



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ

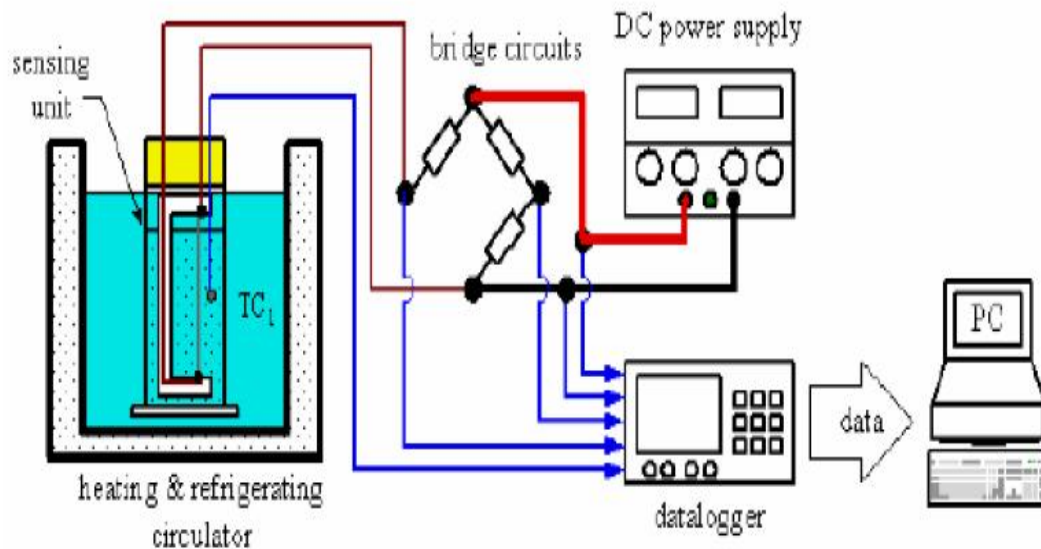
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΑΝΟΡΕΥΣΤΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΓΡΗΓΟΡΑΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΚΡΟΜΜΥΔΑΣ ΘΩΜΑΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΓΩΝΑ-ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΘΕΡΜΑ ΤΗΝ
ΔΡ.ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΥΤΙΜΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ!

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΘΕΡΜΑ ΤΟ
ΔΡ.ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟ ΧΡΗΣΤΟ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ!

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΘΕΡΜΑ ΤΗΝ
ΚΑ. ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ΑΝΘΗ
ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΚΟΔΟΜΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ!

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΘΕΡΜΑ ΤΟ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΙΧΗΜΥΘ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΥΛΙΚΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	7
1.2 Νανοσωματίδια.....	9
1.3 Μελλοντικά πεδία εφαρμογής.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Παρασκευή των νανορευστών.....	16
2.2 Ρεολογικές ιδιότητες των νανορευστών	18
2.3 Μέτρηση ιξώδους	20
2.4 Πειραματική έρευνα της μεταφοράς θερμότητας του Al_2O_3/H_2O νανορευστών σε κυκλικό σωλήνα.	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Θερμική Αγωγιμότητα.....	27
3.1 Θερμότητα.....	27
3.2 Θεωρία θερμικής αγωγιμότητας	29
3.3 Θεωρία μεταφοράς θερμότητας με αγωγή για υγρά.....	30
3.4 Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή.....	31
3.5 Μοριακή φύση της θερμικής ενέργειας.....	33
3.6 Μέθοδος hot-wire μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας υγρών.....	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Θερμικές ιδιότητες νανορευστών.....	39
4.1 Χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας των νανορευστών.....	39
4.2 Αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα και θερμική διάχυση των νανορευστών που περιέχουν σφαιρικά και κυλινδρικά νανοσωματίδια.....	41
4.3 Πειράματα	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΣΧΕΔΙΑ – ΕΙΚΟΝΕΣ	48
5.1 Σχέδια.....	48
5.2 Εικόνες.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
-------------------	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι κατασκευή μιας συσκευής μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας και ειδικά μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας των νανορευστών. Αρχικά ορίζουμε – εξετάζουμε τους όρους: νανοτεχνολογία, νανοσωματίδια και νανορευστά. Κατόπιν αναφέρουμε σύγχρονες εφαρμογές των νανορευστών στους τομείς της μηχανολογίας και γενικότερα εφαρμογές που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή.

Στην πτυχιακή μας εξετάζουμε επίσης λεπτομερώς θέματα που σχετίζονται με την μεταφορά θερμότητας καθώς επίσης και τη θερμική αγωγιμότητα των ρευστών.

Γίνεται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναφέρονται λεπτομερώς όλες οι σύγχρονες εξελίξεις που έχουν σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην κατεύθυνση της έρευνας της ευστάθειας και της θερμικής αγωγιμότητας νανορευστών.

