

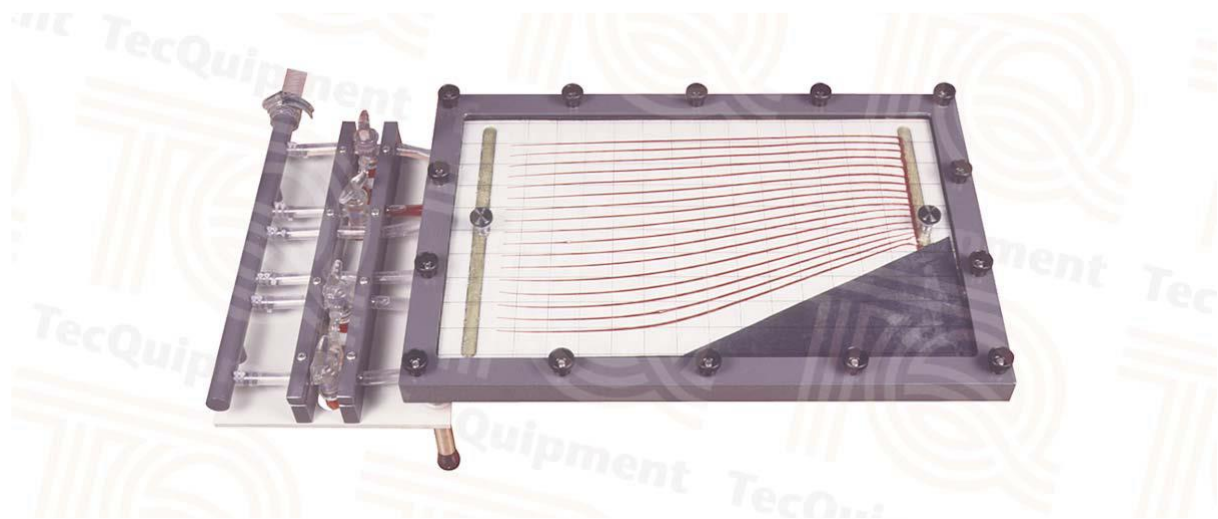
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
HELE-SHAW ΡΟΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α.Μ. 6218

ΝΙΑΠΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Α.Μ. 6653

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΖΙΡΤΖΙΛΑΚΗΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ



ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	7
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	7
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΡΕΥΣΤΩΝ.....	7
1.1.1 <i>Ιδιότητες</i>	7
1.1.2 <i>ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΡΟΩΝ</i>	11
1.2 ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS.....	12
1.3 ΦΕΡΡΙΤΗΣ.....	13
1.4 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΘΕΣΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ.....	15
1.4.1 <i>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</i>	15
1.5 ΣΙΔΗΡΟΡΕΥΣΤΑ.....	18
1.5.1 <i>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</i>	18
1.5.2 <i>ΣΥΣΤΑΣΗ</i>	19
1.5.3 <i>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</i>	20
1.6 HELE-SHAW.....	23
1.6.1 <i>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</i>	23
1.6.2 <i>H9</i>	25
1.7 ΜΑΓΝΗΤΕΣ ΝΕΟΔΥΜΙΟΥ.....	26
1.7.1 <i>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</i>	26
1.7.2 <i>ΣΥΣΤΑΣΗ</i>	26
1.7.3 <i>ΠΑΡΑΓΩΓΗ</i>	27
1.7.4 <i>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ</i>	28
1.7.5 <i>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</i>	28
1.7.6 <i>ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ</i>	30
1.7.7 <i>ΚΙΝΔΥΝΟΙ</i>	30
1.7.8 <i>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</i>	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	33
ΠΕΙΡΑΜΑ.....	33
2.1 ΜΑΓΝΗΤΕΣ ΝΕΟΔΥΜΙΟΥ.....	33
2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΙΔΗΡΟΡΕΥΣΤΟΥ.....	34
2.3 ΣΥΣΚΕΥΗ HELE-SHAW H9.....	36
2.3.1 <i>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ H9</i>	36
2.3.2 <i>ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ H9</i>	38
2.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	46
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	46
3.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 ^Η	46

3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2^Η	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^Ο	55
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αυτή η πτυχιακή εργασία διεκπεραιώθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος και πιο συγκεκριμένα στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. και παρουσιάζει τον τρόπο επιρροής ενός μαγνητικού πεδίου στη ροή ενός σιδηρορευστού.

Σε αυτήν την εργασία μελετήθηκε το πώς επηρεάζεται ένα σιδηρορευστό όταν ρέει με πολύ χαμηλή ταχύτητα μέσα από ένα ανοιχτό κανάλι το οποίο βρίσκεται πάνω στην πλάκα μιας τροποποιημένης συσκευής Hele-Shaw H9, από ένα μαγνητικό πεδίο όπου παράγεται από έναν μαγνήτη νεοδυμίου.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ευστράτιο Τζιριτζιλάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε, την καθοδήγηση και την στήριξη του. Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε από καρδιάς τον κ. Αντρέα Βούρο του οποίου οι συμβουλές ήταν καθοριστικές για την περαίωση αυτής της εργασίας, καθώς και τον κ. Χαλβατζή Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την στήριξη που μας παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης

Οι σπουδαστές

Νιαπός Αναστάσιος

Αργυρόπουλος Κωνσταντίνος

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την εργασία θα μελετήσουμε το πώς επηρεάζεται ένα σιδηρορευστό που ρέει σε ένα ανοιχτό κανάλι από ένα μαγνητικό πεδίο. Το σιδηρορευστό ρέει μαζί με νερό πάνω σε μια επίπεδη πλάκα μιας συσκευής Hele-Shaw H9 με πολύ χαμηλή ταχύτητα. Το ρευστό περνάει μέσα από ένα ανοιχτό κανάλι στου οποίου τα τοιχώματα εξωτερικά βρίσκεται ένας μαγνήτης νεοδυμίου. Εξαιτίας της συσκευής που χρησιμοποιούμε το βάθος της ροής είναι πάρα πολύ μικρό οπότε θεωρούμε την ροή δισδιάστατη. Έτσι θα μελετήσουμε το πώς επηρεάζεται το σιδηρορευστό σε αυτή τη χαμηλή ροή σε δύο διαστάσεις από το μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη που χρησιμοποιούμε. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν βιντεοσκοπήθηκαν από ηλεκτρονική συσκευή και όλες οι παρατηρήσεις προκύπτουν μέσα από αυτά τα βίντεο.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και παραθέτει εισαγωγικά και ιστορικά στοιχεία για τα ρευστά και πιο ιδιαίτερα για τα σιδηρορευστά καθώς και κάποιες ιδιότητες τους. Παραθέτει στοιχεία για την ζωή, την καριέρα και τα επιτεύγματα του Hele-Shaw και πολλά στοιχεία για τους μαγνήτες νεοδυμίου, όπως το πώς ανακαλύφθηκαν, τις χρήσεις τους, καθώς και πολλές τους ιδιότητες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται στοιχεία, ιδιότητες και πληροφορίες για τον μαγνήτη νεοδυμίου που χρησιμοποιήσαμε, καθώς και πολλές πληροφορίες, ιδιότητες και χαρακτηριστικά για την συσκευή Hele-Shaw H9 που χρησιμοποιήσαμε σε αυτό το πείραμα. Περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής H9 και οι μετατροπές που της έγιναν για να πραγματοποιηθεί το πείραμα και κάποιες ιδιοκατασκευές που φτιάχτηκαν για την αντιμετώπιση κάποιων προβλημάτων που προέκυψαν. Επίσης περιγράφεται η διαδικασία όπου ακολουθήσαμε για την παραγωγή του σιδηρορευστού που χρησιμοποιήσαμε, καθώς και η πειραματική διαδικασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αρκετές περιπτώσεις φαινομένων που παρατηρήσαμε κατά την βιντεοσκόπηση των πειραμάτων μέσα από χαρακτηριστικά στιγμιότυπα. Τα στιγμιότυπα αυτά μέσω μιας αναλυτικής περιγραφής προσπαθήσαμε να είναι κατανοητά για το κάθε ξεχωριστό φαινόμενο που παρατηρήσαμε κατά την διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών. Οι πειραματικές διαδικασίες μας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ο μαγνήτης εφάπτεται στο τοίχωμα του καναλιού με την πιο μικρή του επιφάνεια και ενώ βρίσκεται κάθετα στο τραπέζι και στην δεύτερη περίπτωση εφάπτεται στο τοίχωμα του καναλιού με την μεγαλύτερη του επιφάνεια και ενώ και πάλι βρίσκεται κάθετα στο τραπέζι.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των πειραματικών διαδικασιών, όπου καταλήξαμε έπειτα από προσεκτική παρατήρηση αυτών και ειδικά μέσα από την βιντεοσκόπηση τους.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγικές έννοιες

1.1 Βασικές έννοιες ρευστών

Η παλαιότερη φυσική επιστήμη που ασχολήθηκε με τα σταθερά όρια αλλά και με τα κινούμενα όρια υπό την επίδραση των δυνάμεων είναι η μηχανική. Στατική ονομάζεται ο κλάδος της μηχανικής που ασχολείται με τα σώματα σε κατάσταση ηρεμίας ενώ δυναμική ονομάζεται ο κλάδος της μηχανικής που ασχολείται με τα αντικείμενα όπου κινούνται. Η ρευστομηχανική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη συμπεριφορά των υγρών σε κατάσταση ηρεμίας (ρευστό-στατική), ή σε κίνηση (δυναμική ρευστού) και με την αλληλεπίδραση των υγρών με τα στερεά ή με άλλα υγρά. Ρευστό ονομάζεται οποιαδήποτε ουσία η οποία βρίσκεται σε φάση υγρού ή αερίου. Η διαφορά ανάμεσα σε ένα στερεό και σε ένα υγρό είναι η ικανότητα της ουσίας να αντιστέκεται σε μια εφαρμοζόμενη διατμητική (εφαπτομενική) δύναμη που τείνει να αλλάξει το σχήμα της. Τα στερεά μπορούν να αντισταθούν σε μια εφαρμοσμένη σε αυτά διάτμηση παραμορφώνοντας το σχήμα τους ενώ τα υγρά παραμορφώνονται συνεχώς κάτω από την επιρροή της διατμητικής πίεσης, ανεξάρτητα από το πόσο μικρό είναι το σχήμα τους. Στα στερεά, αυτό το στρες είναι ανάλογο με την καταπόνηση, ενώ στα υγρά, το «στρες» είναι ανάλογο του «ρυθμού καταπόνησης»(Assael M., 1996)..

Τα αέρια και τα υγρά έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά, έχουν όμως και πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά από μόνα τους. Ενώ τα υγρά είναι ασυμπίεστα τα αέρια μπορούν να συμπιεστούν πολύ εύκολα. Μία συγκεκριμένη μάζα ενός υγρού καταλαμβάνει σταθερό όγκο, ανεξαρτήτως από το μέγεθος και το σχήμα του δοχείου στο οποίο περιλαμβάνεται. Ενώ ένα αέριο δεν έχει καθορισμένο όγκο και θα επεκτείνεται συνεχώς, εκτός εάν συγκρατηθεί από το δοχείο που το περιέχει. Για τα υγρά η ελεύθερη επιφάνεια που σχηματίζεται στον όγκο του δοχείου είναι μεγαλύτερη από αυτή του δοχείου του υγρού. Ενώ ένα αέριο θα γεμίσει εντελώς οποιοδήποτε δοχείο στο οποίο τοποθετείται και επομένως, δεν έχει ελεύθερη επιφάνεια.

Όλες οι ιδιότητες του υγρού αποδίδονται με συγκεκριμένη μονάδα και διάσταση. Κάποιες βασικές διαστάσεις όπως η μάζα (M), το μήκος (L), ο χρόνος (T) και η θερμοκρασία (θ) επιλέγονται ως πρωτογενείς και θεμελιώδεις διαστάσεις. Άλλες, όπως η ταχύτητα (v) και ο όγκος (V) ονομάζονται δευτερεύουσες ή προερχόμενες διαστάσεις.

Τα ρευστά είναι συσσωματώματα μορίων, των αερίων έχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους σε σχέση με των υγρών, τα οποία βρίσκονται σε πολύ κοντινές αποστάσεις. Ο αριθμός των μορίων αυτών είναι πολύ μεγάλος και ο διαχωρισμός μεταξύ τους είναι συνήθως αμελητέος. Υπό αυτές τις συνθήκες, το υγρό μπορεί να αντιμετωπιστεί ως συνεχές και οι ιδιότητες σε οποιοδήποτε σημείο του μπορούν να αντιμετωπίζονται ως μαζική συμπεριφορά των υγρών. Για να είναι έγκυρο το μοντέλο του «συνεχούς», το μικρότερο δείγμα της ύλης πρέπει να περιέχει μεγάλο αριθμό μορίων, έτσι ώστε να μπορούν να υπάρχουν σημαντικοί μέσοι όροι όταν γίνονται υπολογισμοί.(N. Φλυτζάνης 2013)

1.1.1 Ιδιότητες

Οποιοδήποτε χαρακτηριστικό ενός συστήματος ονομάζεται ιδιότητα. Μπορεί να είναι είτε εντατική (ανεξάρτητη της μάζας) ή εκτεταμένη (που εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος). Η κατάσταση ενός συστήματος περιγράφεται από τις ιδιότητές του. Ο αριθμός

των ιδιοτήτων που απαιτούνται για τον καθορισμό της κατάστασης του συστήματος δίνεται από κάποια αξιώματα. Οι πιο κοινές ιδιότητες των ρευστών είναι:

1. Πίεση (p): Είναι η κανονική δύναμη που ασκείται σε ένα υγρό ανά μονάδα επιφάνειας. Στο σύστημα SI η μονάδα και η διάσταση της πίεσης μπορεί να γραφεί ως N / m^2 .
2. Πυκνότητα: Η πυκνότητα μιας ουσίας είναι η ποσότητα της ύλης που περιέχεται στη μονάδα του όγκου της ουσίας. Εκφράζεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους, πυκνότητα μάζας $\rho = \frac{\text{μάζα}}{\text{όγκος}}$, ειδικό βάρος (ρg) και σχετική πυκνότητα / ειδικό βάρος $SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{νερού}}}$. Οι μονάδες και οι διαστάσεις δίδονται ως:

- για την πυκνότητα μάζας kg / m^3
- για ειδικό βάρος N / m^3

Οι τυποποιημένες τιμές για την πυκνότητα νερού και αέρα δίδονται ως $1000 kg / m^3$ και $1.2 kg / m^3$, αντίστοιχα.

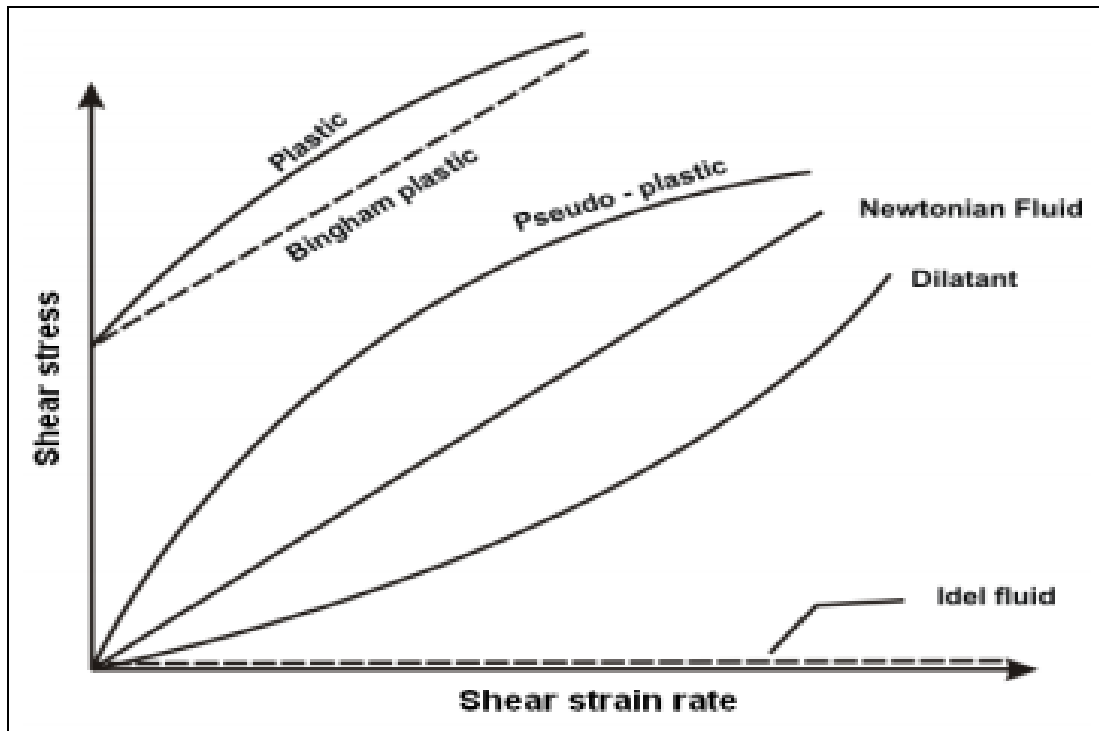
3. Θερμοκρασία (T): Είναι το μέτρο της θερμότητας και της ψυχρότητας ενός συστήματος. Σαν Θερμοδυναμική έννοια, είναι το μέτρο της εσωτερικής ενέργειας ενός συστήματος. Πολλές φορές, η θερμοκρασία εκφράζεται σε κλίμακα $^{\circ} C$ όπου το σημείο της ψύξης και του βρασμού του νερού λαμβάνεται ως $0^{\circ} C$ και $100^{\circ} C$, αντίστοιχα. Στο σύστημα SI, η θερμοκρασία εκφράζεται σε απόλυτη τιμή σε κλίμακα Kelvin ($K = ^{\circ} C + 273$).

4. Ιξώδες (μ): Όταν δύο στερεά σώματα βρίσκονται σε επαφή, κινούνται σε σχέση το ένα με το άλλο. Μια δύναμη τριβής αναπτύσσεται στην επιφάνεια επαφής προς την αντίθετη από τη διεύθυνση της κίνησης. Η κατάσταση είναι παρόμοια όταν ένα ρευστό κινείται σε σχέση με ένα στερεό ή όταν δύο ρευστά κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο. Η ιδιότητα που αντιπροσωπεύει την εσωτερική αντίσταση ενός υγρού σε κίνηση (δηλαδή ρευστότητα) καλείται ως ιξώδες. Τα υγρά για τα οποία ο ρυθμός παραμόρφωσης είναι ανάλογος προς τη διατμητική πίεση ονομάζεται Νευτώνεια ρευστά. Η γραμμική αυτή σχέση για ένα μονοδιάστατο σύστημα φαίνεται στο σχήμα 2. Η τάση διάτμησης (τ) εκφράζεται στη συνέχεια ως,

$\tau = \mu \frac{du}{dy}$ (5), όπου du/dy είναι ο ρυθμός της διατμητικής παραμόρφωσης και το μ είναι

το δυναμικό (ή απόλυτο) ιξώδες του υγρού. Μετράται σε $kg/m.s$. Μία κοινή μονάδα δυναμικού ιξώδους είναι ισοδύναμη με $0,1 Pa.s$. Πολλές φορές εμφανίζεται η αναλογία του δυναμικού ιξώδους ως προς την πυκνότητα και δίνεται από το κινηματικό ιξώδες $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ (6). Ως μονάδα του έχει το stoke ($1 \text{ stoke} = 0,0001 m^2/s$).

Τυπικές τιμές του κινηματικού ιξώδους του αέρα και του νερού σε ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι οι $1,46 \times 10^{-5} m^2/s$ και $1,14 \times 10^{-6} m^2/s$ αντίστοιχα. (ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ 2015)



Εικόνα 1: Κατανομή διατμητικών τάσεων υλικών ως προς το ρυθμό παραμόρφωσης. (Kai Bao ResearchGate.net)

Το ιξώδες ενός υγρού εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Το ιξώδες μειώνεται με τη θερμοκρασία για τα υγρά ενώ για τα αέρια αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Ο συσχετισμός του Sutherland χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ιξώδους των αερίων ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} \left(\frac{T_0 + S}{T + S}\right) \quad (0.1)$$

Για τον αέρα, η τιμή αναφοράς του ιξώδους $\mu_0 = 1,789 \times 10^{-5}$ kg/m.s στα $T_0=288\text{K}$ και $S = 110 \text{ K}$. Στην περίπτωση υγρών, το ιξώδες προσεγγίζεται όπως :

$$\ln\left(\frac{\mu}{\mu_0}\right) = \alpha + b\left(\frac{T_0}{T}\right) + c\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \quad (0.2)$$

Για το νερό, στα $T_0=273\text{K}$ και $\mu_0 = 0,001792\text{kg/m.s}$, $\alpha = -1,94$, $b = -4,8$, $c = 6,74$.

Το ιξώδες ενός ρευστού είναι το μέτρο της αντίστασης όπου παρουσιάζει μία σταδιακή παραμόρφωσή του μετά από διατμητική ή εντατική τάση. Εκφράζεται επίσης και με την αντίσταση που προβάλλει κατά τη ροή του. Για υγρά, ειδικότερα, αντιστοιχεί στην ιδιότητα της «πηκτότητας». Το ιξώδες είναι μια ιδιότητα ενός ρευστού που προκύπτει από τις συγκρούσεις μεταξύ γειτονικών σωματιδίων, καθώς τμήματα του ρευστού αυτού κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Επίσης προκύπτει και από την εφαρμογή των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των μορίων αυτών. Όταν ένα ρευστό υποχρεώνεται να ρεύσει μέσα από ένα σωλήνα, τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται το ρευστό, κινούνται ταχύτερα κατά μήκος του άξονα του σωλήνα στο εσωτερικό του και βραδύτερα κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα. Γι' αυτό χρειάζεται να ασκηθεί κάποια τάση, όπως μια διαφορά πίεσης ανάμεσα στα δυο άκρα του σωλήνα, για να υπερπηδηθεί η τριβή ανάμεσα στα στρώματα του ρευστού που κινούνται με

διαφορετικές ταχύτητες και να συνεχιστεί η ροή του ρευστού. Η τάση που απαιτείται για ένα δεδομένο μοτίβο κίνησης αντιστοιχεί στο ιξώδες του ρευστού αυτού. (Symon, Keith 1971).

Ένα ρευστό που δεν αντιστέκεται καθόλου στην τάση διάτμησής του ονομάζεται «ιδανικό» ή «ιδεατό» υγρό. Το μηδενικό ιξώδες, όμως, παρατηρείται μόνο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στα υπερρευστά. Διαφορετικά, σε τεχνική βάση, όλα τα ρευστά έχουν θετικό ιξώδες. Στην καθομιλουμένη, η έννοια του «ιξώδους», δηλαδή της πηκτότητας, αναφέρεται ειδικότερα σε υγρά και συνήθως σε σύγκριση με την αντίστοιχη ιδιότητα του νερού. Ένα ρευστό με σχετικά υψηλό ιξώδες, όπως η πίσσα, μπορεί να παρουσιάζεται σαν στερεό, και τότε συχνά χαρακτηρίζεται ως «ημίρευστο».

Η ιδιότητα του ιξώδους για τα υγρά εξετάζεται ιδιαίτερα από τη Ρευστοδυναμική. Το μέτρο του ιξώδους είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας ή συντελεστής εσωτερικής τριβής ή συντελεστής ιξώδους του υγρού. Όσο πιο παχύρρευστο είναι ένα υγρό, τόσο μεγαλύτερο ιξώδες λέμε ότι έχει (π.χ. το μέλι έχει μεγαλύτερο ιξώδες από το λάδι). Το ιξώδες μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται **ιξωδόμετρο**. Η μέτρηση γίνεται σε βαθμούς. Σήμερα σε χρήση είναι οι "βαθμοί Engler", οι "βαθμοί Redwood", ή οι "βαθμοί Saybolt", κ.λπ, που παρέχονται από το εγχειρίδιο του, κατά την περίπτωση χρήσης του ομώνυμου οργάνου.



Εικόνα 2: Όργανο μέτρησης ιξώδους(inqquality.gr)

Θερμική αγωγιμότητα: Αναφέρεται στο ρυθμό ροής της θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας (\dot{q}) στην κλίση της θερμοκρασίας ($\frac{dT}{dx}$) και διέπεται από το νόμο Fourier περί διοχέτευσης θερμότητας, δηλαδή:

$$\dot{q} = -k \frac{dT}{dx} \quad (9)$$

Στο σύστημα SI η μονάδα και της μπορούν να γραφτούν ως, W / m.K. Η θερμική αγωγιμότητα ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία για τα υγρά όπωςκαθώς και στα αέρια και εξαρτάται από το ιξώδες. Η τιμή αναφοράς της θερμικής αγωγιμότητας (k_0) για το νερό και τον αέρα σε θερμοκρασία αναφοράς λαμβάνεται ως 0,6 W / m.K και 0,025 W / m.K, αντίστοιχα.

1.1.2 Ταξινόμηση των ροών

Ορισμένες από τις γενικές κατηγορίες προβλημάτων ροής ρευστού έχουν ως εξής:

1. Ροή ιξώδους : Η ροή ρευστού στην οποία τα αποτελέσματα της τριβής έχουν σημασία, αντιμετωπίζονται ως ιξώδους ροής. Όταν δύο στρώματα υγρού κινούνται σχετικάτο ένα με το άλλο, αναπτύσσεται μεταξύ τους η δύναμη τριβής η οποία ποσοτικοποιείται μέσω του ιξώδους. Οι ροές των στρωμάτων είναι παράδειγμα παχύρρευστης ροής. Παραμερίζοντας τους όρους του ιξώδους από την εξίσωση, η ροή μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ογκώδης ροή.

