

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΣΕ
ΥΓΡΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΡΑΜΠΙΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΙΒΙΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2012

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ ΔΙΑΛΥΜΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ
ΣΕ ΥΓΡΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΡΑΜΠΙΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΜ : 4503

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Η δημιουργία και η ανάπτυξη των φυσαλίδων παίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς της τεχνολογίας, όπως στις αντλίες, με καίριο σημείο αναφοράς το φαινόμενο της σπηλαίωσης, ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη λειτουργία των συστημάτων άντλησης. Η μελέτη της δημιουργίας και της δυναμικής των φυσαλίδων είναι σημαντική σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως οι αντλίες θερμότητας, οι εναλλάκτες θερμότητας. Επιπλέον είναι σημαντική στη Γεωλογία κατά τη διάρκεια της εκρηκτικής απαέρωσης του μάγματος των ηφαιστείων. Η δημιουργία των φυσαλίδων και η δυναμική της ανάπτυξής τους είναι επίσης σημαντική και για ανθρώπινη φυσιολογία, όπου μπορούν να δημιουργηθούν φυσαλίδες αζώτου στο κυκλοφορικό σύστημα των δυτών, κατά τη διάρκεια σοβαρών περιστατικών αποσυμπίεσης. Τέλος, η δημιουργία και η δυναμική των φυσαλίδων είναι σημαντική για τη μελέτη φυσικών φαινομένων όπως η πυρηνογένεση και ο βρασμός.

Η ανάπτυξη των φυσαλίδων που διέπεται από μεταφορά μάζας, μπορεί να προκληθεί από ένα κορεσμένο διάλυμα, είτε με ελάττωση της πίεσης (αποσυμπίεση), είτε με αύξηση της θερμοκρασίας.

Abstract

The creation and growth of bubbles plays an important role in various fields of technology, such as pumps, with a key benchmark the phenomenon of cavitation, an important factor that affects the operation of pumping systems. . The study of creation and the dynamics of bubbles is important in industrial applications such as heat pumps, heat exchangers. In addition it is important to Geology during explosive degassing of volcanic magma. The creation of bubbles and their growth dynamics is also important for human physiology, where nitrogen bubbles can be created in the circulatory system of divers, during severe decompression incidents. Finally, the creation and bubble dynamics is important for the study of natural phenomena such as the pyrinogenesis and the boiling.

The development of bubbles covered by mass transport, can be caused by a saturated solution, either by reducing the pressure (decompression), or by increasing the temperature.

Πρόλογος

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση των κυριότερων στοιχείων που παίρνουν μέρος στην ανάπτυξη φυσαλίδων διαλυμένων αερίων σε υγρά. Με συνοπτικό τρόπο παρουσιάζονται οι ιδιότητες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη των φυσαλίδων, πως αυτές δημιουργούνται, τα αέρια και υγρά που έχουν κάποια τεχνολογική εφαρμογή ή εφαρμογή στην ναυτική τεχνολογία και αναφέρονται ενδεικτικά πρακτικές εφαρμογές της ανάπτυξης φυσαλίδων.

Η ανάπτυξη φυσαλίδων διαλυμένων αερίων στα υγρά, αποτελεί την αιτία διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων. Γι' αυτό και είναι απαραίτητη η μελέτη της δημιουργίας και ανάπτυξής τους τόσο από επιστημονικής πλευράς όσο και από βιομηχανικής. Επίσης, είναι αναγκαία η καταγραφή των αποτελεσμάτων των προκαλούμενων φαινομένων. Ξεκινώντας, αναφέρουμε τις βασικές έννοιες και ιδιότητες σε φαινόμενα που αφορούν τα υγρά και τα αέρια, όπως είναι η τάση και η διαλυτότητα των αερίων, ο βρασμός και η διαλυτότητα του νερού, ο κορεσμός και ο υπερκορεσμός, καθώς επίσης και η ισοβαρική αντιδιάχυση. Αναφορά στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται επίσης και για το νόμο του Henry, που σχετίζεται άμεσα με το θέμα της εργασίας. Στη συνέχεια, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των μηχανισμών που εμπλέκονται στη δημιουργία φυσαλίδων. Αναφορά σε ορισμούς όπως η πυρηνογένεση και η ηχοφωταύγεια, που επηρεάζουν ως επί το πλείστον τη δημιουργία και ανάπτυξη των φυσαλίδων. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρουμε τις ιδιότητες ορισμένων αερίων και υγρών, που έχουν πρακτική σημασία, όπως είναι το νερό (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το επτάνιο (C_7H_{16}), το άζωτο (N) και η γλυκερίνη ($C_3H_8O_3$). Τέλος, η ανάπτυξη και η δημιουργία των φυσαλίδων παρατηρείται σε βιομηχανικές και τεχνολογικές εφαρμογές, με σημαντικότερη αυτή της δημιουργίας της σπηλαίωσης σε αντλίες. Εφαρμογή παρουσιάζεται στους εναλλάκτες θερμότητας (heat exchangers) και στις αντλίες θερμότητας (heat pumps). Η δυναμική της ανάπτυξης και η δημιουργία των φυσαλίδων έχει σημαντικές εφαρμογές στην ανθρώπινη φυσιολογία, με κυριότερη αναφορά τη νόσο των δυτών (the Bends), καθώς επίσης είναι σημαντική και στη Γεωλογία, με σημείο αναφοράς την εκρηκτική απαέρωση μάγματος ηφαιστείων (explosive degassing of volcanic magma).

Κεφάλαιο 1

Βασικές έννοιες – ιδιότητες

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τις βασικές έννοιες που αφορούν την δημιουργία φυσαλίδων αλλά και τις ιδιότητες που σχετίζονται με το φαινόμενο αυτό.

Εισαγωγή στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (masstransfer) και μεταφορά ορμής (momentumtransfer).

Όταν νερό σε υγρή κατάσταση εκτίθεται σε ρεύμα ξηρού αέρα, τότε δημιουργείται ένα στρώμα αέρα με σχετικά μεγάλη συγκέντρωση σε ατμό κοντά στην επιφάνεια του νερού. Η διαφορά συγκέντρωσης ατμού κοντά στην επιφάνεια και στο ρεύμα ξηρού αέρα αποτελεί την ωθούσα δύναμη για μεταφορά του ατμού από την επιφάνεια του νερού προς τον ξηρό αέρα. Αυτό το είδος μεταφοράς μιας ουσίας σχετικά ως προς μια άλλη ονομάζεται μεταφορά μάζας. Κατά την διάρκεια των διεργασιών μεταφοράς μάζας, μια χημική ουσία “ταξιδεύει” (μεταφέρεται) από περιοχές όπου έχει υψηλή συγκέντρωση σε περιοχές όπου έχει χαμηλή συγκέντρωση. Συνεπώς το αίτιο μεταφοράς μάζας ενός συστατικού είναι η βάρθρωση συγκέντρωσης του κατά την διεύθυνση μεταφοράς κατά πλήρη αντιστοιχία με τα γνωστά φαινόμενα μεταφοράς ενέργειας όπου το αίτιο μεταφοράς είναι η βάρθρωση θερμοκρασίας κατά την διεύθυνση μεταφοράς.

Η μεταφορά μάζας εκ της φύσεως της συνδέεται στενά με μίγματα χημικών ουσιών, δηλαδή δεν νοείται η διεργασία της μεταφοράς μάζας σε συστήματα ενός μόνο συστατικού διότι σε αυτά δεν είναι δυνατό να αναπτυχθεί η βάρθρωση συγκέντρωσης. Ο ανωτέρω μηχανισμός μεταφοράς μάζας ονομάζεται διάχυση μάζας (mass diffusion or conduction) και δεν αποτελεί τον μοναδικό τρόπο μεταφοράς μάζας. Η διάχυση μάζας, όπως έχει προαναφερθεί, αναφέρεται στη σχετική κίνηση ενός συστατικού ενός μίγματος ως προς τα άλλα συστατικά του μίγματος. Όμως αυτός δεν είναι ο μοναδικός μηχανισμός μεταφοράς μάζας γιατί τα μόρια κάθε συστατικού ενός μίγματος σε ρευστή κατάσταση μπορεί να μεταφέρονται εξαιτίας της προσανατολισμένης κίνησης του ρευστού χωρίς να μεταβάλλεται η συγκέντρωσή τους μέσα στο μίγμα. Αυτός ο μηχανισμός μεταφοράς μάζας που έχει ως αίτιο τη ροή και όχι τη βάρθρωση συγκέντρωσης ονομάζεται συναγωγή μάζας (mass convection). Στη μεταφορά ορμής, το υγρό αντιμετωπίζεται ως μία συνεχής κατανομή της ύλης. Η μελέτη της μεταφοράς ορμής, ή ρευστών μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κλάδους: υδροστατική (υγρά σε κατάσταση ηρεμίας) και δυναμική των ρευστών (υγρά σε κίνηση). Όταν ένα υγρό ρέει στη κατεύθυνση X σε μια στερεή επιφάνεια, το υγρό έχει ορμή κατευθυνόμενη προς τα X και η συγκέντρωσή του είναι $v_{x,r}$. Από τυχαία διάχυση των μορίων, υπάρχει μια ανταλλαγή των μορίων

στη κατεύθυνση Z. Ως εκ τούτου η ορμή X-κατεύθυνσης έχει μεταβιβαστεί στη κατεύθυνση Z από τη πιο γρήγορη-στη πιο αργή-κινούμενη στρώση. Η εξίσωση για τη μεταφορά ορμής είναι ο Νόμος του Newton για το ιξώδες, γραμμένος ως εξής:

$$\tau_{zx} = -\nu \frac{\partial \rho v_x}{\partial z}$$

όπου τ_{zx} είναι η ροή της κατευθυνόμενης ως προς τα X στη διεύθυνση των Z, το ν είναι μ/ρ , η διαχυσιμότητα της ορμής Z είναι η απόσταση της μεταφοράς ή διάχυσης, ρ είναι η πυκνότητα, και μ το ιξώδες. Ο Νόμος του Newton είναι η απλούστερη σχέση μεταξύ της ορμής των υγρών και της ταχύτητας κλίσης.

1.1 Η τάση των αερίων

Η επιφανειακή τάση είναι μια ιδιότητα η οποία παρατηρείται στο σημείο επαφής μεταξύ ενός υγρού και ενός αερίου π.χ. μεταξύ νερού και αέρα. Η επιφάνεια του υγρού συμπεριφέρεται σαν μια ελαστική μεμβράνη. Η ερμηνεία της επιφανειακής τάσης ενός υγρού είναι ότι ενώ τα μόρια αερίου στο εσωτερικό της φυσαλίδας έλκονται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις από τα γύρω μόρια, τα επιφανειακά μόρια έλκονται μονόπλευρα προς το κέντρο της φυσαλίδας (αυτός είναι και ο λόγος για την οποία η επιφάνεια ενός υγρού τείνει να ελαχιστοποιηθεί παίρνοντας σφαιρική μορφή ή μορφή σταγόνας όταν πρόκειται για υγρό). Όλοι μας έχουμε παρατηρήσει κάποια έντομα τα οποία κάθονται στην επιφάνεια του νερού χωρίς να βουλιάζουν. Στα πόδια του εντόμου φαίνεται καθαρά η επιφανειακή τάση του νερού, παρ' ότι έχει παραμορφωθεί η επιφάνεια του νερού το έντομο δεν βουλιάζει.



Εικόνα 1. Έντομο που σταθεροποιείται στο νερό.

Ακόμα ένα καλό παράδειγμα είναι το ξυραφάκι το οποίο επιπλέει στην επιφάνεια του νερού, το ειδικό βάρος (πυκνότητα) του μετάλλου ($\rho = 7,85 \text{ kg/dm}^3$) είναι 7,85 φορές μεγαλύτερη από το ειδικό βάρος (πυκνότητα) του νερού ($\rho = 1,0 \text{ Kg/dm}^3$) βλέπουμε ότι το ξυραφάκι δεν βουλιάζει.



Εικόνα 2. Το ξυραφάκι έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό.

Παρατηρώντας μια βρύση που στάζει, για παράδειγμα, διαπιστώνουμε ότι οι σταγόνες του νερού τείνουν πάντα να πάρουν σφαιρική μορφή. Βλέπουμε λοιπόν σε όλες τις εφαρμογές μεταξύ υγρών και αερίων τον κύριο λόγο έχει η επιφανειακή τάση των υγρών και αντίστοιχα η τάση των αερίων όταν ένα αέριο είναι εγκλωβισμένο μέσα σε ένα υγρό π.χ. όπως οι φυσαλίδες ή οι σαπουνόφουσκες.

1.2 Βρασμός

Βρασμός, ή ζέση, τόσο στη Φυσική όσο και στη Χημεία ονομάζεται η μετατροπή της μάζας μιας ποσότητας υγρού σε αέριο. Αποτελεί δε μια από τις αλλαγές φάσεων της φυσικής μορφής της ύλης (κατάσταση της ύλης). Διακρίνεται από την εξάτμιση από το γεγονός ότι στο βρασμό έχουμε δημιουργία φυσαλίδων αερίου σε όλο τον όγκο του υγρού, ενώ στην εξάτμιση έχουμε διαφυγή μορίων του υγρού μόνο από την επιφάνειά του. Καθώς θερμαίνεται ένα υγρό τα σωματίδιά του που συγκροτούν αυτό αρχίζουν να ταλαντώνονται όλο και ταχύτερα. Έτσι σιγά σιγά υπερνικούν τις μεταξύ τους ελκτικές δυνάμεις που τα συγκρατούν στις πρότερες θέσεις ισορροπίας τους με αποτέλεσμα το υγρό ν' αρχίζει να βράζει.

Η θερμοκρασία στην οποία βράζει μια καθαρή υγρή ουσία λέγεται σημείο βρασμού (Σ.Β.), ή «θερμοκρασία βρασμού». Συνεπώς κάθε καθαρή ουσία έχει συγκεκριμένο σημείο βρασμού ή σημείο ζέσεως (Σ.Ζ.). Πάντως, το σημείο βρασμού εξαρτάται από την πίεση του αέρα (ή του αερίου) που περιβάλλει το υγρό. Για παράδειγμα το νερό βράζει στους 100° C (ή 212° F) στο επίπεδο της θάλασσας. Αντίθετα, σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο όπου εκεί η ατμοσφαιρική πίεση είναι μικρότερη το «σημείο βρασμού» είναι αισθητά χαμηλότερο. Για παράδειγμα στη κορυφή του Έβερεστ όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι 0,35 ατμόσφαιρες το Σ.Β του νερού είναι 80°C. Συνήθως το σημείο βρασμού δίνεται σε κανονικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης εξ ου λεγόμενο και κανονικό σημείο βρασμού που είναι πάντα το ίδιο για την ίδια καθαρή ουσία (απαλλαγμένη από προσμίξεις). Εξ αυτού του γεγονότος οι τιμές των Σ.Β. των διαφόρων καθαρών ουσιών μπορούν ν' αποτελέσουν και μέτρα της θερμοκρασίας. Οι λεγόμενες "πέτρες βρασμού" τις οποίες προσθέτουμε αρκετές φορές σε κάποιο υγρό έχουν σκοπό την αποφυγή δημιουργίας ενός υπέρθερμου υγρού το οποίο αρχίζει να βράζει "ξαφνικά" σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την αναμενόμενη, που τούτο συμβαίνει όταν πρόκειται για καθαρή ουσία.