Τέλος κατασκευάσαμε τη συσκευή μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας βασισμένοι στη μέθοδο hot wire η οποία πιστεύουμε ότι αφού αγοραστεί το hot wire και βαθμονομηθεί θα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας των ρευστών γενικότερα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, ρευστά που περιέχουν την διασπορά των νάνομετρικά ταξινομημένων σωματιδίων (νανορευστά) ήταν ένας ενεργός τομέας της έρευνας λόγω των ενισχυμένων θερμικών τους ιδιοτήτων σε σχέση με τα συμβατικά ρευστά. Το γεγονός αυτό καθιστά τη χρήση τους πολύ ελκυστική για μεταφορά θερμότητας που βασίζεται σε ρευστά, σε πολλές εφαρμογές όπως τα ψυκτικά μέσα στο αυτοκίνητο, την ηλεκτρονική, τις βιομηχανίες, και στις κατασκευαστικές βιομηχανίες. Εάν θελήσουμε να περιγράψουμε λεπτομερώς τα νανορευστά, μπορέσουμε να πούμε ότι πρόκειται για κολλοειδείς διασπορές των νανοσωματιδίων (1-100 nm) σε ένα συμβατικό ρευστό. Τα κοινά ρευστά περιλαμβάνουν το νερό και τα οργανικά υγρά. Τα νανορευστά αποτελούνται από νανοσωματίδια και είναι χαρακτηριστικά φτιαγμένα από χημικά σταθερά μέταλλα, μεταλλικά οξειδία ή άνθρακα σε διάφορες μορφές. Το μέγεθος των νανοσωματιδίων αποδίδει μερικά μοναδικά χαρακτηριστικά σε αυτά τα ρευστά, συμπεριλαμβανομένης της πολύ ενισχυμένης μεταφοράς ενέργειας, ορμής και μάζας, επίσης σαν μειωμένη τάση για την καθίζηση και τη διάβρωση των περιχουσιών επιφανειών. Τα νανορευστά ερευνώνται για πολυάριθμες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ψύξης, κατασκευαστικές, χημικές και φαρμακευτικές διαδικασίες, ιατρικές περιθάλψεις, καλλυντικά, κ.λπ.

Η ιδιότητα η οποία φαίνεται να δίνει άμεσο αποτέλεσμα χρήσης στα ρευστά είναι η θερμική αγωγιμότητα, για την οποία μπορούμε να πούμε ότι οι μεγάλες τιμές που εμφανίζονται στα νανορευστά σε σχέση με τα συμβατικά ρευστά, δίνει πολύ ενδιαφέρουσες προοπτικές για εφαρμογές ψύξης θέρμανσης, εφ' όσων ξεπεραστούν προβλήματα καθίζησης και εναπόθεσης υλικού που εμφανίζονται κάθε φορά που χρησιμοποιούνται νανορευστά

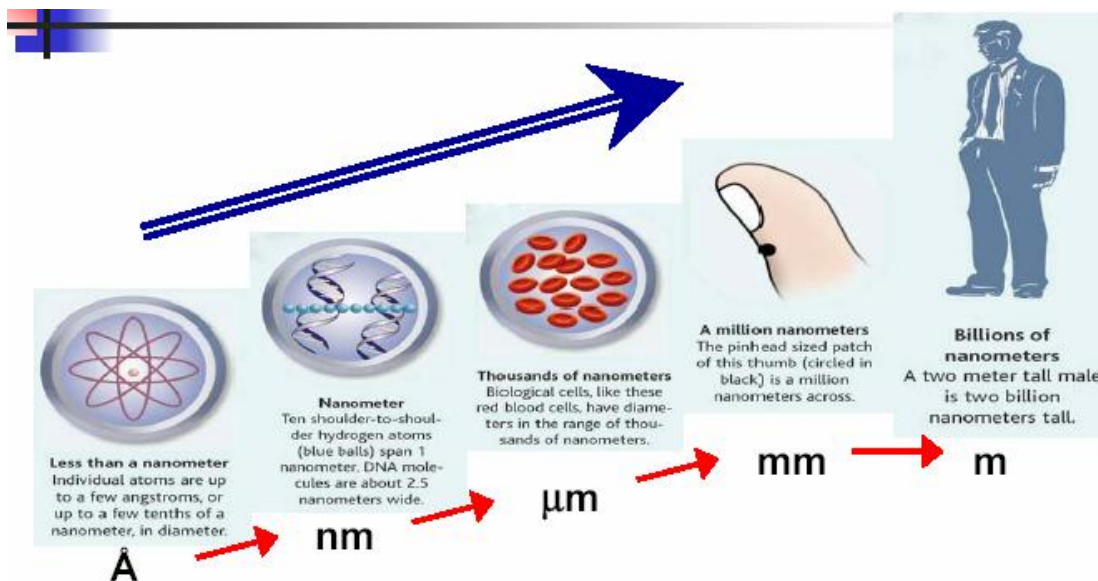
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 NANOTEΧΝΟΛΟΓΙΑ.