2. Εσωτερική και εξωτερική ροή: Η ροή ενός απεριόριστου υγρού πάνω από μια επιφάνεια αντιμετωπίζεται ως «εξωτερική ροή» και εάν το υγρό είναι πλήρως οριοθετημένο από την επιφάνεια, τότε καλείται

"εσωτερική ροή". Για παράδειγμα, η ροή πάνω από μια επίπεδη πλάκα θεωρείται ως εξωτερική ροή και η ροή μέσω ενός σωλήνα ή αγωγού ως εσωτερική ροή. Ωστόσο, σε ειδικές περιπτώσεις, εάν ο αγωγός είναι μερικώς γεμάτος και υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια, τότε η ροή ονομάζεται ροή σε ανοιχτό κανάλι. Οι εσωτερικές ροές κυριαρχούνται από το ιξώδες, ενώ τα ιξώδη αποτελέσματα περιορίζονται σε οριακά στρώματα στην επιφάνεια στερεών για εξωτερικές ροές.

3. Συμπιεζόμενη και μη συμπιεσμένη ροή: Η ροή λέγεται ότι είναι «ασυμπιεστή» εάν η πυκνότητα παραμένει σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια. Όταν η μεταβολή της πυκνότητας κατά τη διάρκεια μιας ροής είναι περισσότερο από 5%, τότε αντιμετωπίζεται ως «συμπιεσμένη».

4. Τυρβώδης και στρωτή ροή: Η εξαιρετικά διαταγμένη κίνηση ενός ρευστού όπου χαρακτηρίζεται από απώλεια στρωμάτων υγρού ονομάζονται "Στρωτή ροή", (π.χ. ροή υψηλού ιξώδους υγρών σε χαμηλές ταχύτητες). Η κίνηση ενός ρευστού που συνήθως κινείται σε υψηλές ταχύτητες είναι αυτή που χαρακτηρίζεται από αρκετές διακυμάνσεις της ταχύτητας και ονομάζεται «τυρβοειδής». Οι εναλλαγές ανάμεσα στη στρωτή και στην τυρβώδη ροή τη χαρακτηρίζουν ως «μεταβατική». Ο αριθμός Reynolds είναι η βασική παράμετρος που καθορίζει αν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης.

5. Ροή σταθερής και ασταθούς ροής: Όταν δεν υπάρχει αλλαγή στην ιδιότητα του υγρού σε σχέση με το χρόνο, τότε συνεπάγεται σταθερή ροή. Ωστόσο, η ιδιότητα ενός υγρού σε ένα σημείο μπορεί επίσης να ποικίλλει ανάλογα με το χρόνο, πράγμα που σημαίνει ότι η ροή είναι ασταθής ή παροδική. Ο όρος «περιοδική ροή» αναφέρεται στο είδος των ασταθών ροών στις οποίες η ροή ταλαντώνεται γύρω από ένα σταθερό μέσο.

6. Φυσική και εξαναγκασμένη ροή: Σε μια αναγκαστική ροή, το υγρό αναγκάζεται να ρεύσει πάνω από μια επιφάνεια με εξωτερικά μέσα όπως αντλία ή ανεμιστήρα. Σε κάθε άλλη περίπτωση (φυσική ροή), η διαφορά της πυκνότητας είναι ο συντελεστής κίνησης της ροής του ρευστού. Εδώ, η πλευστότητα παίζει ένα σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, σε ένα θερμότερο υγρό αυξάνεται η στάθμη του σε ένα δοχείο λόγω της διαφοράς της πυκνότητας.

7. Μονο / Δύο / Τρισδιάστατη ροή: Ένα πεδίο ροής χαρακτηρίζεται καλύτερα από την κατανομή της ταχύτητας, και έτσι μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μονο / δύο / τρισδιάστατη ροή εάν η ταχύτητα ποικίλλει στις αντίστοιχες κατευθύνσεις (Nakayama Y., 1999).

1.2 Αριθμός Reynolds

Στην ρευστομηχανική, ο αριθμός Reynolds (Re) είναι μια αδιάστατη ποσότητα, η οποία χρησιμοποιείται για να προσδιοριστούν όμοια πρότυπα ροής σε διαφορετικές καταστάσεις ροής ρευστών. Η έννοια του αριθμού Reynolds εισήχθη από τον Stokes G. το 1851, αλλά πήρε το όνομά του από τον Reynolds O. (1842–1912), ο οποίος καθιέρωσε τη χρήση του το 1883.

Ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις ιξώδους και συνεπώς ποσοτικοποιεί τη μεταξύ τους σημαντικότητα για μια συγκεκριμένη κατάσταση ροής. Συχνά χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια πειραμάτων μοντελοποίησης, προκειμένου να προσδιορίσουμε τη σχέση μεταξύ δύο διαφορετικών περιπτώσεων ροής ρευστού. Επίσης χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό του είδους μια ροής, όπως είναι η στρωτή και η τυρβώδης ροή.

Πιο συγκεκριμένα:

- η στρωτή ροή προκύπτει για χαμηλούς αριθμούς Reynolds, όπου κυρίαρχες είναι οι δυνάμεις ιξώδους και χαρακτηρίζεται από ομαλή, σταθερή κίνηση του ρευστού.
- η τυρβώδης ροή προκύπτει για υψηλούς αριθμούς Reynolds, όπου κυρίαρχες είναι οι δυνάμεις αδράνειας, οι οποίες παράγουν χαοτικές δίνες και άλλες αστάθειες στην ροή.

Η σχέση που προσδιορίζει τον αριθμό Reynolds είναι:

$$Re = \frac{u * d}{\nu}$$

Όπου u: ταχύτητα ροής ρευστού, ν: κινηματικό ιξώδες ρευστού, d: διάμετρος σωλήνα

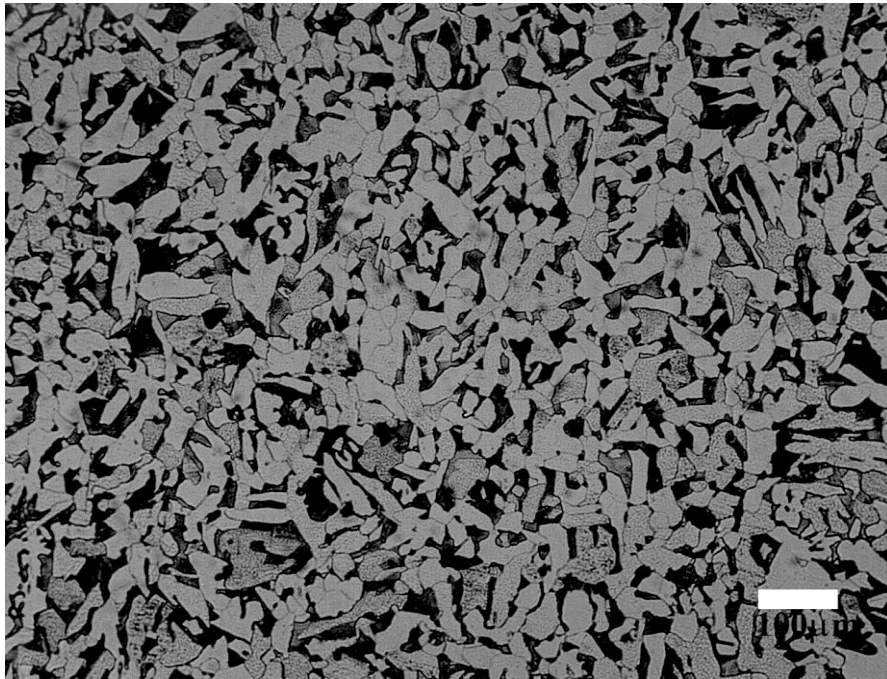
Γενικά για τον αριθμό Reynolds σε σωληνογραμμή ισχύει ότι οι τιμές της στρωτής ροής κυμαίνονται έως 2000 ($Re < 2000$), ενώ για τιμές άνω των 5000 εμφανίζεται ασταθής μετάπτωση της ροής σε τυρβώδη ($Re > 5000$).

1.3 Φερρίτης

Ο φερρίτης αποτελείται από μία στερεά φάση καθαρού σιδήρου ή από στερεό διάλυμα με βασικό συστατικό το σίδηρο που κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρομένο κυβικό σύστημα. Ο φερρίτης είναι η κύρια φάση στους κοινούς χάλυβες και τους χυτοσιδήρους. Οι ιδιότητες του φερρίτη είναι σχεδόν ίδιες με τις ιδιότητες του καθαρού σιδήρου. Είναι όλκιμος και η εφελκυστική του αντοχή ανέρχεται σε περίπου 280 MPa. Η σκληρότητά του κυμαίνεται από 80 έως 100 HB (Brinell). Είναι επίσης ισχυρά μαγνητικός και μπορεί να αποκτήσει μόνιμη μαγνήτιση (σιδηρομαγνητικός) για θερμοκρασία χαμηλότερη από 770°C (θερμοκρασία Curie). Ο φερρίτης ή α-Fe είναι σταθερός σε θερμοκρασία έως και 910°C. Η μέγιστη περιεκτικότητά του σε άνθρακα ανέρχεται σε 0,021% κ.β. στους 723°C και μειώνεται σε 0,006% κ.β. σε θερμοκρασία δωματίου. Σε θερμοκρασίες από 910 έως 1390°C, ο χωροκεντρωμένος κυβικός φερρίτης μετασχηματίζεται σε εδροκεντρωμένο κυβικό ωστενίτη (γ-Fe), που είναι πιο σκληρός και λιγότερο μαγνητικός (παραμαγνητικός). Σε θερμοκρασία ανώτερη από 1390°C έως το σημείο τήξης του σιδήρου (1539°C), ο ωστενίτης μετασχηματίζεται σε χωροκεντρωμένο κυβικό φερρίτη, που αποκαλείται δ-Fe για να ξεχωρίζει από τον φερρίτη των χαμηλών θερμοκρασιών. Η μέγιστη περιεκτικότητα του δ-Fe σε άνθρακα φτάνει το 0,09% στους 1493°C.

Η διαλυτότητα του άνθρακα στον φερρίτη είναι πολύ περιορισμένη, γιατί στο χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα τα άτομα του άνθρακα καταλαμβάνουν θέσεις παρεμβολής, δηλ. παρεμβάλλονται ανάμεσα στα διατεταγμένα άτομα του σιδήρου και, εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους τους, προκαλούν έντονες τοπικές τάσεις. Εκτός από άνθρακα, ο φερρίτης μπορεί να περιέχει και μικρές ποσότητες από χρώμιο, νικέλιο, πυρίτιο ή και φώσφορο.

Στους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες, ο φερρίτης αποτελεί το κύριο συστατικό. Υπό συνθήκες που πλησιάζουν την θερμοδυναμική ισορροπία (π.χ. ανοπτημένους χάλυβες), όταν η περιεκτικότητα του άνθρακα είναι μικρότερη από 0,76% κ.β. (ευτηκτοειδής σύσταση στο μετασταθές διάγραμμα φάσεων Fe-C), τότε ο φερρίτης σχηματίζει ξεχωριστούς κόκκους (κρυστάλλους) και συνυπάρχει μαζί με τον σεμεντίτη στην πλακοειδή («λαμελοειδή») δομή του περλίτη. Όταν η περιεκτικότητα του άνθρακα είναι ίση ή μεγαλύτερη από 0,76% κ.β., τότε ο φερρίτης υπάρχει μόνο στον περλίτη. (Voit 2014)



Εικόνα 3: Κόκκοι φερρίτη (με ανοιχτό γκριζο χρώμα) και περλιτικές δομές (σκοτεινό γκριζο έως μαύρο χρώμα) σε κοινό χάλυβα A285(% κ.β.: 0,18 C, 0,43 Mn, 0,009 P, 0,026 S), όπως αυτός παρατηρείται σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.(A. J. Duncan)

Ο φερρίτης υπάρχει επίσης και σε μετασταθείς δομές που προκύπτουν με απότομη ψύξη («βαφή») των χάλυβων. Μία τέτοια δομή είναι και η δομή Widmanstätten που δημιουργείται όταν ο χάλυβας ψυχθεί απότομα από την θερμοκρασία ωστενιτοποίησης σε θερμοκρασία κατά λίγο χαμηλότερη. Υπό αυτές τις συνθήκες, ο δημιουργείται φερρίτης που έχει μορφή μεγάλων σφηνών που διασταυρώνονται, καθώς αναπτύσσεται κατά μήκος ορισμένων κρυσταλλογραφικών επιπέδων. Ο φερρίτης είναι επίσης το κύριο συστατικό του μετασταθούς μπαινίτη, ο οποίος δημιουργείται όταν ο ρυθμός ψύξης είναι κάπως μεγαλύτερος, ώστε να αποφευχθεί η δομή Widmanstätten. Μαρτενσίτης δεν δημιουργείται όταν η τελική θερμοκρασία ψύξης δεν είναι αρκετά χαμηλή.

Τα φερρορευστά είναι ένας φερρίτης με την όπου του έχει προστεθεί κάποιο ελαϊκό οξύ. Τα σωματίδια αυτά είναι μαγνητικά. Τα μόρια τους έχουν ενιαία μαγνητική και για αυτό το λόγο μπορούν να μεταχειριστούν και ως μόνιμοι μαγνήτες(το οποίο συνεπάγεται και ιδιότητες μόνιμων μαγνητών ως ένα σημείο). Η κύρια διαφορά που ξεχωρίζει τα φερρορευστά από τους υπόλοιπους μαγνήτες είναι ότι είναι ρευστά.

Ο μαγνητίτης είναι ορυκτό του σιδήρου. Από χημική άποψη είναι επιτεταρτοξειδίο του σιδήρου (Fe_3O_4). Το ορυκτό αυτό περιέχει περίπου 72,4% σίδηρο(Fe) και 27,6% οξυγόνο, (O), γνωστό και ως «μαγνήτης λίθος», λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων του, που και εξ αυτού ονομάζονται μαγνητικές.

Ο μαγνητίτης κρυσταλλώνεται σε ολοεδρία κατά το κυβικό σύστημα, έχει χρώμα σιδηρόμαυρο έως μαύρο και μεταλλική λάμψη, ελαφρά στεατώδη. Βρίσκεται σε κοκκώδη, φλοιώδη και στιφρά συσσωματώματα σε μορφή κόκκων με το όνομα «μαγνητίτης άμμος». Είναι πολύ διαδομένος κυρίως σε κοιτάσματα μεταλλευμάτων πνευματολυτικής προέλευσης, σχηματίζοντας πολλές φορές και αυτοτελή κοιτάσματα, καθώς και σε κρυσταλλοσχιστόδη πετρώματα ιδίως χλωριτικών σχιστόλιθων, ή μέσα σε άμμο σε μορφή αυτούσιων εκλύτων κόκκων, που συνοδεύεται συνήθως από σφαλερίτη, αρσενοπυρίτη, σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, ολιβίνη, γρανάτη, απατίτη, ασβεστίτη και μαρμαρυγία. Μοιάζει πολύ με τον χρωμίτη, τον ιλμενίτη και τον νιγρίτη ή χαουζμανίτη, και εξαλλοιώνεται σε λειμωνίτη, αιματίτη ή σιδηρίτη. (Pauling L 1936)

1.4 Μαγνητική συμπεριφορά των οξειδίων του σιδήρου

Όταν απουσιάζει κάποιο μαγνητικό πεδίο η κατεύθυνση των σπιν είναι εντελώς τυχαία. Όταν όμως υπάρξει κάποιο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, τότε τα σπιν ευθυγραμμίζονται με την κατεύθυνση του πεδίου. (Grave E. 2005). Σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό, η μαγνήτιση ισούται με το διανυσματικό ποσό όλων των μαγνητικών ροπών των ατόμων στο υλικό ανά μονάδα όγκου του υλικού

Εάν ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο έντασης H , εφαρμοστεί σε ένα φερρομαγνητικό υλικό μαγνητικής δύναμης M , τότε το M αυξάνεται ανάλογα με το H μέχρι το σημείο όπου θα υπάρξει μια μέγιστη τιμή. Η καμπύλη μαγνήτισης επιδεικνύει ένα βρόχο υστέρησης, επειδή όλες οι περιοχές δεν επιστρέφουν στους αρχικούς προσανατολισμούς τους όταν μειώνεται το H εφόσον απουσιάζει η μαγνήτιση. Ως αποτέλεσμα, όταν το H τείνει στο μηδέν, η παραμένουσα μαγνήτιση μπορεί μόνο να αφαιρεθεί με την εφαρμογή ενός καταναγκαστικού πεδίου HC με κατεύθυνση αντίθετη σε σχέση με αυτήν του αρχικού. Ένα ενιαίο μαγνητικό υλικό περιοχών που δεν παρουσιάζει κανέναν βρόχο υστέρησης ονομάζεται υπερπαραμαγνητικό (Cornell R. M. & Schwertmann U., 2003).

Η διαταγμένη ρύθμιση των μαγνητικών διπόλων μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία λόγω των θερμικών διακυμάνσεων που δημιουργούνται. Εκτός από τη θερμοκρασία Néel, το υλικό διαταράσσεται και χάνει τη μαγνήτισή του. Η θερμοκρασία μετάβασης ονομάζεται θερμοκρασία (TC) κιουριού για τις σιδηρομαγνητικές και φερρομαγνητικές ουσίες και Néel θερμοκρασία (TN) για τις αντισιδηρομαγνητικές ουσίες. Τα υπερπαραμαγνητικά μόρια διατάσσονται συνήθως κάτω από μια θερμοκρασία σε ένα όριο. Ο αιματίτης είναι παραμαγνητικός σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 956 K. Σε θερμοκρασία δωματίου, είναι αδύναμα σιδηρομαγνητικός και υποβάλλεται σε μια μεταβολή φάσης σε 260 K. Η μαγνητική συμπεριφορά και χαρακτηριστικά του αιματίτη εξαρτώνται από την κρυσταλλικότητα και το μέγεθος μορίων όπου τον αποτελούν. Η θερμοκρασία Morin του αιματίτη μειώνεται όσο μειώνεται και το μέγεθος των μορίων και τείνει να εξαφανιστεί για μόρια μικρότερα από 8-20Nm.

1.4.1 Εφαρμογές

Τα μαγνητικά οξείδια του σιδήρου χρησιμοποιούνται συχνά σε ποικίλες εφαρμογές όπως σε μελάνια, σε μαγνητικά μέσα καταγραφής, σε καταλύτες, και σε φερρορευστά, καθώς και για

τη θεραπεία του καρκίνου. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν τα νανουλικά να είναι συγκεκριμένου μεγέθους, σχήματος, χαρακτηριστικών επιφανείας και μαγνητικών χαρακτηριστικών. Στις εφαρμογές αποθήκευσης στοιχείων, τα μόρια πρέπει να είναι ελεγχόμενα μαγνητικά και δεν πρέπει να επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης στην καταγραφή, τα μόρια πρέπει να έχουν υψηλό συνεκτικό πεδίο καθώς πρέπει επίσης να είναι ομοιόμορφα μικρά, ανθεκτικά στη διάβρωση, την τριβή και στις αλλαγές θερμοκρασίας.

Ο μαγαμίτης είναι χρήσιμος στις εφαρμογές καταγραφής και αποθήκευσης στοιχείων λόγω της χημικής αλλά και φυσικής του σταθερότητας. Επικαλύπτεται από κοβάλτιο σε ποσοστό 1-5% προκειμένου να βελτιωθούν το συνεκτικό πεδίο και η χωρητικότητα του. Τα επικαλυπτόμενα αυτά νανοσωματίδια παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα. Ως αποτέλεσμα, τα επικαλυπτόμενα με κοβάλτιο μόρια του μαγαμίτη είναι το κύριο υλικό για τη χρήση στις τηλεοπτικές ταινίες, τις υψηλές κασέτες ήχου και τους μαγνητικούς δίσκους. Τα μαγνητικά σωματίδια παρουσιάζουν μία μείωση στην αντίσταση εξαιτίας ενός εφαρμοσμένου μαγνητικού πεδίου, και είναι χρήσιμα στις μαγνητικές κεφαλές καταγραφής και στα μαγνητόμετρα. Η χρήση μαγνητίτη στα φερρορευστά προτάθηκε αρχικά για διαστημικές εφαρμογές. Τα φερρορευστά περιέχουν υπερπαραμαγνητικά μόρια που διασκορπίζονται στα υδάτινα και στα οργανικά μέσα. Ένα φερρορευστό δεν έχει καμία ιδιότητα μαγνητική από μόνο του αλλά μόνο όταν επηρεάζεται από ένα εφαρμοσμένο πεδίο. Ένας εξωτερικός μαγνήτης είναι επομένως ικανός να παγιδέψει το ρευστό σε μια συγκεκριμένη θέση.

Τα φερρορευστά έχουν αρκετά πολύπλοκες αλλά και χρήσιμες για εφαρμογές ιδιότητες όπως η εξαρτώμενη οπτική ανισοτροπία των μαγνητικών πεδίων που θα μπορούσε να αποδειχθεί χρήσιμη για παράδειγμα στους οπτικούς διακόπτες και σε κιγκλιδώματα διάθλασης. Άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν ελέγχους για την έρευνα πετρελαίου και επιπλέον έχουν προταθεί και για τη χρήση στις χειρουργικές επεμβάσεις ματιών με σκοπό την επισκευή των προβληματικών αμφιβληστροειδών. Το φερρορευστό εκθέτει έναν υψηλό βαθμό της κολλοειδούς σταθερότητας σε μια κλίση μαγνητικών πεδίων. Ένα από τα κλειδιά για τη βελτίωση της απόδοσής τους σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι ότι μπορούν να κατασταθούν τα μόρια μικρότερα και με περισσότερη ομοιομορφία. Άλλες εφαρμογές έχουν να κάνουν με τη στοχευμένη παράδοση φαρμάκου στο ανθρώπινο σώμα και στην μαγνητική «hyperthermia».

Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν τα μόρια να έχουν υπερπαραμαγνητική συμπεριφορά σε θερμοκρασία δωματίου. Η υπόλοιπη μαγνήτιση θα ήταν ικανή να οδηγήσει στη συσσώρευση αυτών των μορίων, το οποίο προφανώς επιβάλλεται να αποφευχθεί μέσα στο σώμα για να αποτρέψει την παρεμπόδιση των αιμοφόρων αγγείων. Επιπλέον, οι εφαρμογές στη βιολογία και την ιατρική διάγνωση απαιτούν τα σταθερά μαγνητικά μόρια στο νερό σε ουδέτερο pH και σε φυσιολογικές συνθήκες. Η κολλοειδής σταθερότητα των μαγνητικών ρευστών εξαρτάται από τις διαστάσεις των μορίων, οι οποίες πρέπει να είναι αρκετά μικρές για να ελαχιστοποιήσουν την πτώση λόγω των δυνάμεων βαρύτητας. Ο μαγνητίτης ή αιματίτης είναι κατά πολύ τα συνηθέστερα υλικά για τις βιοϊατρικές εφαρμογές. Υπερπαραμαγνητικά μαγνητικά σωματίδια παρουσίας ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, μπορούν να επιτρέψουν την παράδοση των φαρμάκων στον επιθυμητό στόχο αφού το φάρμακο όπως συμπεραίνεται από τα παραπάνω θα μπορεί να απελευθερωθεί τοπικά. (Voit 2014)

Ο μαγνητίτης και ο αιματίτης έχουν προσελκύσει την προσοχή στις βιοϊατρικές εφαρμογές λόγω της βιοσυμβατότητας και της χαμηλής τοξικότητάς τους στο ανθρώπινο σώμα. Ένας σημαντικός τομέας της εφαρμογής αυτής είναι ο τομέας των βιολογικών αναλύσεων όπου οι μαγνητικές ιδιότητες χρησιμοποιούνται τεχνητά για να χειριστούν μαγνητικά σωματίδια με ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Επίσης, χρησιμοποιούνται σιδηρομαγνητικοί αισθητήρες ώστε να μπορεί να ανιχνευθεί η σύνδεση του DNA και των πρωτεϊνών. Τα μαγνητικά νανοσωματίδια έχουν χρησιμοποιηθεί σε ζωντανούς οργανισμούς

για τη μοριακή απεικόνιση κυττάρων. Υπερπαραμαγνητικός μαγνητίτης χρησιμοποιείται ως πυρήνας για να διαφοροποιήσει τον υγιή από τον ασθενή ιστό. Τα υπερπαραμαγνητικά μόρια είναι γενικά επικαλυμμένα με ένα στρώμα για την κολλοειδή σταθερότητα. Τα μαγνητικά μόρια με ένα πολυμερές επίστρωμα έχουν χρησιμοποιηθεί στο χωρισμό κυττάρων, για τη λειτουργία πρωτεϊνικού καθαρισμού, στο περιβάλλον, σε αναλύσεις τροφίμων, σε οργανικές και βιοχημικές συνθέσεις, στη βιομηχανική κατεργασία ύδατος και στις βιοεπιπτώσεις. Η ενθυλάκωση των μαγνητικών σωματιδίων με τα οργανικά πολυμερή σώματα χρησιμοποιείται επιπλέον για να ενισχυθούν η χημική σταθερότητα, η πολυδιασπορά και η λειτουργία τους.