1.3 Νόμος του Henry



Εικόνα 3. William Henry Άγγλος χημικός, γεννήθηκε στο Manchester την 12.12.1775 και απεβίωσε την 02.09.1836 στο Pendlebury.

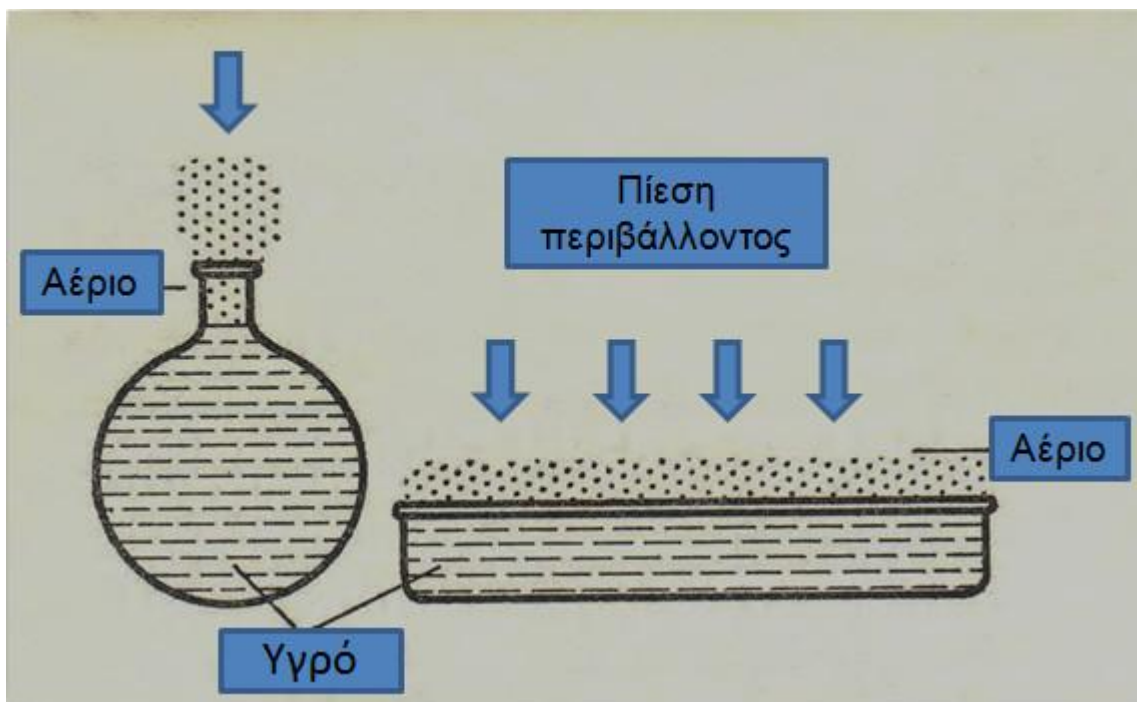
Σε σταθερή θερμοκρασία, η ποσότητα ενός αερίου που διαχέεται σε ένα υγρό είναι σχεδόν ανάλογη ως προς τη μερική πίεση του αερίου.

Η διαλυτότητα ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη ως προς την θερμοκρασία, ή αλλιώς, όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο μειώνεται η διαλυτότητα ενός αερίου μέσα σε ένα υγρό.

Άλλος ένας παράγοντας ο οποίος εμποδίζει την διαλυτότητα των αερίων στα υγρά είναι τα διάφορα στερεά σωματίδια τα οποία βρίσκονται διαλυμένα μέσα στο υγρό, π.χ. το αλάτι στο θαλασσινό νερό, αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το θαλασσινό νερό περιέχει μικρότερη ποσότητα οξυγόνου από ότι το γλυκό νερό ενός ποταμού ή μιας λίμνης.

Στο σημείο επαφής ανάμεσα σε ένα αέριο και ένα υγρό δημιουργείται διάχυση (Diffusion) δηλαδή μετακίνηση μορίων ανάμεσα στο αέριο και το υγρό, επομένως η επιφάνεια είναι καθοριστικός παράγοντας για την ταχύτητα διάχυσης ενός αερίου σε ένα υγρό εφόσον δεν αλλάξει η περιβαλλοντική πίεση και η θερμοκρασία του υγρού.

Το ανοιχτό δοχείο έχει μεγάλη επιφάνεια επαφής, αντίστοιχα θα κορεστεί πολύ πιο γρήγορα από ότι η φιάλη με πολύ μικρό σημείο επαφής.



Εικόνα 4. Παράδειγμα φαινομένου διάχυσης (diffusion).

1.4 Διαλυτότητα

Με τον όρο διαλυτότητα χαρακτηρίζεται η ικανότητα μιας χημικής ουσίας να διαλυθεί μέσα σε άλλη. Αυτή η ικανότητα προσδιορίζεται από τη μέγιστη ποσότητά της που μπορεί να διαλυθεί, σε καθορισμένη πάντα ποσότητα διαλύτη και σε ορισμένη θερμοκρασία. Με κριτήριο αυτή την ικανότητα οι ουσίες διακρίνονται σε διαλυτές ουσίες ή σε αδιάλυτες και, ειδικά για τα αέρια, σε αναμίξιμα ή μη αναμίξιμα.

Διαλυτή ουσία ονομάζεται κάθε χημική ουσία που μπορεί να διαλυθεί μέσα σε άλλη και να σχηματίσει διάλυμα. Χημική ουσία που δεν μπορεί να διαλυθεί μέσα σε άλλη καλείται η ίδια αδιάλυτη ουσία. Για παράδειγμα το αλάτι είναι διαλυτό στο νερό, είναι όμως αδιάλυτο στο μαγειρικό λάδι. Η διαλυτότητα μιας ουσίας αναφέρεται συνήθως ως το βάρος της ουσίας που, υπό κανονικές συνθήκες, είναι δυνατόν να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη.

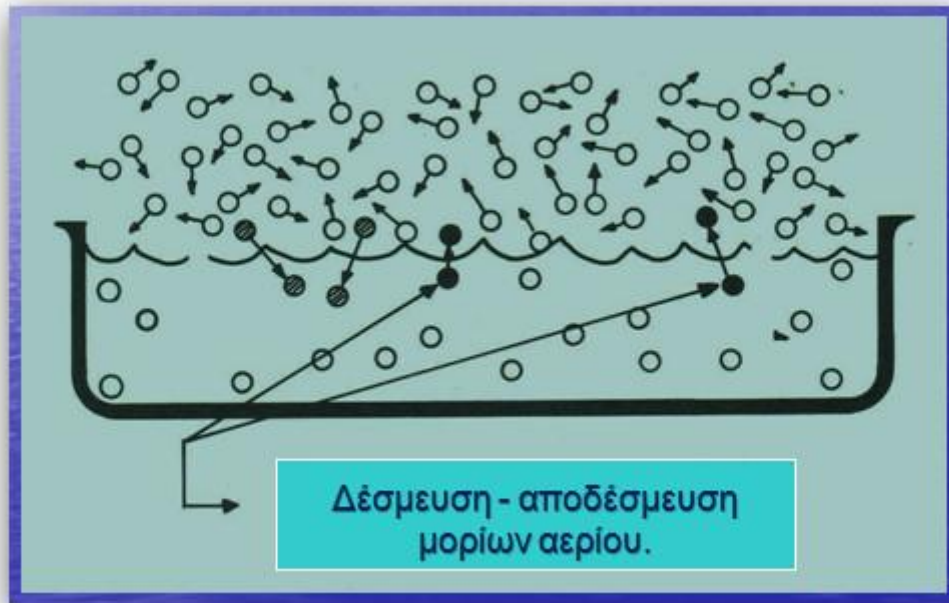
Έτσι, η διαλυτότητα του αλατιού στο νερό, σε θερμοκρασία δωματίου, είναι 36 gr ανά 100 ml νερού. Το διάλυμα που περιέχει αυτή τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα διαλυτής ουσίας καλείται κορεσμένο διάλυμα. Σε αντίθετη περίπτωση το διάλυμα ονομάζεται ακόρεστο. Υπάρχουν και διαλύματα, στα οποία επιτυγχάνεται διάλυση μιας ουσίας στον διαλύτη σε μεγαλύτερη ποσότητα από αυτήν που θα υποδείκνυε η υπό κανονικές συνθήκες διαλυτότητά της. Στην περίπτωση αυτή - που απαιτεί ιδιαίτερες συνθήκες - το διάλυμα ονομάζεται υπέρκορο.

1.5 Διαλυτότητα αερίων

Η διαλυτότητα των αερίων συστατικών του αέρα μέσα στο νερό υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση χαρακτηρίζεται πολύ μικρή, καθίσταται όμως υπολογίσιμη σε μεγαλύτερες πιέσεις έτσι ώστε να θεωρείται κατά προσέγγιση ότι είναι ανάλογη προς την ασκούμενη πίεση. Στο γεγονός αυτό οφείλεται και η γνωστή "νόσος των δυτών": Ενώ ο δύτης αναπνέει αέρα κατά την κατάδυση, η αύξηση της πίεσης προκαλεί διάλυση περισσότερου αέρα στο αίμα του. Όταν, κατά την ανάδυση, η πίεση επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα, ο διαλυμένος αέρας στο αίμα αποβάλλεται υπό μορφή φυσαλίδων, που συγκεντρώνονται στα αιμοφόρα αγγεία, αρχικά με επώδυνους πόνους, μπορεί, όμως, να επιφέρουν και παράλυση μέχρι και θάνατο. Αντίθετα, οι βατραχάνθρωποι χρησιμοποιούν συσκευές παροχής μίγματος οξυγόνου και ηλίου. Το στοιχείο ήλιο παρουσιάζει πολύ μικρότερη διαλυτότητα στο αίμα σε σχέση με το άζωτο του αέρα.

1.6 Δυναμική ισορροπίας (κορεσμός)

Η εισχώρηση των μορίων ενός αερίου σε ένα υγρό είναι αναλογική ως προς τη μερική πίεση του αερίου, η έξοδος του είναι αναλογική ως προς τη συσσώρευση-συγκέντρωση (Konzentration) του αερίου στο υγρό. Υπάρχει μια συνεχόμενη κίνηση μορίων αερίου τα οποία διαχέονται (εισχωρούν) μέσα στο υγρό. Ταυτόχρονα όμως συμβαίνει και το αντίστροφο, μόρια αερίου απελευθερώνονται από το υγρό προς το περιβάλλον έως ότου μετά από μια χρονικό διάστημα επανέλθει η δυναμική ισορροπία, δηλαδή η ποσότητα των μορίων τα οποία απορροφούνται από το υγρό να είναι ίδια με την ποσότητα των μορίων τα οποία απελευθερώνονται. Η ποσότητα των μορίων η οποία είναι διαλυμένη μέσα στο υγρό παραμένει σταθερή παρ' ότι συνεχίζει να υπάρχει απορρόφηση και ταυτόχρονα απελευθέρωση μορίων. Το υγρό παραμένει σε κατάσταση κορεσμού για όσο διάστημα δεν αλλάξει η πίεση περιβάλλοντος και η θερμοκρασία του υγρού.



Εικόνα 5. Δέσμευση-αποδέσμευση μορίων αερίου από υγρό.

Η σταθερή σχέση αυτής της αναλογίας ονομάζεται διαλυτότητα ή δείκτης διαλυτότητας των αερίων.

$$\text{Διαλυτότητα}_{\text{αερίου } i} = \text{Κορεσμός } i / \text{Μερική πίεση } i$$

1.7 Υπερκορεσμός (κρίσιμο σημείο ανοχής)

Όταν μειωθεί η πίεση περιβάλλοντος η οποία δρα στην επιφάνεια ενός υγρού το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού, τότε διαταράσσεται η δυναμική ισορροπία μεταξύ αερίου και υγρού, δηλαδή υπάρχει περισσότερο διαλυμένο αέριο μέσα στο υγρό από ότι ανέχεται (από ότι μπορεί να δεσμεύσει) βάσει του νόμου του Henry. Σε αυτή την κατάσταση όπως περιγράφεται πιο πάνω, δημιουργείται υπερκορεσμός, είναι κρίσιμο σημείο ανοχής του αερίου στο υγρό, αυτό σημαίνει, ότι από την επιφάνεια του υγρού απελευθερώνεται μεγαλύτερη ποσότητα μορίων αερίου από ότι μπορεί να απορροφήσει, χρειάζεται πάλι κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να επανέλθει ξανά δυναμική ισορροπία ανάμεσα τους. Αν ο υπερκορεσμός υπερβεί το κρίσιμο σημείο ανοχής (όριο ανοχής αζώτου στους ιστούς), τότε οι υπάρχουσες μικροφουσαλίδες πριν προλάβουν να απελευθερωθούν φυσιολογικά από τα τριχοειδή των πνευμόνων διαστέλλονται μέσα στους ιστούς ή στο αίμα, εξελίσσονται σε σταθερές φουσαλίδες και στην συνέχεια σε φουσαλίδες νόσου.

1.8 Ισοβαρική αντιδιάχυση

Η πρώτη περιγραφή για την “ισοβαρική αντιδιάχυση” έγινε το 1974 από παρατηρήσεις έρευνας σε εργαστήρια. Ισοβαρική αντιδιάχυση μπορούμε να πούμε ότι είναι πρόβλημα το οποίο μπορεί να παρουσιαστεί σε ισοβαρική πίεση (σταθερό βάθος) όταν γίνεται αλλαγή αερίου.

Αυτό συμβαίνει διότι το νέο μίγμα έχει διαφορετική ταχύτητα διαχυσης από ότι το προηγούμενο μίγμα με μεγαλύτερο ποσοστό αζώτου. Αξίζει να αναφερθεί ότι το ήλιο διαχέεται κατά 2,63 φορές πιο γρήγορα από ότι το άζωτο.

Σ’ αυτή την περίπτωση (αλλαγή αερίου από αέρα/Nitrox σε Trimix), υπάρχει θεωρητικά αυξημένη τάση στους ιστούς όπου μπορούμε να το αιτιολογήσουμε με την διαφορά της ταχύτητας διάχυσης του ηλίου από την ταχύτητα απελευθέρωσης του αζώτου. Η αυξημένη τάση στους ιστούς μπορεί να προκαλέσει υπερκορεσμό με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν φυσαλίδες παρ’ ότι βρισκόμαστε στιγμιαία σε ισοβαρική πίεση, δηλαδή χωρίς καμία αλλαγή βάθους.

Κεφάλαιο 2

Δημιουργία φυσαλίδων

2.1 Πυρονογένεση-Ανάπτυξη φυσαλίδας με μεταφορά μάζας και θερμότητας.

Η ανάπτυξη των φυσαλίδων είναι μία σύνθετη διαδικασία, που περιλαμβάνει ως πρώτο βήμα τη δημιουργία ενός πυρήνα αέριας φάσης (πυρηνογένεση), και στη συνέχεια ένα συνδυασμό μεταφοράς μάζας και/ή θερμότητας και ορμής μεταξύ της αναπτυσσόμενης φυσαλίδας και του υγρού που την περιβάλλει.