Με τον όρο «νανοτεχνολογία» αναφερόμαστε στον κλάδο της τεχνολογίας και της επιστήμης που ασχολείται με τις αρχές και τις εφαρμογές της φυσικής όταν εργαζόμαστε σε νανοδιαστάσεις. Σύμφωνα με την The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004 , «*Nanotechnology is the design, characterization ,production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometer scale*» . Στη νανοκλίμακα , δηλαδή σε 100nm και κάτω, τα υλικά φαίνεται να διέπονται από διαφορετικές ιδιότητες από ότι σε υλικά με μεγαλύτερες διαστάσεις. Ένα νανόμετρο ισούται με 10⁻⁹ μέτρα. Για μία πιο περιγραφική έννοια του όρου «νανοδιάσταση», αρκεί να αναφέρουμε ότι μία τρίχα του ανθρώπου έχει πλάτος 80.000 nm, ένας

κόκκος άμμου 100.000nm, ένας ιός γύρω στα 100nm διάμετρο. Μια νανοδιάταξη, π.χ. ένας νανοσωλήνας από άνθρακα έχει μήκος γύρω στα 300-400 nm και διάμετρο γύρω στα 30-40nm ανάλογα με τον τρόπο ανάπτυξής τους.

Η νανοτεχνολογία θεωρείται από πολλούς η επόμενη βιομηχανική επανάσταση και πιστεύεται ότι θα προκαλέσει τεράστια επίδραση στην κοινωνία, την οικονομία και γενικά στην καθημερινότητα του μέλλοντος (Hett,2004). Μερικοί από τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογές η νανοτεχνολογία είναι για παράδειγμα η ιατρική, βιοτεχνολογία, ενεργειακή παραγωγή και αποθήκευση, η επιστήμη υλικών, περιβαλλοντικές εφαρμογές και στην ασφάλεια. Θα πρέπει εδώ να γίνει κατανοητό ότι η νανοτεχνολογία δεν είναι «βιομηχανικό» θέμα, αλλά είναι η τεχνολογία η οποία συνδυαζόμενη με άλλους τομείς τεχνολογίας έχει την δυνατότητα να επιδράσει σε βιομηχανίες με διάφορους τρόπους.



Σχήμα 1. Από το μικρόκοσμο στο μακρόκοσμο.

Ας δούμε τώρα πως μπορεί να γίνει η ανάπτυξη. Μπορούμε να αναπτύξουμε αρχικά το υλικό μας σε μεγαλύτερη δομή και με διάφορες διαδικασίες να το φέρουμε στην ζητούμενη διάσταση. Στην περίπτωση αυτή οι ιδιότητες του υλικού αλλάζουν. Μερικά υλικά που μέχρι πριν χρησιμοποιούνταν για ηλεκτρικές μονώσεις συμπεριφέρονται πλέον ως αγωγοί και άλλα υλικά μπορούν να γίνουν διαφανή ή διαλυτά. Για παράδειγμα τα νανοσωματίδια χρυσού έχουν διαφορετικό χρώμα, σημείο ζέσεως και χημικές ιδιότητες λόγω της φύσης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων που δημιουργούν το χρυσό. Το χρώμα τους μπορεί να είναι είτε πορτοκαλί, είτε κόκκινο ακόμα και πράσινο ανάλογα με το μέγεθος των νανοσωματιδίων. Όλες αυτές οι νέες ιδιότητες που εμφανίζονται όταν περάσουμε στη νανοκλίμακα, κεντρίζουν το ενδιαφέρον τόσο της βιομηχανίας όσο και της κοινωνίας αφού εισάγει νέες εφαρμογές και προϊόντα.

Μερικές αναλύσεις υπολογίζουν ότι η αγορά των προϊόντων βασισμένα στη νανοτεχνολογία είναι γύρω στα 2,5 εκατομμύρια ευρώ αλλά μπορεί να αυξηθεί σε δισεκατομμύρια ευρώ από το 2010 και να ξεπεράσει τα τρισεκατομμύρια μετά από καιρό. Αυτή τη χρονιά οι δημόσιες δαπάνες υπολογίζονται από την European

Commission πάνω από 3 εκατομμύρια ευρώ, ενώ οι ιδιωτικές επενδύσεις υπολογίζονται κοντά στα 2

εκατομμύρια ευρώ, συνεπώς η συνολική επένδυση στην έρευνα και ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας υπολογίζεται στα 5 εκατομμύρια ευρώ. Οι πρωτοπόροι στον τομέα αυτό είναι οι Η.Π.Α, Ιαπωνία και η δυτική Ευρώπη. Στον νέο όμως θαυμαστό κόσμο της νανοτεχνολογίας άρχισαν οι φιλονικίες και οι απόψεις δίστανται...