Μια ακόμη εφαρμογή των μαγνητικών σωματιδίων είναι η «hyperthermia» στη θεραπεία του καρκίνου. Τα υπερπαραμαγνητικά μαγνητικά σωματίδια όταν εκτίθενται σε ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κύτταρα όγκων θερμότητας 41-45 °C, όπου η ζημία ιστού για τον κανονικό ιστό είναι αντιστρέψιμη ενώ τα κύτταρα όγκων βλάπτονται αμετάκλητα. Ο μαγνητίτης και ο αιματίτης έχουν χρησιμοποιηθεί ως καταλύτες και για διάφορες σημαντικές αντιδράσεις στη βιομηχανία. Άλλες αντιδράσεις περιλαμβάνουν «dehydrogenation» του αιθυλικού βενζολίου στο στυρόλιο, τη σύνθεση Troppsch για τους υδρογονάνθρακες, την οξειδωση των οινόπνευμάτων, και την κατασκευή μεγάλων κλιμάκων του βουταδιενίου. Ο μαγνητίτης και ο αιματίτης είναι ημιαγωγοί και μπορούν να καταλύσουν τις αντιδράσεις οξειδωσης/μείωσης. Ο αιματίτης έχει χρησιμοποιηθεί επίσης ως υλικό υποστήριξης για το χρυσό στους καταλύτες όπως και για την οξειδωση του μονοξειδίου του άνθρακα σε χαμηλή θερμοκρασία. Ο αιματίτης έχει χρησιμοποιηθεί ως φωτοκαταλύτης για την υποβάθμιση της χλωροφαινόλης και των αζωτούχων χρωστικών ουσιών. Και οι τρεις μορφές μαγνητικού οξειδίου σιδήρου χρησιμοποιούνται συνήθως στις συνθετικές χρωστικές ουσίες στα χρώματα, την κεραμική, και την πορσελάνη. Είναι επίσης εξαιρετικά σταθεροί και ιδιαίτερα ανθεκτικοί στα οξέα και τα αλκάλια. Οι χρωστικές ουσίες βασισμένες στον αιματίτη είναι κόκκινες, στο μαγαμίτη είναι χρώματος καφέ, και στον μαγνητίτη είναι μαύρες. Οι διαφανείς κίτρινες χρωστικές ουσίες βασισμένες στο γκοεθίτη μπορούν να μετασχηματιστούν σε διαφανείς κόκκινες χρωστικές ουσίες του αιματίτη στους 400-500 °C. Αυτές οι χρωστικές ουσίες χρησιμοποιούνται ευρέως στους λεκέδες για το ξύλο παρέχοντας προστασία ενάντια στα καταστρεπτικά αποτελέσματα του φωτός του ήλιου. Οι χρωστικές ουσίες που γίνονται από μαγνητίτη χρησιμοποιούνται επίσης στις μαγνητικές συσκευές αναγνώρισης χαρακτήρα μελανιού, και τα υπερπαραμαγνητικά μόρια χρησιμοποιούνται στη μεταλλογραφία για την ανίχνευση των ρωγμών στις μηχανές.

Όπως σημειώνεται ανωτέρω, πολλές από τις χρήσιμες ιδιότητες των οξειδίων σιδήρου εξαρτώνται από τη μέθοδο προετοιμασιών για τα νανοσωματίδια. Η μέθοδος προετοιμασιών διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στον καθορισμό του μεγέθους μορίων, στη διανομή μεγέθους, στη χημεία επιφάνειας και στις εφαρμογές του υλικού. Επιπλέον, η μέθοδος προετοιμασιών καθορίζει το βαθμό δομικών των ατελειών ή ακαθαρσιών στα μόρια, και τη διανομή τέτοιων ατελειών. Πολλές διαδρομές σύνθεσης έχουν αναπτυχθεί για να επιτύχουν τον κατάλληλο έλεγχο του μεγέθους των μορίων, της πολυδιασποράς, της κρυσταλλικότητας, και των μαγνητικών ιδιοτήτων.

Η εφαρμογή των μαγνητικών μορίων στον τομέα της βιοτεχνολογίας και της βιοιατρικής έχει αυξηθεί σε έναν μεγάλο βαθμό με το πέρασμα των ετών. Μπορεί να γίνει ταξινόμηση σε δύο κατηγορίες, σε τεχνητές και σε ζώντες οργανισμούς. Για τις τεχνητές εφαρμογές, η κύρια χρήση είναι διαγνωστικά για το χωρισμό των βιομορίων, όπως η πρωτεΐνη, για το κύτταρο (DNA/RNA), ενώ σε ζώντες οργανισμούς οι εφαρμογές μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε θεραπευτικές (παράδοση και «hyperthermia» φαρμάκων όπως έχει αναφερθεί) και διαγνωστικές εφαρμογές (απεικόνιση μαγνητικής αντίληψης (MRI)).

1.5 Σιδηρορευστά

Σιδηρορευστό είναι ένα υγρό που μαγνητίζεται έντονα με την παρουσία μαγνητικού πεδίου. Η λέξη σιδηρορευστό είναι σύνθετη από τις λέξεις σιδηρομαγνητισμός και ρευστό.



Εικόνα 4: Σιδηρορευστό που συλλέγεται στους πόλους του μαγνήτη που είναι κάτω από το λευκό δίσκο(Gregory F. Maxwell)

1.5.1 Ιστορική αναδρομή

Όλα τα μαγνητικά υλικά είναι γνωστά στον άνθρωπο από τότε που ανακαλύφθηκαν σε στερεή μορφή, είτε σαν σταθερός μαγνήτης είτε σαν μαλακά μαγνητικά υλικά. Ωστόσο κάποιο είδος μαγνητικών αμορτισέρ υπάρχουν από το 1930, ήταν το όνειρο του ανθρώπου να δημιουργήσει έναν ανθεκτικό και σταθερό μαγνήτη σε υγρή μορφή. Η αρχή για την δημιουργία ενός τέτοιου μαγνήτη ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του εξήντα σε ένα πρόγραμμα της NASA.

Η NASA ανάθεσε στον Steven Papell τον έλεγχο και την καθοδήγηση των υγρών καυσίμων των πυραύλων ενώ βρίσκονται στο διάστημα. Η απουσία της βαρύτητας επιτρέπει στα καύσιμα να αιωρούνται μέσα στην δεξαμενή καυσίμων, συνεπώς η αποτελεσματική άντληση των καυσίμων από την δεξαμενή προς τον κινητήρα του πυραύλου ήταν μια πρόκληση. Ο Papell οραματίστηκε την μετατροπή των συμβατικών καυσίμων σε καύσιμα με μαγνητικές ιδιότητες ώστε να μπορούν να ελεγχθούν σε περιβάλλον μηδενικής βαρύτητας με την χρήση είτε πολύ ισχυρών μαγνητών, είτε με την χρήση αντλιών μέσα σε εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία. Στον Papell οφείλονται κείμενα για την προπαρασκευή του πρώτου μαγνητικού ρευστού, βασισμένο στην κηροζίνη. Κατοχύρωσε την πατέντα το 1965.

Αυτή η ιδέα δεν τέθηκε ποτέ σε εφαρμογή από την υπηρεσία διαστήματος, καθώς προτίμησαν στερεά καύσιμα για τους πυραύλους. Κατά της παρούσες προδιαγραφές το καύσιμο που συνέθεσε ο Papell δεν ήταν κατάλληλα κατεργασμένο και δεν θα ήταν πρακτική οποιαδήποτε χρήση στις μέρες μας. Ωστόσο τέθηκε το έναυσμα για έντονη και διαρκή επιστημονική έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της τεχνολογίας των μαγνητικών ρευστών.

Η πρωτοποριακή έρευνα που χρηματοδοτήθηκε από την NASA υπό την τεχνική καθοδήγηση του Ron Rosensweig στην AVCO Corporation στο Wilmington, MA, οδήγησε στην ανάπτυξη μιας μεγάλης ποικιλίας μαγνητικών ρευστών για εμπορική χρήση. Ο

μαγνητισμός και η σταθερότητα των ρευστών έχει βελτιωθεί κατά πολύ. Τα μαγνητικά ρευστά αναγνωρίστηκαν ως ένας νέος τομέας της ρευστομηχανικής και ονομάστηκε υδροδυναμική των μαγνητικών ρευστών (Ferrohydrodynamics). (Albrecht, T 1997)

Η εμπορική χρήση των μαγνητικών ρευστών ξεκίνησε το 1968 με την ίδρυση της Ferrofluidics Corporation από τον R.E. Rosensweig και τον R. Moskowitz. Το επίσημο όνομα του προϊόντος ήταν σιδηρορευστό. Από τότε, η εταιρία και το σιδηρορευστό έχουν και οι δύο αλλάξει κατά πολύ και σε μέγεθος αλλά και σε ποικιλία εφαρμογών.

1.5.2 Σύσταση

Τα σιδηρορευστά είναι κολλοειδή υγρά κατασκευασμένα από σιδηρομαγνητικά σωματίδια μεγέθους νανοκλίμακας που αιωρούνται σε ένα φορέα ρευστού (συνήθως οργανικό διαλύτη ή νερό). Κάθε μικροσωματίδιο καλύπτεται ολόκληρο με ένα επιφανειοδραστικό για να παρεμποδίσει τη συσσώρευση. Μεγάλα σιδηρομαγνητικά σωματίδια μπορούν να αφαιρεθούν από το ομογενές κολλοειδές μίγμα, σχηματίζοντας μια ξεχωριστή ομάδα από μαγνητική σκόνη όταν εκτίθενται σε ισχυρά μαγνητικά πεδία. Η μαγνητική έλξη των νανοσωματιδίων είναι αρκετή έτσι ώστε οι δυνάμεις van der Waals του επιφανειοδραστικού να είναι αρκετές για να αποτρέψουν τη μαγνητική συσσώρευση. Τα σιδηρορευστά δεν διατηρούν συνήθως τη μαγνήτιση με την απουσία πεδίου που εφαρμόζετε εξωτερικά και συνεπώς ταξινομούνται συχνά ως «υπερπαραμαγνήτες» παρά ως «σιδηρομαγνήτες».

Τα σιδηρορευστά αποτελούνται από σωματίδια της νανοκλίμακας οπού συνήθως η διάμετρος είναι δέκα νανόμετρα, σωματίδια μαγνητίτη, αιματίτη ή κάποιας άλλης ένωσης που περιέχει σίδηρο και ένα ρευστό. Αυτά είναι αρκετά μικρά έτσι ώστε με την θερμότητα διασκορπίζονται ομοιόμορφα μέσα στο ρευστό και τα σωματίδια αυτά συνεισφέρουν στη μαγνήτιση του ρευστού. Ένα σιδηρορευστό αποτελείτε κατ' όγκο περίπου από: 5% μαγνητικά στερεά, 10% επιφανειοδραστικό και 85% φορέας. (Scherer, C 2005)

Στα σιδηρορευστά τα σωματίδια διασκορπίζονται σε ένα ρευστό χρησιμοποιώντας συνήθως μια επιφανειοδραστική ουσία, οπότε τα σιδηρορευστά είναι κολλοειδή αιωρήματα, μη αναμίξιμα, σε δύο καταστάσεις τις ύλης. Οι δύο καταστάσεις τις ύλης είναι το στερεό μέταλλο και το ρευστό που είναι ο φορέας. Με την εφαρμογή μαγνητικού πεδίου αλλάζουν φάσεις, η ικανότητα αυτή τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν ως στεγανοποιητικά, λιπαντικά και σε άλλες πολλές εφαρμογές.

Τα πραγματικά σιδηρορευστά είναι σταθερά. Δηλαδή τα στερεά σωματίδια δεν συσσωρεύονται ή δεν διαχωρίζονται ακόμα και σε ακραία ισχυρά μαγνητικά πεδία. Όμως η επιφανειοδραστική ουσία τείνει να διασπαστεί με το πέρασμα του χρόνου, συνήθως μερικά χρόνια, και επομένως τα νανοσωματίδια θα συσσωρευτούν και θα διαχωριστούν και δεν θα συνεισφέρουν πια στη μαγνητική απόκριση του ρευστού.

Τα σιδηρορευστά σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες χάνουν τις μαγνητικές τους ιδιότητες, γνωστή και ως Θερμοκρασία Κίρι. Είναι η θερμοκρασία στην οποία συγκεκριμένα υλικά χάνουν τις μόνιμες μαγνητικές τους ιδιότητες. Η θερμοκρασία Κίρι ονομάστηκε από τον Πιέρ Κιουρί, που απέδειξε ότι ο μαγνητισμός χάνεται σε μια κρίσιμη θερμοκρασία.

Επιφανειοδραστικά

Επιφανειοδραστικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για την κάλυψη των νανοσωματιδίων είναι μεταξύ άλλων το ελαϊκό οξύ, το υδροξείδιο του

τετραμεθυλοαμμωνίου, το κιτρικό οξύ και η λεκιθίνη σόγιας. Αυτά τα επιφανειοδραστικά δεν επιτρέπουν τη συσσώρευση των νανοσωματιδίων, εξασφαλίζοντας ότι τα σωματίδια δεν δημιουργούν συσσωματώματα που γίνονται υπερβολικά βαριά για να αιωρούνται. Τα μαγνητικά σωματίδια σε ένα ιδανικό σιδηρορευστό δεν κατακάθονται, ακόμα κι όταν εκτίθενται σε ένα ισχυρό μαγνητικό ή βαρυτικό πεδίο. Ένα επιφανειοδραστικό έχει μια πολική κεφαλή και μια μη πολική ουρά (ή το αντίθετο), μια από τις οποίες προσροφά ένα νανοσωματίδιο, ενώ η άλλη προβάλλει στο μέσο μεταφοράς, σχηματίζοντας ένα αντίστροφο ή ένα κανονικό μικύλλιο, αντίστοιχα, γύρω από το σωματίδιο. Η ηλεκτροστατική άπωση αποτρέπει τότε τη συσσωμάτωση των σωματιδίων.

Ενώ τα επιφανειοδραστικά χρησιμοποιούνται για την επιμήκυνση του ρυθμού καθίζησης στα σιδηρορευστά, δημιουργούν όμως πρόβλημα στις μαγνητικές ιδιότητες του ρευστού. Η προσθήκη επιφανειοδραστικών μειώνει την πυκνότητα συσσώρευσης των σιδηροσωματιδίων ενώ είναι στην ενεργοποιημένη τους κατάσταση μειώνοντας συνεπώς το ιξώδες του ρευστού, με αποτέλεσμα ένα «πιο μαλακό» ενεργοποιημένο ρευστό. Ενώ το ιξώδες του ρευστού έχει μικρή σημασία για μερικές εφαρμογές σιδηρορευστών, είναι θεμελιώδης ιδιότητα για την πλειοψηφία των εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών και συνεπώς πρέπει να υπάρξει κάποιος συμβιβασμός κατά την εξέταση του ιξώδους ως προς τον ρυθμό καθίζησης ενός σιδηρορευστού.

1.5.3 Εφαρμογές

Ηλεκτρονικές συσκευές

Στις ηλεκτρονικές συσκευές τα σιδηρορευστά χρησιμεύουν για τη δημιουργία υγρών παρεμβυσμάτων γύρω από περιστρεφόμενους άξονες κίνησης σε σκληρούς δίσκους. Ο άξονας περιστροφής περιβάλλεται από μαγνήτες. Μια μικρή ποσότητα σιδηρορευστού, τοποθετείτε στο κενό ανάμεσα στο μαγνήτη και τον άξονα, το οποίο παραμένει στη θέση του από την έλξη του μαγνήτη. Έτσι το ρευστό των μαγνητικών σωματιδίων σχηματίζει ένα εμπόδιο και δεν επιτρέπει την είσοδο των υπολειμμάτων στο εσωτερικό του σκληρού δίσκου. Τα σιδηρορευστά παρεμβύσματα αντέχουν συνήθως 3με 4 psi στους περιστρεφόμενους άξονες, μπορούν όμως να στοιβαχτούν κι άλλα παρεμβύσματα και να σχηματίσουν διατάξεις που να αντέχουν μεγαλύτερες πιέσεις. (Scherer, C 2005)

Μηχανολογία

Τα σιδηρορευστά έχουν λιπαντικές ικανότητες και μειώνουν την τριβή. Αν εφαρμοστούν στην επιφάνεια ενός πολύ ισχυρού μαγνήτη, όπως σε έναν μαγνήτη νεοδυμίου, μπορεί να προκαλέσει την ολίσθηση του μαγνήτη πάνω σε ομαλές επιφάνειες με ελάχιστη αντίσταση.

Τα σιδηρορευστά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε ημιενεργούς αποσβεστήρες σε μηχανικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές. Αν και παθητικοί αποσβεστήρες είναι γενικά πιο ογκώδεις και σχεδιάζονται για συγκεκριμένη πηγή δόνησης, οι ενεργοί αποσβεστήρες καταναλώνουν περισσότερη ισχύ. Τα σιδηρορευστά με βάσει τους αποσβεστήρες επιλύουν και τα δύο αυτά θέματα και είναι πολύ δημοφιλείς στην κοινότητα των ελικοπτέρων, όπου αντιμετωπίζουν μεγάλες αδρανειακές και αεροδυναμικές δονήσεις. (Scherer, C 2005)

Προώθηση διαστημοπλοίων

Τα σιδηρορευστά μπορούν να παρασκευαστούν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε κάτω από την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου να αυτοσυναρμολογούνται οξείες ακίδες νανομετρικής

κλίμακας. Όταν φτάνουν σε κρίσιμη λεπτότητα, οι ακίδες αρχίζουν να εκπέμπουν πίδακες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον ως μηχανισμός προώθησης για μικρούς δορυφόρους.

Επιστήμη υλικών

Τα σιδηρορευστά μπορούν να χρησιμεύσουν για την απεικόνιση δομών μαγνητικών περιοχών στην επιφάνεια σιδηρομαγνητικών υλικών χρησιμοποιώντας μια τεχνική που αναπτύχθηκε από τον Francis Bitter.

Αναλυτική οργανολογία

Τα σιδηρορευστά έχουν πολλές οπτικές εφαρμογές λόγω των διαθλαστικών τους ιδιοτήτων, δηλαδή κάθε κόκκος ενός μικρομαγνήτη ανακλά το φως. Μια τέτοια εφαρμογή είναι η μέτρηση του ειδικού ιξώδους ενός υγρού που είναι τοποθετημένου μεταξύ ενός πολωτή και ενός αναλυτή, που φωτίζεται από ένα λείζερ ηλίου-νέου.

Ιατρικές εφαρμογές

Σχεδόν όλες οι εφαρμογές στην ιατρική χρησιμοποιούν την ακραία διαφορά σχετικού μεγέθους μεταξύ μαγνητικών νανοσωματιδίων και ζωντανών κυττάρων. Οι εφαρμογές στην ιατρική χρησιμοποιούν σιδηρορευστά που αποτελούνται από νανοσωματίδια οξειδίου του σιδήρου που ονομάζονται SPION, συντόμευση για το superparamagnetic iron oxide nanoparticles (υπερπαραμαγνητικά νανοσωματίδια οξειδίου του σιδήρου).

Η πρώτη εφαρμογή είναι η μαγνητική στόχευση φαρμάκων (Magnetic drug targeting). Σε αυτήν τη διεργασία τα φάρμακα εγκλείονται από μια στρώση σιδηρορευστού με κάποιον τρόπο. Ο συνδυασμός αυτός εγχέεται σε μια περιοχή του σώματος του ασθενούς που απαιτεί τη θεραπεία με το φάρμακο. Το φάρμακο μπορεί τότε να διατηρηθεί στην επιθυμητή θέση με ένα μαγνητικό πεδίο και να του επιτραπεί να δράσει για μια χρονική περίοδο (περίπου μια ώρα). Το πεδίο θα μπορούσε τότε να απενεργοποιηθεί και το φάρμακο θα μπορούσε να διαχυθεί μέσω του σώματος. Η διεργασία αυτή μπορεί να ελαττώσει πολύ δραστικά την αναγκαία δόση για την θεραπεία σε ένα σημείο που δεν θα είχε αρνητικές παρενέργειες, μόλις ελευθερωνόταν το φάρμακο από το μαγνητικό πεδίο. Το κίνητρο για αυτήν την θεραπεία είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί με φάρμακα με δυσάρεστες παρενέργειες, όπως στη χημειοθεραπεία. (Scherer, C 2005)

Η δεύτερη εφαρμογή είναι μια πειραματική καρκινική θεραπεία που ονομάζεται στοχευμένη μαγνητική υποθερμία (targeted magnetic hyperthermia). Η διεργασία αυτή έχει ως πλεονέκτημα την ικανότητα των νανοσωματιδίων να μετατρέπουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε θερμική ενέργεια. Εδώ, το σιδηρορευστό εγχέεται σε έναν στοχευμένο ιστό, συνήθως έναν καρκινικό όγκο. Ένα ταλαντευόμενο μαγνητικό πεδίο εστιάζεται στην τοποθεσία, επιτρέποντας στο σιδηρορευστό να δονείται. Η δόνηση αυξάνει τη θερμική ενέργεια σε μια συχνότητα που δεν επιτρέπει στο περιβάλλον νερό να θερμανθεί. Το ρευστό μπορεί να ανέβει σε μια θερμοκρασία που σκοτώνει τα επιθυμητά κύτταρα χωρίς να προκαλεί ζημιά στον περιβάλλοντα ιστό.

Η τρίτη εφαρμογή είναι ένας προχωρημένος παράγοντας αντίθεσης στη μαγνητική τομογραφία (MRI). Οι απεικονίσεις MRI εξαρτώνται από την διαφορά στους χρόνους μαγνητικής χαλάρωσης των διαφόρων ιστών που παρέχουν την αντίθεση. Εάν βιοσυμβατά σιδηρορευστά μπορούν να απορροφηθούν επιλεκτικά από κάποιο είδος ιστού, τότε αυτοί οι ιστοί δεν θα έχουν κανονικά υψηλή διαχωριστότητα. Επίσης, η ανάπτυξη μιας μεθόδου για

διάφορους ιστούς ώστε να προσλαμβάνει διάφορα ποσά σιδηρορρευτού θα δώσει στους ιστούς δραστικά διαφορετικούς χρόνους χαλάρωσης και συνεπώς πολύ οξεία αντίθεση και υψηλή διαχωριστικότητα. Ένα παράδειγμα είναι η δεξτράνη καλυμμένη με σωματίδια οξειδίου του σιδήρου. Τα καλυμμένα σωματίδια γίνονται δεκτά από το δικτυοενδοθηλιακό σύστημα πολλών υγιών κυττάρων, αλλά όχι από τα καρκινικά κύτταρα. Αυτό μπορεί να επιτρέψει μια πολύ καλή διαχωριστικότητα των καρκινικών κυττάρων.

Η τέταρτη εφαρμογή είναι μια διεργασία που ονομάζεται μαγνητικός διαχωρισμός κυττάρων. Σε αυτήν την τεχνική τα μαγνητικά σωματίδια προσλαμβάνονται από μια επιθυμητή βιολογική οντότητα παρόμοια με την παραπάνω μέθοδο της μαγνητικής τομογραφίας. Έπειτα, μόλις τα σωματίδια κορεστούν μέσα σε ένα στοχευμένο ιστό, χρησιμοποιείται μια βαθμίδα μαγνητικού πεδίου για να απομακρύνει την οντότητα από το εγγενές περιβάλλον. Ένα παράδειγμα αυτής της διεργασίας με μεγάλη χρήση είναι ο διαχωρισμός του μυελού των οστών από καρκινικά τμήματα ενός δείγματος για την επανεμφύτευση του μυελού των οστών στο άτομο. (Scherer, C 2005)

Μεταφορά θερμότητας

Ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο εφαρμόζεται σε ένα σιδηρορρευστό με μεταβαλλόμενη επιδεκτικότητα (π.χ., λόγω μιας βαθμίδας θερμοκρασίας) με αποτέλεσμα μια μη ομοιόμορφη μαγνητική δύναμη στο σώμα, που οδηγεί σε μια μορφή μεταφοράς θερμότητας που λέγεται θερμομαγνητική μεταφορά (thermomagnetic convection). Αυτή η μορφή μεταφοράς θερμότητας πρέπει να είναι χρήσιμη όταν η συμβατική μεταφορά θερμότητας είναι ανεπαρκής, π.χ. σε μικροσκοπικές συσκευές μικροκλίμακας ή κάτω από συνθήκες μειωμένης βαρύτητας.

Μια συνηθισμένη χρήση των σιδηρορρευστών γίνεται στα ηχεία, για να αφαιρέσουν θερμότητα από το πηνίο φωνής (voice coil) και να αποσβέσουν παθητικά την κίνηση του κώνου. Βρίσκονται εκεί όπου κανονικά θα ήταν κενό, σκέτος αέρας, γύρο από το πηνίο φωνής και διατηρείται στη θέση του από τον μαγνήτη του ηχείου. Λόγο το ότι τα σιδηρορρευστά είναι παραμαγνητικά, υπακούν στον νόμο Κιουρί και συνεπώς γίνονται λιγότερο μαγνητικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι ένας ισχυρός μαγνήτης τοποθετημένος κοντά στο πηνίο φωνής, το οποίο παράγει θερμότητα, θα έλκει το ψυχρό σιδηρορρευστό περισσότερο από το θερμό σιδηρορρευστό εξαναγκάζοντας έτσι το θερμό να απομακρύνεται από το πηνίο και να κατευθύνεται προς μια ψυκτική επιφάνεια. Συνεπώς πραγματοποιείται μια αποτελεσματική μέθοδος ψύξης που δεν απαιτεί πρόσθετη ενέργεια.

Σιδηρορρευστά με σωστή και κατάλληλη σύσταση μπορούν να έχουν πολύ μεγάλη βελτίωση στη θερμική αγωγιμότητα, όπου $k \sim 300\%$ της θερμικής αγωγιμότητας του ρευστού βάσης. Η μεγάλη βελτίωση στο k οφείλεται στην αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας μέσω των διεισδυτικών διαδρομών του νανοσωματιδίου. Ειδικά μαγνητικά νανορρευστά με ρυθμίσιμη αναλογία θερμικής αγωγιμότητας ως προς το ιξώδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πολυλειτουργικά έξυπνα υλικά που μπορούν να αφαιρούν θερμότητα και να εμποδίζουν επίσης δονήσεις. Παρόμοια ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συσκευές μικροροής και σε μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS). (Scherer, C 2005)

Οπτική

Πραγματοποιείτε έρευνα για την δημιουργία ενός καθρέπτη από σιδηρορρευστό για αστρονομικά οπτικά τηλεσκόπια με βάση στη γη.

