετερώνουν τις απωστικές Κουλόμπ, έλκουν φορτισμένα και αφόρτιστα σωματίδια, ακόμη ασκούνται και μεταξύ τελείως αφόρτιστων σωματιδίων.

Χαρακτηριστικό τους είναι η μικρή ακτίνα δράσης τους. Έτσι όταν δύο πρωτόνια απομακρυνθούν ελάχιστα μεταξύ τους, εξασθενούν τόσο που η δράση των απωστικών Κουλόμπ τις υπερνικά και απομακρύνει ισχυρά τα πρωτόνια. Επίσης όταν αφόρτιστο σωματίδιο, νετρόνιο, πλησιάζει μέχρι ορισμένη απόσταση τον πυρήνα διέρχεται ανεπηρέαστο δίπλα του χωρίς να δράσουν πάνω του ηλεκτρικές δυνάμεις.

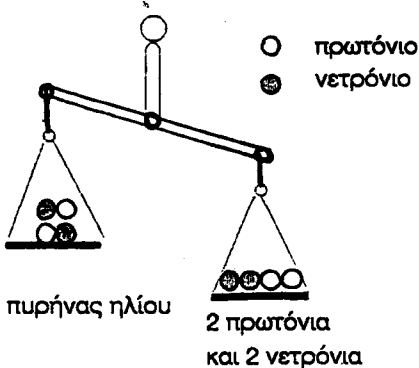


συνεχείς μετατροπές
πρωτονίου σε νετρόνιο
και αντίστροφα με την
ανταλλαγή μεσονίου

πρωτονίου και γι αυτό ονομάζεται μεσόνιο. Με την συνεχή αυτή ανταλλαγή τα νετρόνια εκπέμπουν ένα μεσόνιο, που είναι αρνητικά φορτισμένο και μετατρέπονται σε πρωτόνια. Αυτά με την σειρά τους προσλαμβάνουν ένα μεσόνιο, μετατρέπονται σε νετρόνια και το φαινόμενο συνεχίζεται...

Η προσπάθεια αυτή που κάνει κάθε νουκλεόνιο να κρατήσει για τον εαυτό του το π-μεσόνιο ή πιόνιο, δημιουργεί τις ισχυρές συνεκτικές πυρηνικές δυνάμεις.

(Οι νεώτερες απόψεις για την φύση των πυρηνικών δυνάμεων, όπως αναφέραμε, αποδίδουν την ισχύ και ύπαρξη των πυρηνικών δυνάμεων στα gluons και στους δεσμούς μεταξύ των quarks των αδρονίων).



παρατηρείται ελάττωση των μαζών δύο πρωτονίων και δύο νετρονίων, όταν ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν πυρήνα ηλίου ${}^4_2\text{He}$

παρατηρούμε ότι το άθροισμα

Όταν όμως πλησιάσει την ακτίνα του πυρήνα συλλαμβάνεται από τις πυρηνικές δυνάμεις έλξης και κρατείται πάνω στον πυρήνα.

Το ίδιο συμβαίνει και με άλλα σωματίδια, αρκεί να έχουν μεγάλη κινητική ενέργεια, ώστε αν είναι φορτισμένα να μπορέσουν να υπερνικήσουν τις ηλεκτρικές απώσεις Κουλόμπ και να φθάσουν σε απόσταση πυρηνικής ακτίνας.

● 7.2.2 Φύση των Πυρηνικών δυνάμεων

Κατά τον Heisenberg οι πυρηνικές δυνάμεις είναι δυνάμεις ανταλλαγής μεταξύ των νουκλεονίων. Θεωρούμε ότι μέσα στον πυρήνα τα πρωτόνια δεν διακρίνονται με ευκρίνεια από τα νετρόνια, όπως συμβαίνει έξω από αυτόν.

Δεχόμαστε ότι μεταξύ πρωτονίου και νετρονίου συνέχεια ανταλλάσσεται ένα σωματίδιο, του οποίου η μάζα έχει τιμή ανάμεσα στην μάζα νετρονίου και

πρωτονίου και γι αυτό ονομάζεται μεσόνιο. Με την συνεχή αυτή ανταλλαγή τα νετρόνια εκπέμπουν ένα μεσόνιο, που είναι αρνητικά φορτισμένο και μετατρέπονται σε πρωτόνια. Αυτά με την σειρά τους προσλαμβάνουν ένα μεσόνιο, μετατρέπονται σε νετρόνια και το φαινόμενο συνεχίζεται...

Η προσπάθεια αυτή που κάνει κάθε νουκλεόνιο να κρατήσει για τον εαυτό του το π-μεσόνιο ή πιόνιο, δημιουργεί τις ισχυρές συνεκτικές πυρηνικές δυνάμεις.

(Οι νεώτερες απόψεις για την φύση των πυρηνικών δυνάμεων, όπως αναφέραμε, αποδίδουν την ισχύ και ύπαρξη των πυρηνικών δυνάμεων στα gluons και στους δεσμούς μεταξύ των quarks των αδρονίων).

● 7.2.3 Ελλειμα μάζας. Ενέργεια σύνδεσης

Η μάζα του πρωτονίου είναι 1,007597 amu (το amu είναι μονάδα ατομικής μάζας, $1 \text{ amu} = 1,6598 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) και η μάζα του νετρονίου 1,008987 amu, όταν τα δύο σωματίδια είναι ανεξάρτητα και μακριά το ένα από το άλλο.

Όταν όμως τα δύο σωματίδια πλησιάσουν μεταξύ τους, δράσουν οι πυρηνικές δυνάμεις και σχηματισθεί πυρήνας δευτερίου (${}^2_1\text{H}$) τότε

σθεί πυρήνας δευτερίου (^2H) τότε παρατηρούμε ότι το άθροισμα των μαζών τους είναι μικρότερο από το αναμενόμενο (2,01419 amu). Επομένως χάθηκε ποσό μάζας που κατά τον Einstein έγινε ισόδυναμη ενέργεια.

Την διαφορά μάζας ανάμεσα στο άθροισμα των μαζών των ελεύθερων νουκλεονίων και στο συγκρότημά τους με μορφή πυρήνα στοιχείου, ονομάζουμε **έλλειμμα μάζας** Δm του πυρήνα.

Μετρείται σε amu. Υπολογίζεται από την σχέση :

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_k$$

όπου m_k η μάζα του πυρήνα που δημιουργήθηκε.

Η ενέργεια που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας του πυρήνα, λέγεται **ενέργεια σύνδεσης** $E_{\text{συνδ}}$ του πυρήνα. Μετρείται σε MeV (1 amu = 931 MeV) και υπολογίζεται από την σχέση:

$$E_{\text{συνδ}} = \Delta m \cdot c^2$$

Για να αποσυνδέσουμε ένα πυρήνα στα συστατικά του απαιτείται έργο ίσο με την ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα.

7.3 Φυσική Ραδιενέργεια

● 7.3.1 Ασταθείς πυρήνες

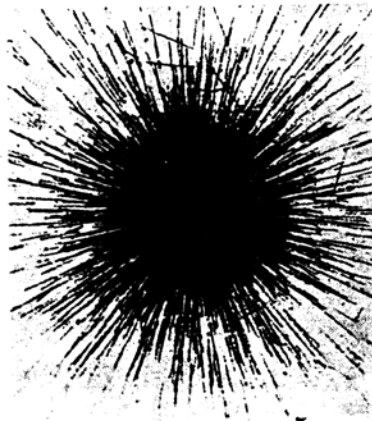
Πρώτος ο Γάλλος Φυσικός Becquerel παρατήρησε το 1896 ότι τα άλατα του ουρανίου εκπέμπουν πολύ διαπεραστική ακτινοβολία που προκαλεί έντονο ιονισμό του αέρα ώστε εκφορίζει φορτισμένο ηλεκτροσκόπιο και μαυρίζει φωτογραφικές πλάκες.

Αργότερα το 1898 ο Pierre Curie και η Marie Sklodowska-Curie, κατάφεραν να απομονώσουν από μέταλλευμα ουρανίου δύο νέα στοιχεία το πολώνιο και το ράδιο που παρουσίαζαν τα ίδια φαινόμενα πολύ πιο έντονα.