Υπάρχουν πολλές μελέτες που ερευνούν την ετερογενή πυρηνογένεση σε στερεά τοιχώματα, οι οποίες περιλαμβάνουν είτε φυσαλίδες που προέρχονται από βρασμό, είτε φυσαλίδες διαλυμένου αερίου που δημιουργούνται από ελάττωση της πίεσης ή αύξηση της θερμοκρασίας των υγρών. Άλλες μελέτες ερευνούν το ρυθμό ανάπτυξης των φυσαλίδων που ελέγχεται από τη μεταφορά μάζας (φυσαλίδες διαλυμένου αερίου) ή από τη μεταφορά θερμότητας (φυσαλίδες ατμού). Υπάρχουν επίσης και κάποιες μελέτες στις οποίες γίνεται σύγκριση της μεταφοράς μάζας και της μεταφοράς θερμότητας ως μηχανισμών ελέγχου της ανάπτυξης φυσαλίδας ατμού από ένα δυαδικό διάλυμα με μη πτητικό διαλύτη.

2.2 Η δημιουργία των μικροφουσαλίδων

Μικροφουσαλίδες δημιουργούνται σε κάθε μείωση πίεσης άσχετα αν αυτή είναι σε κατάδυση, σε πτήση, ή άνοδο σε υψόμετρο, έχει μεγάλο ενδιαφέρον να αναλύσουμε το πως δημιουργούνται και από πιο σημείο και μετά γίνονται επικίνδυνες σε μια κατάδυση.

Η διασπορά των μορίων ενός ή παραπάνω αερίου μέσα σε ένα υγρό λόγω της μοριακής κίνησης είναι παθητικά ομοιόμορφη, έτσι προκύπτει, ότι κάθε αέριο το οποίο έχει απορροφηθεί από το υγρό έχει παντού την ίδια μερική πίεση. Μειώνοντας την εξωτερική πίεση του σώματος μας π.χ. όπως συμβαίνει σε κάθε κατάδυση κατά την άνοδο προς την επιφάνεια ή ακόμα χειρότερα σε μια βίαιη άνοδο, κάτω από ορισμένες συνθήκες δημιουργούνται κενά, (Cavitation) μέσα στα υγρά του σώματος (στους ιστούς), τα διαλυμένα μόρια των αερίων τα οποία έρχονται σε επαφή με τα κενά εισχωρούν και γεμίζουν τα κενά μέχρι να βρεθούν ξανά σε δυναμική ισορροπία.

Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία έχουμε την πρώτη εμφάνιση φουσαλίδων τις οποίες γνωρίζουμε ως μικροφουσαλίδες. Σε αυτή τη φάση δεν προκαλούν ακόμα κανένα πρόβλημα, η εξέλιξη από εκεί και πέρα εξαρτάται από την επιφανειακή τάση του υγρού. Μεγάλο μέρος αυτών των φουσαλίδων επαναδιαλύεται στο υγρό και άλλες συνεχίζουν να υπάρχουν στο κυκλοφορικό σύστημα έως ότου φτάσουν στους πνεύμονες όπου και εκπνέονται φυσιολογικά, πάντα κάτω από ομαλές συνθήκες.



Εικόνα 6. Φουσαλίδες.

2.3 Ηχοφωταύγεια

Η ηχοφωταύγεια (Sonoluminescence) είναι το φαινόμενο της εκπομπής μικρής διάρκειας φωτεινών παλμών από φυσαλίδες που καταρρέουν μέσα σε κάποιο υγρό που διεγείρεται από ήχο.

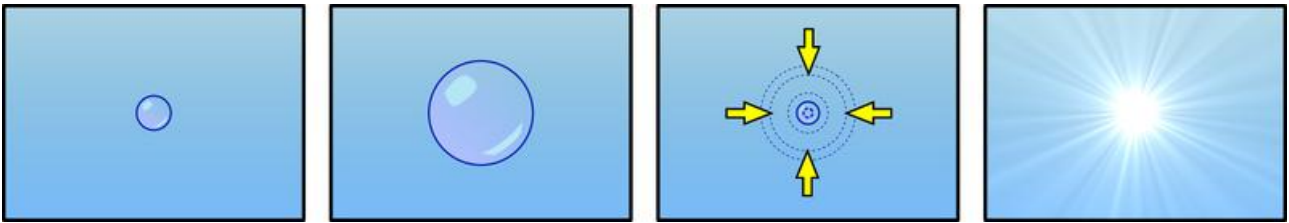
Το φαινόμενο ανακαλύφθηκε στο πανεπιστήμιο της Κολωνίας το 1934, ως αποτέλεσμα εργασιών για την ανάπτυξη του sonar. Οι H. Frenzel και H. Schultes τοποθέτησαν ένα προβολέα (μορφοτροπέα) υπερήχων μέσα σε μια δεξαμενή με υγρό εμφάνισης φωτογραφιών, με την ελπίδα να επιταχύνουν τη διαδικασία εμφάνισης. Αντί αυτού, παρατήρησαν στο φιλμ μικρές κηλίδες, οι οποίες οφείλονταν στην εκπομπή φωτός από τις φυσαλίδες του υγρού, λόγω της διέγερσης από τους υπέρηχους. Το φαινόμενο είναι δύσκολο να αναλυθεί και να εξηγηθεί ακριβώς ακόμη και μέχρι σήμερα. Παρόμοιο πείραμα φαίνεται ότι είχαν διεξάγει και οι N. Marinenco και J.J. Trillat το 1933.

Το 1989, οι Felipe Gaitan και Lawrence Crum, κατόρθωσαν να αναπαράγουν το πείραμα απομονώνοντας μία μόνο φυσαλίδα, παγιδευμένη σε κάποιο στάσιμο ακουστικό κύμα, παρέχοντας τη δυνατότητα της συστηματικότερης μελέτης του φαινομένου. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό της φυσαλίδας βρέθηκε να είναι εξαιρετικά υψηλή, περί τους 20,000 kelvin, θερμοκρασία η οποία μπορεί να λιώσει ακόμη και χάλυβα.

2.3.1 Ο μηχανισμός του φαινομένου

Μια φυσαλίδα αέρα μέσα σε κάποιο δοχείο με υγρό (πχ νερό) εκτίθεται σε υπέρηχους. Τα κύματα κάνουν την φυσαλίδα να πάλλεται. Το μέγεθος της φυσαλίδας ξεκινά από 5 μm και επεκτείνεται στα 50 μm , μέγεθος κατά το οποίο στο εσωτερικό της φυσαλίδας επικρατεί κενό. Αυτή η περιοχή χαμηλής πίεσης περιβάλλεται από μια περιοχή πολύ υψηλότερης, που κάνει τελικά την φυσαλίδα να καταρρεύσει σε μέγεθος μεταξύ 0.1 και 1 μm . Στην διαδικασία αυτής της κατάρρευσης, από την φυσαλίδα εκπέμπεται ένας αστραπιαίος παλμός φωτός, κυρίως στην περιοχή του υπεριώδους αλλά παράγεται και αρκετό ορατό ώστε το φαινόμενο να είναι ορατό με γυμνό μάτι. Οι αστραπές φωτός διαρκούν περίπου 50 τρισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου ή και λιγότερο, οι δε θερμοκρασίες στο επικεντρωμένο αυτό φαινόμενο ξεπερνούν αυτές της επιφάνειας του ήλιου.

Για την εξήγηση της ηχοφωταύγειας έχουν προταθεί πολλές θεωρίες μέχρι σήμερα: hotspot, ακτινοβολία πέδησης (bremsstrahlung), ακτινοβολία προερχόμενη από συγκρούσεις και εκφορτίσεις corona, non-classical light, φαινόμενο σήραγγας για πρωτόνια, ηλεκτροδυναμικοί πίδακες, fractoluminescent jets (μάλλον απορρίπτεται λόγω προσφάτων πειραμάτων), κτλ.



Εικόνα 7. Απο αριστερά προς τα δεξιά: εμφάνιση φουσαλίδας, αργή διαστολή, απότομη κατάρρευση, εκπομπή φωτός.

Κεφάλαιο 3

Ιδιότητες αερίων και υγρών που έχουν πρακτική σημασία

3.1 Αέρια

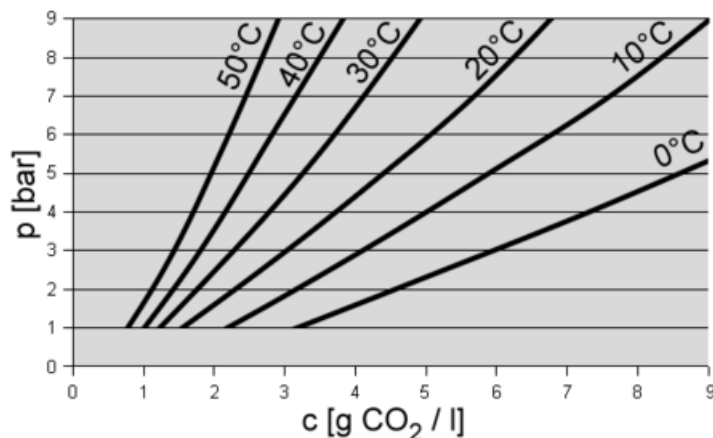
3.1.1 Διοξείδιο του άνθρακα CO₂

Αναφερόμαστε στο CO₂, ως αέριο με ιδιαίτερη πρακτική σημασία, αφού χρησιμοποιείται στη τεχνολογία τροφίμων, μεταξύ άλλων, τη παρασκευή ποτών, τη πυροπροστασία (πυροσβστήρες CO₂), σε υδραυλικά συστήματα, στην απομάκρυνση της καφεΐνης, σε φαρμακευτικές και άλλες χημικές διεργασίες, σε γεωργικές, βιολογικές και ιατρικές εφαρμογές (το CO₂ προστίθεται στο καθαρό οξυγόνο μέχρι ποσοστού 5% για την τόνωση της αναπνοής μετά από επεισόδια άπνοιας για να σταθεροποιηθεί η ισορροπία O₂/CO₂ στο αίμα), στα πολυμερή και πλαστικά, στην εξόρυξη πετρελαίου, καθώς επίσης και για τον έλεγχο του pH.

Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου κλπ.), αλλά και του ξύλου, πλαστικών κ.ά. οργανικών ενώσεων. Παράγεται ακόμα από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται επίσης από τα ηφαίστεια και από τις θερμές πηγές αλλά και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Ενωμένο, με τη μορφή ανθρακικών αλάτων, βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στο στερεό φλοιό της γης. Τα κυριότερα ανθρακικά ορυκτά είναι οι διάφορες ποικιλίες του CaCO₃ (ασβεστόλιθοι, ασβεστίτης, μάρμαρο κ.ά.), ο μαγνησίτης MgCO₃, ο σιδηρίτης FeCO₃, ο δολομίτης CaCO₃.MgCO₃ κ.ά. Παράγεται επίσης κατά την αναπνοή όλων των φυτών και των ζώων και από τους μύκητες και μικροοργανισμούς που εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από τα φυτά για την τροφή τους.

Το διοξείδιο του άνθρακα ήταν ένα από τα πρώτα αέρια που μελετήθηκε ως συστατικό του αέρα. Το 17ο αιώνα, ο Φλαμανδός χημικός Γιάν Μπατίστ φαν Χέλμοντ (JanBaptistvanHelmont) παρατήρησε ότι όταν καίγεται ο άνθρακας σε κλειστό δοχείο, η μάζα της στάχτης που προκύπτει ήταν πολύ μικρότερη από εκείνη του αρχικού άνθρακα. Η ερμηνεία που

έδωσε ήταν ότι ο άνθρακας που έλειπε είχε μεταλλαχθεί σε μια αόρατη ουσία που την ονόμασε "αέριο" ή "άγριο πνεύμα".



Εικόνα 8. Η διαλυτότητα του CO₂ (g/L) στο νερό σε συνάρτηση με την πίεση (σε bar) σε διάφορες θερμοκρασίες.

Οι ιδιότητες του διοξειδίου του άνθρακα μελετήθηκαν πιο διεξοδικά στη δεκαετία 1750-1760 από το Σκωτσέζο φυσιολόγο ΤζόζεφΜπλακ (JosephBlack). Αυτός πρόσεξε ότι ο ασβεστόλιθος (ανθρακικό ασβέστιο) όταν θερμαίνεται ή υφίσταται κατεργασία με οξέα παράγει ένα αέριο που το ονόμασε "σταθερό αέρα". Παρατήρησε επίσης ότι ο "σταθερός αέρας" ήταν πυκνότερος από τον αέρα και δε συντηρούσε ούτε την καύση ούτε τις ζωικές λειτουργίες. Ο Μπλακ παρατήρησε ακόμα ότι όταν διοχετεύονταν φυσαλίδες του αερίου σε υδατικό διάλυμα ασβέστη (υδροξείδιο του ασβεστίου), παραγόταν ίζημα ανθρακικού ασβεστίου. Χρησιμοποίησε μάλιστα αυτή τη διαπίστωσή του για να αποδείξει ότι το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται από την αναπνοή των ζώων και τη μικροβιακή ζύμωση.

Το 1772, ο Άγγλος χημικός ΤζόζεφΠρίστλεϋ (JosephPriestley) δημοσίευσε μια εργασία με τίτλο "Εμπλουτισμός του νερού με Σταθερό Αέρα" στην οποία περιέγραφε μια διαδικασία κατά την οποία όταν έπεφταν σταγόνες θειικού οξέος (ή βιτριόλι όπως το ήξερε ο Πρίστλεϋ) στην κιμωλία, για να παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, το αέριο στη συνέχεια όταν διοχετευόταν σε μπουλ με νερό, διαλυόταν.

Το διοξείδιο του άνθρακα υγροποιήθηκε για πρώτη φορά (σε υψηλές πιέσεις) το 1823 από τον ΧάμφρεϋΝτέιβυ (HumphryDavy) και το μαθητή του ΜάϊκλΦαραντέϋ (MichaelFaraday). Η παλιότερη περιγραφή του στερεού διοξειδίου του άνθρακα δόθηκε από τον Σαρλ Τιλοριέ (CharlesThilorier), ο οποίος το 1834 άνοιξε ένα δοχείο υπό πίεση με υγρό διοξείδιο του άνθρακα, και διαπίστωσε την ταχεία εξάτμιση του υγρού που μετατράπηκε σε ένα "χιόνι" στερεού CO₂.

Η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η πίεση του CO₂ σε ισορροπία με το διάλυμα (η διαλυτότητα αυξάνεται με αύξηση της πίεσης), η θερμοκρασία

(η διαλυτότητα ελαττώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας), το pH (η διαλυτότητα του CO₂ αυξάνεται με την αύξηση του pH), η παρουσία άλλων ουσιών (η διαλυτότητα μειώνεται με την παρουσία ενώσεων όπως το χλωριούχο νάτριο, αλλά μπορεί και να αυξηθεί ή να μειωθεί με την αύξηση της συγκέντρωσης των οργανικών ενώσεων).



Εικόνα 9. Επίδραση της εκπνοής CO₂ από τα φυτά, στο ασβεστόνερο.