Τα οπτικά φίλτρα χρησιμοποιούνται για να επιλέξουν διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός. Η αντικατάσταση των φίλτρων είναι δύσκολη, ειδικά όταν το μήκος κύματος αλλάζει συνεχώς με λέιζερ ρυθμίσιμου τύπου. Ρυθμίσιμα οπτικά φίλτρα για διάφορα μήκη κύματος με μεταβολή του μαγνητικού πεδίου μπορούν να κατασκευαστούν με την βοήθεια από γαλακτώματα σιδηρορευστών. (Scherer, C 2005)

Τέχνη

Μερικά μουσεία τέχνης και επιστήμης έχουν, σε δημόσια θέα, ειδικές συσκευές που χρησιμοποιούν μαγνήτες για να κινήσουν σιδηρορευστά γύρω από επιφάνειες ειδικού σχήματος σε ένα σιντριβάνι για να εντυπωσιάσουν τους επισκέπτες. Η Sachiko Kodama είναι γνωστή για την τέχνη των σιδηρορευστών της.

Το αυστραλιανό συγκρότημα ηλεκτρονικής ροκ μουσικής Pendulum χρησιμοποίησε σιδηρορευστό για τη μουσική του Watercolour. Το συγκρότημα Isis χρησιμοποιεί επίσης ένα σιδηρορευστό στη μουσική του βίντεο για το 20 Minutes/40 Years.

Ο Martin Frey, ένας Γερμανός σχεδιαστής και τεχνολόγος, κατασκεύασε μια συσκευή σιδηρορευστού, την SnOil. Η συσκευή αποτελείται από έναν πίνακα 12x12 ηλεκτρομαγνητών, που επιτρέπει στη συσκευή να εμφανίζει κείμενο και να εκτελεί απλά παιχνίδια.

Η CZFerro, μια αμερικάνικη εταιρία τέχνης, άρχισε να χρησιμοποιεί τα σιδηρορευστά στις παραγωγές της το 2008. Τα έργα αυτά αποτελούνται από σιδηρορευστά που σαν ένα μοναδικό αιωρούμενο διάλυμα. Αυτά τα έργα χρησιμοποιούνται συνήθως για την διακόσμηση σπιτιών και γραφείων. (Scherer, C 2005)

1.6 Hele-Shaw



Εικόνα 5: Ο Henry Selby Hele-Shaw το 1922(Alexander Vasil'ev)

1.6.1 Ιστορική αναδρομή

Ο Henry Selby Hele-Shaw ή όπως ήταν γνωστότερος Hele-Shaw (1854-1941) ήταν ένας από τους πιο διακεκριμένους μηχανικούς ερευνητές στα τέλη του 19ου και αρχές του

20ου αιώνα, ένας πρωτοπόρος της τεχνικής εκπαίδευσης. Ήταν πρόεδρος σε αρκετές κοινότητες μηχανικών συμπεριλαμβανομένων και των Royal Institution of Mechanical Engineers, καθώς και της Fellow of the Royal Society. Δυστυχώς όμως είναι κι αυτός ένας από τα πολλά μεγάλα ονόματα που ξεχάστηκαν στην επιστήμη και τη μηχανική.

Ο Hele-Shaw γεννήθηκε στις 20 Ιουλίου το 1854 στο Billericay του Essex. Ήταν γιός ενός πετυχημένου δικηγόρου και πολύ θρησκευόμενος άνθρωπος επηρεασμένος από την μητέρα του όπου από την οποία υιοθέτησε το όνομα «Hele» στα είκοσι του χρόνια. Στην ηλικία των δεκαεπτά ολοκλήρωσε την ιδιωτική του εκπαίδευση και πήγε μαθητευόμενος στη Mardyke Engineering Works, Messr Roach and Leaker στο Bristol.

Σε ηλικία είκοσι τεσσάρων ετών του προσφέρθηκε η θέση του λέκτορα στα μαθηματικά και στη μηχανική στο πανεπιστήμιο του Bristol υπό την επίβλεψη του καθηγητή J.F.Main.

Το 1882 οργάνωσε και ίδρυσε το πρώτο του τμήμα της μηχανικής και στην ηλικία των είκοσι επτά έγινε ο πρώτος καθηγητής του τμήματος. Το 1885 προσκλήθηκε να οργανώσει το τμήμα της μηχανικής στο πανεπιστήμιο του Liverpool, το δεύτερο τμήμα του, όπου και δίδαξε ως καθηγητής μηχανικής μέχρι το 1904 όπου μετακόμισε στην Νότια Αφρική. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου διεξήγαγε τα επιδραστικά του πειράματα στο πανεπιστήμιο του Liverpool δημιουργώντας το «κύτταρο» το οποίο πήρε και όνομα του.

Το 1904 ο Hele-Shaw έγινε ο πρώτος καθηγητής για μηχανολόγους και ηλεκτρολόγους μηχανικούς στο τεχνολογικό ίδρυμα του Transvaal της Νοτίου Αφρικής όπου έπειτα βοήθησε και στη δημιουργία του πανεπιστημίου του Johannesburg και του πανεπιστημίου της Pretoria. (Alexander Vasil'ev 2000)

Το 1905 διορίστηκε διευθυντής του τεχνολογικού ιδρύματος του Transvaal και ένας οργανωτής της τεχνολογικής εκπαίδευσης στην περιοχή. Ο Hele-Shaw με αυτόν τον τρόπο έγινε ένας από τους πρωτοπόρους της τεχνολογικής εκπαίδευσης όχι μόνο στην Μεγάλη Βρετανία αλλά και στις αποικίες της.

Παρόλο που ήταν ένας εξαιρετικός καθηγητής και η ικανότητα του στο ελεύθερο σχέδιο ήταν πάντα άξια προσοχής. Αυτός πάντα προσπαθούσε να παρουσιάζει δύσκολα πειράματα με έναν ποιο εύκολο τρόπο, επινοώντας καινούργιες συσκευές ώστε να οπτικοποιεί συγκεκριμένα φαινόμενα.

Ο Hele-Shaw είχε έναν πολύ ενεργό ρόλο στην ακαδημαϊκή και τεχνολογική κοινότητα της Μεγάλης Βρετανίας. Καθόλου την διάρκεια της ζωής του μεταξύ άλλων εξετέλεσε και πρόεδρος του Liverpool Engineering Society το 1894, μέλος του Royal Society το 1899, πρόεδρος του Institution of Automobile Engineers το 1909, πρόεδρος του Association of Engineers in Charge το 1912, πρόεδρος του Section G του British Association for the Advancement of Science το 1915 και πρόεδρος του Institution of Mechanical Engineers το 1922.

Μια από τις μεγαλύτερες συνεισφορές του στην τεχνολογική εκπαίδευση ήταν η δημιουργία του πιστοποιητικού «National Certificates» στη μηχανολογία. Ο Hele-Shaw ήταν ένας άντρας με μεγάλη φυσική και πνευματική διαύγεια, με πολύ ενέργεια και πολύ θάρρος. Ήταν ένας αυτοδημιούργητος άνθρωπος, αναγνωρισμένος και πολύ πετυχημένος καθόλα την επαγγελματική του ζωή. Είχε πολύ καλή αίσθησης του χιούμορ, ήταν καλός συνομιλητής και πολύ καλός στην παρέα. Παντρεύτηκε την Ella Rathbone μέλος μιας πολύ επιφανούς οικογενείας από το Liverpool. Απόκτησαν δύο παιδιά, ο γιος τους σκοτώθηκε κατά την διάρκεια μάχης στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο και η κόρη παντρεύτηκε τον Harry Hall.

Συνταξιοδοτήθηκε στην ηλικία των ογδόντα πέντε και απεβίωσε ενάμιση χρόνο αργότερα στις τριάντα Ιανουαρίου του 1941.

Ο Hele- Shaw κατά την διάρκεια της ζωής ασχολήθηκε με πολλούς τομείς τις μηχανικής και έκανε πολλές ανακαλύψεις που διευκολύνουν την ζωή μας ακόμα και σήμερα. Δύο από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του είναι οι περίφημες ροές, όπου πήραν και το όνομα του, τις οποίες μελέτησε την περίοδο 1896-1900 καθώς και την αυτοματοποιημένη υδραυλική προπέλα μεταβλητού βήματος μαζί με τον T. Beacham το 1924. Ωστόσο η λίστα με όλες του τις πατέντες είναι πολύ μεγάλη. Ακόμα μερικές από αυτές τις πατέντες είναι ένα ειδικό φίλτρο για να καθαρίζει το νερό από την μόλυνση του πετρελαίου, ο Hele-Shaw συμπλέκτης τριβής πρώτος του είδους του το 1905 για αυτοκίνητα όπου ήταν ευρέως διαδεδομένος εκείνη την εποχή. Επίσης κάποιες άλλες είναι το υδραυλικό σασμάν ταχυτήτων Hele-Shaw το 1912, η αντλία Hele-Shaw το 1923 καθώς και πολλές άλλες, ογδόντα δύο πατέντες στο σύνολο τους.

Το πιο αξιοσημείωτο όμως αποτέλεσμα των επιστημονικών ερευνών του Hele-Shaw προήλθε από τον διακαί του πόθο να παρουσιάσει σε μια μεγάλη επιφάνεια με έναν προβολέα φωτογραφιών, τον χαρακτήρα της ροής που περνάει γύρο από ένα εμπόδιο, για τους μαθητές του στο Liverpool. Έτσι λοιπόν παρουσίασε μια συσκευή που αποτελούνταν από δύο παράλληλα τζάμια τα οποία είχε τοποθετήσει σε μικρή απόσταση μεταξύ τους περιορίζοντας ένα παχύρευστο ρευστό αναμεσά τους. Έτσι ο Hele-Shaw ήθελε να οπτικοποιήσει τις ροϊκές γραμμές της ροής. Στην αρχή προσπάθησε να εγχύσει υγρό με χρώμα αλλά τελικά αποδείχθηκε ακατάλληλο γιατί αμέσως αναμιγνύονταν με το υπόλοιπο ρευστό, στη συνέχεια προσπάθησε να εγχύσει άμμο αλλά κι αυτό δεν πέτυχε καθώς δημιουργόντουσαν δίνες και επηρέαζαν την ροή. Τελικά πέτυχε τον σκοπό του εντελώς κατά λάθος. Οι πλάκες από γυαλί είχαν κάποια διαρροή επιτρέποντας στον αέρα να εισέλθει και οι μικρές φυσαλίδες αέρα ενεργούσαν σαν συνεχής γραμμές ακολουθώντας την ροή και κάνοντας την εμφανή.

Το 1897 ο Hele-Shaw παρουσίασε την μέθοδο του στο Royal Institution of Naval Architects. Αργότερα το 1898 ο Osborne Reynolds έκανε κριτική στα πειράματα του Hele-Shaw αναφέροντας ότι θα δημιουργόντουσαν αναταράξεις σε υψηλότερες ταχύτητες. Όντως ο Reynolds αποκάλυψε το φαινόμενο της αναταραχής σε υψηλότερες ταχύτητες. Κι έτσι ο Hele-Shaw ανακάλυψε ότι αν τα παράλληλα τζάμια είχαν απόσταση μεταξύ τους μέχρι δύο ίντσες περίπου η ροή θα παρέμενε στρωτή σε όλες τις ταχύτητες. Έτσι το 1898 ο Hele-Shaw κέρδισε το χρυσό μετάλλιο από το Royal Institution of Naval Architects για την συγκεκριμένη μέθοδο.

1.6.2 H9

Κατά την διάρκεια αυτής της πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 της TecQuipment. Περαιτέρω ανάλυση ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

1.7 Μαγνήτες νεοδυμίου

Οι μαγνήτες νεοδυμίου (neodymium magnet), οι οποίοι είναι γνωστοί επίσης και ως μαγνήτες NdFeB, NIB ή Neo, είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος μαγνήτη σπάνιων γαιών. Είναι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευασμένοι από ένα κράμα νεοδυμίου, σιδήρου και βορίου για να σχηματίζει την Nd₂Fe₁₄B τετραγωνική κρυσταλλική δομή. Αναπτύχθηκαν το 1982 από τη General Motors και τη Sumitomo Metal Industries. Οι μαγνήτες νεοδυμίου είναι ο πιο ισχυρός τύπος μαγνήτη που είναι εμπορικά διαθέσιμος. Έχουν αντικαταστήσει άλλους τύπους μαγνητών σε πολλές εφαρμογές σε σύγχρονα προϊόντα που απαιτούν ισχυρούς μόνιμους μαγνήτες, όπως σε κινητήρες ασύρματων εργαλείων, σε σκληρούς δίσκους και σε μαγνητικούς σφινγκήρες. (Adam Hill 2015)

1.7.1 Ιστορική αναδρομή

Το 1982, η General Motors (GM) και η Sumitomo Metal Industries ανακάλυψαν την ένωση Nd₂Fe₁₄B. Η έρευνα αρχικά ξεκίνησε λόγω του υψηλού κόστους των πρώτων υλών των μόνιμων μαγνητών SmCo, που είχαν αναπτυχθεί πιο νωρίς. Η GM εστίασε στην ανάπτυξη των νανοκρυσταλλικών μαγνητών Nd₂Fe₁₄B με κλώση υπό πίεση (melt-spun), ενώ η Sumitomo ανέπτυξε τους πλήρους πυκνότητας συντετηγμένους μαγνήτες Nd₂Fe₁₄B.

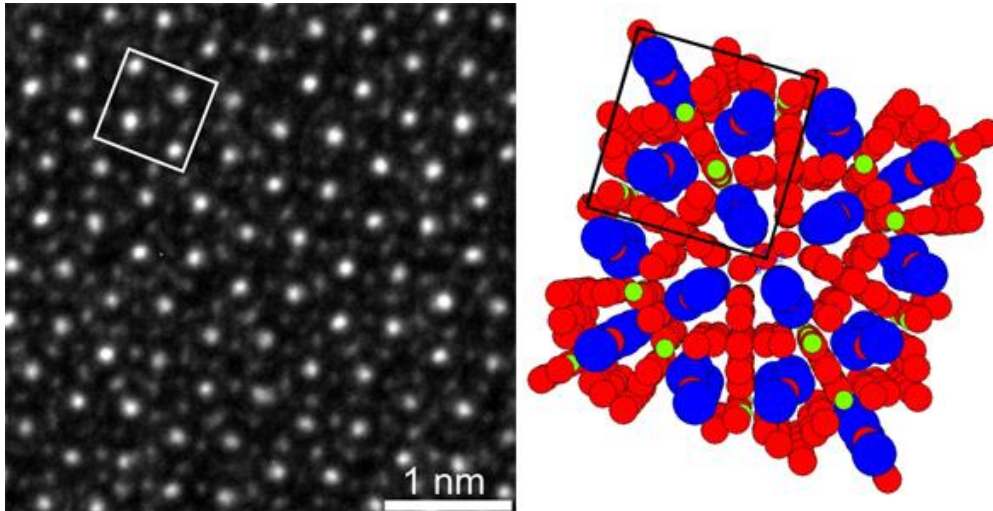
Η GM εμπορικοποίησε τις εφευρέσεις της και οι σχετικές διεργασίες παραγωγής ξεκίνησαν το 1986 από τη Magnequench (η Magnequench έγινε τμήμα της Neo Materials Technology, Inc., η οποία στη συνέχεια συγχωνεύτηκε στην Molycorp). Η εταιρεία προμήθευε σκόνη Nd₂Fe₁₄B σε κατασκευαστές δεσμευμένων μαγνητών (bonded magnet).

Η Sumitomo έγινε τμήμα της Hitachi Ltd. και κατασκευάζει τώρα και αδειοδοτεί άλλες εταιρείες στην παραγωγή συντετηγμένων μαγνητών Nd₂Fe₁₄B. Η Hitachi κατέχει περισσότερες από 600 ευρεσιτεχνίες που καλύπτουν μαγνήτες νεοδυμίου.

Κινέζοι κατασκευαστές έχουν γίνει κυρίαρχοι στην παραγωγή μαγνητών νεοδυμίου, βασισμένοι στο έλεγχο των περισσότερων παγκόσμιων πόρων των ορυκτών σπάνιων γαιών. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής πιστοποίησαν την ανάγκη εύρεσης υποκατάστατων για τα μέταλλα των σπάνιων γαιών στην τεχνολογία των μόνιμων μαγνητών και έχει ξεκινήσει τη χρηματοδότηση τέτοιας έρευνας. (ARPA-E 2013)

1.7.2 Σύσταση

Η τετραγωνική κρυσταλλική δομή του Nd₂Fe₁₄B έχει εξαιρετικά υψηλή μονοαξονική μαγνητοκρυσταλλική ανισοτροπία (H_A ~ 7 T - ένταση μαγνητικού πεδίου H σε A/m ως προς τη μαγνητική ροπή σε A.m²). Αυτό δίνει στην ένωση τη δυνατότητα να έχει υψηλή μαγνητική αντίσταση, δηλαδή αντίσταση στην απομαγνήτιση. Η ένωση έχει επίσης έναν υψηλό κορεσμό μαγνήτισης (saturation magnetization) (J_s ~ 1,6 T ή 16 kG) και συνήθως 1,3 T. Συνεπώς, επειδή η μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι ανάλογη με το J_s², αυτή η μαγνητική φάση έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων μαγνητικής ενέργειας (BH_{max} ~ 512 kJ/m³ ή 64 MG•Oe). Αυτή η ιδιότητα είναι σημαντικά πιο μεγάλη σε κράματα του NdFeB παρά σε μαγνήτες σαμάρου-κοβαλτίου (SmCo), που ήταν ο πρώτος τύπος μαγνήτη σπάνιων γαιών που έγινε εμπορικός. Στην πράξη, οι μαγνητικές ιδιότητες των μαγνητών νεοδυμίου εξαρτώνται από τη σύνθεση του κράματος, τη μικροδομή και τη χρησιμοποιούμενη τεχνική κατασκευής.



Εικόνα 6: Αριστερά: Εικόνα υψηλής ανάλυσης μικροσκοπίας ηλεκτρονικής μετάδοσης του $Nd_2Fe_{14}B$. Δεξιά: κρυσταλλική δομή με σημειωμένη μοναδιαία κυψελίδα (Wikipedia)

1.7.3 Παραγωγή

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι παρασκευής μαγνητών νεοδυμίου:

- Η μεταλλουργία κλασσικής σκόνης ή διεργασία συντετηγμένου μαγνήτη
- Η γρήγορη στερεοποίηση ή διεργασία δεσμευμένου μαγνήτη

Οι συντετηγμένοι μαγνήτες νεοδυμίου παρασκευάζονται με τη σύντηξη των πρώτων υλών σε φούρνο, χύτευση σε μια μήτρα και ψύξη για τον σχηματισμό πλινθωμάτων (ingots). Τα πλινθώματα κονιοποιούνται και αλέθονται• η σκόνη τήκεται έπειτα σε πυκνές ομάδες. Οι ομάδες επεξεργάζονται έπειτα θερμικά, μορφοποιούνται επεξεργάζονται επιφανειακά και μαγνητίζονται.

Το 2015, η ιαπωνική Nitto Denko ανακοίνωσε την ανάπτυξη μιας νέας μεθόδου τήξης υλικών για μαγνήτες νεοδυμίου. Η μέθοδος The method εκμεταλλεύεται μια "υβριδική τεχνολογία οργανικής/ανόργανης ένωσης" για να σχηματίσει ένα αργιλώδες μείγμα που μπορεί να πάρει διάφορες μορφές για χύτευση. Το πιο σημαντικό είναι, ότι μπορεί να ελεγχθεί ο μη ομοιόμορφος προσανατολισμός του μαγνητικού πεδίου στο τετηγμένο υλικό ώστε να συγκεντρώσει τοπικά το πεδίο, π.χ. να βελτιώσει την απόδοση των ηλεκτρικών κινητήρων. Η μαζική παραγωγή σχεδιάζεται για το 2017.

Από το 2012, 50.000 τόνοι μαγνητών νεοδυμίου παρασκευάζονται επισήμως κάθε χρόνο στην Κίνα και συνολικά περίπου 130.000. Η Κίνα παράγει περισσότερο από το 95% των σπανίων γαιών και παράγει περίπου το 76% των συνολικών παγκοσμίων μαγνητών σπανίων γαιών.

Οι δεσμευμένοι μαγνήτες νεοδυμίου παρασκευάζονται με τη κλώση υπό τήξη μιας λεπτής ταινίας του κράματος $NdFeB$. Η ταινία περιέχει τυχαία προσανατολισμένους κόκκους $Nd_2Fe_{14}B$ στη νανοκλίμακα. Αυτή η ταινία κονιοποιείται έπειτα σε σωματίδια, αναμειγνύεται με ένα πολυμερές και είτε χυτεύεται με συμπίεση ή με έγχυση σε δεσμευμένους μαγνήτες. Οι δεσμευμένοι μαγνήτες προσφέρουν μικρότερη ένταση ροής από τους συντετηγμένους μαγνήτες, αλλά μπορούν να μορφοποιηθούν στην τελική μορφή σε

περίτεχνα μορφοποιημένα σχήματα, όπως συμβαίνει συνήθως με τις διατάξεις Χάλμπαχ (Halbach arrays) ή τόξα, τραπεζοειδή και άλλα σχήματα και διατάξεις. Παράγονται περίπου 5.500 τόνοι από μαγνήτες Neo bonded κάθε χρόνο. (NdFeB-Info 2013)

1.7.4 Κατηγορίες

Οι μαγνήτες νεοδυμίου κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη μέγιστη μαγνητική απόδοση, που σχετίζεται με τη μαγνητική ροή ανά μονάδα όγκου. Πιο υψηλές τιμές δείχνουν πιο ισχυρούς μαγνήτες και κυμαίνονται από N35 μέχρι N52. Τα γράμματα που ακολουθούν την κατηγορία δείχνουν τις μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας (συνήθως τη θερμοκρασία Κιουρί), που κυμαίνεται από M (μέχρι 100 βαθμούς Κελσίου) έως EH (200 βαθμούς Κελσίου).

Κατηγορίες των μαγνητών νεοδυμίου:

- N35-N52
- 33M-48M
- 30H-45H
- 30SH-42SH
- 30UH-35UH
- 28EH-35EH

1.7.5 Ιδιότητες

Μαγνητικές ιδιότητες

Μερικές σημαντικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση μόνιμων μαγνητών είναι:

Παραμένουσα μαγνήτιση (remanence) (B_r) που μετρά την ένταση του μαγνητικού πεδίου

Μαγνητική αντίσταση (coercivity) (H_{ci}) η αντίσταση του υλικού στην απομαγνήτιση

Ενεργειακό περιεχόμενο (energy product) (BH_{max}) η πυκνότητα της μαγνητικής ενέργειας

Θερμοκρασία Κιουρί (TC) η θερμοκρασία στην οποία το υλικό χάνει τον μαγνητισμό του.

Οι μαγνήτες νεοδυμίου έχουν πιο μεγάλη παραμένουσα μαγνήτιση, πολύ πιο μεγάλη μαγνητική αντίσταση και ενεργειακό περιεχόμενο, αλλά έχουν επίσης συχνά πιο χαμηλή θερμοκρασία Κιουρί από άλλους τύπους. Το νεοδύμιο για να διατηρήσει τις μαγνητικές του ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες αναμειγνύεται με τέρβιο και δυσπρόσιο. Ο παρακάτω πίνακας συγκρίνει τη μαγνητική συμπεριφορά μαγνητών νεοδυμίου με κάποιους άλλους τύπους μόνιμων μαγνητών. (Juha Pyrhönen 2009)

Μαγνήτης	B_r (T)	H_{ci} (kA/m)	BH_{max} (kJ/m ³)	TC (°C)	TC (°F)

Nd ₂ Fe ₁₄ B (συντετηγμένο)	1,0–1,4	750–2000	200–440	310– 400	590– 752
Nd ₂ Fe ₁₄ B (δεσμευμένο)	0,6–0,7	600–1200	60–100	310– 400	590– 752
SmCo ₅ (συντετηγμένο)	0,8–1,1	600–2000	120–200	720	1328
Sm(Co, Fe, Cu, Zr) ₇ (συντετηγμένο)	0,9– 1,15	450–1300	150–240	800	1472
Alnico (συντετηγμένο)	0,6–1,4	275	10–88	700– 860	1292– 1580
Sr-ferrite (συντετηγμένο)	0,2– 0,78	100–300	10–40	450	842

Φυσικές και Μηχανικές ιδιότητες

Σύγκριση φυσικών ιδιοτήτων συντετηγμένου νεοδυμίου και μαγνητών

Ιδιότητα	Νεοδύμιο	Sm-Co
Παραμένουσα μαγνήτιση (T)	1–1,3	0,82–1,16
<u>Απομαγνητότητα (MA/m)</u>	0,875– 1,99	0,493–1,59
<u>Σχετική διαπερατότητα</u>	1,05	1,05
Συντελεστής θερμοκρασίας της παραμένουσας μαγνήτισης (%/K)	–0,12	–0,03
Συντελεστής θερμοκρασίας της απομαγνητότητας (%/K)	–0,55..– 0,65	–0,15..–0,30
<u>Θερμοκρασία Κιουρί (°C)</u>	320	800

Πυκνότητα (g/cm ³)	7,3–7,5	8,2–8,4
<u>Συντελεστής θερμικής διαστολής, κατεύθυνση μαγνήτισης (1/K)</u>	5,2×10 ⁻⁶	5,2×10 ⁻⁶
<u>Συντελεστής θερμικής διαστολής, κανονικός στην κατεύθυνση μαγνήτισης (1/K)</u>	-0,8×10 ⁻⁶	11×10 ⁻⁶
Αντοχή στην κάμψη (flexural strength) (N/mm ²)	250	150
Αντοχή σε θλίψη (Compressive strength) (N/mm ²)	1100	800
Αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile strength) (N/mm ²)	75	35
Σκληρότητα Βίκερς (HV)	550–650	500–650
Ηλεκτρική ειδική αντίσταση (electrical resistivity) (Ω·cm)	(110–170)×10 ⁻⁶	86×10 ⁻⁶

1.7.6 Προβλήματα

Το συντετηγμένο Nd₂Fe₁₄B τείνει να είναι ευάλωτο στη διάβρωση, ιδιαίτερα κατά μήκος των ορίων κόκκων του συντετηγμένου μαγνήτη. Αυτός ο τύπος διάβρωσης μπορεί να προκαλέσει σοβαρή υποβάθμιση, συμπεριλαμβανομένου του θρυμματισμού του μαγνήτη σε σκόνη από μικρά μαγνητικά σωματίδια, ή απολέπιση (spalling) μιας επιφανειακής στρώσης. Αυτή η τρωτότητα αντιμετωπίζεται σε πολλά εμπορικά προϊόντα με την προσθήκη μιας προστατευτικής επικάλυψης προς αποφυγή έκθεσης στην ατμόσφαιρα. Η επινικέλωση ή η επιμετάλλωση με διπλή στρώση χαλκού-νικελίου είναι οι κλασικές μέθοδοι, αν και η επιμετάλλωση με άλλα μέταλλα, ή πολυμερή και προστατευτικές στρώσεις λάκας χρησιμοποιούνται επίσης.