Από το ράδιο αυτή η νέα ακτινοβολία ονομάστηκε **ραδιενέργεια** και τα στοιχεία που την εκπέμπουν **ραδιενεργά**.

Σήμερα, εκτός από τα παραπάνω στοιχεία, είναι γνωστά σαν ραδιενεργά και άλλα, όπως το θόριο και το ακτίνιο. Ολα βρίσκονται στις τελευταίες θέσεις του Περιοδικού Συστήματος πέρα από τον μόλυβδο, με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο από 82.

Η εκπομπή της ραδιενέργειας οφείλεται στην αστάθεια των πυρήνων των στοιχείων. Κάποια χρονική στιγμή διασπώνται αυτόματα και εκπέμπουν θραύσματα με μεγάλη ταχύτητα και συνήθως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πολύ μικρού μήκους κύματος (ακτινοβολία γ). Τα πυρηνικά θραύσματα είναι δύο ειδών: σωματίια α - (πυρήνες ατόμου ηλίου) και σωματίια β - (ηλεκτρόνια).



φωτογραφία ακτινοβολίας α -
ραδιενεργού υλικού

● 7.3.2 Αποτελέσματα Ραδιενέργειας

- Η ραδιενεργός ακτινοβολία:
- α) προσβάλλει τις φωτογραφικές πλάκες
 - β) προκαλεί ιονισμό των αερίων
 - γ) προκαλεί φθορισμό σε όλα τα σώματα
 - δ) εκπέμπει θερμότητα. 1gr ραδίου αποδίδει, με εκπομπή ραδιενέργειας, 130cal ανά ώρα
 - ε) έχει βιολογικές δράσεις στους ιστούς. Ευεργετικές όταν η ακτινοβολία είναι μικρής ενέργειας, καταστρεπτικές όταν πρόκειται για έντονα ραδιενεργά υλικά.
 - στ) Η εκπνεύσιμη ραδιενέργεια δεν επηρεάζεται από κανένα μέσο (θερμοκρασία, πίεση, χημικά αντιδραστήρια).

Σήμερα που ξέρουμε τις επικίνδυνες συνέπειες της ραδιενέργειας, λαμβάνουμε σχολαστικά μέτρα προφύλαξης όταν πρόκειται να έρθουμε σε επαφή και να χειρισθούμε ραδιενεργά υλικά.



στην φωτογραφία φαίνονται μερικά από τα μέτρα προστασίας για τους εργαζόμενους με ακτινοβολίες:
μηχανοκίνητες ειδικές λαβίδες για χρήση των ραδιενεργών ουσιών και θωρακισμένοι θάλαμοι από μόλυβδο για την αποθήκευση των υλικών

● 7.3.3 Φύση της ραδιενέργειας

Η ακτινοβολία των ραδιενεργών στοιχείων αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη που ονομάστηκαν από τον Rutherford με τα ελληνικά γράμματα α, β, γ.

ακτινοβολία α και β. Τοποθετούμε ποσότητα ραδιενεργού υλικού σε θήκη από μόλυβδο που έχει σχισμή. Μόνο από την σχισμή επέρχεται λεπτή δέσμη που διέρχεται από μαγνητικό πεδίο αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη συνιστώσα εκτρέπεται ελαφρά κατά φορά που αντιστοιχεί σε κινούμενα θετικά φορτισμένα σωματίδια. Αυτή ονομάστηκε ακτινοβολία α. Η άλλη συνιστώσα εκτρέπεται έντονα με αντίθετη φορά και έτσι αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα σωματίδια. Αυτή ονομάστηκε ακτινοβολία β. Την ίδια ανάλυση παθαίνει η δέσμη όταν περάσει και μέσα από ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο.

Με την συνέχεια των πειραματικών ερευνών, τελικά καταλήξαμε στο συμπέρασμα, ότι η ακτινοβολία α είναι σωματίδια που αντιστοιχούν σε πυρήνες ηλίου και μάλιστα του ισότοπου ${}^4_2\text{He}$, ενώ η ακτινοβολία β είναι ηλεκτρόνια που κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα (μέχρι 99% της ταχύτητας του φωτός).

ακτινοβολία γ. Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος μικρότερου των σκληρότερων ακτίνων Ράιντγκεν.

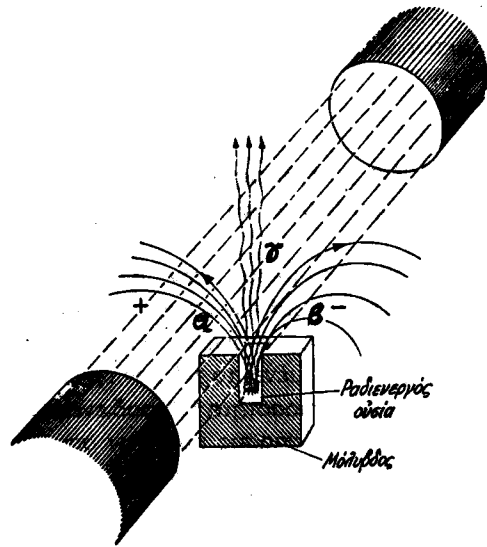
Έχει τις ίδιες ιδιότητες με τις ακτίνες Χ. Προκαλεί ιονισμό των αερίων και δεν εκτρέπεται από ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο γιατί δεν αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια. Λόγω μικρού μήκους κύματος, τα φωτόνια της έχουν μεγάλη ενέργεια και έτσι εμφανίζουν μεγαλύτερη διαπερατότητα και από τις πλέον σκληρές ακτίνες Χ. Οι ακτίνες γ χρησιμοποιούνται και αυτές στην ακτινοθεραπεία.

● 7.3.4 Ραδιενεργή διάσπαση

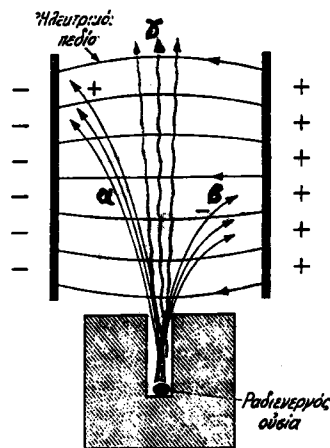
Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η εκπομπή ραδιενέργειας μειώνεται. Πειραματικά διαπιστώνεται ότι στην μονάδα του χρόνου έχουμε σταθερό αριθμό διάσπασης ραδιενεργών πυρήνων, με αποτέλεσμα ο αριθμός τους να μειώνεται συνέχεια και μάλιστα εκθετικά με την πάροδο του χρόνου. Η μείωση του αρχικού αριθμού πυρήνων ακολουθεί στατιστικά τους νόμους περί θνησιμότητας πληθυσμού χωρίς γεννήσεις.

Μετά την εκπομπή ακτινοβολίας ο πυρήνας ή πέφτει σε σταθερή επ' άπειρο κατάσταση, ή μπορεί να ακτινοβολήσει ξανά. Η πιθανότητα νέας ακτινοβολίας σε μικρό χρονικό διάστημα, επομένως και νέας διάσπασης ποικίλει, από στοιχείο σε στοιχείο και διακρίνει τα στοιχεία σε μακρόβια και βραχύβια. Επίσης εξαρτάται από κάθε ραδιενεργό στοιχείο και ο ρυθμός διάσπασης του πυρήνα του.

Η μείωση αυτή του αριθμού των αρχικών πυρήνων (μπροικιών), αποδείχθηκε πειραματικά όταν καταφέραμε να απομονώσουμε και να παρατηρήσουμε τα νέα



Ανάλυση ραδιενέργειας από ομογενές μαγνητικό πεδίο. Σωματίδια α και β εκτρέπονται με αντίθετη φορά, ενώ η ακτινοβολία γ διέρχεται ανεπηρέαστη



Διάκριση ακτινοβολίας α από β, με την βοήθεια ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου

ραδιενεργά στοιχεία (θυγατρικά) που δημιουργήθηκαν με την εκπομπή της ακτινοβολίας.