3.1.1.1 Ιδιότητες Διοξειδίου του άνθρακα

Φυσικές Ιδιότητες

Είναι αέριο, άχρωμο με ελαφρά δηκτική οσμή και όξινη γεύση. Είναι βαρύτερο του αέρα, με ειδικό βάρος 1,529 gr/cm³. Σε 0oC και πίεση 760 mmHg έχει πυκνότητα 1,977 gr/lit. Υγροποιείται με πίεση 34 ατμοσφαιρών και θερμοκρασία 0oC, ενώ με πίεση 1 ατμόσφαιρας υγροποιείται σε θερμοκρασία - 78oC. Έχει κρίσιμη θερμοκρασία 31o,35C , κρίσιμη πίεση 78 ατμόσφαιρες και κρίσιμη πυκνότητα 0,46 gr/cm³. Εάν αφήσουμε να εξαερωθεί απότομα υγρό CO₂,

τότε αυτό απορροφάει μεγάλο ποσό θερμότητας (4kcal/mole, 4 χιλιοθερμίδες ανά γραμμάριο), με αποτέλεσμα να ψυχθεί ταχύτατα και να στερεοποιηθεί ένα μέρος του CO₂ ονομάζεται «ξηρός πάγος», γιατί από τη στερεά κατάσταση μεταβαίνει αυτόματα, σε συνήθεις συνθήκες, στην αέρια, χωρίς να μεσολαβήσει αυτόματα, σε συνήθεις συνθήκες, στην αέρια, χωρίς να μεσολαβήσει υγρή φάση. Το CO₂ διαλύεται εύκολα στο νερό. Με κανονικές συνθήκες ένα λίτρο νερού διαλύει 1,5 λίτρα CO₂. Δεν είναι δηλητηριώδες, σε αντίθεση με το μονοξείδιο, που είναι ισχυρότατο δηλητήριο.. Η δυσφορία που δημιουργείται σε κλειστούς χώρους, οφείλεται κυρίως στην αύξηση της σχετικής υγρασίας από την εκπνοή υδρατμών, και όχι στο CO₂. Το CO₂ προκαλεί αναισθησία ή και θάνατο ακόμα. Εάν ο εισπνεόμενος αέρας περιέχει 20 – 30% CO₂ m εμποδίζει την απόδοση CO₂ του αίματος με την εκπνοή, με αποτέλεσμα την βαθμιαία δηλητηρίαση του οργανισμού και το θάνατο του ανθρώπου. Όλα αυτά τα συμπτώματα εξαφανίζονται μόλις μεταφέρουμε αυτόν που πάσχει στον καθαρό αέρα.

3.1.2 Άζωτο (N₂)

Το άζωτο, έχει σχέση με την νόσο των δυτών (ως νόσο των δυτών ορίζουμε εκείνη την παθολογική κατάσταση που έρχεται ως αποτέλεσμα παραμονής του δύτη σε υπερβαρικό περιβάλλον με πίεση πάνω από 2 ATM και για χρονικό διάστημα αρκετό, ώστε το διαλυμένο στους ιστούς άζωτο να σχηματίζει κατά την ανάδυση φυσαλίδες, των οποίων το πλήθος και το μέγεθος δεν επιτρέπει την ομαλή απομάκρυνση μέσω του αναπνευστικού συστήματος). Το άζωτο (Nitrogenium) είναι χημικό στοιχείο που ανήκει στα αμέταλλα, έχει σύμβολο το N και ατομικό αριθμό 7. Στη συνηθισμένη στοιχειακή του μορφή και κάτω από Κανονικές Συνθήκες είναι διατομικό αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο και σχετικά αδρανές στις Κ.Σ. Είναι το πιο διαδεδομένο χημικό στοιχείο του ατμοσφαιρικού αέρα της Γης, αποτελώντας το 78% του όγκου του και απαραίτητο συστατικό όλων των ζωντανών οργανισμών. Θεωρείται το πέμπτο πιο διαδεδομένο συστατικό του σύμπαντος. Ελεύθερο άζωτο («διάζωτο», εφόσον αποτελείται από διατομικά μόρια) έχει βρεθεί σε μετεωρίτες, στον ήλιο και άλλα άστρα και νεφελώματα, ενώ είναι βασικό συστατικό της ατμόσφαιρας του Τιτάνα. Ενωμένο βρίσκεται σε όλους τους ζωντανούς ιστούς με τη μορφή πρωτεϊνών, αμινοξέων και άλλων χημικών ενώσεων. Επίσης, στην ατμόσφαιρα, στο νερό της βροχής και των θαλασσών, στο έδαφος και στα περιττώματα των ζώων με τη μορφή οξειδίων, αμμωνίας, νιτρικού οξέος, νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων. Κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα ήταν ήδη γνωστό ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από δύο αέρια, από τα οποία το ένα συντελεί στην καύση και τη ζωή, ενώ το άλλο όχι. Η ανακάλυψη του αζώτου αποδίδεται συνήθως στον Ντάνιελ Ράδερφορντ (Daniel Rutherford), φοιτητή Ιατρικής στο Εδιμβούργο, ο οποίος δημοσίευσε πρώτος τα αποτελέσματα της έρευνάς του το 1772. Σχεδόν ταυτόχρονα, όμως, με τον

Ράδερφορντ, στην Αγγλία οι χημικοί Τζόζεφ Πρίστλεϋ (Joseph Priestley) και Χένρι Κάβεντις (Henry Cavendish) και στη Σουηδία ο Καρλ Βίλχελμ Σέελε (Carl Wilhelm Scheele) ανακάλυψαν το άζωτο καθώς μελετούσαν τον «καμένο αέρα», όπως ονομαζόταν τότε ο αέρας χωρίς οξυγόνο. Το 1775-6 ο Γάλλος χημικός Αντουάν Λαβουαζιέ (Antoine Lavoisier) ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε ότι το αέριο ήταν χημικό στοιχείο και το 1789 του έδωσε το όνομα άζωτο (azote) εξαιτίας της ιδιότητάς του να μην συντελεί στη διατήρηση της ζωής όπως το οξυγόνο. Ενώσεις του αζώτου ήταν γνωστές ήδη από το Μεσαίωνα. Οι αλχημιστές γνώριζαν το νιτρικό οξύ με το όνομα aqua fortis (ισχυρό νερό), ενώ το μείγμα νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος 1:3 ήταν γνωστό ως aqua regia (βασιλικό νερό) εξαιτίας της ιδιότητάς του να διαλύει το χρυσό (τον βασιλιά των μετάλλων) σχηματίζοντας HAuCl_4 . Οι αρχαιότερες γνωστές πολεμικές, βιομηχανικές και αγροτικές εφαρμογές του αζώτου και των ενώσεών του περιλάμβαναν το υγρό πυρ (είναι γνωστό ότι περιείχε νίτρο), την πυρίτιδα (μαύρη και νιτροκυτταρίνη), διάφορα άλλα εκρηκτικά, όπως η νιτρογλυκερίνη και το TNT, καθώς και τα αζωτούχα λιπάσματα.



Εικόνα 10. Υγρό άζωτο.

3.1.2.1 Προέλευση και παραγωγή του αζώτου

Το διάζωτο είναι το πιο άφθονο συστατικό της ατμόσφαιρας της Γης (78,082% κατ' όγκο και 75,3% κατά βάρος ξηρού αέρα). Σχηματίστηκε με πυρηνική σύντηξη στα άστρα. Εκτιμάται ότι είναι το 5ο χημικό στοιχείο σε αφθονία στο σύμπαν.

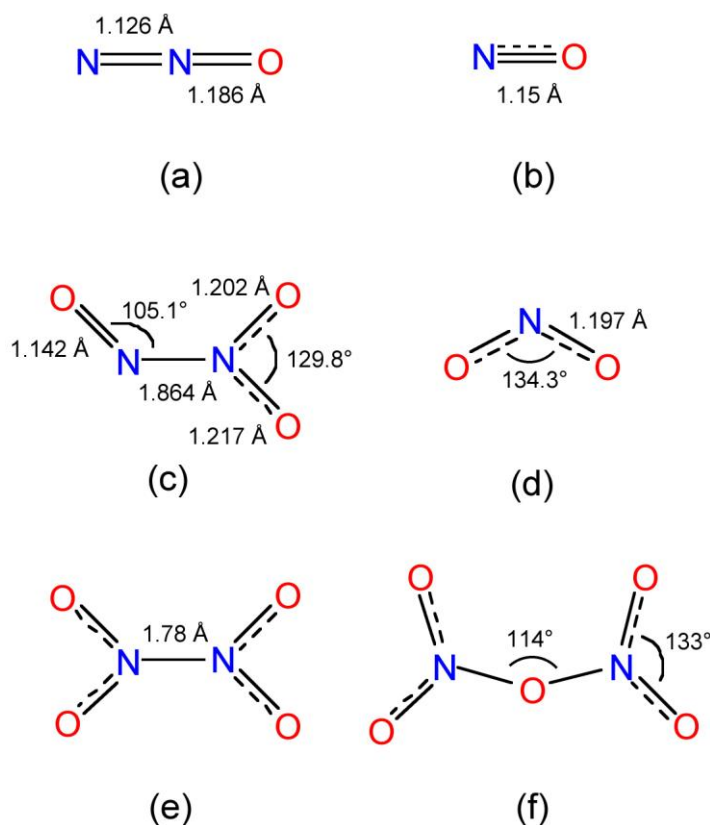
Το διάζωτο και οι αζωτούχες ενώσεις ανιχνεύθηκαν στο διαστρικό διάστημα χρησιμοποιώντας φασματοσκοπία υπεριώδους. Το διάζωτο είναι ένα από τα κύρια συστατικά στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα και σε ίχνη σε άλλες πλανητικές ατμόσφαιρες.

Το άζωτο βρίσκεται σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς στη Γη, αφού αποτελεί συστατικό των πρωτεϊνών, των νουκλεϊνικών οξέων και μερικών άλλων σημαντικών βιοχημικά ουσιών. Υπολογίζεται ότι αποτελεί περίπου το 4% του ξηρού βάρους της φυτικής μάζας και το 3% κατά βάρος του ανθρώπινου σώματος. Αποτελεί ακόμη μεγάλο ποσοστό των ζωικών αποβλήτων, συνήθως με τη μορφή της ουρίας, του ουρικού οξέος και διαφόρων άλλων αμμωνιούχων παραγώγων. Αυτά αξιοποιούνται ως λίπασμα από τα φυτά που δε διαθέτουν μηχανισμό για την άμεση δέσμευση του ατμοσφαιρικού διαζώτου.

Επίσης, το άζωτο απαντάται σε μια μορφή ορυκτών, όπως το νίτρο (KNO_3). Πολλά από αυτά δεν είναι και πολύ συνηθισμένα, κυρίως γιατί είναι εξαιρετικά ευδιάλυτα στο νερό.

Το άζωτο παρασκευάζεται σχεδόν αποκλειστικά με κλασματική απόσταξη υγροποιημένου αέρα. Το άζωτο έχει χαμηλότερο σημείο βρασμού από το οξυγόνο ($-195,8\text{ }^\circ\text{C}$ και $-183,0\text{ }^\circ\text{C}$ αντίστοιχα) με αποτέλεσμα να αποστάζει πρώτο. Σε μικρότερη κλίμακα παρασκευάζεται με μηχανικά μέσα από αέρα (μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης ή προσρόφηση με εναλλαγή πίεσης (pressureswingadsorption)), με θέρμανση νιτρόδους αμμωνίου (NH_4NO_2) ή αζωτούχου βαρίου ($\text{Ba}(\text{N}_3)_2$).

Στη μέθοδο της κλασματικής απόσταξης του υγροποιημένου αέρα, ο αέρας αρχικά φιλτράρεται για την απομάκρυνση σωματιδίων και στη συνέχεια συμπιέζεται περίπου στα 5,3 bar. Ακολουθεί ένας οξειδωτικός θάλαμος στον οποίο μετατρέπονται τα ίχνη υδρογονανθράκων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ο αέρας περνάει από ένα διαχωριστή νερού όπου μέρος του νερού απομακρύνεται ενώ το υπόλοιπο νερό και το διοξείδιο του άνθρακα διαχωρίζονται σε στερεά μορφή σε έναν εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα στους $-168\text{ }^\circ\text{C}$ σε πίεση 5 bar. Με περαιτέρω ψύξη από μια βαλβίδα εκτόνωσης, ο αέρας εισέρχεται στη στήλη κλασματικής απόσταξης (ύψους περίπου 30 μέτρων) όπου το πιο πτητικό άζωτο απομακρύνεται από την κορυφή της στήλης ως αέριο και το οξυγόνο (με ένα μικρό ποσοστό αργού) ως υγρό από τη βάση.



Εικόνα 11. Οξείδια του αζώτου.

3.1.2.2 Ιδιότητες του αζώτου

Το άζωτο είναι αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο, ελαφρότερο του αέρα. Ο τριπλός δεσμός ανάμεσα στα δύο άτομα που αποτελούν το μόριο του αζώτου (N_2) θεωρείται από τους ισχυρότερους στη φύση, με αποτέλεσμα να είναι αδρανές αέριο, ιδιαίτερα σε συνηθισμένες θερμοκρασίες. Διαλύεται ελάχιστα στο νερό, δεν είναι δηλητηριώδες, αλλά ασφυκτικό. Δεν καίγεται, αλλά έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένα στοιχεία μπορούν να “καούν” σε άζωτο, όπως το μαγνήσιο στους $300 \text{ }^\circ\text{C}$ και το λίθιο ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου, παράγοντας κρυσταλλικά μεταλλικά νιτρίδια. Όταν θερμανθεί υπό πίεση με το υδρογόνο παρουσία καταλύτη, σχηματίζεται αμμωνία.

Το φυσικό άζωτο στη Γη αποτελείται από μείγμα δύο σταθερών ισοτόπων του, το ^{14}N (99,63%) και το ^{15}N (0,37%). Από τα υπόλοιπα γνωστά ραδιενεργά ισότοπα, το ^{13}N έχει χρόνο ημιζωής περίπου δέκα λεπτά ενώ τα υπόλοιπα λίγα δευτερόλεπτα ή και λιγότερο.

Το μόριο του αζώτου δεν έχει διπολική ροπή και έτσι είναι διάφανο στην υπέρυθη και ορατή ακτινοβολία. Αντίθετα, σημαντική απορρόφηση υπεριώδους φωτός παρουσιάζεται σε μήκος κύματος περίπου 100 nm . Το άζωτο δεν είναι δηλητηριώδες αέριο αλλά μπορεί να προκαλέσει ασφυξία.

Το εισπνεόμενο από τον άνθρωπο άζωτο κανονικά διαλύεται ελάχιστα στο αίμα. Κάτω, όμως, από αυξημένη πίεση, όπως σε μεγάλο βάθος στη θάλασσα, η διαλυτότητά του στο αίμα αυξάνεται. Έτσι, με την απότομη μείωση της πίεση (πχ. την γρήγορη επάνοδο στην επιφάνεια ενός δύτη) και την συνακόλουθη μείωση της διαλυτότητας, δημιουργούνται φυσαλίδες αζώτου μέσα στο αίμα, οι οποίες ευθύνονται για μία θανατηφόρο, πολλές φορές, ασθένεια, γνωστή ως νόσος των δυτών.