1.7.7 Κίνδυνοι

Η μεγαλύτερη δύναμη που εξασκείται από τους μαγνήτες των σπανίων γαιών δημιουργεί κινδύνους που δεν εμφανίζονται με άλλους τύπους μαγνητών. Μαγνήτες νεοδυμίου μεγαλύτεροι από μερικά κυβικά εκατοστά είναι αρκετά ισχυροί για να προκαλέσουν τραυματισμούς σε μέρη του σώματος που σφίγγονται μεταξύ δύο μαγνητών, ή ενός μαγνήτη και μιας μεταλλικής επιφάνειας, που μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και θραύση οστών.

Οι μαγνήτες που αφήνονται να πλησιάσουν πολύ κοντά μεταξύ τους μπορούν να αλληλοκτυπηθούν με αρκετή δύναμη ώστε να θρυμματίσουν και να καταστρέψουν το εύθρυπτο υλικό και τα ιπτάμενα θραύσματα μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμούς. Έχουν υπάρξει περιπτώσεις όπου νεαρά παιδιά που έχουν καταπιεί αρκετούς μαγνήτες είχαν ως αποτέλεσμα το σφίξιμο τμημάτων του γαστρεντερικού συστήματος μεταξύ δύο μαγνητών, προκαλώντας τραυματισμούς ή θάνατο. Τα ισχυρότερα μαγνητικά πεδία μπορεί να είναι επιβλαβή σε μηχανικές και ηλεκτρονικές συσκευές, επειδή μπορούν να σβήσουν μαγνητικά πεδία όπως μαγνητικά μέσα υπολογιστή, τραπεζικές κάρτες, να μαγνητίσουν ρολόγια και τις μάσκες σκιάς (shadow masks) των οθονών τύπου καθοδικού σωλήνα σε μεγαλύτερη απόσταση από τους άλλους τύπους μαγνητών.

1.7.8 Εφαρμογές

Υφιστάμενες μαγνητικές ιδιότητες

Οι μαγνήτες νεοδυμίου έχουν αντικαταστήσει τους μαγνήτες από alnico και φερίτη σε πολλές από τις μυριάδες εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία όταν απαιτούνται ισχυροί μόνιμοι μαγνήτες, επειδή η μεγαλύτερή τους ισχύς επιτρέπει τη χρήση μικρότερων και ελαφρύτερων μαγνητών για μια δεδομένη εφαρμογή. Μερικά παραδείγματα είναι:

- Ενεργοποιητές κεφαλών για σκληρούς δίσκους υπολογιστών
- Σβήσιμο κεφαλών για φθηνούς καταγραφείς κασετών
- Μαγνητική τομογραφία
- Μηχανικοί διακόπτες εκκίνησης ηλεκτρονικού τσιγάρου
- Κλείδωμα θυρών
- Ηχεία και ακουστικά
- Μαγνητική διόπτειση και ζεύξεις
- Επιτραπέζια φασματοφωτόμετρα NMR
- Μαγνητικά φίλτρα για την κατακράτηση σιδηρούχων ρινισμάτων σε βιομηχανικές εφαρμογές, π.χ. παραγωγή τροφίμων
- Ηλεκτρικοί κινητήρες
 - ο Ασύρματα εργαλεία
 - ο Σερβοκινητήρες
 - ο Κινητήρες ανύψωσης και αεροσυμπιεστών
 - ο Σύγχρονοι κινητήρες
 - ο Βηματικοί κινητήρες και αδράχτια
 - ο Ηλεκτρικά υποβοηθούμενα τιμόνια (Electrical power steering)
 - ο Κινητήρες για υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid and electric vehicles). Οι ηλεκτρικοί κινητήρες κάθε Toyota Prius απαιτούν 1 χιλιόγραμμα νεοδυμίου.
 - ο Ενεργοποιητές

- Ηλεκτρογεννήτριες για ανεμογεννήτριες (μόνο για αυτές που έχουν μόνιμη μαγνητική διέγερση)
 - ο Οι ανεμογεννήτριες άμεσης μετάδοσης (direct-drive wind turbines) απαιτούν περίπου 600 kg υλικού PM ανά kW
- Παιχνίδια
 - ο οι στρόβιλοι με γρανάζια απαιτούν λιγότερο υλικό PM ανά MW.

Το περιεχόμενο του νεοδυμίου εκτιμάται ως το 31% του βάρους του μαγνήτη.(Chu, Steven 2011)

Νέες εφαρμογές

Επιπλέον, η μεγαλύτερη ισχύς των μαγνητών νεοδυμίου έχει παροτρύνει τη χρήση μαγνητών σε εφαρμογές που παλιότερα δεν χρησιμοποιούνταν, όπως στα μαγνητικά κουμπώματα κοσμημάτων, σε παιδικές μαγνητικές κατασκευές (και άλλα παιχνίδια) και ως τμήματα του μηχανισμού κλεισίματος σύγχρονου εξοπλισμού αθλητικών αλεξιπτώτων.

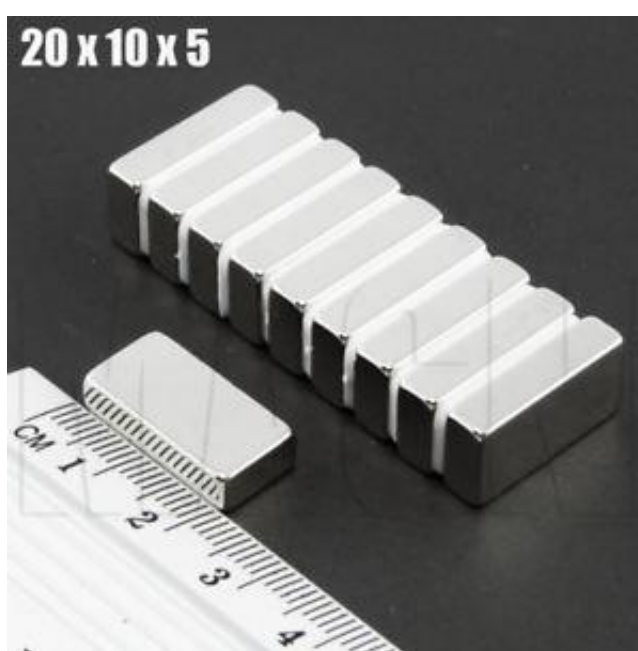
Η ισχύς και η ομοιογένεια του μαγνητικού πεδίου στους μαγνήτες νεοδυμίου έχουν αναπτύξει νέες εφαρμογές στον ιατρικό τομέα με την εισαγωγή ανοικτών σαρωτών μαγνητικής τομογραφίας (MRI) που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση του σώματος στα ραδιολογικά τμήματα ως εναλλακτικός τρόπος στους υπεραγωγίσιμους μαγνήτες που χρησιμοποιούν ένα πηνίο υπεραγωγίσιμου καλωδίου για την παραγωγή μαγνητικού πεδίου. Οι μαγνήτες νεοδυμίου χρησιμοποιούνται ως χειρουργικά τοποθετούμενα συστήματα κατά της παλινδρόμησης και αποτελούνται από μια ταινία μαγνητών που εμφυτεύεται χειρουργικά γύρω από τον κατώτερο οισοφαγικό σφιγκτήρα (lower esophageal sphincter) για να αντιμετωπιστεί η γαστροοισοφαγική παλινδρομική νόσος (GERD).

Κεφάλαιο 2^ο

Πείραμα

2.1 Μαγνήτες νεοδυμίου

Ο μαγνήτης που χρησιμοποιήσαμε σε αυτό το πείραμα είναι ένας ισχυρός μαγνήτης μπλοκ νεοδυμίου. Οι μαγνήτες μπλοκ συνήθως έχουν τον βόρειο (N) και το Νότιο (S) πόλο στις μεγάλες επίπεδες επιφάνειες τους και έχουν αξονικό μαγνητισμό.



Εικόνα 7: Ισχυροί μαγνήτες μπλοκ νεοδυμίου διαστάσεων 20x10x5(cableworks.gr)

Προδιαγραφές:

Κωδικός: 20x10x5

Υλικό: NdFeB, Νεοδυμίου

Μήκος: 20 mm

Πλάτος: 10 mm

Πάχος: 5 mm

Επικάλυψη: Επινικελωμένος (NiCuNi)

Μονάδα Μαγνήτισης: N 42

Μέγιστη Θερμοκρασία Εργασίας: 80°C

Δύναμη Έλξης/Απόθησης: περίπου 3.8 kg

Πειραματική Παρασκευή Διαλύματος

2.2 Διαδικασία παραγωγής σιδηρορρευστού

Λόγο του αυξημένου κόστους του διαλύματος(ferrofluid) το οποίο ήταν η βασική πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε στα εργαστηριακά πειράματα αναγκαστήκαμε να παρασκευάσουμε και άλλα διαλύματα με παρόμοιες ιδιότητες και να συγκρίνουμε τη συμπεριφορά και των δύο κατά τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου.

Κατά τη πειραματική διαδικασία παρασκευής του διαλύματος σιδηρορρευστού χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υλικά όπως πετρέλαιο, ακετόνη, ελαιόλαδο, ηλιέλαιο, σαπούνι, νερό, σκόνη εκτυπωτή (toner).

Πείραμα 1°

Παρασκευάσαμε τρία διαφορετικά διαλύματα 100ml το καθένα από αυτά με διαφορετικές συστάσεις:

Διάλυμα 1°: 25% Ακετόνη και 75% Ηλιέλαιο

Διάλυμα 2°: 50% Ακετόνη και 50% Ηλιέλαιο

Διάλυμα 3°: 75% Ακετόνη και 25% Ηλιέλαιο

Σε κάθε ένα από τα διαλύματα αρχίσαμε να προσθέτουμε τη σκόνη σταδιακά αναδεύοντας τα, μέχρι η σκόνη να διαλυθεί στο διάλυμα. Έχοντας ένα μαγνήτη νεοδυμίου παρατηρήσαμε ότι και στα τρία διαλύματα μετά τα 10gr toner ήδη άρχισε το ρευστό να μαγνητίζεται ελαφρά. Όταν προσθέσαμε 20gr σκόνης toner ήταν αρκετά για να αρχίσει το ρευστό μας να μαγνητίζεται.

Παρατηρήσαμε ότι το ρευστό σε συνθήκες δωματίου, Σεπτέμβριο μήνα, μετά από δύο με τρεις μέρες σε ακινησία στερεοποιόταν, καθώς επίσης παρατηρήθηκε ότι για ένα διάλυμα των 100ml, τα 20gr toner ήταν αρκετά για να μαγνητίζεται το ρευστό μας.

Πείραμα 2°

Παρασκευάσαμε τρία διαφορετικά διαλύματα 100ml το καθένα από αυτά με διαφορετικές συστάσεις:

Διάλυμα 1°: 25% Ακετόνη και 75% Πετρέλαιο

Διάλυμα 2°: 50% Ακετόνη και 50% Πετρέλαιο

Διάλυμα 3°: 75% Ακετόνη και 25% Πετρέλαιο

Προσθέσαμε αργά και σταδιακά μικρές ποσότητες σκόνης toner αναδεύοντας το διάλυμα καθ' όλη τη διάρκεια μέχρι να ομογενοποιηθεί και παρατηρήθηκε ότι στα 20gr toner το διάλυμα είχε την ίδια συμπεριφορά με το πείραμα 1. Επίσης παρατηρήθηκε ότι σε διάστημα δύο ημερών δημιουργήθηκε ίζημα στο κάτω μέρος της φιάλης, παρόλο που αυτή τη φορά το αναδεύαμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια των δύο ημερών.

Πείραμα 3°

Σε αυτό το πείραμα δοκιμάσαμε να παρασκευάσουμε ένα διάλυμα μόνο με ηλιέλαιο και χωρίς την παρουσία ακετόνης για να δούμε σε πόσες ημέρες θα δημιουργηθεί ίζημα.

Παρασκευάσαμε ένα διάλυμα 100ml με ηλιέλαιο και toner.

Διάλυμα : 100% ηλιέλαιο

Προσθέσαμε αργά και σταδιακά μικρές ποσότητες σκόνης toner αναδεύοντας το διάλυμα καθ' όλη τη διάρκεια μέχρι να ομογενοποιηθεί και παρατηρήθηκε ότι στα 20gr toner το διάλυμα είχε την ίδια συμπεριφορά με το πείραμα 1 και 2. Το αναδεύαμε καθημερινά ανά τακτά χρονικά διαστήματα και το δείγμα παρουσίασε ίζημα την όγδοη ημέρα.

Πείραμα 4°

Παρασκευάσαμε ένα διάλυμα 100ml με πετρέλαιο και toner.

Διάλυμα : 100% Πετρέλαιο

Παρατηρήσαμε ξανά ότι στα 20gr toner το διάλυμα είχε την ίδια συμπεριφορά με το πείραμα 1, 2 και 3. Το αναδεύαμε καθημερινά ανά τακτά χρονικά διαστήματα και το δείγμα παρουσίασε ίζημα την τέταρτη ημέρα.

Δοκιμάστηκαν και άλλα υλικά κατά τη διάρκεια των πειραμάτων όπως σαπούνι , νερό, βενζίνη τα οποία είτε δεν κατάφεραν να ομογενοποιηθούν είτε δεν είχαν την πυκνότητα που θέλαμε.

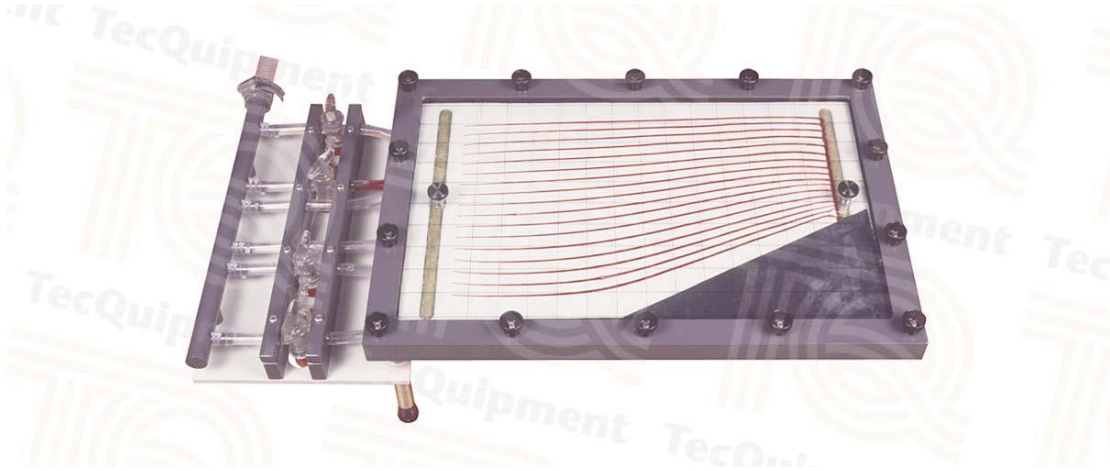
Συμπεράσματα

Το πείραμα 3 ήταν φανερά το πιο αποδοτικό διότι αργούσε να δημιουργηθεί ίζημα (εμφάνιση ιζήματος μετά το πέρας επτά ημερών). Η παρουσία της ακετόνης ήταν αυτή που επιτάχυνε την διαδικασία γιατί όπως φάνηκε και από το πείραμα 4, στο οποίο δεν προστέθηκε ακετόνη, το δείγμα μας άντεξε τέσσερις ημέρες χωρίς να δημιουργηθεί ίζημα δηλαδή περισσότερο από τα πειράματα 1 και 2. Δοκιμάσαμε και άλλες δοσολογίες όπως να προσθέσουμε μεγαλύτερη ποσότητα toner στο δείγμα αλλά παρατηρήσαμε ότι παρά το γεγονός ότι μαγνητιζόταν περισσότερο από τα υπόλοιπα δείγματα ταυτόχρονα δημιουργούσε ίζημα ακόμα πιο γρήγορα από τις υπόλοιπες παρασκευές. Παρατηρήθηκε επίσης ότι για να διατηρηθεί η ομοιογένεια στο ρευστό χρειάζεται συνεχής ανάδευση.

2.3 Συσκευή Hele-Shaw H9

2.3.1 Στοιχεία συσκευής H9

Η εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 της TecQuipment είναι μια ισχυρή μέθοδος παρουσίασης πιθανών ροών στην μηχανική ρευστών.



Εικόνα 8: Η εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 της TecQuipment (TecQuipment)

- Οπτικοποίηση διαδραστικής παρουσίασης μίας μεγάλης ποικιλίας ροών γύρω από ποικίλα σχήματα.
- Ιδανικό για ατομική εργασία και για ομαδική εργασία καθώς και για παρουσίαση στην τάξη.
- Μικρό μέγεθος και μπορεί να τοποθετηθεί παντού.
- Εύκολη δημιουργία σχημάτων που κόβονται από φύλλα (συμπεριλαμβάνονται) , είναι πιθανώς σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα.
- Ιδανική εισαγωγή στις πιθανές ασυμπίεστες ροές (αεροδυναμικά).
- Παρέχονται δοχείο ρευστού και νεροχύτης.
- Ικανό να προβάλλει το πρόβλημα της διαρροής του εδάφους.

Περιγραφή

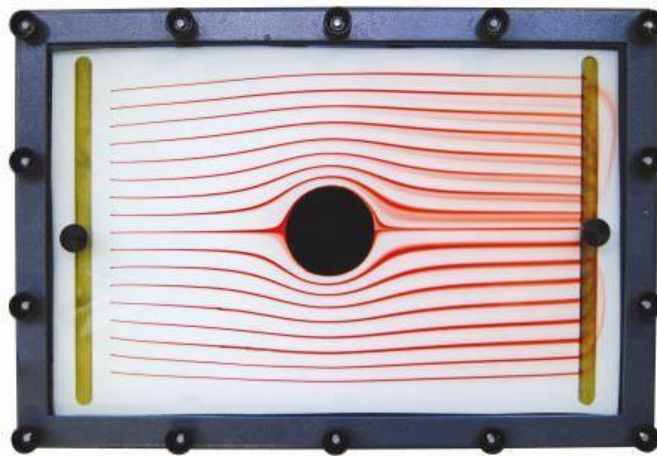
Η συσκευή Hele-Shaw της TecQuipment δημιουργεί ροϊκές γραμμές σε μια στρωτή και σταθερή ροή. Επιτρέπει σε φοιτητές να μελετήσουν ποικίλες διατάξεις εισροής και απορροής, καθώς και να μελετήσουν ροές γύρω από διάφορα σχήματα. Η συσκευή μπορεί να αναπαραστήσει τη διαρροή του νερού μέσα από το έδαφος και μπορεί να εξομοιώσει οποιαδήποτε διαδικασία που εκπληρώνει την εξίσωση του Laplace σε δυο διαστάσεις. Οι καθηγητές μπορούν επίσης να το χρησιμοποιήσουν για να αναπαραστήσουν ροές και από άλλους τομείς της μηχανικής, όπως η αεροδυναμική, η ηλεκτρολογία αλλά και η ροή θερμότητας.

Η συσκευή λειτουργεί με μια σταθερή παροχή νερού και κατάλληλο στραγκιχτήρα. Ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα κανάλι ανάμεσα από δυο πλάκες. Το νερό ρέει κατά μήκος του καναλιού με πολύ χαμηλό αριθμό Reynolds, έτσι οι δυνάμεις αδράνειας δεν είναι σημαντικές.

Ένα ρευστό με χρώμα ρέει μέσα από πολλές μικρές τρύπες και εγχέεται μέσα στην κύρια ροή του νερού και δημιουργεί ροϊκές γραμμές. Το αποσπώμενο τζάμι που βρίσκεται από πάνω έχει πάνω του χαραγμένες μαύρες γραμμές που συνθέτουν ένα πλέγμα ώστε να βοηθήσουν να αναλύσουμε το είδος της ροής. Η συσκευή συνοδεύεται από ένα φύλλο καουτσούκ από το οποίο μπορούν να κοπούν ποικίλα σχήματα για την κατασκευή εμποδίων. Όταν τοποθετηθούν ανάμεσα στα δυο τζάμια, οι φοιτητές μπορούν να παρατηρήσουν τις ροϊκές γραμμές γύρω από τα εμποδία. Επίσης βάνες και μια αντλία κενού επιτρέπουν στους φοιτητές να συνδέσουν δυο πηγές και δυο νεροχύτες.

Για την διεξαγωγή πειραμάτων, οι φοιτητές ανοίγουν την παροχή νερού και την βάνα του χρωματιστού υγρού όσο πρέπει ώστε να παραχθούν εύκολα, ορατές ροϊκές γραμμές. Τότε γυρνούν τις βάνες και επιτρέπουν στο νερό να ρέει από μια πηγή ή από ένα σημείο που αδειάζει το νερό σε ένα νεροχύτη ή ακόμα μπορεί να γίνουν και πολλοί άλλοι συνδυασμοί από ροές ή από αποστραγγιστικά σημεία. Η αντλία κενού ρουφάει το νερό και ενισχύει την ταχύτητα αποστράγγισης του νερού από τον νεροχύτη. (TecQuipment)

Για να ενσωματώσουν τα εμποδία ανάμεσα στα δύο τζάμια της συσκευής και να μελετήσουν το πώς επηρεάζονται οι ροϊκές γραμμές από αυτά, οι φοιτητές πρέπει να κόψουν τα σχήματα που επιθυμούν από το φύλλο του καουτσούκ που παρέχεται. Έπειτα τοποθετούν τα εμποδία ανάμεσα στα τζάμια της συσκευής και ανοίγουν την παροχή του νερού.



Εικόνα 9: Πείραμα οπτικοποίησης ροών σε δυο διαστάσεις με την εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 της TecQuipment. (TecQuipment)

Πειράματα και μελέτες

Μπορούν να διεκπεραιωθούν ποικίλα πειράματα οπτικοποίησης ροών σε δυο διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένου αποστραγγιστήρα και πηγής, με ροή γύρω από εμποδία όπως για παράδειγμα:

- Πηγές και αποστραγγιστήρες σε μια ομοιόμορφη ροή
- Ζεύγος σε μια ομοιόμορφη ροή
- Ροή γύρω από ένα δίσκο και μια αεροτομή

- Ροή μέσα από μια οπή και έναν σωλήνα
- Ροή μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας
- Η εξίσωση ορμής
- Συμπεριφορά στρωτής ροής για ροή ανάμεσα σε δυο παράλληλες πλάκες
- Έννοια της εξίσωσης της ταχύτητας
- Συμπεριφορές πιθανών ροών

Απαραίτητες ενέργειες

- Καθάρισμα, με την χρήση άφθονου νερού
- Πολύ καλό στέγνωμα

Συνθήκες λειτουργίας

Λειτουργικό περιβάλλον: εργαστήριο

Θερμοκρασία αποθήκευσης: από -25 °C έως +55 °C

Θερμοκρασία λειτουργίας: από +5 °C έως +40°C

Χαρακτηριστικά συσκευής H9

Διαστάσεις και βάρος: 720 mm x 520 mm x 470 mm και 18 kg

Διαστάσεις καναλιού: 300mm x 250 mm, βάθος 0,75 mm

2.3.2 Αρχή λειτουργίας συσκευής H9

Η εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 λειτουργεί με νερό από το δίκτυο ύδρευσης. Το νερό εισέρχεται στον κεντρικό σωλήνα της συσκευής στον οποίο είναι συνδεδεμένοι οι έξι σωλήνες που μεταφέρουν το νερό της παροχής στην επίπεδη και λεία πλάκα όπου πραγματοποιούνται τα πειράματα. Οι τέσσερις σωλήνες έχουν από μια βάνα ο καθένας, λίγο μετά από τον κεντρικό σωλήνα. Οι βάνες αυτές έχουν τρεις θέσεις, η πρώτη θέση επιτρέπει στο νερό να περνάει και να οδηγείται στο κέντρο της πλάκας όπου από μια πολύ μικρή τρύπα αναβλύζει στην πλάκα στο μέσο της ροής, η δεύτερη θέση είναι αντίστροφη της πρώτης, καθώς από την αντίστοιχη τρύπα του κάθε σωλήνα στο κέντρο της πλάκας το νερό αποστραγγίζεται και ο σωλήνας το οδηγεί κατευθείαν εκτός της συσκευής, στο μέσο που έχουμε επιλέξει για αποστράγγιση, στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε τον νεροχύτη του εργαστηρίου. Άρα στην δεύτερη θέση το νερό δεν πηγαίνει στην πλάκα από τον κεντρικό σωλήνα παροχής, αλλά αποστραγγίζεται από την πλάκα. Η τρίτη θέση δεν επιτρέπει στο νερό να περνάει καθόλου κι έτσι το νερό δεν αναβλύζει στο κέντρο της πλάκας ούτε αποστραγγίζεται από την πλάκα, έτσι αυτοί οι τέσσερις σωλήνες κλείνουν. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέξαμε την τρίτη θέση καθώς δεν θέλαμε να έχουμε παροχή, ούτε αποστράγγιση νερού στο κέντρο της πλάκας γιατί θα διαστρέβλωνε την στρωτή ροή που επιθυμούσαμε. Οι άλλοι δυο σωλήνες οι οποίοι βρίσκονται στο κέντρο του κεντρικού σωλήνα παροχής δεν έχουν βάνες και έτσι είναι συνεχώς ανοιχτοί και επιτρέπουν συνέχεια στο νερό να περνάει προς την πλάκα. Οι σωλήνες αυτοί οδηγούν το νερό στην αρχή της πλάκας σε ένα ειδικό αυλάκι όπου το νερό αναβλύζει μέσα σε αυτό. Το αυλάκι γεμίζοντας κατανέμει ομοιόμορφα το νερό σε όλο το πλάτος της πλάκας ώστε να έχουμε μια στρωτή και ελεύθερη

ροή σε όλο το πλάτος της πλάκας. Έπειτα το νερό ρέει πάνω στην πλάκα με ελεύθερη ροή η οποία προκαλείται από την κλίση που έχουμε δώσει στην συσκευή μέσω των ποδιών του τραπέζιου των οποίων το μήκος μεταβάλλεται. Τέλος το νερό αφού διασχίσει την πλάκα μπαίνει σε άλλο ένα αυλάκι το οποίο βρίσκεται στο τέλος της πλάκας και αποστραγγίζει το νερό μέσα από τρύπες που έχει στον πυθμένα του και το οδηγεί στον νεροχύτη.