● 7.3.5 Νόμος ραδιενεργών μετατροπών Χρόνος υποδιπλασιασμού

Ο χρόνος μέσα στον οποίο διασπάται ο μισός αριθμός ποσότητας ραδιενεργών πυρήνων στοιχείου, λέγεται ημιζωή (T) ή χρόνος υποδιπλασιασμού του ραδιενεργού στοιχείου. Επομένως μετά χρόνο T μένουν οι μισοί πυρήνες, μετά χρόνο 2T μένει το 1/4 των αρχικών πυρήνων και γενικά μετά χρόνο $n \cdot T$ θα έχει απομείνει ποσότητα $1/2^n$ ραδιενεργών πυρήνων.

Η σχέση διάσπασης πυρήνων σαν συνάρτηση του χρόνου ημισείας ζωής T που περιγράψαμε, είναι γνωστή σαν Νόμος ραδιενεργών μετατροπών δίνεται από την σχέση

$$dN = -\lambda \cdot dt \cdot N$$

με dN τον αριθμό των πυρήνων που διασπώνται σε χρόνο dt, N τον αρχικό αριθμό των πυρήνων και λ την σταθερά διάσπασης.

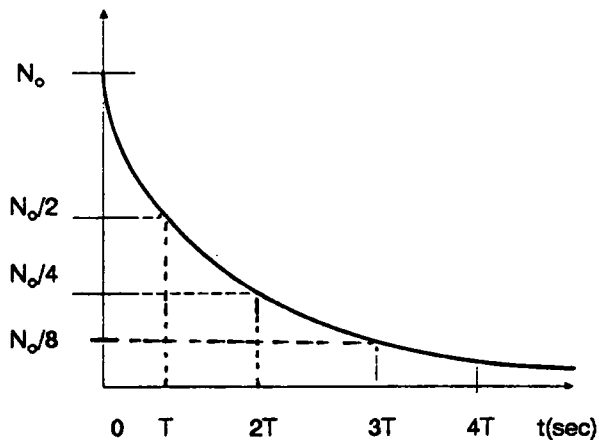
Ολοκληρώνοντας την σχέση έχουμε

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

όπου N_t οι πυρήνες που υπάρχουν ακόμη αδιάσπαστοι.

Ο χρόνος ημιζωής $T = 0.693/\lambda$, όπου λ η σταθερά διάσπασης.

Με την βοήθεια της καμπύλης μπορούμε συνεχώς να υπολογίσουμε πόσο ραδιενεργό στοιχείο παρέμεινε και πόσο διασπάσθηκε, καθώς και πόσο θα απομείνει μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης εμφανίζεται ο αριθμός των πυρήνων που απομένουν, με N_0 τον αρχικό αριθμό.

● 7.3.6 Οικογένειες φυσικών ραδιενεργών στοιχείων

Στα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία πολλές φορές και το μητρικό (που μπορεί να τροήλθε από ραδιενεργό διάσπαση άλλου στοιχείου) και το θυγατρικό στοιχείο

παρουσιάζουν ραδιενέργεια. Έτσι σχηματίζονται σειρές ή οικογένειες ραδιενεργών στοιχείων που αρχίζουν από ένα πολύ μακρόβιο μητρικό στοιχείο και καταλήγουν σε ένα σταθερό θυγατρικό ισότοπο του μολύβδου.

Οι γνωστότερες οικογένειες είναι οι παρακάτω :

1η) οικογένεια θορίου. Μητρικό στοιχείο το θόριο-232 ($_{90}\text{Th}^{232}$), με χρόνο υποδιπλασιασμού $13,9 \cdot 10^9$ χρόνια. Τα μέλη της σειράς έχουν μαζικούς αριθμούς του τύπου $A=4n$, όπου η ακεραίος και $52 < n < 58$. Τελειώνει στον μολύβδο-208 ($_{82}\text{Pb}^{208}$).

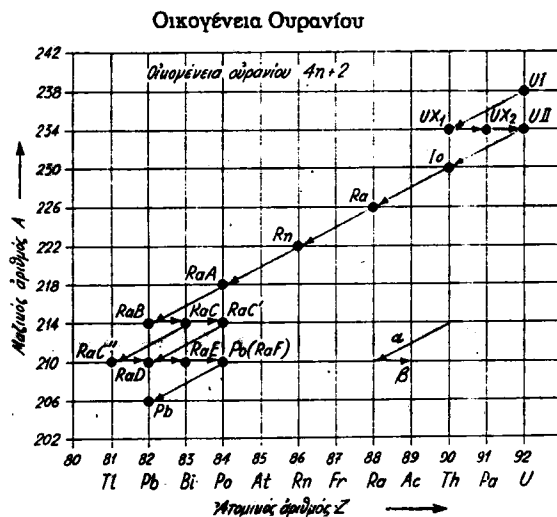
2η) οικογένεια ακτινίου ή ακτινουργανίου. Μητρικό στοιχείο το ακτινουργάνιο (ισότοπο του ουρανίου $_{92}\text{U}^{235}$), με χρόνο υποδιπλασιασμού $7,1 \cdot 10^8$ χρόνια. Τα μέλη της σειράς έχουν μαζικούς αριθμούς του τύπου $A=4n+3$, όπου η ακεραίος και $51 < n < 58$. Τελειώνει στον μολύβδο-207 ($_{82}\text{Pb}^{207}$).

3η) οικογένεια ουρανίου

Μητρικό στοιχείο το ουράνιο 238 ($_{92}\text{U}^{238}$), με χρόνο υποδιπλασιασμού $4,5 \cdot 10^9$ χρόνια. Τα μέλη της σειράς έχουν μαζικούς αριθμούς του τύπου $A=4n+2$, όπου η ακεραίος και $51 < n < 59$. Τελειώνει στον μολύβδο-206 ($_{82}\text{Pb}^{206}$).

4η) οικογένεια ποσειδωνίου. Αργήσε να ανακαλυφθεί γιατί τα πρώτα μέλη της κατασκευάστηκαν τεχνητά στο εργα-

στήριο και αργότερα βρέθηκαν στην φύση. Το ποσειδώνιο 237 ($_{93}\text{Np}^{237}$) ΔΕΝ υπάρχει ελεύθερο στην φύση και σαν το μακροβιώτερο της σειράς της έδωσε το όνομά του. Μητρικό στοιχείο το πλουτώνιο- 241 ($_{94}\text{Pu}^{241}$). Τα μέλη της σειράς χαρακτηρίζονται σαν τεχνητά ραδιενεργά βαρέα ισότοπα, με μαζικούς αριθμούς του τύπου $A=4n+1$, όπου η ακεραίος και $52 < n < 60$. Η οικογένεια τελειώνει με το βισμούθιο 209 ($_{83}\text{Bi}^{209}$).



7.4 Μέθοδοι ανίχνευσης και μέτρησης ακτινοβολιών

● 7.4.1 Μέθοδοι παρατήρησης σωματιδίων

Με τις πυρηνικές διασπάσεις και μεταβολές ελευθερώνονται:

- α) σωματίδια μεγάλης κινητικής ενέργειας και φορτισμένα : σωματίδια α, β, ηλεκτρόνια, ή αφόρτιστα όπως τα νετρόνια
- β) ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγάλης ενέργειας όπως φωτόνια γ, φωτόνια Χ και
- γ) μικτή ακτινοβολία

Όλα τα παραπάνω είδη ακτινοβολίας αντιδρούν με την ύλη. Λόγω μεγάλης τους ενέργειας μπορούν να ανιχνευθούν και μεμονωμένα σαν σωματίδια ξεχωριστά, ή φωτόνια.

Η ακτινοβολία προκαλεί **ιονισμό ή διέγερση** των μορίων ή των ατόμων της **ύλης**. Επομένως η παρατήρηση των κινουμένων σωματιδίων της ακτινοβολίας ανάγεται σε παρατήρηση των ιόντων που παράγονται από την αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης.

Επίσης κινούμενα σωματίδια ακτινοβολίας προκαλούν **οπτικά φαινόμενα : αμαύρωση φωτογραφικών πλακών, φθορισμό ή και φωσφορισμό καταλλήλων ουσιών** και μπορούν να ανιχνευθούν με αυτά τα φαινόμενα που προκαλούν.