3.2 Υγρά

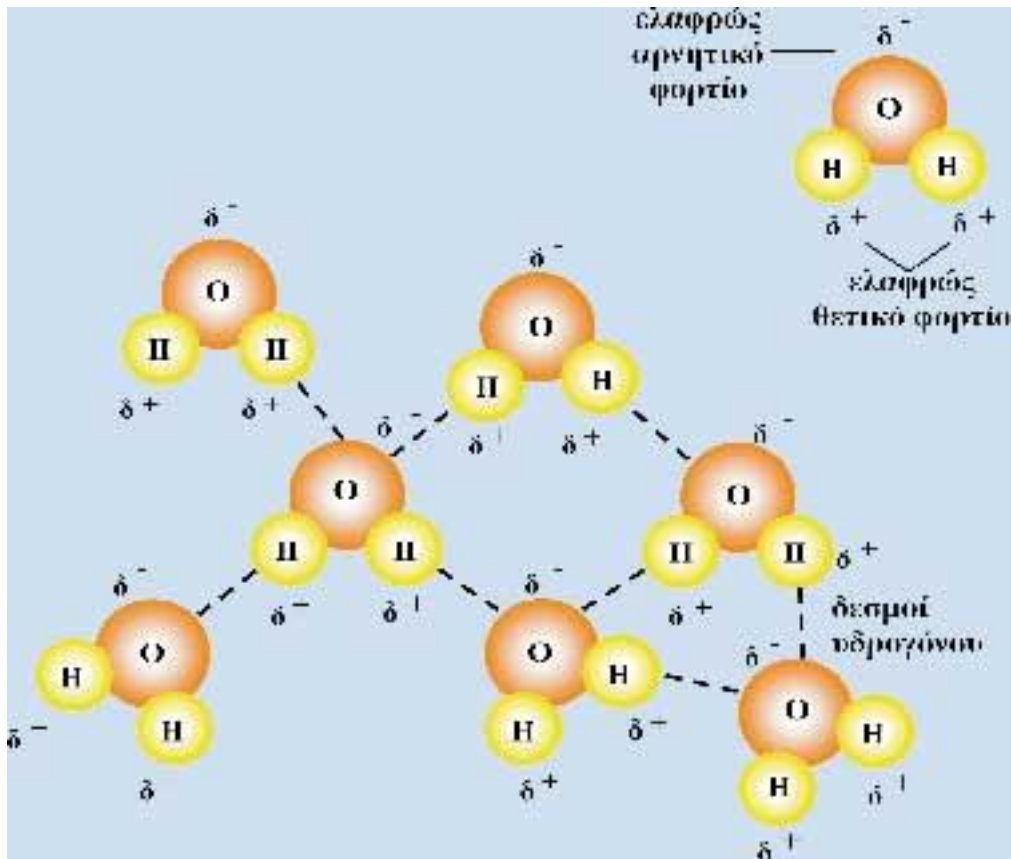
3.2.1 Νερό (H₂O)

3.2.1.1 Το νερό και οι ιδιότητές του

Το νερό είναι εξαιρετικός διαλύτης. Εξαιτίας των δεσμών υδρογόνου το νερό αποτελεί εξαιρετικό διαλύτη πολικών ενώσεων μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται τα άλατα, τα μόρια των οποίων δίστανται σε ιόντα όταν διαλύονται στο νερό. Αποτελεί επίσης και έναν εξίσου αποτελεσματικό διαλύτη και πολλών μη ιοντικών ενώσεων, π.χ. σακχάρων και απλών αλκοολών, των οποίων τα μόρια διαθέτουν πολικές ομάδες όπως την υδροξυλική (-OH). Η ιδιότητα αυτή του νερού οφείλεται στη συμπεριφορά του μορίου ως διπόλου λόγω του μερικού διαχωρισμού του φορτίου και του σχήματος του μορίου (οι ενδομοριακοί ομοιοπολικοί δεσμοί μεταξύ του Ο και του Η σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 105ο). Τα φορτισμένα ιόντα ή ομάδες των οργανικών ενώσεων περιβάλλονται από τα δίπολα του νερού τα οποία εμποδίζουν την ανάπτυξη ηλεκτροστατικών δυνάμεων με αποτέλεσμα αυτά να παραμένουν σε διαλυμένη μορφή και να κινούνται πλέον ελεύθερα και συνεπώς να ευνοείται η διεξαγωγή των αντιδράσεων. Αντιθέτως, μη πολικές ενώσεις, όπως τα λιπίδια, δεν διαλύονται στο νερό και μπορούν να συμβάλλουν στη διαμερισματοποίηση του κυττάρου σχηματίζοντας μεμβράνες. Μη πολικά τμήματα μορίων τα οποία απωθούνται από το νερό χαρακτηρίζονται ως υδρόφοβα και συνήθως σε υδάτινο περιβάλλον συγκροτούν συσσωματώματα με τη μορφή σταγονιδίων. Τέτοιου είδους υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις αποτελούν τον κρίσιμο παράγοντα για τη διατήρηση της δομής και σταθερότητας των μεμβρανών, πολλών πρωτεϊνικών μορίων, νουκλεϊκών οξέων και άλλων υποκυτταρικών δομών.

Το νερό διαθέτει υψηλή ειδική θερμότητα. Η ιδιότητα αυτή του νερού είναι καθοριστικής σημασίας διότι αποτρέπονται οι ταχείες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας των οργανισμών. Εκτός

αυτού το νερό συμπεριφέρεται ως θερμομονωτικό υλικό και μέσο ρύθμισης της θερμοκρασίας των οργανισμών με τη μεταφορά θερμότητας.



Εικόνα 12. Οι δεσμοί υδρογόνου των μορίων του νερού ευθύνονται για πολλές μοναδικές ιδιότητές του.

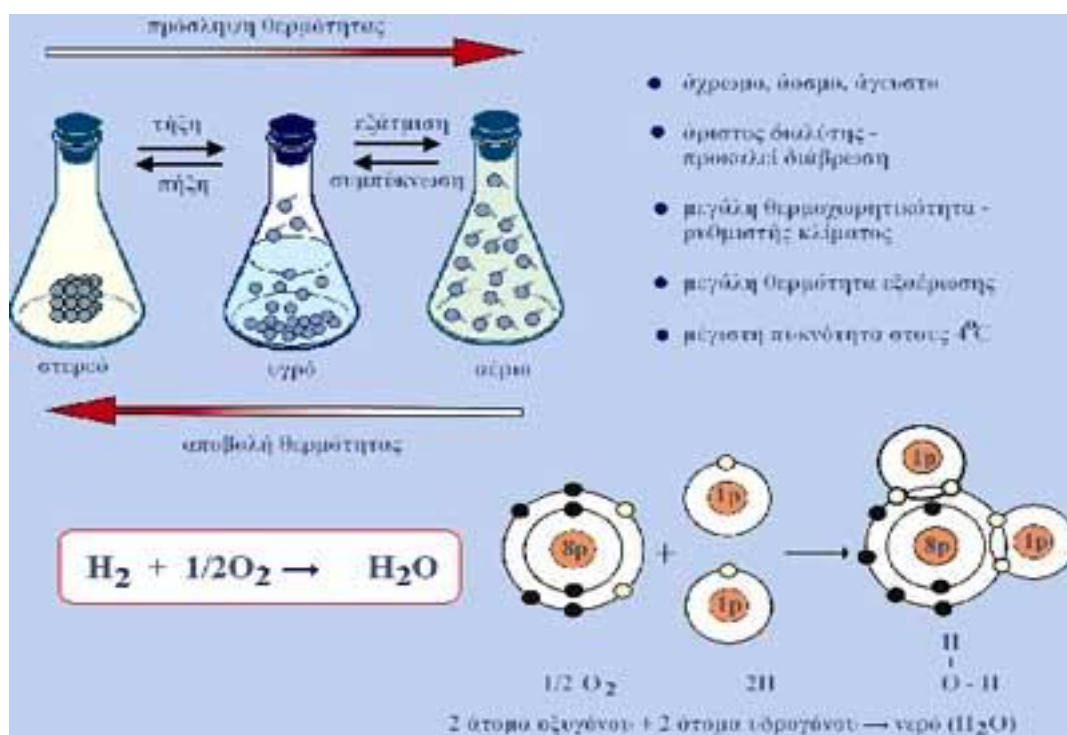
Το νερό διαθέτει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Στην υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης οφείλεται η ψύξη των υπερθερμαινόμενων επιφανειών, κυρίως των φύλλων, μέσω της διαπνοής.

Επιπλέον, παρουσιάζει υψηλά σημεία πήξης και βρασμού. Στις ιδιότητες αυτές οφείλεται η εμφάνιση ζώης σε υγρό περιβάλλον, αφού το νερό παραμένει υγρό σε ένα εύρος ήπιων θερμοκρασιών.

Το νερό παρουσιάζει υψηλή συνοχή και συνάφεια. Οι ιδιότητες αυτές του νερού είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση του τριχοειδούς φαινομένου, δηλαδή την αυθόρμητη ανύψωση του νερού σε σωλήνες μικρής διαμέτρου. Η μεταφορά νερού μέσω του ηθμού και των ξυλωδών αγγείων μπορεί να ερμηνευτεί σ' ένα βαθμό και λόγω τριχοειδών φαινομένων.

Το νερό χαρακτηρίζεται ως ασυμπίεστο και παρουσιάζει υψηλή αντοχή στην τάση. Η υψηλή αντοχή στην τάση αποτρέπει τη θραύση της στήλης του νερού στα αγγεία, μέσα στα οποία βρίσκεται υπό τάση. Στη συμπεριφορά του επίσης ως ασυμπίεστου υγρού οφείλεται η μορφή των φυτικών κυττάρων, λόγω της άσκησης πίεσης σπαργής. Η απώλεια νερού έχει ως αποτέλεσμα το μαρασμό των οργάνων και την απώλεια της αρχικής μορφής τους.

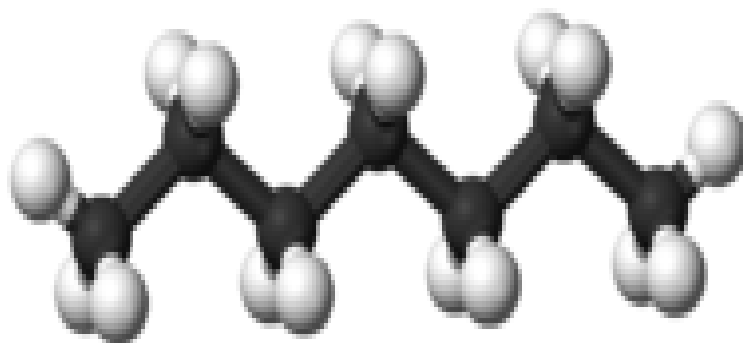
Τέλος, δύο ακόμη ιδιότητες, οι οποίες δε διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στο φαινόμενο που μελετάμε, είναι η διαφάνεια του νερού και η δυνατότητα να συμμετέχει σε πολυάριθμες βιοχημικές αντιδράσεις.



Εικόνα 13. Ιδιότητες του νερού (H₂O).

3.2.2 Επτάνιο

Το επτάνιο δημιουργεί αρκετά μεγάλες φυσαλίδες και χρησιμοποιείται ερευνητικά. Το επτάνιο είναι ένα αλκάνιο, δηλαδή άκυκλος κορεσμένος υδρογονάνθρακας, με χημικό τύπο C₇H₁₆ και σύντομο συντακτικό τύπο CH₃(CH₂)₅CH₃. Το επτάνιο έχει εξ' ορισμού βαθμό οκτανίου μηδέν (0). Η ονομασία «επτάνιο» προέρχεται από την ονοματολογία κατά IUPAC.



Εικόνα 14. Σχηματική δομή επτανίου σε τρισδιάστατη μορφή.

Συγκεκριμένα, το πρόθεμα «επτ-» δηλώνει την παρουσία επτά (7) ατόμων άνθρακα ανά μόριο της ένωσης, το ενδιάμεσο «-αν-» δείχνει την παρουσία μόνο απλών δεσμών μεταξύ ατόμων άνθρακα στο μόριο και η κατάληξη «-ιο» φανερώνει ότι δεν περιέχει χαρακτηριστικές ομάδες, δηλαδή ότι είναι υδρογονάνθρακας. Το μόριό του αποτελείται από επτά (7) άτομα άνθρακα (δύο (2) πρωτοταγή και πέντε (5) δευτεροταγή) και δεκαέξι (16) άτομα υδρογόνου.

Δεσμοί				
Δεσμός	Τύπος δεσμού	Ηλεκτρονική δομή	Μήκος δεσμού	Ιονισμός
C-H	Σ	$2sp^3-1s$	109 pm	3% C ⁻ H ⁺
C-C	Σ	$2sp^3-2sp^3$	154 pm	
Κατανομή φορτίων σε ουδέτερο μόριο				
C _{#1, #7}	-0,09			
C _{#2-#6}	-0,06			
H	+0,03			

Πίνακας 1. Η δομή του επτανίου.

Τα ισομερή αυτά παρόλο που έχουν ίδιο χημικό τύπο και μοριακό βάρος, έχουν διαφορετικές δομές και διαφορετικές ιδιότητες.

3.2.3 Γλυκερίνη

Συγκεκριμένη αναλογία γλυκερίνης νερού, μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε για να προσομοιώσουμε φυσικές ιδιότητες του αίματος(όταν το σώμα χρησιμοποιεί το αποθηκευμένο λίπος ως πηγή ενέργειας, η *γλυκερίνη* και τα λιπαρά οξέα απελευθερώνονται στην κυκλοφορία του *αίματος*).Με την εμπειρική ονομασία γλυκερίνη, (glycerin ή glycerol), φέρεται η χημική οργανική ένωση προπανοτριόλη η οποία αποτελείται από τρία άτομα άνθρακα όπου ο πρώτος και ο τελευταίος συνδέονται με 2 άτομα υδρογόνου και μια ρίζα υδροξυλίου, ενώ ο μεσαίος με ένα άτομο υδρογόνου και ένα υδροξύλιο, όπως περιγράφεται στο συντακτικό τύπο: HOCH₂-CHOH-CH₂OH. Αναφέρεται και ως γλυκερόλη. Ειδικότερα στην αγγλική και γαλλική ορολογία ο όρος γλυκερόλη χαρακτηρίζει τη καθαρή χημική ένωση, ενώ ο όρος γλυκερίνη αποδίδεται περισσότερο στα διάφορα εμπορικά παρασκευάσματα όπου η περιεχόμενη καθαρή ουσία είναι περισσότερη του 95%.

Την εμπειρική ονομασία γλυκερίνη την οφείλει στον Σεβρέλ (Chevreul) που πρώτος την ονομάτισε από τη γλυκιά γεύση της. Η γλυκερίνη ανακαλύφθηκε από τον Σέελε (Scheele), το 1779. Πρόκειται για ουσία ημίρρευστη σε κανονική θερμοκρασία με σημείο τήξης τους 17°C, και σημείο ζέσεως τους 290°C όπου και παρατηρείται ταυτόχρονη αποσύνθεση. Χαμηλότερα των 17°C βρίσκεται σε κατάσταση ιξώδους μορφής (πυκνότερο) με ειδικό βάρος περίπου 1,265. Είναι μια τρισθενής αλκοόλη (τριόλη) η οποία, υπό την επίδραση ήπιων οξειδωτικών μέσων, μετατρέπεται σε γλυκερόζη, ενώ υπό την επίδραση ισχυρών οξειδωτικών μετατρέπεται σε γλυκερινικό οξύ. Θερμαινόμενη με KHSO₄ σχηματίζει την ακόρεστη αλδεϋδη ακρολεΐνη.