“Its most extreme supporters claim that nanotechnology can rebuild the human body from within and effectively abolish death, while its enemies fear that instead, it could do away with life, by turning the surface of the Earth into an uninhabitable grey mess.”

(Wood, Jones, & Geldart, 2003)

1.2 Νανοσωματίδια.

Νανοσωματίδιο καλείται ένα μικροσκοπικό σωματίδιο διαστάσεων <100nm. Νανοσωματίδια από ημιαγωγικό υλικό λέγεται και κβαντική κουκίδα.

Γενικά τα σωματίδια παίζουν κυρίαρχο ρόλο σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές και φυσικά φαινόμενα. Μεγάλες εταιρίες παγκοσμίου βεληνεκούς παράγουν προϊόντα των οποίων το 60% αποτελείται από σωματίδια. Επίσης η επιστήμη και η τεχνολογία των σωματιδίων είναι ζωτικής σημασίας σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον (μόλυνση περιβάλλοντος, κλιματολογικές αλλαγές, φαινόμενο θερμοκηπίου) αλλά και την ιατρική (μεταφορά ιών και βακτηρίων, παράδοση φαρμάκων, αλλεργίες).

Τα νανοσωματίδια χρησιμοποιούνταν για δεκαετίες. Το χρωματιστό γυαλί που βλέπουμε σε πολλούς παλιούς καθεδρικούς ναούς δημιουργήθηκε από χρυσά συμπλέγματα νανοδιαστάσεων και αναλόγως το μέγεθος των νανοσωματιδίων δημιουργούσαν διαφορετικό χρώμα. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα υλικού με νανοσωματίδια είναι το carbon black, το οποίο βρίσκει εφαρμογές εδώ και δεκαετίες στα εκτυπωτικά μελάνια, στα επικαλυπτικά στρώματα, πλαστικά, χαρτί, λάστιχα και προϊόντα ανοικοδόμησης.

Ένας λόγος που τα νανοσωματίδια έχουν διαφορετικές ιδιότητες (οπτικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές, χημικές και μηχανικές) από ένα bulk υλικό είναι ότι σε αυτές τις διαστάσεις αρχίζουν να επικρατούν κβαντομηχανικά φαινόμενα και ότι ο λόγος της επιφάνειας με τον όγκο αυξάνεται. (Holister et al., 2003).

Η αύξηση του λόγου της επιφανείας ως προς τον συνολικό όγκο του σωματιδίου ενισχύεται συνεχώς καθώς μικραίνει ο όγκος του σωματιδίου.

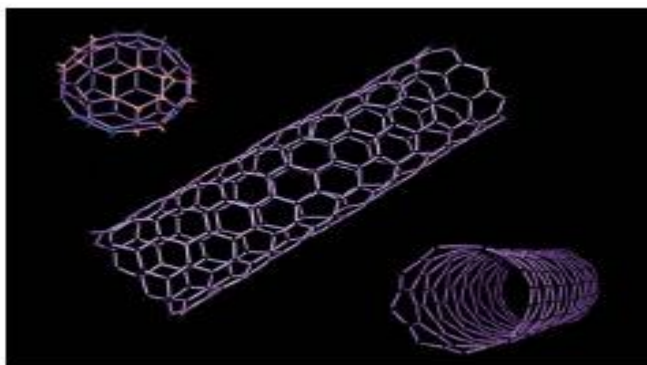
Καθώς τα σωματίδια γίνονται μικρότερα, τα άτομα εξωτερικά του σωματιδίου αρχίζουν να κυριαρχούν σε αυτά που βρίσκονται εσωτερικά του. Αυτό αλλάζει τις ιδιότητες του σωματιδίου και με ένα τρόπο επιδρά με άλλα υλικά στο γύρω χώρο. Αυτή η αύξηση της επιφάνειας τα κάνει πολύ ενδιαφέροντα στον βιομηχανικό τομέα, καθώς η μεγάλη περιοχή επιφανείας είναι βασικός παράγοντας σε διατάξεις όπως π.χ. τα ηλεκτρόδια. Η μεγάλη περιοχή επιφανείας αυξάνει επίσης το συνδυασμό με άλλα υλικά πράγμα το οποίο είναι σημαντικό κατά τον σχηματισμό σύνθετων υλικών.

Τα νανοσωματίδια μέχρι στιγμής δημιουργούνται από μία μεγάλη ποικιλία υλικών, τα πιο κοινά είναι τα κεραμικά υλικά, τα οποία μπορούν να χωρισθούν σε μεταλλικά οξειδία όπως το τιτάνιο, το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος αλλά και οξειδία σιδήρου όπως επίσης και σε οξειδία πυριτίου. Τα νανοσωματίδια πυριτίου, όπως και όλα τα νανοσωματίδια μπορούν να αναμειχθούν με πολυμερή. Καθαρά μεταλλικά νανοσωματίδια μπορούν επίσης να αναμειχθούν σε στερεά υλικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα μεγαλύτερα σωματίδια. Τα οξειδία του σιδήρου όπως επίσης και τα νανοσωματίδια πυριτίου είναι οι πλειοψηφία των νανοσωματιδίων που έχουν ήδη εφαρμογές.