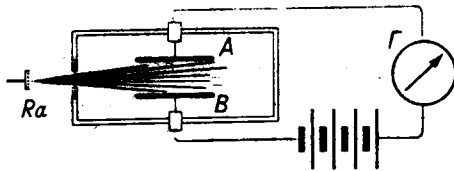
● 7.4.2. Ο ιονισμός σαν μέθοδος παρατήρησης

Θάλαμος ιονισμού

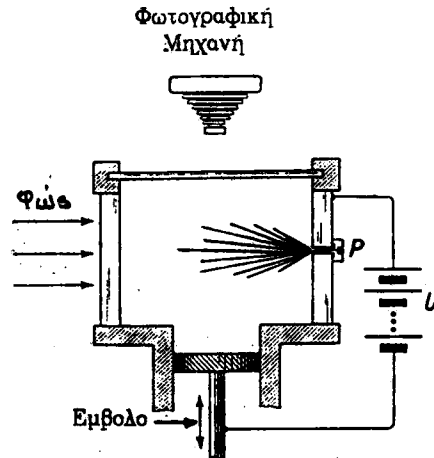
Μέσα σε μεταλλικό θάλαμο υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια. Στον θάλαμο εισέρχονται φορτισμένα σωματίδια (α που προέρχονται από φυσικό ραδιενεργό ράδιο στην περίπτωση μας) και ιονίζουν (παράγουν ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα) το αέριο που υπάρχει μέσα στον θάλαμο. Κατάλληλο ηλεκτρικό πεδίο συνεχούς ρεύματος, θέτει σε κίνηση τα ιόντα που δημιουργούνται. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται μετρείται από γαλβανόμετρο. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από τον αριθμό των σωματιδίων που εισέρχονται στον θάλαμο.

Με τον θάλαμο ιονισμού μετρείται ο αριθμός των σωματιδίων και η ενέργειά τους. Χρησιμοποιείται για σωματίδια α, β, γ και για ακτινοβολία Ραϊντγκεν.

Αν τα σωματίδια είναι ελάχιστα και το ρεύμα που δημιουργούν τα ιόντα μη μετρήσιμο, τότε το γαλβανόμετρο αντικαθίσταται από ηλεκτροσκόπιο. Η απόκλιση των φύλλων του ανιχνεύει την ύπαρξη σωματιδίων ακτινοβολίας.



Σχηματική παράσταση
θαλάμου Ιονισμού



Σχηματική παράσταση
θαλάμου Wilson

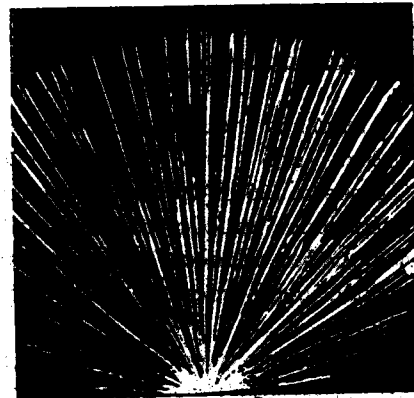
● 7.4.3. Οπτικές μέθοδοι παρατήρησης

Θάλαμος Wilson

Αποτελείται από μεταλλικό δοχείο μέσα στο οποίο υπάρχουν μίγμα αέρα και κορεσμένων υδρατμών. Μέσα σ' αυτό τον χώρο τοποθετείται το ραδιενεργό υλικό και όλος ο θάλαμος φωτίζεται με λευκό φως με την βοήθεια πλευρικού παραθύρου. Το πάνω μέρος του θαλάμου καλύπτεται από γυάλινη πλάκα, από όπου γίνεται η παρατήρηση ή η φωτογράφιση και το κάτω μέρος του κλείνεται από έμβολο που μπορεί να κινηθεί. Αν θέλουμε να μετρήσουμε ακτινοβολία που προέρχεται από εξωτερική πηγή, εκθέτουμε τον θάλαμο στην ακτινοβολία.

Προκαλούμε απότομη εκτόνωση μετακινώντας το έμβολο. Ο χώρος ψύχεται, οι υδρατμοί είναι έτοιμοι για συμπύκνωση προσπαθώντας να σχηματίσουν σταγόνες. Αλλά λείπουν οι κατάλληλοι πυρήνες συμπύκνωσης (σκόνη, ιόντα) και δεν το καταφέρνουν.

Αν όμως εισέλθει ακτινοβολία, ιονίζει τον χώρο και εμφανίζονται σταγονίδια που χρησιμοποιήσαν τα ιόντα σαν πυρήνες συμπύκνωσης. Έτσι εμφανίζεται για κάποιο χρονικό διάστημα λευκή γραμμή που αποτελείται από σταγονίδια.



τροχιές σωματιδίων α



σωματίδια β
ταχέως κινούμενα
(διακεκομμένη γραμμή)
και αργά κινούμενα
(καμπύλες γραμμές)

Το εσωτερικό του θαλάμου φωτογραφίζεται από κατάλληλα προσαρμοσμένη φωτογραφική μηχανή και έχουμε φωτογραφίες όπως το προηγούμενο δείγμα.

Αν τοποθετήσουμε τον θάλαμο μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, τότε δυνάμεις Laplace καμπυλώνουν τις τροχιές των σωματιδίων και μπορούμε μελετώντας τις τροχιές να σχηματίσουμε γνώμη για την μάζα των σωματιδίων. Από την πυκνότητα των ιόντων που σχηματίζονται και το συνολικό μήκος της τροχιάς του σωματιδίου (εμβέλεια), καθορίζουμε το είδος και την ενέργεια του σωματιδίου.

Παρατηρούμε επίσης ότι τα σωματίδια α παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα σταγονιδίων, ενώ τα β (τροχιές ηλεκτρονίων) εμφανίζουν τροχιές λεπτές και διακεκομμένες.

Με τον θάλαμο Wilson παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά το **ποζιτρόνιο και το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης**. Κβάντο ενέργειας (φωτόνιο), υλοποιείται σε ζεύγος σωματιδίων (ποζιτρόνιο-ηλεκτρόνιο) με ταυτόχρονη εξαφάνιση του φωτονίου.

θάλαμος φυσαλίδων

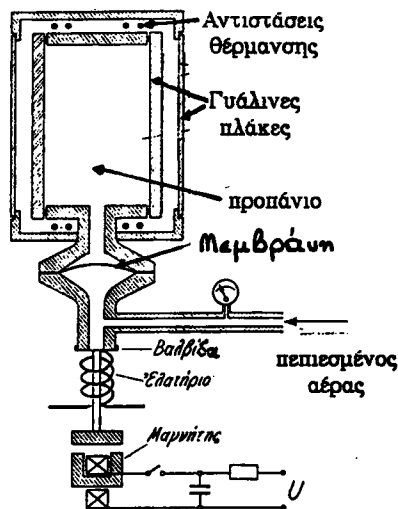
Παραλλαγή του θαλάμου Wilson, προτάθηκε από τον Αμερικανό Φυσικό D. Glase το 1952. Αντί σταγονίδια μέσα σε υπέρκορους ατμούς, εδώ σχηματίζονται φυσαλίδες μέσα σε υπέρθερμο, τελείως καθαρό, υγρό (προπάνιο, υδρογόνο, υγρό ήλιο).

Ο θάλαμος φυσαλίδων στηρίζει την λειτουργία του στην φυσική αρχή κατά την οποία, αν ελαττωθεί απότομα η πίεση υπέρθερμου υγρού σε τιμή μικρότερη της τάσης κορεσμένων ατμών σε δεδομένη θερμοκρασία, τότε δεν σχηματίζονται φυσαλίδες βρασμού σε ολόκληρη την μάζα του υγρού, αλλά μόνο σε περιοχή διαταραχής (που προκάλεσε πχ ιονισμένο μόριο του υγρού).