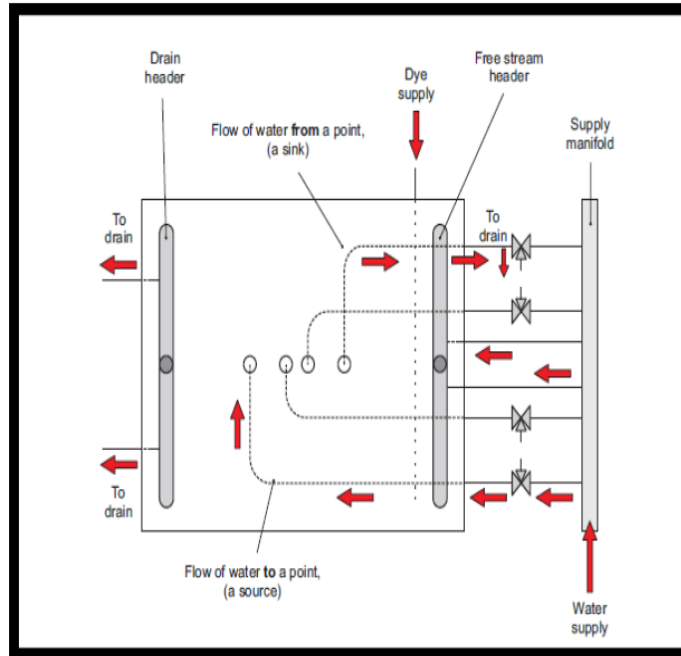
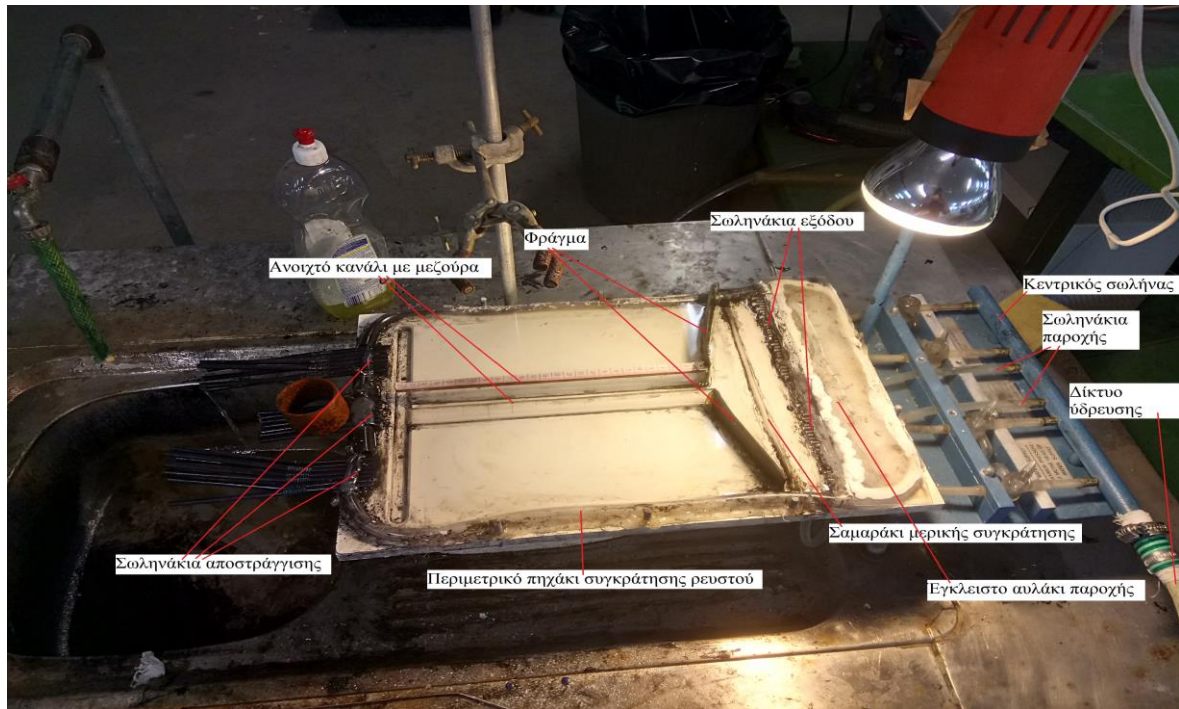


Figure 1 – Flow Directions

Εικόνα 10: η κατεύθυνση του νερού μέσα στην εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9. (ÜMİT POYRAZ)

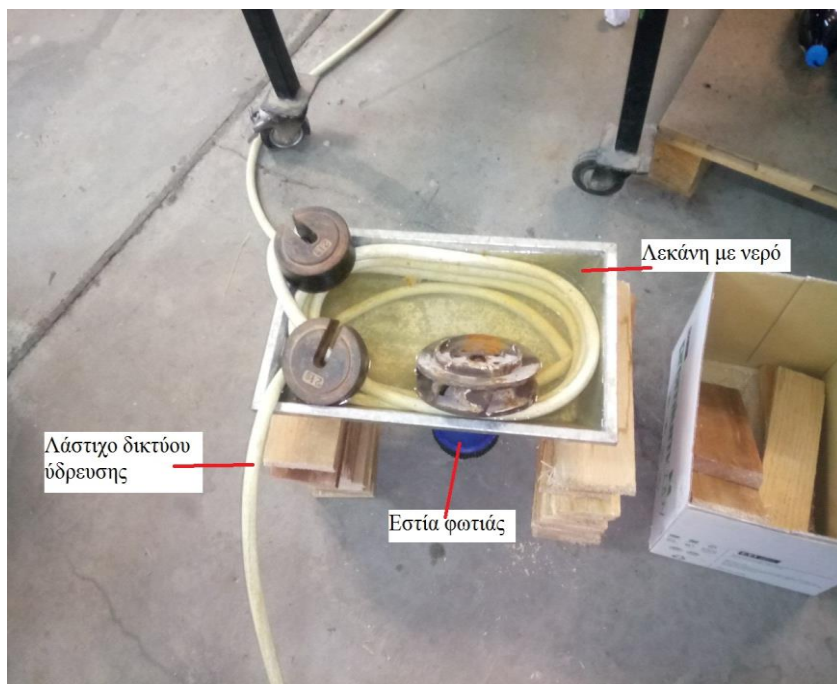
Βέβαια εμείς για να διεκπεραιώσουμε τα πειράματά μας χρειάστηκε να κάνουμε κάποιες μετατροπές στην συσκευή. Για αρχή αφαιρέσαμε το τζάμι γιατί δεν ήταν υποχρεωτικό για τα πειράματά μας και εμπόδιζε στο να φτιάξουμε το κανάλι μας και να τοποθετήσουμε τον μαγνήτη μας αλλά και γιατί λόγω της πυκνότητας του σιδηρορευστού που είχαμε φτιάξει έπρεπε να το ρίχνουμε από πάνω με σύριγγα γιατί δεν μπορούσε να περάσει μέσα από τις τρύπες που είχε η συσκευή για το χρώμα. Κολλήσαμε ένα πηγάκι περιμετρικά της πλάκας για να συγκρατεί το νερό και περικλείσαμε το αυλάκι της παροχής ώστε να δημιουργηθεί ένας χώρος για να μπαίνει το νερό πριν την πλάκα και να πέφτει η πίεση της παροχής. Το νερό από εκεί βγαίνει μέσα από πολλά μικρά σωληνάκια που βρίσκονται σε όλο το πλάτος της πλάκας. Τοποθετήσαμε στον πάτο της πλάκας ένα χαμηλό σαμαράκι σε όλο το πλάτος της πλάκας περίπου δύομισή εκατοστά μετά τα σωληνάκια ώστε να συγκρατεί λίγο το νερό και να περνάει από πάνω του ομοιόμορφα σαν φιλμ για να κάνει την ροή στρωτή και δισδιάστατη. Στο τέλος της πλάκας για την αποστράγγιση του νερού χρησιμοποιήσαμε πολλά σωληνάκια στο επίπεδο της πλάκας και σε όλο σχεδόν το πλάτος της και τα περισσότερα από αυτά είχαν ρυθμιζόμενη κλίση ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε την ταχύτητα της ροής.

Για τα πειράματά μας φτιάξαμε ένα ανοιχτό κανάλι μήκους εικοσιπέντε εκατοστών και πλάτους δύο εκατοστών και λίγο πριν το κανάλι κολλήσαμε ένα φράγμα στην πλάκα ώστε να περνάει όλη η παροχή του νερού μέσα από το κανάλι.



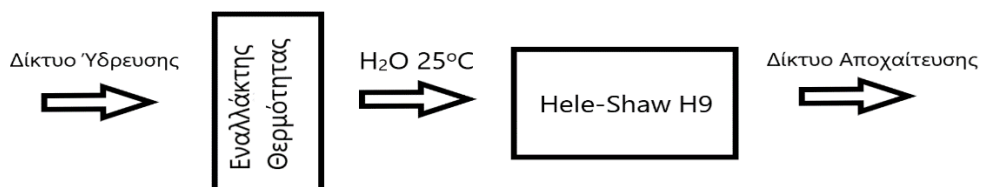
Εικόνα 11: Η εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 που χρησιμοποιήσαμε.

Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας που είχε το νερό από το δίκτυο ύδρευσης φτιάξαμε έναν αυτοσχέδιο εναλλάκτη θερμότητας. Βάλαμε σε μια υπερυψωμένη μεταλλική σκάφη νερό και από κάτω της τοποθετήσαμε μια εστία φωτιάς ώστε να θερμανθεί το νερό της μεταλλικής σκάφης. Πέρασαμε μέσα από το ζεστό νερό το λάστιχο της παροχής του δικτύου κάνοντάς το περίπου τρεις περιελίξεις ώστε να θερμανθεί και αυτό με τη σειρά του. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το νερό που εισερχόταν από το σύστημα ύδρευσης στην έξοδο του αυτοσχέδιου εναλλάκτη να έχει περίπου 25°C που ήταν μία επιθυμητή θερμοκρασία για την πραγματοποίηση των πειραμάτων.



Εικόνα 12: Ο αυτοσχέδιος εναλλάκτης που φτιάξαμε.

2.4 Πειραματική διαδικασία



Εικόνα 13: Διάγραμμα πειραματικού κυκλώματος

Συνδεσμολογία Κυκλώματος

Το νερό εισέρχεται από το δίκτυο κεντρικής ύδρευσης με σταθερή-χαμηλή παροχή σε έναν αυτοσχέδιο εναλλάκτη θερμότητας. Στην είσοδο του εναλλάκτη το νερό που εισέρχεται έχει 13οC και στην έξοδο του έχει 20οC - 23οC, αναλόγως και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Διαδικασία-Προετοιμασία Πειράματος

Αφού πλέον το νερό εισέρχεται στη συσκευή HELE SHAW σε μια επιθυμητή θερμοκρασία, το αφήνουμε να τρέξει επάνω στη πλάκα με σκοπό να ρυθμίσουμε την παροχή και την ταχύτητα του. Η παροχή θεωρείται σταθερή άρα $Q_1=Q_2$ εφόσον κανείς δεν μεταβάλλει την διάνοιξη της βάνας, η ταχύτητα του ρευστού είναι σταθερή και ίση στην είσοδο και την έξοδο του καναλιού διότι δεν υπάρχει κάποια διαφορά στην γεωμετρική επιφάνεια της εισόδου με της εξόδου συνεπώς $A_1=A_2$ και τέλος η πυκνότητα είναι η ίδια γιατί πρόκειται για το ίδιο ρευστό σε όλο το μήκος του καναλιού. Οπότε από την εξίσωση συνέχειας $Q_1=Q_2 \Rightarrow \rho * V_1 * A_1 = \rho * V_2 * A_2 \Rightarrow$ όπου $A_1 = A_2$ οπότε $V_1 = V_2$ αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα είναι σταθερή στην είσοδο και στην έξοδο. Για να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ρευστού ρίχναμε μία σταγόνα χρώματος μέσω μίας σύριγγας στην είσοδο του καναλιού, το οποίο είχε τοποθετηθεί επάνω στην πλάκα. Χρονομετρούσαμε πόση ώρα χρειαζόταν για να εξέλθει από το κανάλι και ύστερα από τη σχέση $x=V * t$ υπολογίζαμε την ταχύτητα του ρευστού(νερού).

Η απόσταση x είναι γνωστή $x = 0.20 \text{ m}$

Ο χρόνος που χρειάζεται για να διανύσει το κανάλι είναι γνωστός $t = 33.3 \text{ sec}$ ύστερα από χρονομέτρηση.

Επομένως η ταχύτητα που προκύπτει από τη σχέση της ευθύγραμμα ομαλής κίνησης είναι: $x = V * t \Rightarrow V = 0.20 \text{ m} / 33.3 \text{ sec} \Rightarrow V = 6 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$



Εικόνα 14: Υπολογισμός ταχύτητας με την χρήση σταγόνας χρώματος

Αφού υπολογίσαμε την ταχύτητα μπορούμε να υπολογίσουμε και την παροχή του νερού από την εξίσωση συνέχειας: $Q = V * A$ όπου

Q είναι η παροχή σε m^3/sec

V είναι η ταχύτητα σε m/sec (Έχει υπολογιστεί παραπάνω $V = 6 \times 10^{-3} m/sec$)

A είναι η επιφάνεια σε m^2 για να την υπολογίσουμε αρκεί να υπολογίσουμε το πλάτος του καναλιού όπου είναι δεδομένο $\alpha = 0.025m$ και το ύψος του νερού $\beta = 0.005m$

$$A = \alpha \times \beta \Rightarrow A = 125 \times 10^{-4} m^2$$

Οπότε η παροχή που προκύπτει είναι $Q = V \times A \Rightarrow Q = 7.5 \times 10^{-7} m^3/sec$

Με δεδομένα την ταχύτητα (V), επιφάνεια (A), πυκνότητα (ρ) και ιξώδες (μ) του νερού να είναι γνωστά από τους υπολογισμούς μας και από τη βιβλιογραφία μπορούμε να υπολογίσουμε και τον αριθμό Reynolds από τη σχέση:

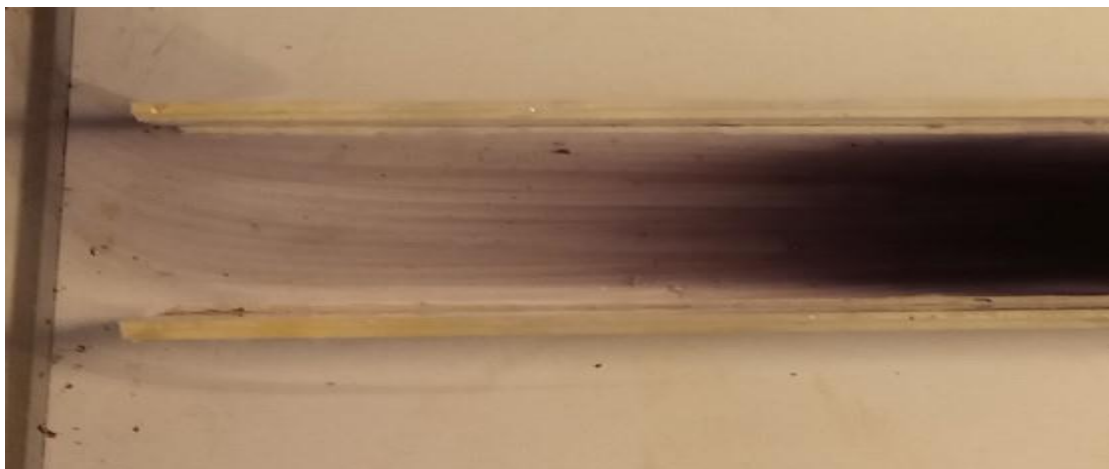
$$Re = \frac{u * d}{\nu}$$

Για να έχουμε στρωτή ροή θα πρέπει ο αριθμός Reynolds να είναι μικρότερος από 2000.

$$Re = \frac{7.5 \times 10^{-7} m/s * 0.165m}{1 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 0.165$$

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με το χρώμα αλλά αυτή τη φορά ρίχνουμε μεγαλύτερη ποσότητα για να δημιουργηθούν ροϊκές γραμμές και να επιβεβαιώσουν ότι η ροή είναι στρωτή οπτικά και δεν δημιουργούνται φαινόμενα τυρβώδους ροής.



Εικόνα 15: Στρωτή ροή.

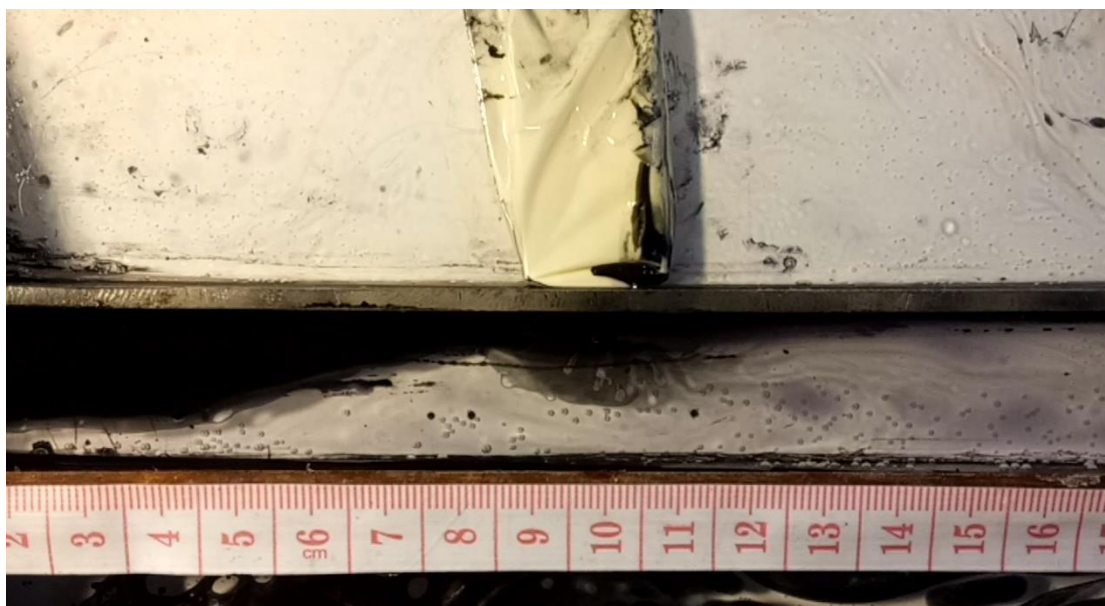
Διαδικασία-Πείραμα

Κατά τη διαδικασία των πειραμάτων εξετάσαμε κυρίως δύο περιπτώσεις

1. Στη πρώτη περίπτωση ο μαγνήτης τοποθετείται κάθετα στο μήκος του καναλιού.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα (15) από τα πειράματα, κατά την είσοδο του σιδηρορευστού στο κανάλι δημιουργούνται φαινόμενα τυρβώδους ροής τα οποία εξομαλύνονται καθώς το ρευστό ταξιδεύει μέσα στο κανάλι προς την έξοδο.

Στο σημείο που είναι τοποθετημένος ο μαγνήτης μας, περίπου στα μέσα του καναλιού παρατηρούνται τα εξής: Αρχικά ένα μέρος του σιδηρορευστού που συναντάει πρώτο το μαγνητικό πεδίο που έχει δημιουργηθεί, λόγω του μαγνήτη, ελκύεται ακαριαία.

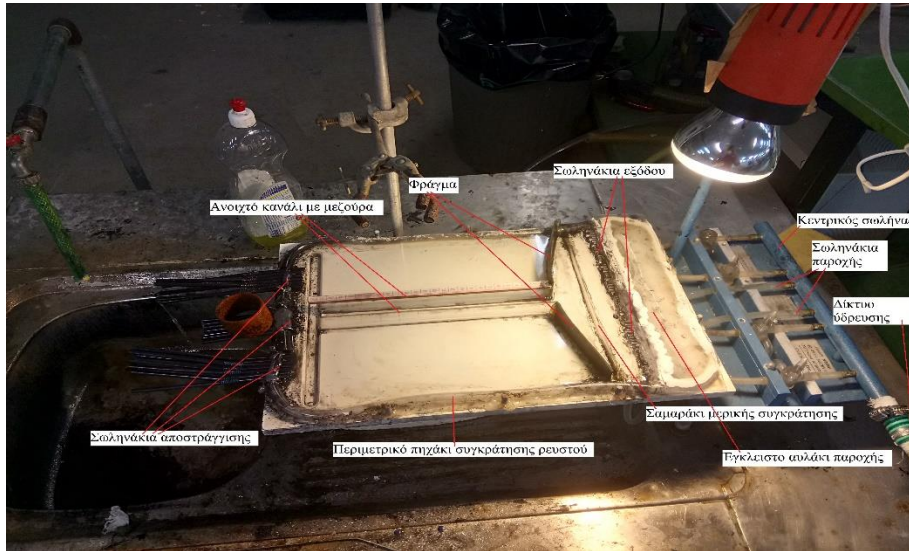


Εικόνα 16: Συμπεριφορά ρευστού όταν συναντάει το μαγνήτη.

Στη συνέχεια, παρατηρείται συσσώρευση του σιδηρορευστού στο πόλο του μαγνήτη, έως ότου φτάσει σε ένα σημείο κορεσμού όπου δεν μπορεί να συσσωρευθεί κι άλλο ρευστό και καταλήγει να παρασύρεται από το νερό που ταξιδεύει κατά το μήκος του καναλιού. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνέχεια, το σιδηρορευστό ελκύεται από τον πόλο και ύστερα παρασύρεται από το νερό και κάποιο άλλο μέρος του σιδηρορευστού που ακολουθεί παίρνει τη θέση του στον πόλο του μαγνήτη.

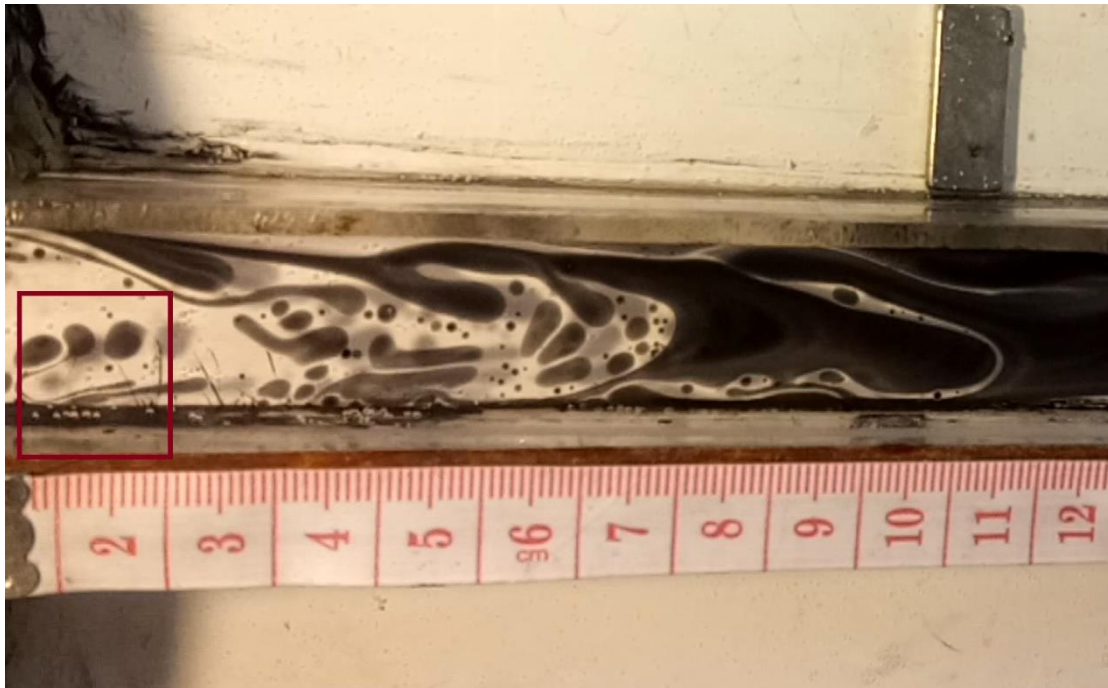
Παρατηρήσεις

Παρατηρείται και στις δύο περιπτώσεις ότι κατά την είσοδο του ρευστού στο κανάλι δημιουργούνται φαινόμενα ανώμαλης ροής. Αυτό συμβαίνει λόγω της στένωσης του καναλιού.