Στις μέρες μας υπάρχουν πολλοί τύποι νέων νανοσωματιδίων όπως οι κβαντικές κουκκίδες, τα φουλερένια, οι νανοσωλήνες, τα μαγνητικά νανοσωματίδια και άλλα. Οι κβαντικές κουκκίδες είναι σωματίδια που λειτουργούν σύμφωνα με τους νόμους της κβαντομηχανικής. Δεν μπορούν να περιγραφούν από νόμους κλασσικής μηχανικής και του ηλεκτρομαγνητισμού. Μια κβαντική νησίδα συνήθως κατασκευάζεται με ημιαγώγιμα υλικά. Το σχήμα και το μέγεθος μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια και η κουκκίδα να έχει συγκεκριμένο αριθμό ηλεκτρονίων.

Οι κβαντικές κουκκίδες είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιηθούν στην τεχνολογία του μέλλοντος.

Το πρώτο φουλερένιο ανακαλύφθηκε το 1985. Τα φουλερένια είναι μόρια άνθρακα σχηματισμένα σε κλειστά καλούπια και έχουν ιδιότητες που δεν είχαν εμφανιστεί έως τότε σε κάποιο άλλο σύνθετο υλικό. Οι νανοσωλήνες άνθρακα μπορούμε να πούμε ότι είναι ένα είδος φουλερενίου αυτή τη φορά όμως σε σχήμα επίμηκες όπως παρατηρούμε και στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Μοντέλο φουλερενίου και νανοσωλήνα

Οι νανοσωλήνες είναι περίπου μερικά νανόμετρα σε διάμετρο αλλά το μήκος τους μπορεί να φτάσει και τα μερικά μικρόμετρα. Οι νανοσωλήνες αυτοί δείχνουν να έχουν μεγάλη εφαρμογή διότι εμφανίζουν εκατό φορές μεγαλύτερη από την ελαστικότητα του χάλυβα, ηλεκτρική αγωγιμότητα παρόμοια ή καλύτερη από αυτή του χαλκού και με την δυνατότητα να μεταφέρουν ρεύματα πολύ μεγαλύτερης έντασης. Τα μαγνητικά νανοσωματίδια για τις βιοιατρικές εφαρμογές απαιτούν να έχουν βελτιωμένες μαγνητικές ιδιότητες (όπως μικρό συνεκτικό πεδίο, υπερμαγνητική συμπεριφορά, μεγάλη μαγνήτιση κόρου) και μέγεθος μικρότερο από 100nm και γενικά να είναι καλώς ανεκτά από τους βιολογικούς ιστούς. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κατά περίπτωση με ειδική επιφανειακή επικάλυψη η οποία πρέπει να είναι μη τοξική και βιοσυμβατή με τον οργανισμό αλλά και την ικανότητα να στοχεύουν (μέσω μαγνητικής οδήγησης) εκεί που χρειάζεται, σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Για το λόγο αυτό η φύση της επιφανειακής επικάλυψης και η γεωμετρία του μαγνητικού νανοσωματιδίου παίζουν σημαντικό ρόλο στη βιοκινητική και στην βιοδιανομή. Πριν μιλήσαμε για υπερμαγνητική συμπεριφορά κατ' επέκταση και υπερμαγνητικά υλικά.

Ένας ορισμός του φαινομένου αυτού είναι ότι τα μαγνητικά υλικά μπορούν να παρουσιάσουν παραμαγνητική συμπεριφορά σε θερμοκρασίες μικρότερες της Curie. Ο υπερμαγνητισμός συμβαίνει όταν το υλικό αποτελείται από πολύ μικρούς κρυστάλλους (1-10) nm. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν παρόλο που η θερμοκρασία είναι κάτω της Curie και η θερμική ενέργεια δεν είναι αρκετή στο να ξεπεράσει τις δυνάμεις γειτονικών ατόμων, είναι ικανή να αλλάξει την διεύθυνση της μαγνήτισης σε ολόκληρο τον κρύσταλλο.

Η διακύμανση στην διεύθυνση της μαγνήτισης του υλικού κάνει το μαγνητικό πεδίο να έχει μια μέση τιμή στο μηδέν. Το υλικό συμπεριφέρεται περίπου σαν να ήταν παραμαγνητικό εκτός του ότι κάθε ξεχωριστό άτομο είναι ανεξάρτητο του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, η μαγνητική ροπή του συνολικού κρυστάλλου τείνει να γίνει παράλληλη με το μαγνητικό πεδίο.