Ετσι η διέλευση από την μάζα του υγρού σωματιδίου ακτινοβολίας, προκαλεί ιονισμό κατά την τροχιά διέλευσής του και εμφάνιση ορατών φυσαλίδων κατά μήκος της ίδιας τροχιάς.

Ο θάλαμος φυσαλίδων υπερτερεί του αντίστοιχου Wilson διότι:

- τα σωματίδια μεγάλης ενέργειας συναντούν μεγαλύτερες αντιστάσεις στην κίνησή τους μέσα σε υγρά, παρά στον αέρα. Ετσι στον θάλαμο φυσαλίδων μπορούμε να παρακολουθήσουμε ολόκληρη την τροχιά του σωματιδίου, ενώ στον θάλαμο Wilson μικρό μέρος της μόνο.



Σχηματική παράσταση θαλάμου φυσαλίδων με προπάνιο

β) Ο νεκρός χρόνος μη λειτουργίας του θαλάμου φυσσαλίδων μπορεί να περιορισθεί σε ελάχιστο, εν αντιθέσει με τον θάλαμο Wilson που δεν μπορεί να δώσει ένδειξη παρουσίας σωματιδίου κατά την στιγμή της εκτόνωσης.

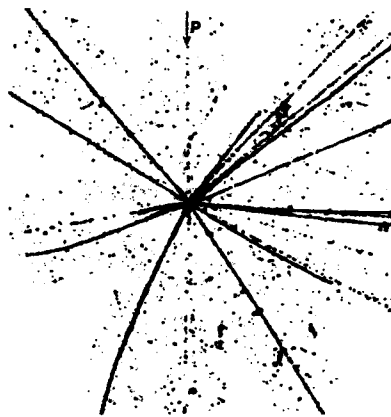
φωτοπαθή γαλακτώματα

Η προσβολή και η αμαύρωση φωτογραφικών πλακών από ραδιενεργά σωματίδια, μας επιτρέπει να παρακολουθήσουμε τις τροχιές τους και να διακρίνουμε τα είδη τους,

Τα φωτοπαθή γαλακτώματα χρησιμοποιούνται για ανίχνευση και διάκριση σωματιδίων της κοσμικής ακτινοβολίας και βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς της Πυρηνικής έρευνας.

Πάνω στις εμφανισμένες φωτογραφικές πλάκες, μελετάται η πυκνότητα των κόκκων ιόντων μεταλλικού αργύρου που σχηματίστηκαν κατά μήκος της τροχιάς του σωματιδίου, όταν διέσχισε το φωτοπαθές γαλάκτωμα (από βρωμιούχο άργυρο και ζελατίνη).

Αν μάλιστα η πλάκα είχε τοποθετηθεί μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, από τις διαφορετικές καμπυλότητες των τροχιών διακρίνουμε και τα είδη των σωματιδίων της ακτινοβολίας.



φωτογραφία τροχιών σωματιδίων που διαπέρασαν φωτοπαθές γαλάκτωμα

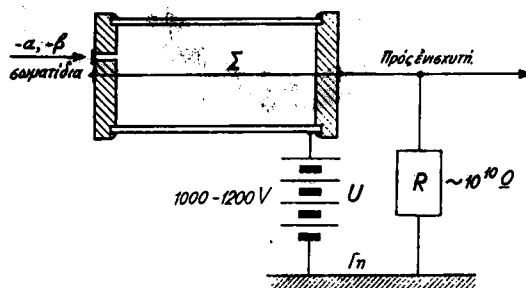
● 7.4.4 Απαριθμητές

Απαριθμητής Geiger-Muller

Είναι ο περισσότερο γνωστός, φορητός και διαδεδομένος απαριθμητής ραδιενέργειας

Χρησιμοποιεί την ιονιστική ιδιότητα της ακτινοβολίας για να ανιχνεύσει σωματίδια α και β δίχως να μπορεί να αναγνωρίσει το είδος τους. Έχει μικρή απόδοση στην ακτινοβολία γ .

Αποτελείται από κύλινδρο γυάλινο ή μεταλλικό που κατά μήκος του άξονά του έχει σύρμα μονωμένο Σ , συνδεδεμένο στον θετικό πόλο πηγής σταθερής τάσης 1000-1200V. Ο χώρος του απαριθμητή είναι γεμμάτος από μίγμα αργού με αιμούς οργανικής ουσίας (οινοπνεύματος) σε πίεση 0,1atm. Ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με το περίβλημα του οργάνου και γειώνεται. Ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια εφαρμόζεται τάση λίγο μικρότερη της απαραίτητης για την



Σχηματική παράσταση απαριθμητή Geiger

δημιουργία αυτοτελούς εκκένωσης. Τα σωματίδια της ακτινοβολίας εισέρχονται από ειδικό παράθυρο, ionίζουν το αέριο και τα ιόντα επιταχύνονται από το πεδίο. Έτσι σχηματίζονται και άλλα ιόντα, συνέχεια, μέχρι που αρχίζει ηλεκτρική εκκένωση. Το ρεύμα που σχηματίζεται περνά μέσα από ωμική αντίσταση σε σειρά συνδεδεμένη και αναπτύσσει τάση στα άκρα της.



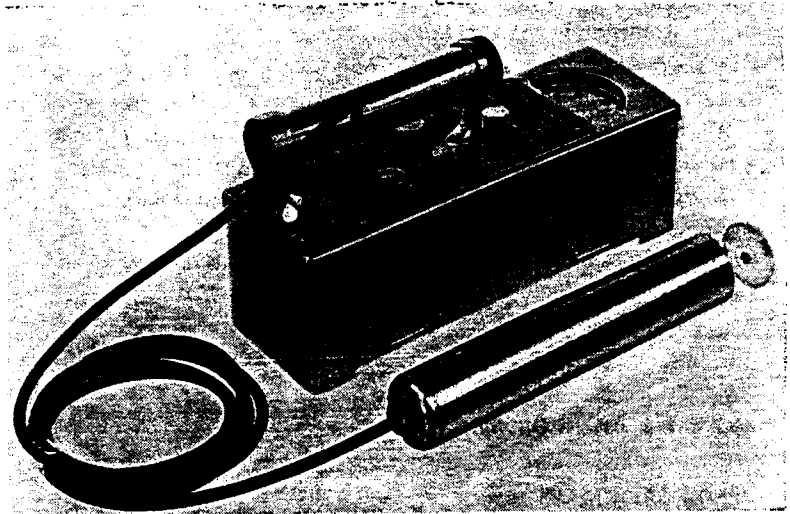
γραφική καταγραφή σωματιδίων α

Το ρεύμα αφού ενισχυθεί, διεγείρει κατάλληλο μικρόφωνο οπότε ακούγεται σύντομος ήχος, ή διαβιβάζεται σε κατάλληλη διάταξη μέτρησης και καταγραφής.

Με μεγάλη τιμή ωμικής αντίστασης ($M\Omega$), έχουμε αυτόματη απόσβεση του ρεύματος, αφού καταγραφεί το ionίζον σωματίδιο και ο απαριθμητής είναι έτοιμος για την επόμενη καταγραφή.

απαριθμητής

Geiger-
Muller



απαριθμητές σπινθηρισμών

Στην λειτουργία αυτών των απαριθμητών εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητα ωρισμένων κρυστάλλων (ανθρακένιο, ιωδιούχο νάτριο) να παρουσιάζουν φθορισμό, όταν πέσουν πάνω τους κατάλληλα σωματίδια.