Εικόνα 17: Η εργαστηριακή συσκευή Hele-Shaw H9 που χρησιμοποιήσαμε.

Κατά την είσοδο του ρευστού στο κανάλι η ταχύτητα τετραπλασιάζεται. Αντίστοιχα λόγω της κλίσης των τοιχωμάτων σχεδόν 75 μοίρες στην ένωση με το κανάλι οι τοπικές απώλειες αυξάνονται και σε συνέχεια αυξάνεται και ο αριθμός Reynolds και έτσι δημιουργείται η τυρβώδης ροή κατά την είσοδο στο κανάλι.



Εικόνα 18: Περιοχή τυρβώδης ροής κατά την είσοδο στο κανάλι.

Κάθετα τοποθετημένος μαγνήτης

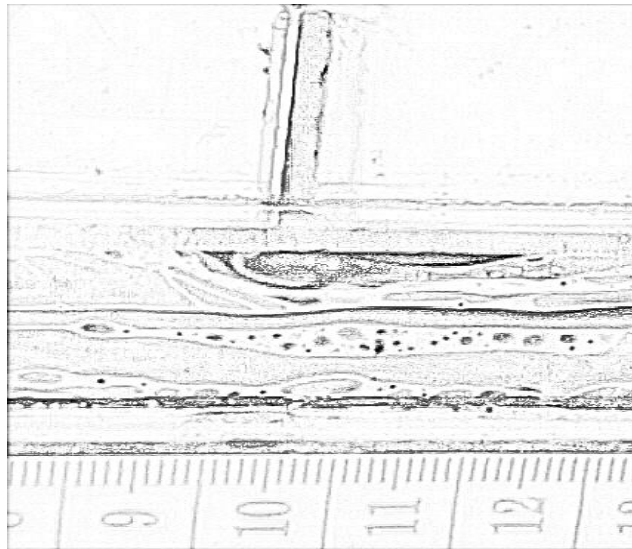
Στη περίπτωση που ο μαγνήτης είναι κάθετα τοποθετημένος στο κανάλι παρατηρείται ότι το σιδηρορευστό που μαγνητίζεται βρίσκεται σε μικρότερη ποσότητα συγκριτικά με όταν ο μαγνήτης είναι τοποθετημένος παράλληλα στο κανάλι. Αυτό συμβαίνει επειδή το ρευστό που συναντάει το μαγνήτη βρίσκει μεγαλύτερη επιφάνεια άρα προσελκύει και περισσότερη ποσότητα από το σιδηρορευστό.

Κεφάλαιο 3^ο

Αποτελέσματα – Παρατηρήσεις

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων, τα φαινόμενα τα οποία παρατηρήσαμε δεν ήταν σταθερά και συνεχόμενα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα φαινόμενα αυτά δεν φαίνεται να έχουν κάποια σχέση με την ταχύτητα, την θερμοκρασία και την παροχή του νερού καθώς σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος οι συνθήκες αυτές ήταν πάντα ίδιες. Πολύ πιθανόν για κάποια από αυτά να ευθύνεται ο τρόπος που τοποθετούσαμε τον μαγνήτη στα τοιχώματα του καναλιού. Εξετάσαμε δύο περιπτώσεις, στην πρώτη περίπτωση ο μαγνήτης εφαπτόταν στο τοίχωμα του καναλιού με την πιο μικρή του επιφάνεια και ενώ βρισκόταν κάθετα στο τραπέζι και στην δεύτερη περίπτωση εφαπτόταν στο τοίχωμα του καναλιού με την μεγαλύτερη του επιφάνεια και ενώ και πάλι βρισκόταν κάθετα στο τραπέζι. Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάσαμε ο μαγνήτης ήταν τοποθετημένος στην ίδια θέση κατά μήκος του καναλιού.

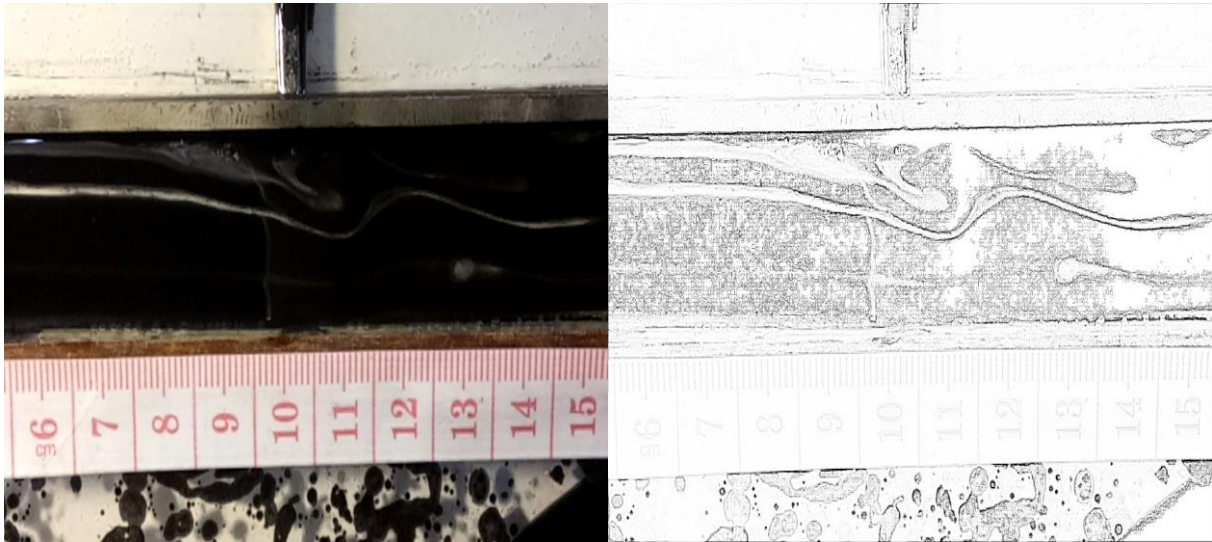
3.1 Περίπτωση 1^η



Εικόνα 19

Σε αυτήν την εικόνα παρατηρούμε όπως και αναμέναμε την δημιουργία ενός στροβίλου στο εκατοστό χιλιοστό του καναλιού εκεί που ξεκινά ο μαγνήτης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων όπως θα παραθέσουμε και παρακάτω το πιο σύνηθες φαινόμενο που παρατηρήσαμε ήταν ο σχηματισμός στροβίλων οι οποίοι είχαν βέβαια σύντομη διάρκεια ζωής. Όπως έρεε το υγρό μας σε κάποια σημεία όπου η συγκέντρωση του φερρίτη ήταν μεγαλύτερη το μαγνητικό πεδίο τα τραβούσε απότομα προς τον μαγνήτη με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κάτι σαν «γλώσσες». Οι «γλώσσες» αυτές καθώς πλησίαζαν προς τον μαγνήτη και καθώς το υγρό απομακρυνόταν από αυτόν, συνεπώς και η βάση της κάθε «γλώσσας» δημιουργούσαν αυτούς τους στροβίλους. Η κορυφή της κάθε «γλώσσας» συγκρούταν κάθε φορά με το τοίχωμα του καναλιού στην θέση όπου βρισκόταν ο μαγνήτης στην προσπάθεια του μαγνητικού ρευστού να φτάσει τον μαγνήτη. Ένα μέρος του ρευστού

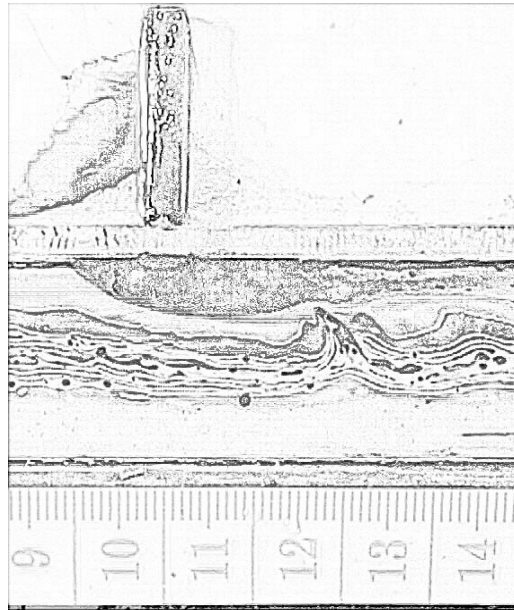
συγκρατείτο από τον μαγνήτη. Ο στρόβιλος στη συνέχεια παρασυρόταν από την ροή διατηρώντας στο περίπου την μορφή του χωρίς όμως να περιστρέφεται ιδιαίτερα.



Εικόνα 20

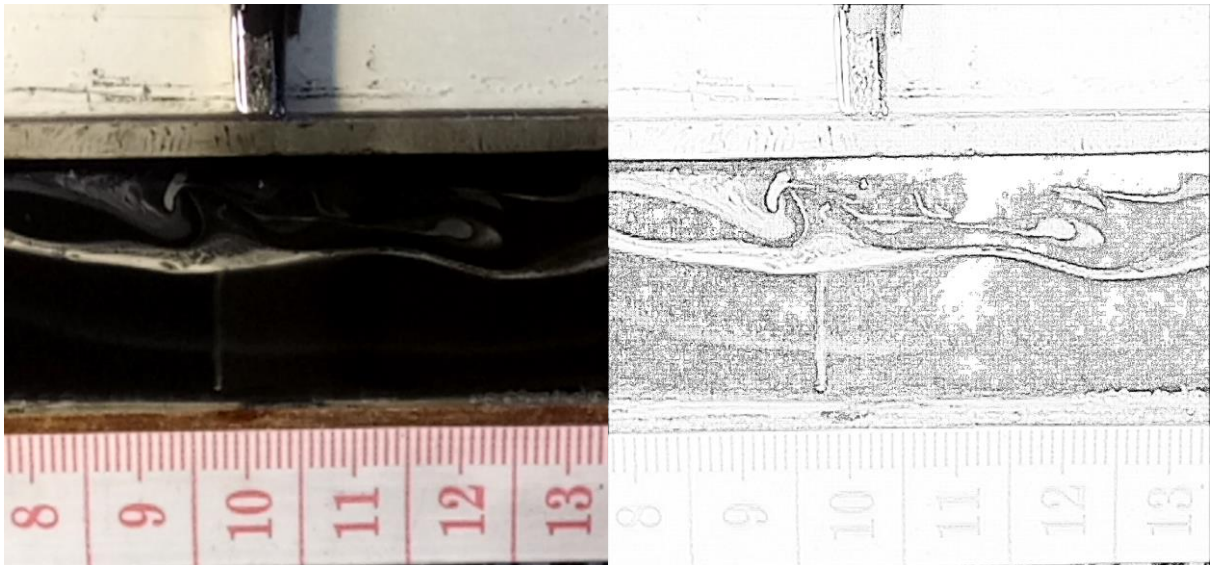
Σε αυτήν την εικόνα παρατηρούμε την δημιουργία ενός στρόβιλου από το εκατοστό έως και το εκατοστό δέκατο χιλιοστό του καναλιού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούμε ότι ο στρόβιλος δεν δημιουργείται τόσο κοντά στο τοίχωμα του καναλιού και αντ' αυτού δημιουργείται περίπου στην μέση του καναλιού. Αυτό συμβαίνει γιατί το συγκεκριμένο στιγμιότυπο συμβαίνει αρκετά λεπτά μετά από το προηγούμενο και στο συγκεκριμένο σημείο όπου βρίσκεται ο μαγνήτης έχει συγκρατήσει αρκετό μαγνητικό ρευστό το οποίο λειτουργεί σαν εμπόδιο στην ροή μας. Το συσσωρευμένο αυτό υγρό παραμένει ακίνητο στο συγκεκριμένο σημείο λόγω του ισχυρού μαγνητικού πεδίου στο σημείο αυτό. Με την συχνή επανάληψη του φαινομένου αυτού, όπου οι «γλώσσες» χτύπαγαν στο τοίχωμα του καναλιού και δημιουργούσαν τους στρόβιλους και ο μαγνήτης συγκρατούσε κάποια ποσότητα μαγνητικού ρευστού και το ρευστό αυτό παρέμεινε ακίνητο και παγιδευμένο, το μαγνητικό πεδίο έφτανε σε ένα σημείο όπου δεν μπορούσε να συγκρατήσει άλλο μαγνητικό ρευστό. Ήταν σαν να έφτανε σε ένα σημείο κορεσμού. Και μετά τον κορεσμό ο μαγνήτης συνέχιζε να μαγνητίζει το μαγνητικό ρευστό μας, όμως τότε την ώρα που οι «γλώσσες» συγκρούονταν με το ακινητοποιημένο υγρό και ο μαγνήτης τραβούσε το «νέο» υγρό ώστε να το ενσωματώσει και αυτό στο ήδη ακινητοποιημένο υγρό, ο μαγνήτης αδυνατούσε να συγκρατήσει άλλο κι έτσι ταυτόχρονα με την δέσμευση του νέου, απελευθέρωνε ποσότητα από το παλιό ακινητοποιημένο υγρό.

Μετά από αρκετό χρόνο παρατηρούσαμε ότι η ροή του νερού «ξέπλενε» το δεσμευμένο μαγνητικό υγρό και σαν να γινόταν κάποιος διαχωρισμός του σιδηρορευστού και του χρώματός του. Ήταν λες και ο μαγνήτης «ξέρναγε» το χρώμα.



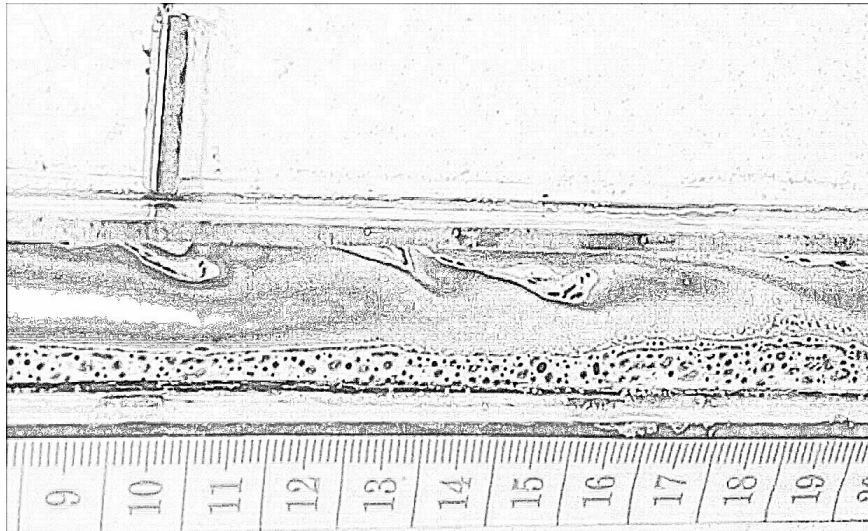
Εικόνα 21

Στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο παρατηρείται πολύ εύκολα το δεσμευμένο υγρό από το μαγνητικό πεδίο. Φαίνεται ότι επηρεάζει την ροή του σιδηρορευστού. Από το εκατοστό εικοστό χιλιοστό περίπου του καναλιού παρατηρείται και το χρώμα που αποδεσμεύεται από το σιδηρορευστό.



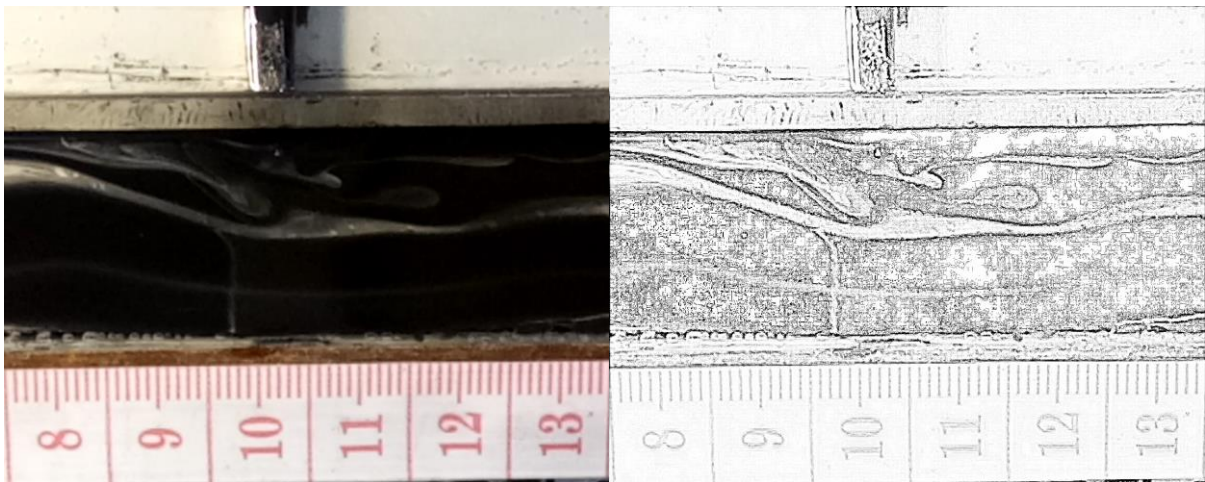
Εικόνα 22

Στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο παρατηρούμε έναν στρόβιλο, περίπου στο ενενηκοστό πέμπτο χιλιοστό του καναλιού μας, ο οποίος δημιουργείται αρκετά πριν τον μαγνήτη. Εδώ μπορούμε να παρατηρήσουμε το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη καθώς ο στρόβιλος άρχισε να δημιουργείται περίπου δέκα χιλιοστά πριν από τον μαγνήτη. Επίσης διακρίνεται και ένας ακόμα στρόβιλος ο οποίος έχει παρασυρθεί στο εκατοστό εικοστό χιλιοστό του καναλιού μας.



Εικόνα 23

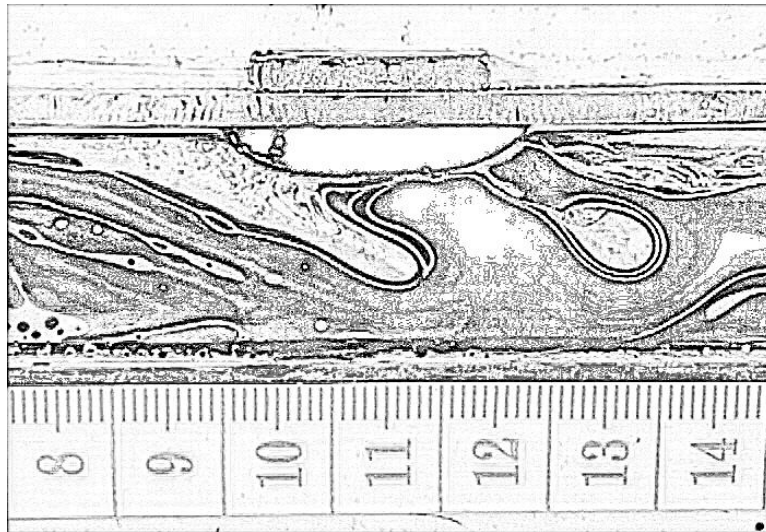
Στην συγκεκριμένη φωτογραφία παρατηρούμε την δημιουργία ενός στροβίλου ακριβώς στην θέση όπου βρίσκεται ο μαγνήτης δηλαδή στο εκατοστό χιλιοστό του καναλιού. Επίσης παρατηρούμε δύο ακόμα στροβίλους οι οποίοι έχουν παρασυρθεί από την ροή μας στο εκατοστό τριακοστό χιλιοστό και στο εκατοστό πενηκοστό πέμπτο χιλιοστό του καναλιού. Όπως φαίνεται κι από την φωτογραφία οι στροβίλοι μετά την δημιουργία τους καθώς φεύγουν από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου παρασύρονται από την ροή. Το σχήμα τους και η μορφή τους αλλάζουν, δέχονται μια παραμόρφωση, καθώς επίσης και η περιστροφή τους ελαττώνεται φτάνοντας ακόμα και στο να σταματήσει εντελώς.



Εικόνα 24

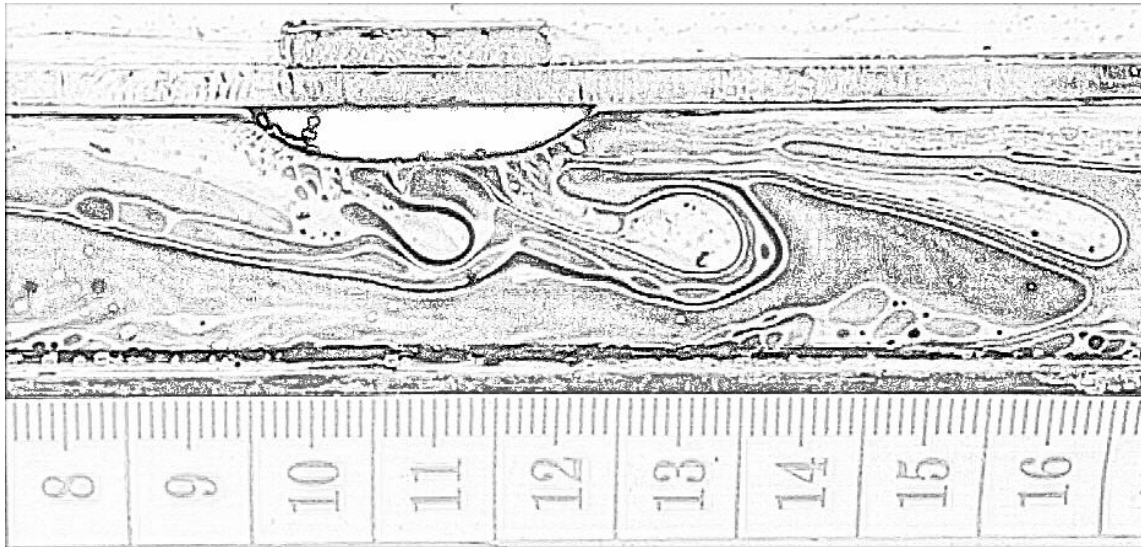
Στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο παρατηρούμε κάτι εντυπωσιακό. Παρατηρούμε την δημιουργία τριών στροβίλων σχεδόν ταυτόχρονα. Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα δημιουργείται ένας πρώτος στροβίλος στο εκατοστό χιλιοστό του καναλιού, ένας ακόμα μικρότερος σε έκταση ο οποίος βρίσκεται ελαφρώς πιο κοντά στον μαγνήτη στο εκατοστό όγδοο χιλιοστό και ακόμα ένας τρίτος στο εκατοστό δέκατο έβδομο χιλιοστό του καναλιού. Εδώ είναι εμφανές το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη μας και είναι εντυπωσιακό το ότι είναι σε θέση να επηρεάζει την ροή του μαγνητικού μας ρευστού ακόμα και πάνω από δέκα χιλιοστά μετά τον μαγνήτη.