Η Γλυκερίνη παρέχει εστέρες, τα λεγόμενα γλυκερίδια, εκ των οποίων σημαντικότερα είναι τα λιπίδια που σχηματίζονται με τα λιπαρά οξέα. Αναμιγνύεται εύκολα με το νερό και την αιθυλική αλκοόλη και διαλύεται με ακετόνη, πλην όμως είναι αδιάλυτη στον κοινό αιθέρα. Βιομηχανικά η γλυκερίνη παρασκευάζεται ως ακατέργαστο υποπροϊόν υδρόλυσης λιπών και ελαίων κατά την παραγωγή λιπαρών οξέων ή σαπώνων.

Η προκύπτουσα "ακατέργαστη γλυκερίνη" υποβάλλεται στη συνέχεια σε καθαρισμό και στη συνέχεια σε απόσταξη, ώστε να περιοριστεί η περιεκτικότητα σε νερό μέχρι ποσοστού 3%, προκειμένου έτσι να χρησιμοποιηθεί σε φαρμακευτικά ή βιομηχανικά προϊόντα. Επειδή, όμως, με αυτή τη διεργασία δεν καλύπτονται όλες οι ανάγκες της αγοράς, για την παρασκευή γλυκερίνης χρησιμοποιείται επίσης, ως πρώτη ύλη, και το προπένιο από το οποίο, ως ενδιάμεσο προϊόν, παράγεται γλυκιδόλη.

Η γλυκερίνη παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων, μεταξύ των οποίων ως διαλύτης, μέσο διαβροχής, πλαστικοποιητής, θρεπτικό συστατικό σε ζυμοτεχνικές βιομηχανίες καθώς και ως πρώτη ύλη στην παραγωγή φαρμάκων, καλλυντικών, βερνικιών, σαπώνων και εκρηκτικών υλών (νιτρογλυκερίνη), στο ηλεκτρονικό τσιγάρο ως υγρό - βάση αναπλήρωσης φίλτρων, εντός της οποίας προστίθενται αρώματα και νικοτίνη. Σημαντική, επίσης, χρήση της γίνεται και ως

υποκατάστατου της ζάχαρης σε διαβητικούς, ενώ χρησιμοποιείται με τη μορφή υπόθετου σαν καθαρτικό. Τέλος, χρησιμοποιείται ακόμη και στη θεατρική και κινηματογραφική σκηνοθεσία ως "τρυκ" υποκαθιστώντας τα πραγματικά δάκρυα.



Εικόνα 15. Φυτική γλυκερίνη.

Κεφάλαιο 4 Εφαρμογές

4.1 Αντλίες –Σπηλαιώση

Σπηλαιώση (cavitation) ονομάζεται ο σχηματισμός θυλάκων ή φυσαλίδων ατμού του υγρού, που προέρχεται από την εξάτμιση τους τις περιοχές όπου η στατική πίεση ελαττώνεται μέχρι τη τιμή της πίεσης των ατμών του υγρού για τη θερμοκρασία που επικρατεί.

Στις αντλίες η μείωση της στατικής πίεσης εμφανίζεται λόγω της τοπικής αύξησης της ταχύτητας του υγρού, όπως περιγράφεται από την εξίσωση Bernoulli, κυρίως τη πλευρά της αναρρόφησης της αντλίας.

Κατά τη σπηλαιώση εντός αντλιών, η πτώση της πίεσης, ειδικά στην περιοχή αναρρόφησης της αντλίας, οδηγεί στην εξάτμιση του υγρού και στη δημιουργία των φυσαλίδων.

Η στατική πίεση εντός της αντλίας δεν είναι σταθερή, συνεπώς, καθώς οι φυσαλίδες ατμού κινούνται σε γειτονικές περιοχές με στατική πίεση μεγαλύτερη της πίεσης ατμών υγρού, προκύπτει τελικά ταχύτατη συμπύκνωση τους σε υγρό.



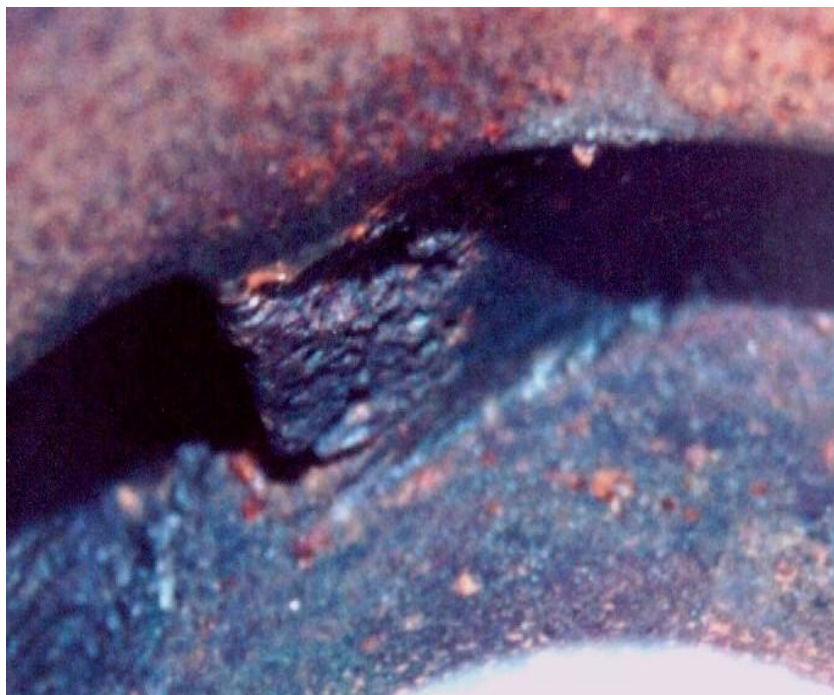
Εικόνα 16. Δημιουργία σπηλαιώσης στο κέλυφος αντλίας.

Ο όγκος της φυσαλίδας ελαττώνεται με τη συμπύκνωση, με αποτέλεσμα οι γειτονικές μάζες του υγρού που περιέβαλαν τη φυσαλίδα να σπεύδουν προς το κέντρο της και να προκαλούν μια απότομη σημειακή υδραυλική κρούση, τη στιγμή που η φυσαλίδα εξαφανίζεται.

Αν η φυσαλίδα του υγρού εξαφανισθεί πάνω σε επιφάνεια που καθορίζει τη ροή (π.χ. πτερύγιο πτερωτής ή κέλυφος), η υδραυλική κρούση πάνω στην επιφάνεια προκαλεί μια τοπική φθορά της. Οι τοπικές πιέσεις λόγω σπηλαιώσης μπορούν να φθάσουν μέχρι εκατοντάδες ατμόσφαιρες.

Οι τοπικές υδραυλικές κρούσεις, επαναλαμβανόμενες με ταχύ ρυθμό σε κάποια περιοχή της ροής, δημιουργούν καταστρεπτικά αποτελέσματα επάνω στα γειτονικά τοιχώματα, καθώς δρουν ως ισχυρά μικροσκοπικά σφυριά που καταπονούν έντονα το υλικό.

Συχνά τα αποτελέσματα της σπηλαιώσης εντείνονται από επιπρόσθετα φαινόμενα ηλεκτροχημικών διαβρώσεων. Σε αντλίες χαμηλής πίεσης από χυτοσίδηρο, περιοχές που έχουν υποστεί βλάβη από σπηλαιώση φαίνονται σπογγώδεις. Η κατεστραμμένη επιφάνεια είναι ανώμαλη, γεμάτη κοιλότητες που εισχωρούν βαθιά μέσα στο υλικό.



Εικόνα 17. Cavitation of suction impeller.

Σε φυγοκεντρικές αντλίες υψηλής πίεσης από χάλυβα, η σπηλαιώση έχει τη μορφή αυλακώσεων ή κοιλοτήτων με λεία επιφάνεια. Η σπηλαιώση μπορεί σταδιακά, προϊόντος του χρόνου, να οδηγήσει σε ολοσχερή καταστροφή τμημάτων της αντλίας.

Πέρα από τις φθορές στις επιφάνειες ροής, η σπηλαιώση επίσης προκαλεί:

- απότομη μείωση του βαθμού απόδοσης της αντλίας
- αύξηση θορύβου, εσωτερικό βόμβο
- κραδασμούς και αυξημένες ταλαντώσεις

Η αντοχή μιας αντλίας στη σπηλαιώση εξαρτάται, μεταξύ άλλων, και από τα υλικά κατασκευής. Η αντοχή των μετάλλων στη σπηλαιώση εξαρτάται από τη χημική σύνθεσή τους, τη κρυσταλλική δομή τους και το βαθμό λείανσης της επιφάνειάς του. Ψαθυρά και ανομοιογενή υλικά (π.χ. χυτοσίδηρος) είναι ευάλωτα στη σπηλαιώση. Ο συνήθης χάλυβας κατασκευών (με 0,6%

άνθρακα) έχει πολύ καλύτερη αντοχή. Ακόμη καλύτερη αντοχή έχει οι μπρούντζος και οι χρωμιο-νικελιούχοι χάλυβες (ανοξειδωτοι).

Δείκτες φθοράς υλικών αντλιών σε σπηλαίωση		
A/A	Υλικό	Δείκτης αντοχής
1	Χρωμιο-νικελιούχος χάλυβας (chrome-nickelsteel)	0.95
2	Αλουμινιούχος μπρούντζος (multicomponent bronze)	0.90
3	Χυτόςχρωμοχάλυβας (cast chrome steel)	0.80
4	Μπρούντζος (bronze)	0.50
5	Χυτοχάλυβας (cast steel)	0.20
6	Χυτοσίδηρος (cast iron)	0.00

Πίνακας 2. Πίνακας τιμών δείκτη αντοχής υλικών για κατασκευή αντλίας.

4.1.1 Διάκριση σπηλαίωσης

Η σπηλαίωση δε θα πρέπει να συγχέεται με:

-Τη σπηλαίωση αερίων (gascavitation) που οφείλεται στα διάφορα αέρια που είναι διαλυμένα στο υγρό, τα οποία εκλύονται και σχηματίζουν φυσαλίδες όταν ελαττώνεται η πίεση.

-Σε αυτή τη περίπτωση η πίεση εντός της αντλίας δεν χρειάζεται να πέσει κάτω από την πίεση ατμών υγρού για να εμφανιστεί σπηλαίωση.

-Η σπηλαίωση αερίων οδηγεί επίσης σε μείωση της απόδοσης της αντλίας και του ολικού ύψους.

-Ωστόσο δεν είναι τόσο επικίνδυνη για την καταστροφή του υλικού, λόγω της συμπιεστότητας των αερίων φυσαλίδας στη φάση της επαναδιάλυσής της στο υγρό και στην απόσβεση των κρούσεων που τούτη συνεπάγεται.

Η σπηλαίωση δε θα πρέπει να συγχέεται με:

-Το φαινόμενο της μηχανικής διάβρωσης (erosion), που οφείλεται στη μηχανική προσβολή του υγρού στην επιφάνεια του υλικού, ιδιαίτερα όταν το υλικό περιέχει στερεά σωματίδια ή τεμάχια.

-Η μηχανική διάβρωση αυξάνεται με το τετράγωνο ή τον κύβο της σχετικής ταχύτητας μεταξύ του υγρού και του υλικού της αντλίας και ανάλογα με τη συγκέντρωση και τη σκληρότητα των στερεών στο αντλούμενο υγρό.

-Η μηχανική διάβρωση αντιμετωπίζεται με αποφυγή υψηλών ταχυτήτων ροής, χρήσης κατάλληλων υλικών, παχιά τοιχώματα, χρήση εύκολα αφαιρούμενων τμημάτων για εύκολη αντικατάσταση σε περίπτωση φθοράς κλπ.

Η σπηλαίωση διακρίνεται σε:

Το φαινόμενο συνήθως διαιρείται σε δύο υποφαινόμενα: την αδρανειακή σπηλαίωση και τη μη αδρανειακή σπηλαίωση. Στην αδρανειακή σπηλαίωση, ένα κενό ή μια φυσαλίδα σε ένα υγρό καταρρέει και παράγει πίδακα υγρού ή κρουστικό κύμα. Η φθορά από αυτού του είδους τη σπηλαίωση είναι ορατή σε προπέλες πλοίων και υποβρυχίων, κρυογονικές αντλίες και τουρμπίνες. Στη μη αδρανειακή σπηλαίωση μία φυσαλίδα σε ένα υγρό οδηγείται σε εξαναγκασμένη ταλάντωση ως προς το μέγεθος και το σχήμα της, μέσω παροχής ενέργειας σε αυτήν, για παράδειγμα με τη χρήση ενός ακουστικού πεδίου. Η μη αδρανειακή σπηλαίωση παρατηρείται επίσης σε προπέλες, αντλίες και τουρμπίνες, αλλά η φθορά από αυτήν μπορεί να είναι ελεγχόμενη και χρησιμοποιείται σε υπερηχητικό καθαρισμό, καταστροφή της σαλμονέλας και καταστροφή της πέτρας στα νεφρά.



Εικόνα 18. Cavitating propeller model in a water tunnel experiment.

4.2 Η νόσος των δυτών

Η νόσος των δυτών είναι μια μόνιμη απειλή για αυτούς που ασχολούνται με τις καταδύσεις είτε για επαγγελματικούς λόγους , είτε για διασκέδαση. Ιδιαίτερα οι ερασιτέχνες δύτες εκτίθενται στον κίνδυνο της νόσου από αμέλεια αλλά και από άγνοια.

Η νόσος των δυτών αφορά στην δημιουργία φυσαλίδων αζώτου, κατά την ανάδυση. Αυτό συμβαίνει γιατί το άζωτο όταν βρεθεί από συνθήκες υψηλής πίεσης στον βυθό, σε συνθήκες χαμηλής πίεσης στην επιφάνεια, δεν προλαβαίνει να διαλυθεί στο αίμα του δύτε και δημιουργούνται φυσαλίδες αέρα. Οι φυσαλίδες αυτές μπορούν και φράζουν τα μικρότερα αγγεία του οργανισμού και ανάλογα το μέρος της βλάβης και του μεγέθους αυτής εμφανίζονται και ανάλογες εικόνες. Φυσαλίδες σχηματίζονται επίσης και μέσα στους ιστούς, υπάρχουν δηλαδή και μέσα αλλά και έξω από τα αγγεία.

Οι προδιαθεσικοί παράγοντες για τον σχηματισμό των φουσαλίδων είναι:

1. Η έντονη σωματική άσκηση στον βυθό, διότι βοηθά την απορρόφηση από τους ιστούς πολύ μεγαλύτερης ποσότητας αζώτου, που στη συνέχεια δημιουργεί περισσότερες φουσαλίδες κατά την ανάδυση.
2. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι αν υπάρχει κάποιο πρόσφατο τραύμα αυξάνεται η απορρόφηση αζώτου από την περιοχή του τραύματος, λόγω αλλαγής της αιματικής ροής στη περιοχή και άρα την πιθανότητα εκδήλωσης της νόσου στο σημείο αυτό.
3. Η κατάδυση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες είναι προδιαθεσικός παράγοντας εκδήλωσης της νόσου.
4. Η παχυσαρκία αυξάνει τον κίνδυνο για νόσο των δυτών, ιδιαίτερα εάν ο παχύσαρκος κάνει κατάδυση μεγάλης διάρκειας, διότι το λίπος έχει την ικανότητα να απορροφάει άζωτο σε μεγάλες ποσότητες, σε μεγάλη όμως διάρκεια λόγω της φτωχής του αιμάτωσης.
5. Η αυξημένη ποσότητα του CO₂ στον εισπνεόμενο αέρα αυξάνει την πιθανότητα εκδήλωσης της νόσου.
6. Επίσης η προχωρημένη ηλικία αυξάνει τον κίνδυνο προσβολής για λόγους που δεν έχουν διευκρινισθεί σαφώς.
7. Η αφυδάτωση αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα.
8. Η λήψη αλκοόλ αναφέρεται από τη βιβλιογραφία ότι αυξάνει τον κίνδυνο της νόσου
9. Κάθε ενόχλημα που ακολουθεί μετά την ανάδυση θα πρέπει να θεωρείται νόσος των δυτών, μέχρι να αποδειχθεί το αντίθετο.