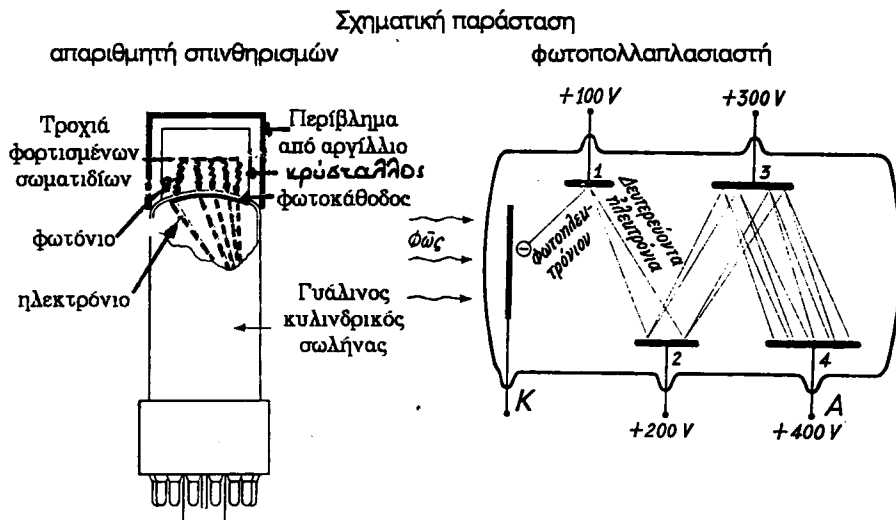
Τα σωματίδια α και β διεγείρουν τα μόρια του κρυστάλλου που εκπέμπουν φωτόνια και προκαλούν σπινθηρισμό, ο οποίος καταμετρείται με ευαίσθητο φωτοκύτταρο. Το προσπίπτον φώς στην κάθοδο του φωτοκύτταρου, προκαλεί εκπομπή φωτοηλεκτρονίων τα οποία καταμετρούνται.

Μ' αυτό τον τύπο απαριθμητή μετρείται και ακτινοβολία γ διότι προκαλεί με την διόδό της από τον κρύσταλλο, εκπομπή φωτοηλεκτρονίων και ηλεκτρονίων Compton που συμπεριφέρονται σαν β σωματίδια.

Επίσης εν σχέσει με τον απαριθμητή Geiger-Muller, μπορεί να καταγράφει μεγαλύτερο ποσοστό από τα προσπίπτοντα σωματίδια και επειδή έχει μεγάλη

Διακριτική ικανότητα μπορεί να διακρίνει δύο σχεδόν ταυτόχρονα διερχόμενα σωματίδια.

Συνήθως το πλήθος των φωτονίων που παράγονται κατά τον σπινθηρισμό είναι μικρό και το ίδιο συμβαίνει και με το πλήθος των φωτοηλεκτρονίων. Ετσι χρησιμοποιούμε αντί για τα συνηθισμένα φωτοκύτταρα ειδικές ενισχυτικές διατάξεις, τους φωτοπολλαπλασιαστές. Με αλληπάλληλες προσπτώσεις του αρχικού φωτονίου, μετά την κάθοδο Κ, σε κατάλληλα τοποθετημένα βοηθητικά θετικά ηλεκτρόδια, τελικά παίρνουμε αριθμό ηλεκτρονίων της τάξης των 10^6 στην ίνοδο Α.



Απαριθμητής Cerenkov

Η λειτουργία του στηρίζεται στο ομώνυμο φαινόμενο και χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ταχύτητας ταχύτατα κινούμενων σωματιδίων.

Το φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1934 από τον Ρώσο Φυσικό P.A.Cerenkov και τους συνεργάτες του I.M.Frank και I.J.Tamm. Είναι αντίστοιχο με το μέτωπο κύματος που εμφανίζεται στην Αεροδυναμική, όταν βλήμα ή αεροπλάνο διασχίζει την ατμόσφαιρα με ταχύτητα μεγαλύτερη του ήχου.

Εδώ έχουμε σωματίδιο πολύ μεγάλης κινητικής ενέργειας που διασχίζει οπτικό μέσο με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός στο συγκεκριμένο οπτικό μέσο. Τότε προκαλείται ορατή κυανίζουσα ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα διαφορετικά σημεία τροχιάς του σωματιδίου, η οποία δεν εξαπλώνεται σφαιρικά, αλλά κωνικά.

Η κωνική επιφάνεια του μετώπου κύματος της ακτινοβολίας Τσερένκοφ, έχει άξονα την τροχιά του σωματιδίου και εύρος γωνία ϕ , η μέτρηση της οποίας μας βοηθά στον υπολογισμό της ταχύτητας του σωματιδίου.

Το χαρακτηριστικό κυανίζον χρώμα του νερού των Πυρηνικών αντιδραστήρων τύπου κολυμβητικής δεξαμενής, οφείλεται ακριβώς στην ακτινοβολία Cerenkov που δημιουργήθηκε από ταχύως κινούμενα ηλεκτρόνια Compton (φωτόνια ακτινοβολίας γ πέφτουν πάνω σε ηλεκτρόνια και δημιουργούν φαινόμενο Compton).

Ο απαριθμητής χρησιμοποιείται για την μελέτη σωματιδίων υψηλής ενέργειας, όπως κοσμικής ακτινοβολίας, μεσονίων. Μ' αυτόν τον απαριθμητή διαπιστώθηκε η παραγωγή των αντιπρωτονίων (αντιύλη).

7.5 Δοσιμετρία

● 7.5.1 Μονάδες ραδιενέργειας

Το πλήθος των διασπώμενων πυρήνων ανά μονάδα χρόνου $\Delta N/\Delta t$ (ραδιενέργεια) μετρείται σε διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο.

Μονάδα μέτρησης το 1 Curie, 1Ci, $1c=3,7 \cdot 10^{10}$ διασπάσεις /sec, χρησιμοποιούνται και υποπολλαπλάσιά του, όπως το πικοκιουρί $1pc = 10^{-12} c$.

Άλλες μονάδες ραδιενέργειας :

- α) το Ράδερχορντ (rd) $1rd=10^6$ διασπάσεις/sec,
- β) η ραδιενέργεια των ιαματικών πηγών καθώς και η ραδιενέργεια του ατμοσφαιρικού αέρα που περιέχει ραδόνιο, μετρούνται σε εμάν (eman) $1eman=10^{-10}$ Curie/lt

● 7.5.2 Μονάδες Δόσης

Η ανίχνευση και η μέτρηση της ραδιενεργού ακτινοβολίας, είναι απαραίτητη λόγω των καταστροφών που επιφέρει η έκθεση σε ραδιενέργεια τόσο στην οργανική όσο και στην ανόργανη ύλη. Επίσης μας ενδιαφέρει η πρόγνωση των κινδύνων από ακτινοβολία, με σκοπό την θέσπιση και τήρηση των κανόνων ραδιοπροστασίας.

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από τους ιστούς δημιουργεί διεγέρσεις και ιονισμούς σε χρόνο της τάξης των 10^{-15} sec. Για ώρες μετά την απορρόφηση,

ρίζες και διεγερμένα μόρια αντιδρούν μεταξύ τους και δίνουν δευτερογενείς αντιδράσεις που διαρκούν για χρόνια και επιδρούν στα μακρομόρια, προξενώντας αλλαγές στην δομή των κυττάρων. Έτσι η βιολογική δράση της ακτινοβολίας κρατά μακρύ χρονικά διάστημα και προξενεί σημαντικές βιολογικές καταστροφές (μεταλλάξεις, θάνατο).

Στην αρχή για την μέτρηση της ραδιενέργειας χρησιμοποιήθηκε ο ιονισμός του αέρα που προξενεί η ακτινοβολία σαν μέτρο της ποσότητας της, με μονάδα μέτρησης το **Roentgen**. Είναι μονάδα έκθεσης σε ακτινοβολία και είναι ίσο με ποσότητα σκληρής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Χ, γ) που παράγει ιονισμό 1 e.s.u. σε 1cm³ αέρα συγκεκριμένης θερμοκρασίας και πίεσης.

Αργότερα διαπιστώθηκε ότι έχουμε καλλίτερη προσέγγιση στα φαινόμενα καταστροφής, αν χρησιμοποιήσουμε την ενέργεια που μεταφέρει η ακτινοβολία στην περιοχή μέτρησης. Χρησιμοποιήσαμε σαν μονάδα μέτρησης το **Rad**. Είναι μονάδα απορροφούμενης δόσης δηλ. το πηλίκο της ενέργειας ΔΕ που δίνεται από την ακτινοβολία σε μάζα Δm γύρω από το σημείο στο οποίο γίνεται η μέτρηση.

$$\text{rad} = \Delta E / \Delta m$$

Στην προστάθεια μέτρησης της ακτινοβολίας (Δοσιμετρία) με ειδικά όργανα και ανιχνευτές (δοσιμέτρα), ενδιαφερόμαστε για δύο τομείς: την ραδιοβιολογία και την ραδιοπροστασία.