3.2 Περίπτωση 2^η



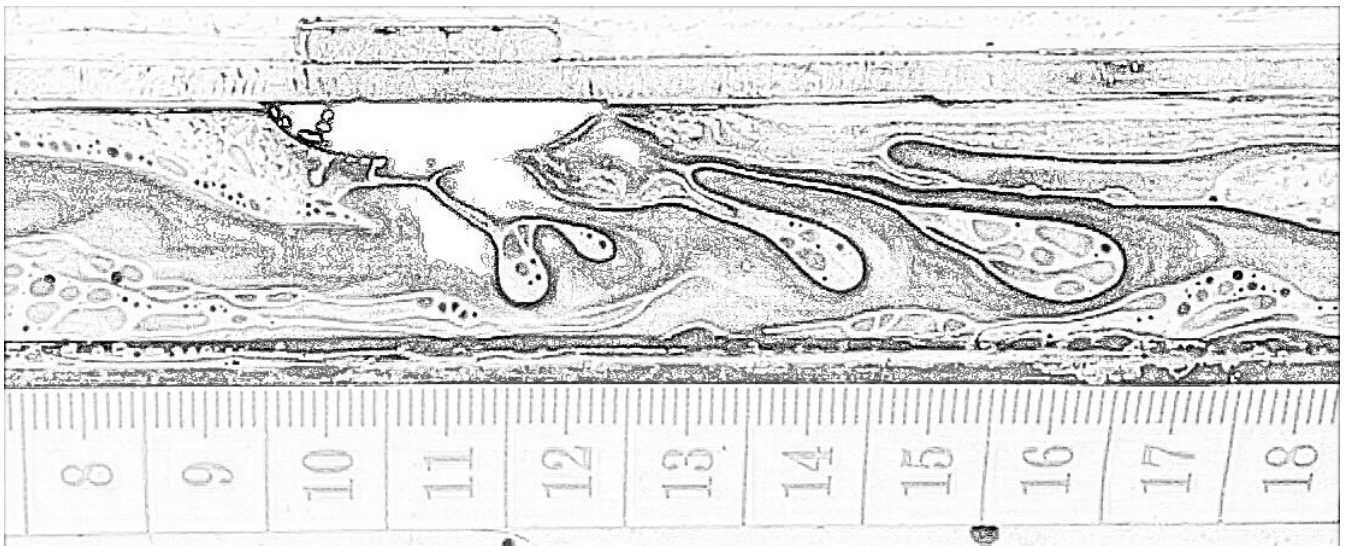
Εικόνα 25

Σε αυτήν την περίπτωση, την δεύτερη περίπτωση, όπου η τοποθέτηση του μαγνήτη έχει αλλάξει, παρατηρήσαμε περίπου τα ίδια φαινόμενα στην πλειονότητα τους όμως λίγο πιο έντονα και σε λίγο μεγαλύτερη κλίμακα. Στο στιγμιότυπο αυτό παρατηρούμε την δημιουργία δύο στρόβιλων. Ο ένας δημιουργείται στο εκατοστό δέκατο χιλιοστό του καναλιού, ενώ ο δεύτερος στο εκατοστό τριακοστό χιλιοστό περίπου του καναλιού μας. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε οι στρόβιλοι είναι εμφανώς πιο μεγάλοι από την πρώτη περίπτωση, το σχήμα τους είναι πιο συμμετρικό και στρογγυλεμένο. Επίσης παρατηρούμε ότι οι στρόβιλοι δημιουργούνται σε μεγαλύτερη απόσταση από τον μαγνήτη σε σχέση με την πρώτη περίπτωση. Σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος με τον μαγνήτη τοποθετημένο με αυτόν τον τρόπο παρατηρήσαμε ότι οι στρόβιλοι δημιουργούνταν σε μεγαλύτερη κάθετη απόσταση από τον μαγνήτη σε σχέση με την πρώτη περίπτωση καθώς και όλοι οι στρόβιλοι ήταν μεγαλύτεροι και «ωραιότεροι». Σε αυτήν την εικόνα είναι επίσης εμφανές και το ακινητοποιημένο μαγνητικό ρευστό το οποίο κρατά σταθερά ο μαγνήτης και φαίνεται με έντονο λευκό χρώμα. Όπως φαίνεται είναι πολύ μεγαλύτερο σε όγκο και ξεπερνάει σε μήκος ακόμα και αυτό του μαγνήτη. Τα φαινόμενα που παρατηρούμε εδώ καθώς και αυτά που θα παραθέσουμε στην συνέχεια είναι τα ίδια περίπου με την πρώτη περίπτωση, όμως όπως προείπαμε είναι πολύ πιο έντονα. Αυτό συμβαίνει γιατί με αυτήν την θέση του μαγνήτη το μαγνητικό του πεδίο είναι πολύ πιο έντονο και πιο μεγάλο σε έκταση και έτσι επηρεάζει μεγαλύτερη έκταση μέσα στο κανάλι.



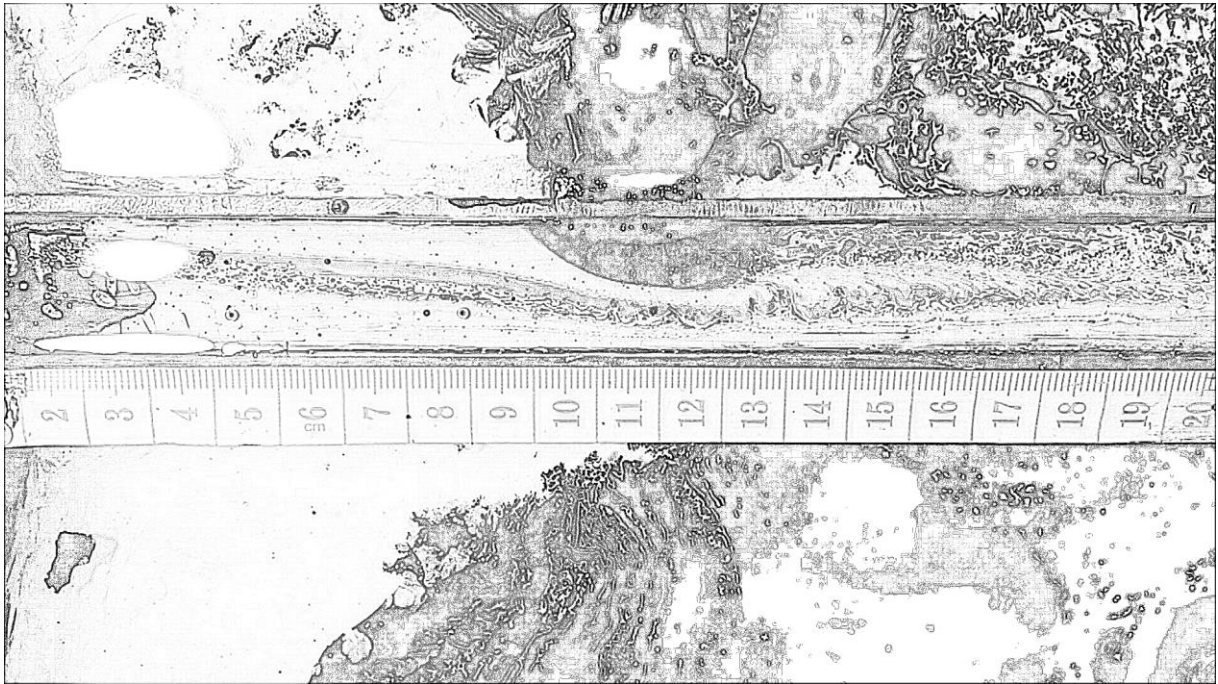
Εικόνα 26

Σε αυτήν την εικόνα παρατηρούμε επίσης στρόβιλους οι οποίοι όπως είπαμε και παραπάνω είναι εμφανώς μεγαλύτεροι σε έκταση.



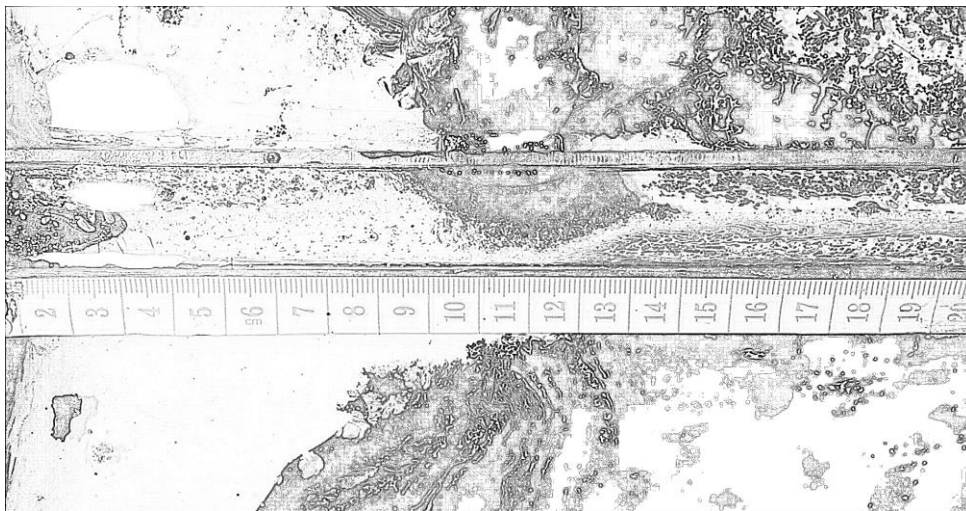
Εικόνα 27

Σε αυτήν την εικόνα παρατηρούμε επίσης στρόβιλους. Σε αυτό το στιγμιότυπο όμως παρατηρούμε και κάτι ιδιαίτερο. Στον στρόβιλο που βρίσκεται στο εκατοστό εικοστό χιλιοστό του καναλιού παρατηρούμε ότι δημιουργείται στρόβιλος μέσα στον στρόβιλο και φαίνεται σαν να διχοτομείται ο αρχικός στρόβιλος.

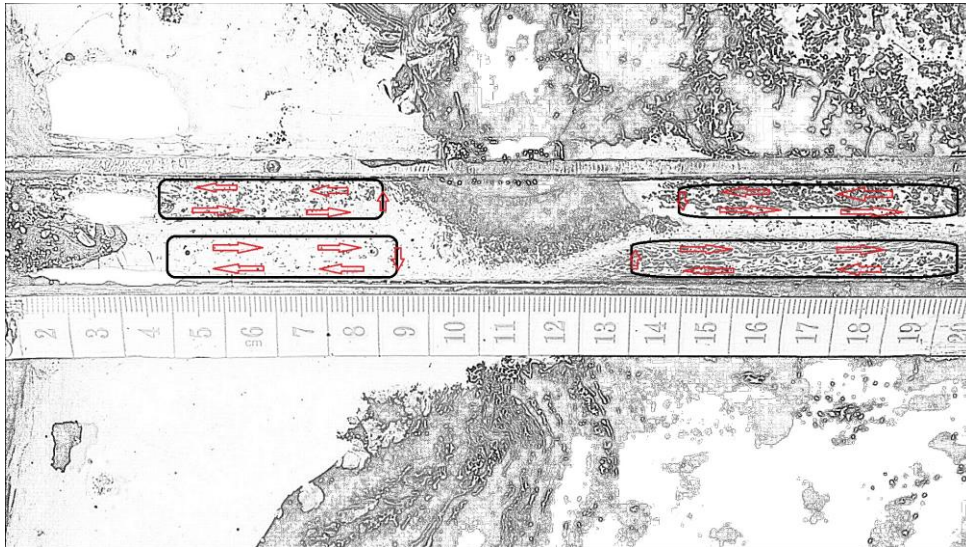


Εικόνα 28

Σε αυτό το στιγμιότυπο το οποίο είναι τραβηγμένο προς το τέλος του πειράματος παρατηρούμε την έκταση του παγιδευμένου σιδηρορευστού μας. Όπως φαίνεται είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό της πρώτης περίπτωσης. Επίσης φαίνεται και η ανακύκλωση που κάνει το ρευστό από το εμπόδιο του παγιδευμένου σιδηρορευστού και δεξιά. Λόγω του μεγάλου όγκου του παγιδευμένου μαγνητικού ρευστού είχε δημιουργηθεί μια μεγάλη στένωση ανάμεσα σε αυτό εμπόδιο και το κάτω τοίχωμα του καναλιού με αποτέλεσμα στο σημείο αυτό η ροή μας να αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα.

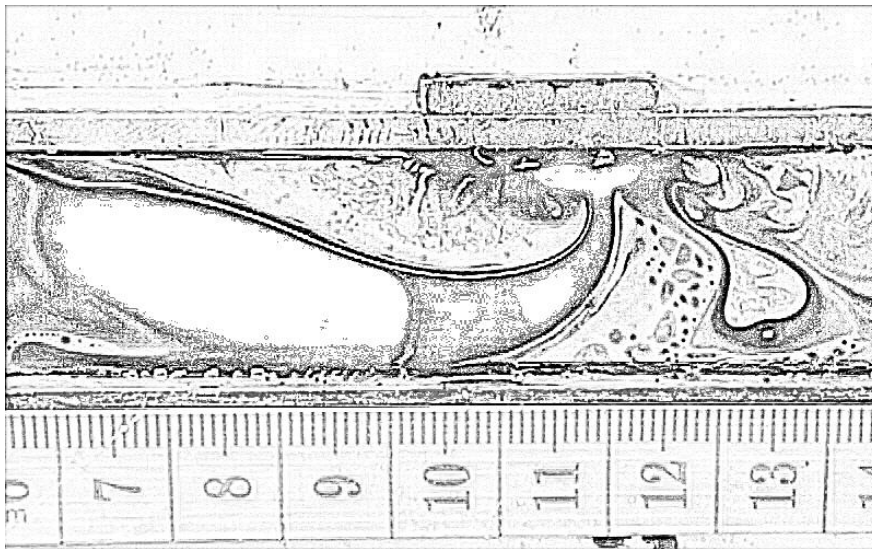


Εικόνα 29



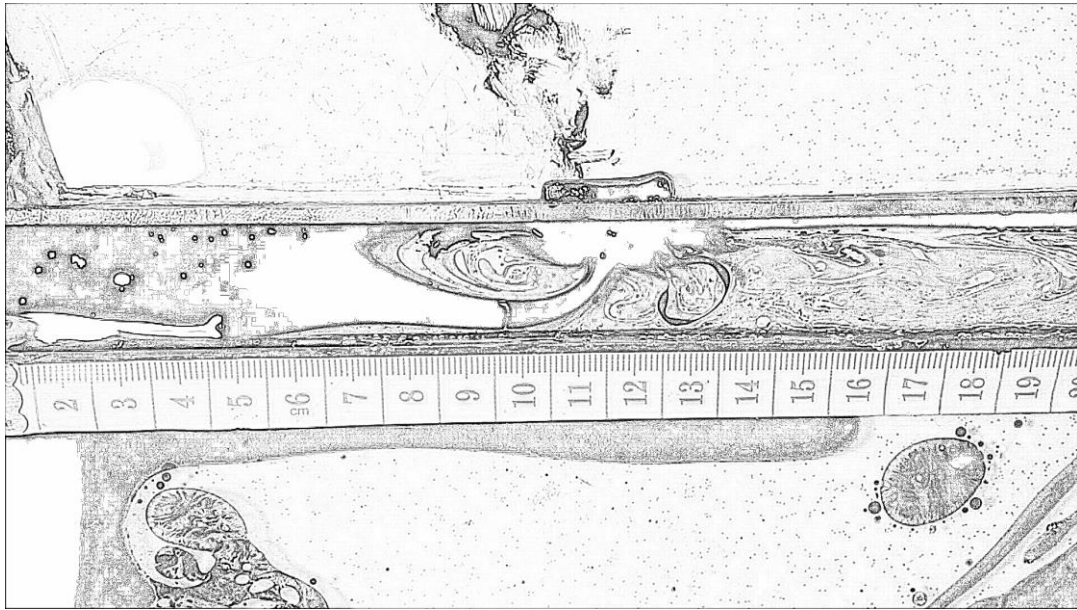
Εικόνα 30

Στις παραπάνω φωτογραφίες οι οποίες είναι τραβηγμένες σχεδόν στο τέλος του πειράματός μας παρατηρούμε τον όγκο του παγιδευμένου σιδηρορευστού ο οποίος είναι ακόμα μεγαλύτερος και έχει σταματήσει την ροή μας και έτσι έχουν δημιουργηθεί τέσσερις ξεχωριστές ροές ανακύκλωσης με φορά που φαίνεται στην δεύτερη εικόνα.



Εικόνα 31

Το συγκεκριμένο στιγμιότυπο είναι τραβηγμένο στην αρχή του πειράματός μας και ο μαγνήτης μας δεν έχει εγκλωβίσει καθόλου σιδηρορευστό οπότε το μαγνητικό πεδίο είναι πολύ ισχυρό και τραβάει όλο το μαγνητικό ρευστό που ρέει μέσα στο κανάλι. Όπως φαίνεται και από την φωτογραφία το μαγνητικό μας ρευστό έχει δημιουργήσει ένα «ποτάμι» μέσα στην ροή με κατεύθυνση προς τον μαγνήτη το οποίο τρέχει με πολύ μεγάλη ταχύτητα σε σχέση με την υπόλοιπη ροή και συγκρούεται με το τοίχωμα του καναλιού με μεγάλη δύναμη. Η σφοδρότητα της σύγκρουσης είναι τόσο μεγάλη όπου ο ίδιος ο μαγνήτης που την προκαλεί αδυνατεί να συγκρατήσει όλο το σιδηρορευστό, του οποίου μια ποσότητα δραπετεύει προς τα δεξιά και ξαναμπαίνει στην ροή μαζί με το νερό.

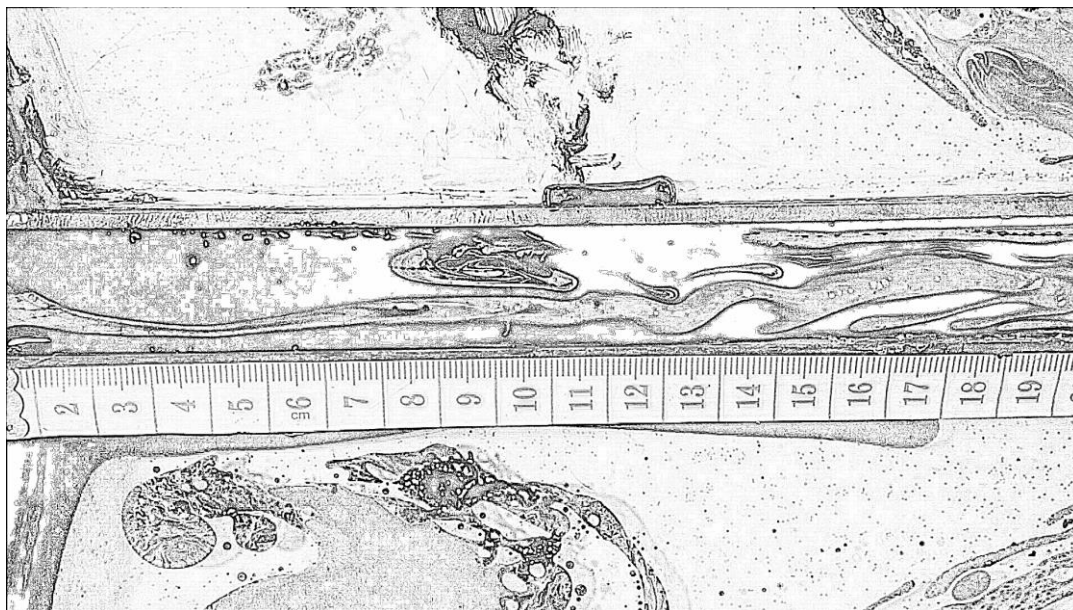


Εικόνα 32

Σε αυτήν την εικόνα παρατηρούμε το ίδιο φαινόμενο με την προηγούμενη εικόνα, εδώ όμως το «ποτάμι» του μαγνητικού ρευστού έχει δημιουργήσει έναν τεράστιο στρόβιλο. Πάνω από αυτό το «ποτάμι» έχει αποκοπεί ένα κομμάτι της ροής και έχει δημιουργήσει έναν πολύ μεγάλο στρόβιλο ο οποίος περιστρέφεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του μαγνητιζόμενου ρευστού μας.



Εικόνα 33



Εικόνα 34

Εδώ παρατηρούμε ένα αντίστοιχο φαινόμενο μόνο που εδώ το σιδηρορρευστό έχει κατακλύσει το μεγαλύτερο μέρος του καναλιού και είναι σχεδόν ακίνητο, ενώ μέσα από αυτό ρέει το νερό. Όπου και πάλι εδώ έχει δημιουργηθεί ένας στρόβιλος, αποκομμένος από την υπόλοιπη ροή και πολύ πιο αργός από τον προηγούμενο.

Κεφάλαιο 4^ο

Συμπεράσματα

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας παρατηρήσαμε ότι ο μαγνήτης όπως και να είναι τοποθετημένος επηρεάζει την ροή του μαγνητικού ρευστού μας το οποίο ρέει μαζί με το νερό μέσα στο κανάλι μας. Όσες φορές και να επαναλάβουμε την πειραματική διαδικασία και με τον μαγνήτη σε οποιαδήποτε θέση η ροή του σιδηρορρευstö μας πάντα επηρεαζόταν από τον μαγνήτη και παρατηρήσαμε διάφορα φαινόμενα τα οποία αναπτύξαμε παραπάνω. Οπότε συμπεραίνουμε ότι δισδιάστατες ροές μαγνητικών ρευστών οι οποίες βρίσκονται υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου πράγματι επηρεάζονται από αυτό. Ο επηρεασμός της ροής του μαγνητικού ρευστού από τον μαγνήτη είναι παρά πολύ μεγάλος και ουσιαστικά δημιουργούνται στρόβιλοι στην περιοχή εφαρμογής του μαγνητικού πεδίου με αποτέλεσμα να παγιδεύεται αρκετή ποσότητα μαγνητικού ρευστού στην περιοχή του μαγνήτη για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ροή κατά κανόνα φαίνεται μη μόνιμη αφού στα πειράματα που κάναμε παρατηρούσαμε αρκετές μεταβολές στην δομή και το σχήμα των στροβίλων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- V.C. Loukopoulos , E.E. Tzirtzilakis, Biomagnetic channel flow in spatially varying magnetic field (2003)
- E.E. Tzirtzilakis , Biomagnetic fluid flow in a channel with stenosis (2007)
- Anastasios Raptis, Michalis Xenos, Efstratios Tzirtzilakis, and Miltiadis Matsagkas , Finite element analysis of magnetohydrodynamic effects on blood flow in an aneurysmal geometry (2014)
- E. E. Tzirtzilakis , Biomagnetic fluid flow in an aneurysm using ferrohydrodynamics principles (2015)
- ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ , Θεωρητική και υπολογιστική μελέτη τρισδιάστατης ευσταθής ροής με ελεύθερη συναγωγή παρουσία μαγνητικού πεδίου σε αγωγό ορθογωνικής διατομής (2013)
- Aaron Lieberman , Hele-Shaw Cell Experiment (2013)
- Ali Haseeb Khalid BSc, MSc DIC, ARAeS , Free boundary problems in a Hele-Shaw cell (2015)
- ΜΙΧΑΛΗΣ ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΟΥ , Παρασκευή και ανάλυση φερριτών (2010)
- ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗΣ , Σχεδίαση διάταξης τύπου HALBACH για την παραγωγή μαγνητικού πεδίου (2011)
- R.E. Rosensweig , Magnetic Fluid Handbook and Applications Handbook (1996)
- C. Oltean , F. Golfier, M.A. Bue`s , Experimental and numerical study of the validity of Hele-Shaw cell as analogue model for variable-density flow in homogeneous porous media (2007)
- ÜMİT POYRAZ , NİYAZİ ŞENOL , KEREM GÜNAYDIN , ALPAY SANCAR , LABORATORY MANUAL HELE-SHAW APPARATUS H9
TecQuipment , Manual of Hele-Shaw Apparatus
- Τσαούση Γεωργία Μαρία , Σύνθεση Μαγνητίτη από Υδατικά Διαλύματα Δισθενούς και Τρισθενούς Σιδήρου (2010)
- Shih, Ching-chi , Unsteady Hele-Shaw flow (1970)
- Alexander Vasil'ev , From the Hele-Shaw Experiment to Integrable Systems: A Historical Overview (2000)
- Ευστράτιος Ε. Τζιρτζιλάκης , Μελέτη Κίνησης Βιομαγνητικών Ρευστών Υπό Την Επίδραση Μαγνητικού Πεδίου (2003)
- B. Berkovski, V. Bashtovoy, Magnetic Fluids and Applications Handbook (1996)

- R. E. Rosensweig, Ferrohydrodynamics (1985)
- K. R. Cramer and S. I. Pai, Magnetofluid Dynamics for Engineers and Applied Physicists (1973)
- P. A. Davidson, An Introduction to Magnetohydrodynamics (2001)
- Buhler L., Instabilities in quasi-two dimensional magnetohydrodynamic flows, (1996)
- Burr U. and Muller U., Rayleigh Benard convection in liquid metallayers under the influence of a horizontal magnetic field (2002)
- Eckhardt B., Faisst H., Schmiegel A. and Schneider T. M., Dynamical systems and the transition to turbulence in linearly stable shear flows (2008)
- Young, Donald F. , A Brief Introduction to Fluid Mechanics (2007)
- G. K. Batchelor. An Introduction To Fluid Dynamics (2000)
- L. J. Cummings, S. D. Howison and J. R. King. Two-dimensional Stokes and Hele-Shaw flows with free surfaces (1999)
- S. Odenbach, Editor, Ferrofluids, Magnetically Controllable Fluids and Their Applications (2002)
- Kristóf and I. Szalai, Magnetic properties and structure of polydisperse ferrofluid models, (2004)
- Amy S. Teja, Pei-Yoong Koh, “Synthesis, Properties and Applications of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles”, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials (2008)
- H. S. Hele-Shaw, The flow of water (1898)
- Albrecht, T.; Bühner, C.; Fähnle, M.; Maier, K.; Platzek, D.; Reske, J. (1997) First observation of ferromagnetism and ferromagnetic domains in a liquid metal». Applied Physics A: Materials Science & Processing (1997)
- Adam Hill , What are Neodymium Magnets? , (2015)
- L. M. Milne-Thomson , Theoretical Hydrodynamics (1996)
- Fraden, Jacob , Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 4th Ed. (2010)
- Voit, Kim and Zapka. , Magnetic behavior of coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles in ferrofluids (2014)
- Pauling L., Coryell C. D. , The magnetic properties and structure of hemoglobin, oxyhemoglobin and carbonmonoxy hemoglobin (1936)
- Haik Y., Chen J.C., Pai V.M., Development of bio-magnetic fluid dynamics (1996)
- Fertman V.E. , Magnetic Fluids Guidebook: Properties and Applications (1990)
- Marc J. Assael, J. P. M. Trusler, Thomas F. Tsolakis , Thermophysical Properties of Fluids: An Introduction to Their Prediction (1996)
- N. Φλυτζάνης , Υδροδυναμική (2013)

ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Εισαγωγή στις Φυσικές Διεργασίες Θεωρητικό Υπόβαθρο και Βασικές Εφαρμογές (2015)

Symon, Keith . Mechanics (1971)

Nakayama Y., Boucher R. F., Introduction to Fluid Mechanics (1999)

Scherer, C. Ferrofluids: Properties and Applications (2005)

ARPA-E. , Research Funding for Rare Earth Free Permanent Magnets (2013)

NdFeB-Info , An Introduction to Neodymium Magnets (2013)

Juha Pyrhönen, Tapani Jokinen, Valéria Hrabovcová , Design of Rotating Electrical Machines (2009)

Chu, Steven , Critical Materials Strategy (2011)