Τα συμπτώματα της νόσου διακρίνονται συνήθως σε τύπου 1 και τύπου 2.:

Τύπος 1: μόνο πόνος

- Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στις σχετικά ήπιες μορφές της νόσου και περιλαμβάνει:
- Πόνος στα άκρα
- Εκδηλώσεις στο λεμφικό σύστημα.
- Δερματική νόσο των δυτών.

Τύπος 2: σοβαρά συμπτώματα

- Πνευμονική μορφή
- Νευρολογική μορφή
- Σοκ

- Πόνος στη κοιλιά, οσφύ ή στήθος
- Έντονη κόπωση.

Τα συμπτώματα ξεκινούν:

- 5% 30 λεπτά μετά την ανάδυση
- 8% 1 ώρα μετά την ανάδυση
- 95% 3 ώρες μετά την ανάδυση
- 1% 6 ώρες μετά την ανάδυση

Τα συμπτώματα εμφανίζονται με την εξής συχνότητα:

- Τοπικός πόνος : 89%
- Πόνος άνω άκρου : 30%
- Πόνος κάτω άκρου : 70%
- Ζάλη –ίλιγγος : 5,3%
- Παραλύσεις : 2,3%
- Σωματική εξάντληση και πόνος: 1,3%
- Απώλεια αισθήσεων : 0,5%



Εικόνα 19. Τομή ενός αγγείου με μικροφουσαλίδες ανάμεσα στους μυς.

4.3 Αντλίες Θερμότητας (Heatpumps)

Η αντλία θερμότητας είναι η συσκευή που αντλεί θερμική ενέργεια από μια θερμή δεξαμενή (αναφέρεται ως πηγή) που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία προς μια καταβόθρα (συνήθως αέρας ή νερό) που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία είτε (α) με την χρήση μηχανικού έργου είτε (β) με την βοήθεια μιας θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας πρωτοεφαρμόστηκε ως επί το πλείστον στα συνήθη ψυγεία και καταψύκτες, τα κλιματιστικά και εν συνεχεία σε συσκευές παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Πολλές φορές ταυτίζεται ο όρος Αντλία Θερμότητας με το κλιματιστικό. Η διαφορά μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας και ενός κοινού κλιματιστικού είναι ότι η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη λειτουργώντας βάση του ίδιου θερμοδυναμικού κύκλου του οποίου η λειτουργία μπορεί να αντιστραφεί ανάλογα με την ανάγκη (θέρμανση ή ψύξη). Σε ψυχρά κλίματα είναι μάλιστα σύνηθες να σχεδιάζονται και να κυκλοφορούν στην αγορά αντλίες θερμότητας μόνο για θέρμανση ενώ στα θερμότερα κλίματα είναι σύνηθες η χρήση αυτών των μηχανών τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

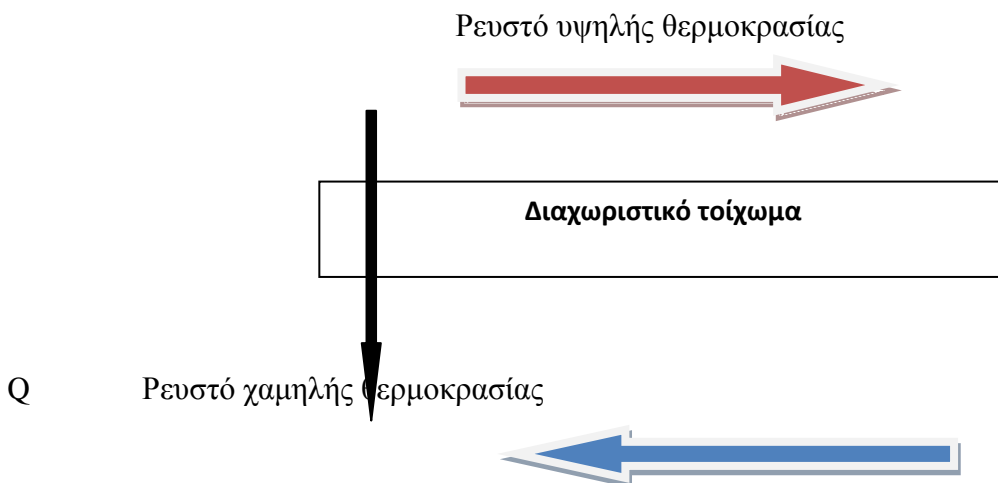
Στη μηχανή κλιματισμού που απαιτεί μηχανικό έργο (που με τη σειρά του απαιτεί συνήθως κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας) για την συντήρηση του θερμοδυναμικού κύκλου, ο όρος αντλία θερμότητας αναφέρεται σε μηχανές που λειτουργούν με την χρήση συμπιεζόμενου αερίου ως μέσο μεταφοράς της ενέργειας ανάμεσα σε πηγή και καταβόθρα. Η μηχανή αυτή αποτελείται από κυκλοφορητή, συμπιεστή, βαλβίδα εκτόνωσης και εναλλάκτες θερμότητας ώστε η κατεύθυνση άντλησης της θερμικής ενέργειας να μπορεί να αντιστραφεί. Για το λόγο αυτό συνήθως παρέχει θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων αλλά και ζεστό νερό χρήσης. Οι πιο κοινές πηγές άντλησης θερμότητας για τέτοιες μηχανές είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας και το έδαφος. Ανάλογα με την φύση της πηγής και αντίστοιχα της καταβόθρας οι αντλίες θερμότητας διαχωρίζονται σε αέρα-αέρα, αέρα-νερού, εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού.



Εικόνα 20. Εξωτερική μονάδα αντλίας θερμότητας.

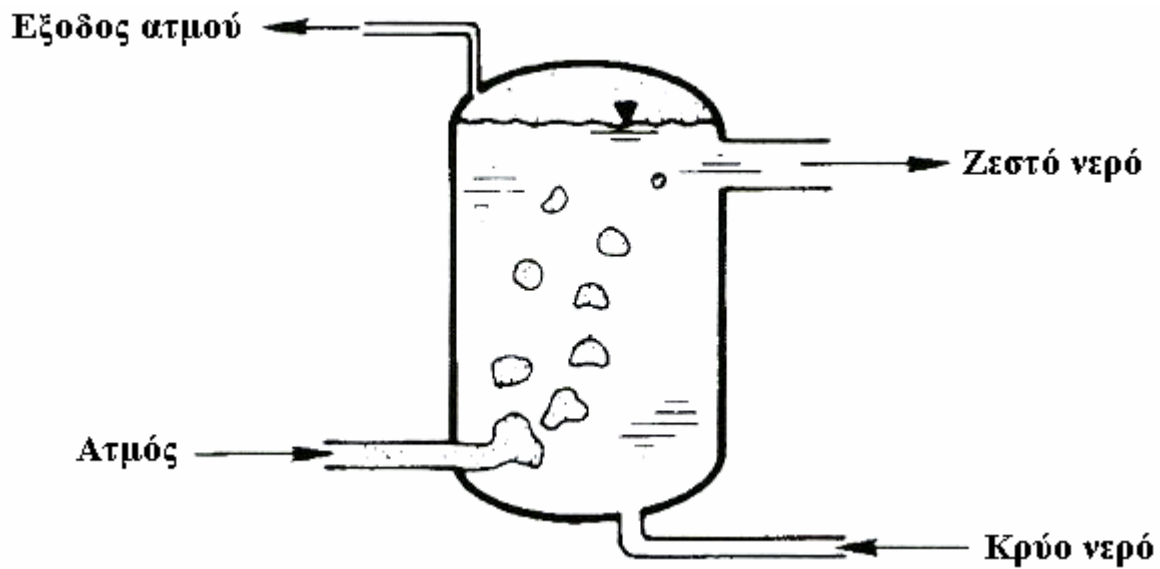
4.4 Εναλλάκτες θερμότητας (Heatexchangers)

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά ενέργειας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Το πολύ αυξημένο ενδιαφέρον για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα σε συνδυασμό με τα οικονομικά κίνητρα που έδωσαν οι περισσότερες κεντρικές κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο οδήγησε τις παραγωγικές εταιρείες ανεξαρτήτως μεγέθους να αναπτύξουν τεχνολογίες αποτελεσματικότερης αξιοποίησης της ενέργειας. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη του παραπάνω στόχου έπαιξαν και συνεχίζουν να παίζουν οι συσκευές εναλλαγής θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς, ανάμεσα σε αυτούς εξέχουσα θέση έχουν η χημική και η μεταλλουργική βιομηχανία. Ανεξαρτήτως του τρόπου εφαρμογής των εναλλακτών θερμότητας, η αρχή λειτουργίας τους φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1. Αρχή λειτουργίας εναλλακτών θερμότητας.

Οι ροές των δύο ρευστών συνήθως διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω ενός μηδιαπερατού θερμοαγωγίμου διαχωριστικού τοιχώματος. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα δυο ρευστά, υπάρχει ωθούσα δύναμη για μεταφορά ενέργειας υπό μορφή θερμότητας από το ρευστό υψηλής θερμοκρασίας προς το ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας μέσω του διαχωριστικού τοιχώματος που έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση του ενεργειακού περιεχομένου του ψυχρού ρευστού και προφανώς της θερμοκρασίας του. Εκτός από το μηχανισμό μεταφοράς ενέργειας που περιγράφεται απλοϊκά στο σχήμα 1.4, υπάρχουν και διατάξεις εναλλαγής ενέργειας όπου υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ των δύο ρευστών όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5. Οι εναλλάκτες θερμότητας αυτού του τύπου ονομάζονται “άμεσης επαφής” και περιέχουν είτε δύο πλήρως μη αναμίξιμα ρευστά, είτε ένα μη-υγροποιήσιμο αέριο στις συνθήκες λειτουργίας της συσκευής που διέρχεται μέσω ενός ρευστού, είτε τέλος ατμό που διασπείρεται σε ψυχρό νερό. Στο σχήμα 1.2 φαίνεται ένας εναλλάκτης θερμότητας άμεσης επαφής στον οποίο κορεσμένος ατμός έρχεται σε άμεση επαφή με κρύο νερό με συνέπεια ο ατμός να υγροποιείται αποβάλλοντας ενέργεια υπό μορφή θερμότητας ενώ ταυτόχρονα το νερό να θερμαίνεται.



Σχήμα 1.2. Εναλλάκτης θερμότητας άμεσης επαφής.

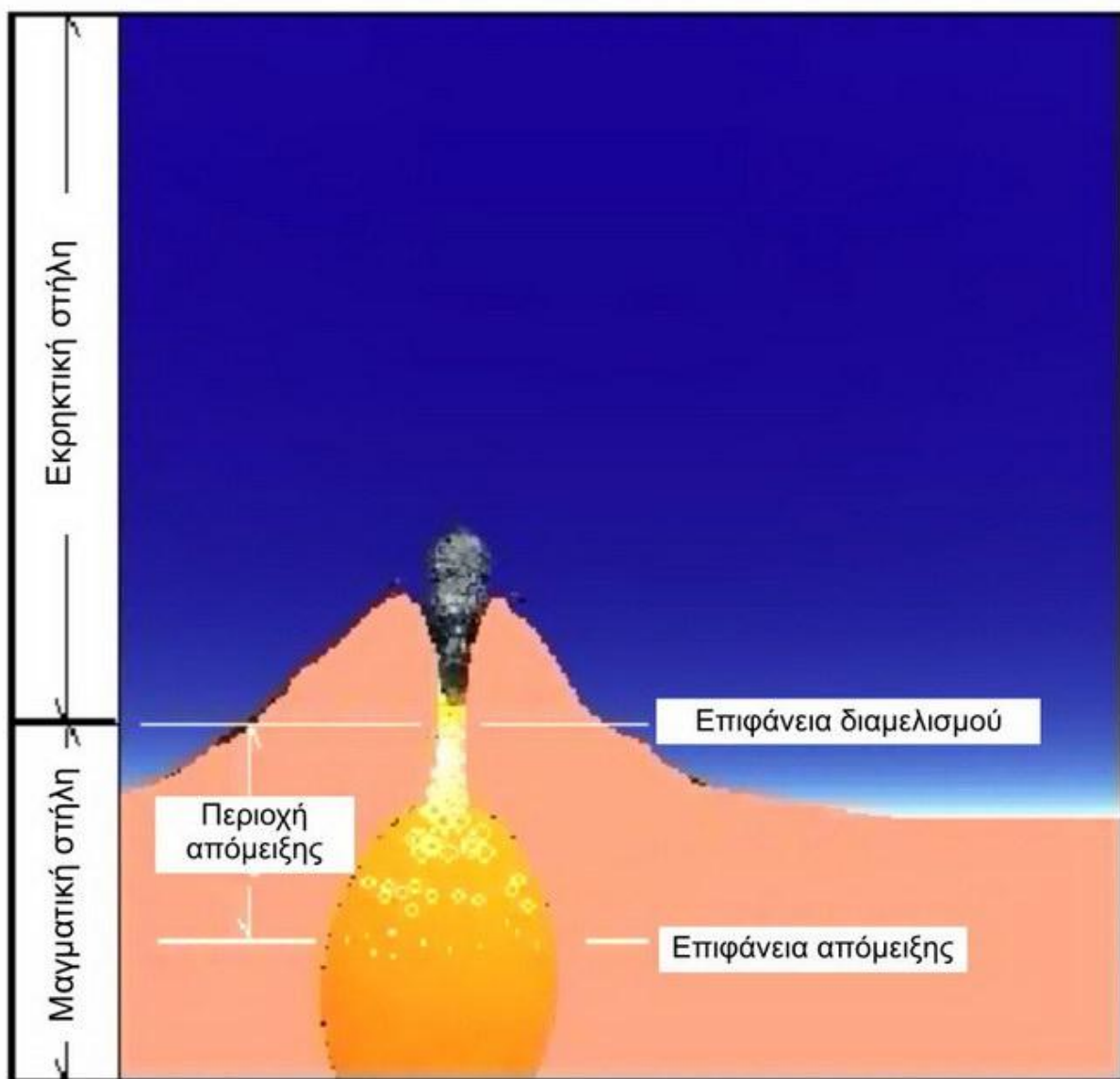
4.5 Ο μηχανισμός έκρηξης ηφαιστίων

4.5.1 Μηχανισμός της Πλινιακής Έκρηξης

Υπάρχουν διάφορα επίπεδα πίεσης στη μαγματική στήλη (magmacolumn) κάτω από το ηφαίστειο και στη εκρηκτική στήλη (eruptioncolumn) πάνω από το ηφαίστειο.