Στην ραδιοβιολογία χρησιμοποιούμε σαν μονάδα το rad και καθορίζουμε ταυτόχρονα και το είδος της ακτινοβολίας.

Στην ραδιοπροστασία πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας την Βιολογική Δραστηκότητα της ακτινοβολίας (Relative Biological Effectives) RBE και έτσι χρησιμοποιούμε νέα μονάδα μέτρησης, το ισοδύναμο Roentgen ανθρώπου, ή δόση ακτινοβολήσης ανθρώπου το **rem (Roentgen Equivalent Men)**. Το **rem είναι το δινόμενο του rad επί των "ποιότητας" της ακτινοβολίας.**

● 7.5.3 Καταστρεπτικές δράσεις ακτινοβολίας

Αμέσως μετά την ανακάλυψη της ακτινοβολίας Roentgen το 1895, έγιναν γνωστές οι καταστρεπτικές δράσεις των ιονιστικών ακτινοβολιών. Σοβαρά εγκαύματα στο δέρμα, πέσιμο μαλλιών κεφαλής, αναφέρθηκαν από ασχολούμενους με την ακτινοβολία και το ίδιο συνέβη και με τις ακτίνες β και γ το 1898.

Το 1934 η Διεθνής Επιτροπή που είχε συσταθεί το 1928 στην Στοκχόλμη, όρισε δόση ανοχής για τους εργάτες ακτινοβολίας τα 0,2 Roentgen ανά ημέρα. Ηδη σαν μέγιστη επιτρεπτή δόση (δόση ανοχής) είχαν τεθεί τα 600 Roentgen.

Τα προβλήματα έγιναν πιο έντονα στο τέλος και μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο με τους Πυρηνικούς αντιδραστήρες και τις Ατομικές και Πυρηνικές δοκιμές. Εμφανίστηκαν οι ακτίνες β και γ, οι βιολογικές επιπτώσεις δράσης των νετρονίων, η δράση των ραδιοιστόπων της σχάσης. Ηδη τα MegaCurie που

παράγονταν σε κάθε σχάση δημιουργούσαν νέους τεράστιους κινδύνους.

Οι ακτίνες γ έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τις σκληρές ακτίνες Χ. Διεισδύουν μέσα στους ιστούς, προκαλούν ιονισμό και επιφέρουν σοβαρές ανωμαλίες στα αιμοποιητικά όργανα και στα κύτταρα του αίματος (λευχαιμία). Προκαλούν εξασθένηση του οργανισμού, επηρεάζουν το ανοσοποιητικό σύστημα, ελλαττώνουν την αντίστασή του και εκθέτουν τον οργανισμό σε μολύνσεις.

Η ακτινοβολία γ επίσης προκαλεί μεταλλάξεις. Επηρεάζει τα γονίδια των χρωματωσωμάτων του πυρήνα των κυττάρων, εκφυλίζει τα κύτταρα και τελικά δημιουργεί θυματρικά με ανώμαλες ιδιότητες που κληρονομούνται. Τα σωματίδια β απορροφούνται εύκολα και ισχωρούν στους ιστούς, αλλά σε μικρό βάθος και οι βλάβες που προκαλούν είναι περιορισμένες.

Ομοίως τα σωματίδια α απορροφούνται πολύ έντονα με αποτέλεσμα η βιολογική τους δράση να περιορίζεται μόνο στην επιδερμίδα, όπου προκαλούν εγκαύματα.

Μεγάλη σημασία παίζει η περιοχή έκθεσης του ανθρώπινου σώματος και η έκτασή της. Έτσι η κοιλιακή χώρα είναι πιο ευαίσθητη από το στήθος και γενικά μικρές τοπικές περιοχές "αντέχουν" περισσότερο στην έκθεση από ολόκληρο το σώμα, πάντοτε σαν συνάρτηση της διάρκειας έκθεσης.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι επαναληπτικές δόσεις ακτινοβολιών πολλών χιλιάδων Ραίντγκεν σε ορισμένες, περιορισμένες τοπικά, περιοχές του σώματος, χρησιμοποιούνται στην Ακτινοδιαγνωστική και την Ακτινοθεραπεία, ενώ δόση 400-600 Ραίντγκεν εξοντώνει μέσα σε 30 μέρες το ήμισυ του πληθυσμού που ακτινοβολήθηκε. Δόση μεγαλύτερη των 600 Ραίντγκεν προκαλεί βέβαιο θάνατο στον καθένα.

● 7.5.4 Ασφάλεια - Προφυλάξεις

Με γνωστές λοιπόν τις συνέπειες της έκθεσης σε ακτινοβολίες, οι ΗΠΑ δημιούργησαν ειδικό κλάδο της Ιατρικής την **Υγαιοφυσική** που ασχολείται αποκλειστικά με την προστασία του πληθυσμού από τις ακτινοβολίες. Καρταρίζει πίνακες έκθεσης μέγιστης επιτρεπτής δόσης, ρυθμούς δόσης, άνω όρια προστασίας, επιτρεπτές ποσότητες που χορηγούνται σε ασθενείς, διακρίνει σε κατηγορίες τους ανθρώπους που εκτίθενται κλπ.

Παράλληλα με τις βλαβερές επιδράσεις των ακτινοβολιών, πρέπει να αναφέρουμε την Τεχνητή Ραδιενέργεια που δημιουργήσαμε και προσπαθήσαμε να θέσουμε στην υπηρεσία της ανθρωπότητας.

1) Έτσι δημιουργήσαμε τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα και χρησιμοποιήσαμε την ακτινοβολία τους σε πολλές εφαρμογές όπως :

- α) Ιατρική και Βιολογική έρευνα
- β) Ιατρική διάγνωση (σχεδιογραφήματα οργάνων, εντοπισμό καρκινωμάτων, ραδιογραφία)
- γ) Θεραπευτική (ακτινοβολία καρκινωμάτων, εμφύτευση ραδιοισοτόπων μέσα σε ιστούς, τηλεθεραπεία).

δ) εφαρμογές στην Γεωργία, στην Βιομηχανία (παχυμέτρηση, πυκνομέτρηση, καθορισμό ρυθμού ροής και εντοπισμός διαρροών)

ε) Αρχαιολογία (ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα-14)

2) Προκαλέσαμε την σχάση ραδιενεργών πυρήνων με σκοπό να εκμεταλλευτούμε την τεράστια θερμική ενέργεια που εκλύεται. Η σχάση είναι έντονα εξώθερμη αντίδραση και ένας πυρήνας ουρανίου 235 αποδίδει 200MeV θερμική ενέργεια. Στους Πυρηνικούς σταθμούς χρησιμοποιούμε την ενέργεια αυτή για να θέσουμε σε λειτουργία ατμοστρόβιλους είτε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για κίνηση (πλοίων). Στην πράξη χρησιμοποιήθηκε ενός τόννου ουρανίου σε αντιδραστήρα ισχύος, αποδίδει ισοδύναμη ενέργεια με αυτή που θα απέδιδε η καύση 50000 τόννων άνθρακα (δυστυχώς όμως η σχάση δημιουργεί θυγατρικούς πυρήνες που είναι ραδιενεργοί και εκπέμπουν ακτινοβολία β και γ).

Τελικά δημιουργήσαμε νέες πηγές ενέργειας, νέους τομείς Έρευνας και Εφαρμογής και νέους κινδύνους ακτινοβολιών με την ενασχόληση μας με τις τεράστιες Πυρηνικές Δυνάμεις που εκλύονται με την διάσπαση των πυρήνων. Έτσι μεγάλο μέρος των συνανθρώπων μας αχολείται με την ραδιενέργεια και εκτίθεται σ' αυτή. Συγκεκριμένα έχουμε τους "εργάτες ακτινοβολιών" που είναι προσωπικό Νοσοκομείων, κέντρων ΑκτινοΔιαγνωστικών, Ακτινοθεραπευτικών, προσωπικό Πυρηνικών σταθμών και ασθενείς που δέχονται ακτινοβολία για θεραπευτικούς σκοπούς.