Περισσότερα όμως για τα σωματίδια αυτά θα περιγραφούν στις επόμενες ενότητες.



Σχήμα 3. Μοντέλο μαγνητικού νανοσωματιδίου από FePt.

1.3 Μελλοντικά πεδία εφαρμογής

Η νανοτεχνολογία εκτιμάται ότι θα συνεισφέρει σε καινοτομίες που μπορεί να λύσουν πολλές από τις σημερινές προκλήσεις της κοινωνίας. Μία συλλογή από εφαρμογές που αφορά τα νανοσωματίδια παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη παράγραφο.

Τα νανοσωματίδια αλλάζουν τις ιδιότητες του υλικού, π.χ. τα μέταλλα γίνονται σκληρότερα, τα κεραμικά υλικά μαλακότερα. Μπορούν να βρουν εφαρμογή στην αεροδιαστημική βιομηχανία, στη συσκευασία τροφίμων και στη αυτοκινητοβιομηχανία όπου ήδη εταιρίες όπως η GM Motors Safari, Chevrolet κάνουν χρήση της νέας αυτής τεχνολογίας. Άλλες βραχυπρόθεσμες χρήσεις αφορούν την συλλογή της ηλιακής ενέργειας (φωτοβολταϊκά), ιατρικά όργανα διάγνωσης και αισθητήρες και νέοι τύποι μνήμης υπολογιστών και πίνακες ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Twist, 2004).

Επίσης έχουν αναπτυχθεί «έξυπνα» υφάσματα με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας που έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν τις φυσικές τους ιδιότητες ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος ή ακόμα να ρυθμίζουν ζωτικές λειτουργίες του οργανισμού (Holister, 2002).

Η εισαγωγή των νανοσωματιδίων στα υφάσματα μπορεί να τα κάνει πολύ ανθεκτικά απέναντι στο νερό, τους λεκέδες και στο τσαλάκωμα.

Οι ιατρικές εφαρμογές είναι ένας τομέας με μεγάλες προσδοκίες όσον αφορά την ανθρώπινη ευημερία. Με την ανάπτυξη νέων υλικών και το συνδυασμό της νανοτεχνολογίας με την βιοτεχνολογία είναι πιθανό να δημιουργηθούν τεχνητά όργανα και εμφυτεύματα που μέσω της κυτταρικής ανάπτυξης θα μπορούν να αντικαταστήσουν καταστρεμμένα νευρικά κύτταρα, κατεστραμμένες περιοχές του δέρματος ή ακόμα και κόκαλα (Wood et al., 2003). Επιπλέον η σύμπραξη της τεχνολογίας και ιατρικής θα μπορέσει να δημιουργήσει διαγνωστικά όργανα μεγάλης ακριβείας και άμεσης διάγνωσης των ασθενειών. Μία ακόμα εφαρμογή στην ιατρική είναι η μεταφορά φαρμάκων μέσω των νανοσωματιδίων επειδή αυτά έχουν καλύτερη διαλυτότητα και απορροφητικότητα σε σχέση με μεγαλύτερα σωματίδια.

Τα νανοσωματίδια μπορούν να μεταφέρουν και να ελευθερώσουν το φάρμακο σε επιθυμητές δόσεις πάνω από μία επιλεγόμενη περιοχή μειώνοντας έτσι τη διάχυση του φάρμακου σε γειτονικές περιοχές που ίσως προκαλέσει βλάβες.

Υπάρχουν επίσης μελλοντικές περιβαλλοντικές εφαρμογές στηριζόμενες στην νανοτεχνολογία. Για παράδειγμα οι νανοσωλήνες μπορούν να γίνουν αποθηκευτικό μέσο για το υδρογόνο δίνοντας νέες πιθανότητες για ανανεώσιμη ενέργεια. Τα νανοσωματίδια επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καθαρισμό αποβλήτων εξασφαλίζοντας την βιωσιμότητα τους σε αυτά διότι οι μέχρι σήμερα καθαριστικοί παράγοντες πολλές φορές δεν επιβιώνουν σε όλους τους τύπους μόλυνσης.

Η νοοτροπία του να κάνουμε τα πράγματα μικρότερα, φωτεινότερα και γρηγορότερα από ότι πριν εφαρμόζεται εδώ και χρόνια. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να οδηγήσει στο να δημιουργούνται προϊόντα πιο αποτελεσματικά πράγμα το οποίο απαιτεί λιγότερο ακατέργαστα υλικά και ενέργεια.

Η εφαρμογή των προϊόντων αυτών μπορεί να γίνει σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας, όπως επίσης και στο στρατό, το διάστημα και συστήματα ασφαλείας.



Σχήμα 4. Μελλοντικές εφαρμογές της νανοτεχνολογίας.