4.5.2 Εξήγηση του Μηχανισμού Έκρηξης

4.5.2.1 Μαγματική στήλη



Εικόνα 21. Μαγματική στήλη(*magmacolumn*).

Η έκρηξη τροφοδοτείται από το μάγμα που βρίσκεται κάτω από το σημείο της έκρηξης. Στη μαγματική στήλη υπάρχουν δύο κρίσιμα επίπεδα πίεσης:

1) Επιφάνεια απόμειξης (exsolution surface).

Βρίσκεται στο μαγματικό θάλαμο κάτω από το ηφαίστειο και χωρίζει την περιοχή, όπου το μάγμα είναι κορεσμένο σε διαλελυμένα πτητικά αέρια, από την υπερκείμενη περιοχή απόμειξης ή φυσαλιδοποίησης (vesiculation region), όπου τα αέρια απομειγνύονται και σχηματίζουν φυσαλίδες.

2) Επιφάνεια διαμελισμού (fragmentationsurface).

Βρίσκεται στο πάνω τμήμα της μαγματικής στήλης και χωρίζει την περιοχή απόμιξης από την υπερκείμενη εκρηκτική στήλη. Ο διαμελισμός ή θρυμματισμός του μάγματος προκαλείται από τη γρήγορη διαστολή και έκρηξη των φυσαλίδων.

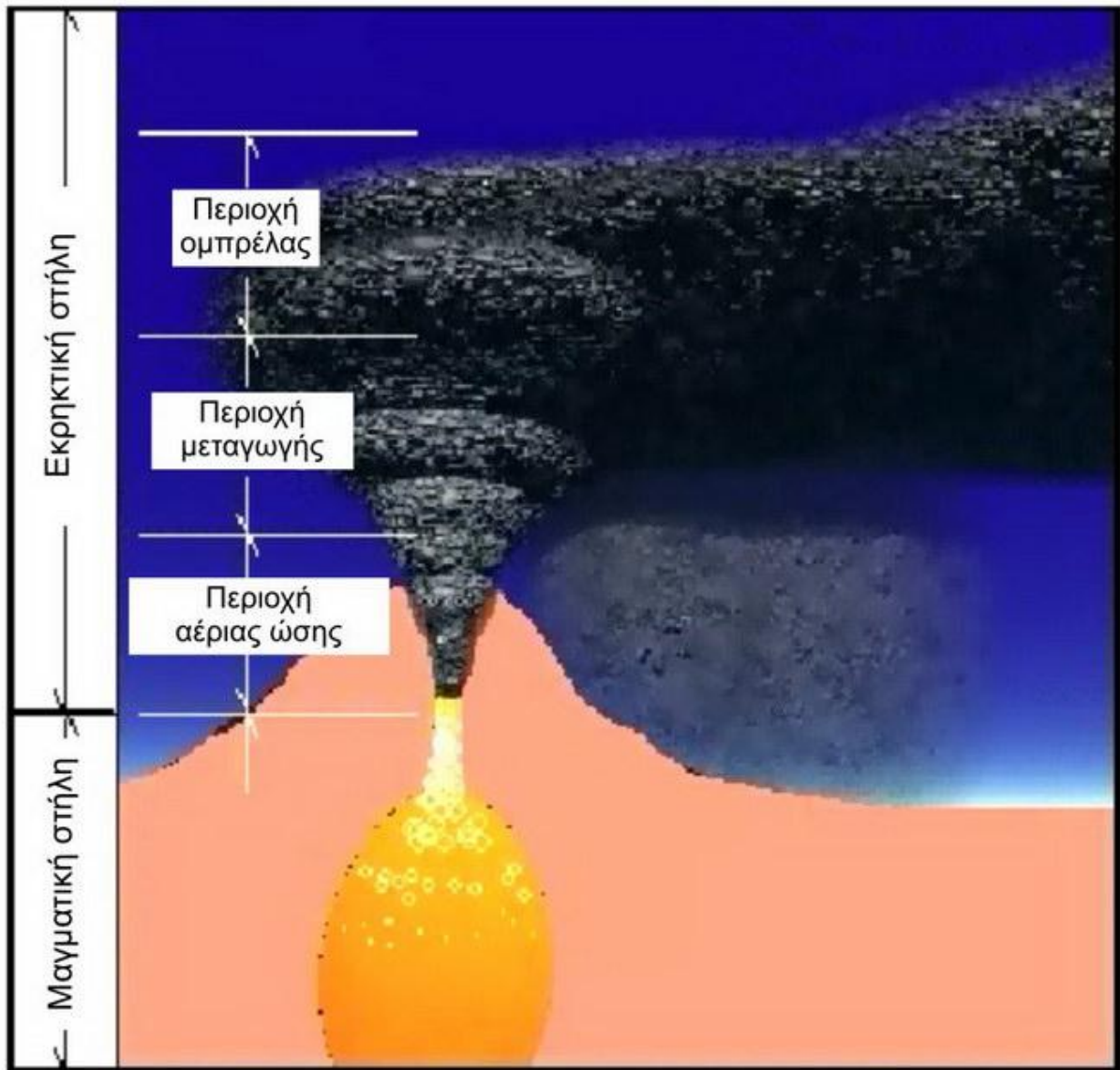
Η απόμιξη των αερίων στο μάγμα ("βρασμός") ονομάζεται φυσαλιδοποίηση. Καθώς το μάγμα ανέρχεται σε ολοένα και μικρότερα βάθη αποσυμπιέζεται. Όταν η περιβάλλουσα πίεση των πετρωμάτων γίνει μικρότερη από την πίεση των αερίων, τότε αρχίζει η ανάπτυξη φυσαλίδων, γεγονός που συμβαίνει στην επιφάνεια απόμιξης. Κατ'αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μέσα στον ηφαιστειακό πόρο "ένας αφρός" μάγματος-αερίων. Καθώς η άνοδος συνεχίζεται οι φυσαλίδες διαστέλλονται τόσο, που κάποια στιγμή (όταν ο όγκος τους γίνει περίπου το 75% του συνολικού όγκου της μαγματικής στήλης) εκρήγνυνται. Το αποτέλεσμα είναι αυτός ο "αφρός" μάγματος-αερίων να θρυμματιστεί και να κατακερματιστεί, γεγονός που συμβαίνει στην επιφάνεια διαμελισμού.

Η απελευθέρωση των αερίων περιορίζεται μέσα στον ηφαιστειακό πόρο και η ταχύτητα εξόδου εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό αερίων στο μάγμα. Συχνά, όταν η πίεση εξόδου είναι μεγάλη και η αντίσταση των πετρωμάτων που φράζουν το στόμιο του πόρου είναι μικρή, το στόμιο του πόρου διαβρώνεται και διευρύνεται. Επακόλουθο είναι η ταχύτητα εξόδου να αυξάνεται, και το μίγμα ενώ είχε ταχύτητα μικρότερη του ήχου να αποκτά ταχύτητα μεγαλύτερη του ήχου.



Εικόνα 22. Εκρηκτική στήλη του ηφαιστείου Redoubt (Αλάσκα, 1990).Photo: Clucas R.

4.5.3 Εκρηκτική στήλη



Εικόνα 23. Εκρηκτική στήλη(eruptioncolumn).

Η επιφάνεια διαμελισμού είναι το σημείο απ'όπου ξεκινά η έκρηξη. Η περιοχή υπέρθερμων αερίων και πυροκλαστικών υλικών πάνω από την επιφάνεια διαμελισμού ονομάζεται εκρηκτική στήλη (eruptioncolumn). Αυτή μεταφέρει τα πυροκλαστικά υλικά από το έδαφος στην ατμόσφαιρα.

Οι εκρηκτικές στήλες πλινιακών ηφαιστειακών εκρήξεων φτάνουν συνήθως σε ύψη μεταξύ 2 και 45 km.

Η δυναμική συμπεριφορά της εκρηκτικής στήλης μεταβάλλεται καθώς αυτή από την επιφάνεια διαμελισμού ανεβαίνει προς τη στρατόσφαιρα. Με βάση αυτές τις μεταβολές η εκρηκτική στήλη χωρίζεται σε τρεις βασικές περιοχές:

1) Περιοχή αέριας ώσης (gas thrust region).

Βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα της στήλης. Η προωθητική ενέργεια προέρχεται από την αποσυμπίεση των αερίων.

2) Περιοχή μεταγωγής (convective thrust region).

Βρίσκεται στο ανώτερο τμήμα της στήλης. Η προωθητική ενέργεια προέρχεται από την θερμική ενέργεια της στήλης.

3) Περιοχή ομπρέλας (umbrella region).

Βρίσκεται στην κορυφή της στήλης. Εδώ η κίνηση οφείλεται μόνο στην ορμή της στήλης.

Η περιοχή αέριας ώσης είναι η περιοχή όπου το μίγμα αερίων-πυροκλαστικών εκσφενδονίζεται κατακόρυφα προωθούμενο από την ενέργεια που παράγει η αποσυμπίεση εξαιτίας της διαστολής των αερίων στη βάση της εκρηκτικής στήλης. Η πυκνότητα του μίγματος που εξέρχεται από τον πόρο εξαρτάται από την αναλογία αερίων-πυροκλαστικών. Αρχικά το μίγμα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον αέρα λόγω των στερεών πυροκλαστικών που περιέχει, οπότε η ανοδική του κίνηση επιβραδύνεται.

Καθώς όμως κάποια στερεά αναβλήματα καταπίπτουν ως πυροκλαστικά πτώσης η πυκνότητα μειώνεται. Στη μείωση της πυκνότητας συμβάλλει επίσης και η θερμότητα της στήλης, η οποία θερμαίνει τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα. Όταν η πυκνότητα του νέφους γίνει μικρότερη από αυτήν του ατμοσφαιρικού αέρα, η στήλη συνεχίζει την άνοδό της λόγω άνωσης και ρευμάτων μεταφοράς. Σε αυτό το σημείο η περιοχή αέριας ώσης δίνει τη θέση της στην περιοχή μεταγωγής, η οποία αποτελεί το 90% της εκρηκτικής στήλης. Τώρα, το ηφαιστειακό νέφος προωθείται από τη θερμική του ενέργεια, η οποία παραμένει σταθερή λόγω της προσφοράς θερμότητας από τα θερμά στερεά αναβλήματα.

Σε κάποιο ύψος, η πυκνότητα του νέφους θα γίνει ίση με την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, οπότε η άνοδος του νέφους θα ελέγχεται μόνο από την ορμή του. Στο σημείο αυτό η στήλη απλώνεται και σχηματίζει την περιοχή ομπρέλας. Στη βάση της ομπρέλας η πυκνότητα του νέφους

είναι ίση με την πυκνότητα του περιβάλλοντα ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ η ανοδική κίνηση προς την κορυφή της ομπρέλας οφείλεται μόνο στην ορμή. Συχνά, η περιοχή ομπρέλας επεκτείνεται πλευρικά αποκτώντας ασύμμετρο σχήμα, διότι επηρεάζεται από τους ισχυρούς ατμοσφαιρικούς ανέμους.



Εικόνα 24. Έκρηξη του ηφαιστείου Rabaul Caldera (Παπούα Νέα Γουινέα, 1994). Η εκρηκτική στήλη ανήλθε σε ύψος 18 km όπου λόγω των ανέμων σχημάτισε το ηφαιστειακό νέφος. **Photo: USGS**

Επίλογος-Συμπεράσματα

Η δημιουργία και η ανάπτυξη των φυσαλίδων είναι ένα αναπόφευκτο φυσικό φαινόμενο της βιομηχανίας και της τεχνολογίας παρουσιάζοντας σημαντικές αρνητικές συνέπειες. Γι' αυτό και είναι αναγκαία η μελέτη και καλή γνώση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Ο μηχανικός επιβάλλεται να αξιοποιεί τις γνώσεις πάνω σε επιστήμες όπως είναι η χημεία, η φυσική, η υδροστατική και η μεταλλουργία, ενώ αξιοποιώντας με συνέπεια και άρτια γνώση τις βιομηχανικές και τεχνολογικές ανακαλύψεις των τελευταίων ετών, να βρίσκει λύσεις καταπολέμησης των προβλημάτων που προκύπτουν από τη δημιουργία μιας μικρής φυσαλίδας. Δυστυχώς, η δημιουργία των φυσαλίδων έχει κατά κόρον αρνητικές επιπτώσεις στις εφαρμογές που εμφανίζονται μακροχρόνια τόσο στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις όσο και στην ανθρώπινη φυσιολογία.

Βιβλιογραφία

1. www.nask.gr
2. www.primedu.uoa.gr
3. www.wikipedia.org
4. www.geo.auth.gr
5. www.tm.teither.gr
6. www.openscience.gr
7. www.smarthealth.gr
8. <http://greekdivers.blogspot.gr>
9. www.scubadive.gr
10. www.metal.ntua.gr

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Πρόλογος	5
 <u>Κεφάλαιο 1: Βασικές έννοιες-Ιδιότητες</u>	
Εισαγωγή στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ορμής.....	6
1.1: Η τάση των αερίων	7
1.2: Βρασμός.....	9
1.3: Νόμος του Henry	10
1.4: Διαλυτότητα.....	11
1.5: Διαλυτότητα αερίων.....	12
1.6: Δυναμική ισορροπίας (κορεσμός)	12
1.7: Υπερκορεσμός (κρίσιμο σημείο ανοχής).....	13
1.8: Ισοβαρικήαντιδιάχυση	14
 <u>Κεφάλαιο 2: Δημιουργία Φυσαλίδων</u>	
2.1: Πυρονογένεση-Ανάπτυξη φυσαλίδας με μεταφορά μάζας και θερμότητας.....	14
2.2: Η δημιουργία των μικροφυσαλίδων	15
2.3: Ηχοφωταύγεια.....	16
2.3.1: Ο μηχανισμός του φαινομένου.....	16
 <u>Κεφάλαιο 3: Ιδιότητες αερίων και υγρών που έχουν πρακτική σημασία</u>	
3.1: Αέρια.....	17
3.1.1: Διοξείδιο του άνθρακα.....	17
3.1.1.1: Ιδιότητες διοξειδίου του άνθρακα	19
3.1.2: Άζωτο.....	20
3.1.2.1: Προέλευση και παραγωγή του αζώτου	21
3.1.2.2: Ιδιότητες του αζώτου.....	22
3.2: Υγρά.....	23
3.2.1: Νερό	23
3.2.1: Το νερό και οι ιδιότητές του.....	23
3.2.2: Επτάνιο	26

3.2.3: Γλυκερίνη.....	27
-----------------------	----

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές

4.1: Αντλίες-Σπηλαίωση	29
4.1.1: Διάκριση σπηλαίωσης	31
4.2: Η νόσος των δυτών	33
4.3: Αντλίες θερμότητας	35
4.4: Εναλλάκτες θερμότητας.....	37
4.5: Ο μηχανισμός έκρηξης ηφαιστείων	38
4.5.1: Μηχανισμός της πλινακής έκρηξης	38
4.5.2: Επεξήγηση του μηχανισμού έκρηξης	38
4.5.2.1: Μαγματική στήλη.....	39
4.5.3: Εκρηκτική στήλη	42
Επίλογος - Συμπεράσματα	45
Βιβλιογραφία.....	46