Από το 1905 έγινε συνείδηση ότι είναι επικίνδυνη η έκθεση σε ακτινοβολία και άρχισαν τα πρώτα μέτρα προστασίας. Οι λυχνίες παραγωγής ακτίνων Χ, σε Εργαστήρια και Νοσοκομεία, άρχισαν να καλύπτονται με δύσκολα διαπερατές μολύβδινες θωρακίσεις, να χρησιμοποιούνται φίλτρα και δέσμες μικρού ανοίγματος, τα παράθυρα παρατήρησης κατασκευάζονταν από μολυβδόαλο κλπ.

Όσον αφορά τα μηχανικά μέσα προστασίας, κάθε υλικό (φύση, πάχος) που δεν διαπερνάται από την ακτινοβολία, κρίνεται ικανοποιητικό. Έτσι θωρακίζουμε με μόλυβδο τους χώρους αποθήκευσης των ραδιενεργών υλικών, φροντίζουμε να χρησιμοποιούμε στενές και ελεγχόμενες δέσμες ακτινοβολίας και χειριζόμαστε τα υλικά πάντοτε από απόσταση και ποτέ με γυμνά χέρια.

Χρησιμοποιούνται ειδικές στολές που καλύπτουν ολόκληρο το σώμα, φίλτρα για την αναπνοή και ειδικές μάσκες για το πρόσωπο για τους άμεσα εκτεθειμένους χρήστες.

Ολόκληρο το προσωπικό των χώρων ακτινοβολίας είναι εκπαιδευμένο να τηρεί σχολαστικά τα μέτρα και τις νόρμες προστασίας και ασφάλειας, τόσο σε καθημερινή βάση, όσο και σε κατ'εξαιρέσεις εκτάκτου ανάγκης.

Η Διεθνής Επιτροπή για την προστασία από την ακτινοβολία ICRP (International Commission on Radiological Protection) εισήγαγε τους κανόνες ραδιοπροστασίας το 1959. Καθιέρωσε μέγιστες επιτρεπτές δόσεις που η Νομολογία όλων των κρατών περιλαμβάνει μαζί με άλλες προφυλάξεις.

Γενικά ορίστηκαν δόσεις 5 rem για κάθε έτος όσον αφορά ολόκληρο το σώμα, τα γονίδια, και τον μυελό των οστών. Για το δέρμα και τα οστά 30 rem ανά έτος, για τα χέρια 75 rem και για τα υπόλοιπα όργανα 15 rem ανά έτος. Η μέγιστη δόση που επιτρέπεται να συσσωρευτεί μέσα σε δύο μήνες είναι 3 rem και

πάντοτε απαγορεύεται η έκθεση σε ακτινοβολία ατόμων κάτω των 18 ετών.

Τελειώνοντας πρέπει να συμφωνήσουμε πως η ραδιενέργεια είναι μέρος της ζωής πολλών ανθρώπων, πως πρέπει να αναλογισθούμε και τα ευεργετικά της αποτελέσματα και δεν πρέπει να ξεχνούμε τις **δύο συστάσεις της ICRP** :

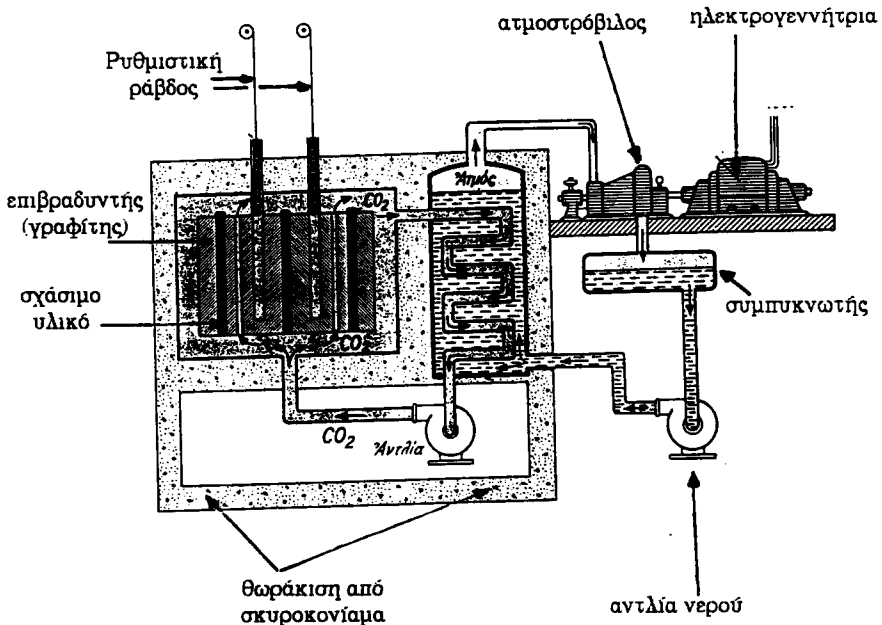
α) **Δεν υπάρχει δόση ακτινοβολίας κάτω από την οποία ο κίνδυνος είναι μηδενικός** και

β) η **ισοδύναμη δόση** που οφείλεται στα διάφορα είδη ακτινοβολίας είναι προσθετική και **δεν είναι δυνατόν να υπάρξει επιτυχής και τέλεια ίαση της καταστροφής που προκαλεί η έκθεση σε ραδιενέργεια.**

Σχηματική παράσταση εγκατάστασης Ατομικού σταθμού.

Η ενέργεια που ελευθερώνεται από την σχάση του πυρηνικού καυσίμου του αντιδραστήρα, μεταφέρεται με μορφή θερμότητας από το ψυκτικό υγρό (εδώ CO_2) στον εναλλάκτη θερμότητας. Ο ατμός που παράγεται βάζει σε λειτουργία ατμοστρόβιλο ο οποίος κινεί:

- ηλεκτρογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή
- στροφαλοφόρο άξονα για κίνηση πλοίου.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Halliday-Reschnick " Φυσική "
Εκδόσεις Γ.Α.Πνευματικός, Αθήνα 1976.
2. Halliday-Reschnick "Ασκήσεις Φυσικής"
Εκδόσεις Γ.Α.Πνευματικός, Αθήνα 1978.
3. Ν.Α.Οικονόμου "Εισαγωγή στην Φυσική"
Θεσσαλονίκη 1975
4. Κ.Αλεξόπουλου "Θερμότητα" Αθήνα 1963
5. Α.Ε.Μάζη "Φυσική" Εστία, Αθήνα 1971
6. Α.Ι.Μπρατάκου "Φυσική Ι" ΟΕΔΒ, Αθήνα 1990
7. Π.Α.Ντόβα "Φυσική Ι" ΟΕΔΒ, Αθήνα 1986
8. Γ.Μακρυγιάννη "Φυσική" Αθήνα 1975
9. Α.Π.Βολάνη "Φυσική για Δέσμες Ι και ΙΙ"
Gutenberg 1984
10. Α.Σ.Σαβάλλα "Προβλήματα Θερμοδυναμικής"
Αθήνα 1984
11. Κ.Ζ.Παγωνάρη "Τεχνική Θερμοδυναμική"
Ευγενίδειο Ίδρυμα, Αθήνα 1988
12. Σ.Γ.Περιστεράκη "Ατομική και Πυρηνική Φυσική"
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Αθήνα 1969
13. Στ.Χαραλάμπους "Εισαγωγή στην Ατομική και Μοριακή
Φυσική"
Θεσσαλονίκη 197
14. Στ.Χαραλάμπους "Ανιχνευτές Πυρηνικών Ακτινοβολιών"
Θεσσαλονίκη 1973
15. Στ.Χαραλάμπους "Δοσιμετρία και Βιολογικές επιπτώσεις
των Ακτινοβολιών"
Θεσσαλονίκη 1978
16. Α.Βαλαδάκης "Μιά νέα κατάσταση της ύλης: Quark και
Gluon"
Επιθεώρηση Φυσικής Μάιος 1985

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