Το National Nanotechnology Initiative (NNI), το κυβερνητικό ερευνητικό πρόγραμμα στις ΗΠΑ, χρησιμοποιεί το 11% του συνολικού προϋπολογισμού των \$961 εκατομμυρίων σε περιβαλλοντικές μελέτες και όλη η χρηματοδότηση λέγεται ότι περιορίζεται στη εύρεση λύσεων περιβαλλοντικών προβλημάτων με χρήση της νανοτεχνολογίας.



Σχήμα 5. US NNI χρηματοδότηση για την υγεία και το περιβάλλον
(Service, 2004).

Η νανοτεχνολογία παρατηρούμε λοιπόν ότι είναι η επιστήμη του μέλλοντος. Η νανοτεχνολογία θα αποτελέσει το «κλειδί» για να «ανοίξουμε» πολλούς τομείς της φυσικής, της ιατρικής, της βιολογίας, της τεχνολογίας, του περιβάλλοντος, της καθημερινότητάς μας. Προβλήματα που φαντάζουν άλυτα, προβλήματα που οι μέχρι σήμερα μέθοδοι-τεχνικές δεν μπορούν να αγγίξουν με την ανάπτυξη της νανοεπιστήμης και της νανοτεχνολογίας άρχισαν να δείχνουν κατανοητά, επιπλέον η εύρεση της λύσης του κάθε προβλήματος είμαστε σε θέση να πούμε ότι είναι θέμα χρόνου.

Ένα θέμα που πρέπει να επιλυθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα είναι αυτό του καρκίνου. Κάθε χρόνο χιλιάδες άνθρωποι χάνουν τη μάχη ενάντια στην ασθένεια του καρκίνου.

Ακόμα πιο πολλοί βασανίζονται με τις επώδυνες θεραπείες. Άραγε θα μπορέσουμε να δώσουμε λύση σε αυτό το πρόβλημα; Το όνειρο κάποιων επιστημόνων για ολική και ανώδυνη θεραπεία κατά του καρκίνου θα γίνει πραγματικότητα; Θα μπορούμε σε μερικά χρόνια να θεωρούμε τον καρκίνο απλή ασθένεια;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Παρασκευή των νανορευστών

Η προετοιμασία των νανορευστών είναι το πρώτο βασικό βήμα σε πειραματικές μελέτες των νανορευστών. Τα νανορευστά δεν είναι απλά υγρά-στερεά μίγματα. Μερικές ειδικές απαιτήσεις είναι ουσιαστικές όπως η σταθερότητα της διασποράς, η ανθεκτικότητα, η αμελητέα συσσώρευση [νανοσωματιδίων](#), η χημική σταθερότητα, κ.λπ. Τα νανορευστά παράγονται με την διασπορά στερεών σωματιδίων νανομετρικής κλίμακας σε υγρά όπως το νερό, τη αιθυλενογλυκόλη (EG), τα έλαια, κ.λπ. Στη σύνθεση των νανορευστών, η συσσωμάτωση είναι ένα σημαντικό πρόβλημα. Υπάρχουν δυο κυρίως τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να παράγονται νανορευστά: τεχνική ενός σταδίου και τεχνική δύο σταδίων. Η τεχνική ενός σταδίου περιλαμβάνει άμεση εξάτμισης. Αναπτύχθηκε από την ομάδα του Akoh και καλείται VEROS (Τεχνική υποστρωμάτων πετρελαίου). Η αρχική ιδέα αυτής της μεθόδου ήταν η παραγωγή των νανοσωματιδίων, αλλά ήταν δύσκολο να διαχωριστούν τα σωματίδια από τα ρευστά για να παραχθούν ξηρά νανοσωματίδια. Μια τροποποιημένη διαδικασία VEROS προτάθηκε από το Wagener. Υιοθέτησαν τεχνική εξάτμισης σε υψηλής πίεσης, αντίστοιχη αυτής που χρησιμοποιούν στην επιμετάλλωση για την παρασκευή νανοσωματιδίων μετάλλων π.χ. ο άργυρος. Ο Eastman και οι υπόλοιποι ανάπτυξαν

μια τροποποιημένη τεχνική VEROS, σε περιπτώσεις νανοσωματιδίων Cu όπου ο ατμός συμπυκνώνεται άμεσα σε συνθήκες υψηλής πίεσης και παράγονται έτσι νανοσωματίδια. Ο Zhu και οι υπόλοιποι παρουσίασαν μια νέα χημική μέθοδο ενός βήματος για την προετοιμασία νανορευστού χαλκού, πραγματοποιώντας αντίδραση $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ με $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ στη αιθυλενογλυκόλη κάτω από την ακτινοβολία μικροκυμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ και η υιοθέτηση της ακτινοβολίας μικροκυμάτων είναι δύο σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι έχουν επιπτώσεις στο ποσοστό αντίδρασης και τις ιδιότητες του Cu των νανορευστών. Η μέθοδος vacuum-SANSS (σύνθεση καταβυθιζόμενων βολταϊκών τόξων νανοσωματιδίων) έχει υιοθετηθεί από τον Lo και τους υπόλοιπους που παρασκεύασαν νανορευστά με νανοσωματίδιο Cu

Με διαφορετικά διηλεκτρικά υγρά τέτοια σαν απιονισμένο νερό, με 30%, 50%, 70% με αιθυλενογλυκόλη και καθαρή αιθυλενογλυκόλη.

Διαπίστωσαν ότι οι διαφορετικές μορφολογίες, που λαμβάνονται, επηρεάζονται κυρίως από τη θερμική αγωγιμότητα των διηλεκτρικών υγρών. Τα νανορευστά CuO , Cu_2O , και ο Cu μπορούν να παρασκευαστούν από αυτήν την τεχνική. Ένα πλεονέκτημα που έχει η τεχνική ενός βήματος είναι ότι στα νανοσωματίδια η συσσωμάτωση ελαχιστοποιείται, ενώ το μειονέκτημα είναι η χαμηλή πίεση ατμού. Πρόσφατα, παρήχθη ένα νανομαγνητικό ρευστό Ni από το Lo και τους υπόλοιπους με τη χρησιμοποίηση της μεθόδου SANSS. Η μέθοδος δύο σταδίων χρησιμοποιείται στη σύνθεση νανορευστών που κυρίως βρίσκονται διαθέσιμα στο εμπόριο. Σε αυτήν την μέθοδο, τα νανοσωματίδια παράγονται αρχικά και κατόπιν διασπείρονται στα ρευστά. Τέλος χρησιμοποιείται, υπερηχητικός εξοπλισμός για να διασκορπίσει τα νανοσωματίδια στο ρευστό και να μειώσει την συσσωμάτωση των σωματιδίων. Για παράδειγμα ο Eastman, ο Lee, ο WANG και οι υπόλοιποι χρησιμοποίησαν αυτήν την μέθοδο για την παραγωγή του Al_2O_3 .

Επίσης, ο Murshed και οι υπόλοιποι παρασκεύασαν διασπορά του TiO_2 στο νερό. Άλλα νανοσωματίδια που αναφέρει η βιβλιογραφία να παρασκευάζονται με τον τρόπο αυτό είναι ο χρυσός (Au), το ασήμι (Ag), το πυρίτιο και ο άνθρακας.

Εάν συγκριθεί η μέθοδος ενός βήματος με τη μέθοδο δύο βημάτων, βρίσκουμε ότι η δεύτερη λειτουργεί καλύτερα στην περίπτωση παρασκευής νανοσωματιδίων – οξειδίων μετάλλων, ενώ είναι λιγότερο επιτυχής στην περίπτωση παρασκευής μεταλλικών νανοσωματιδίων. Εκτός από τη χρήση υπερηχητικού εξοπλισμού, μερικές

άλλες τεχνικές όπως ο έλεγχος του pH ή η προσθήκη υλικού ενεργού επιφάνειας, χρησιμοποιούνται επίσης για να επιτύχουν τη σταθερότητα της διασποράς των νανορευστών ενάντια στην καθίζηση. Αυτές οι μέθοδοι αλλάζουν τις ιδιότητες επιφάνειας των διεσπαρμένων σωματιδίων και καταστέλλουν έτσι τη τάση να διαμορφωθούν συσσωματώματα. Ο Xuan και ο Lee επέλεξαν άλατα ελαϊκού οξέος σα διαλυτικό για να ενισχύσουν τη σταθερότητα στο σύστημα λάδι-Cu και νερό-Cu. Το ελαϊκό οξύ και το κετυλο-τριμέθυλο-αμμώνιο-βρομίδιο (ctab) χρησιμοποιήθηκε και από τον Murshed και τους υπόλοιπους για να εξασφαλίσουν καλύτερη σταθερότητα στη διασπορά TiO_2 - νερό νανορευστών. Το θειικό άλας (SDS) χρησιμοποιήθηκε από τον Hwang και τους υπόλοιπους κατά τη διάρκεια παρασκευής νανορευστών με νανοίνες άνθρακα σε νερό.

Γενικά, μέθοδοι όπως η αλλαγή του pH, η προσθήκη διαλυτικών, και η υπερηχητική δόνηση στοχεύουν στην αλλαγή των ιδιοτήτων της επιφάνειας και γενικότερα των ιδιοτήτων των διεσπαρμένων σωματιδίων

και στην αναστολή του σχηματισμού συσσωματωμάτων σωματιδίων για να πάρουμε σταθερές διασπορές. Εντούτοις, η προσθήκη των διαλυτικών μπορεί να έχει επιπτώσεις στην απόδοση μεταφοράς θερμότητας των νανορευστών και ειδικά στην υψηλή θερμοκρασία.

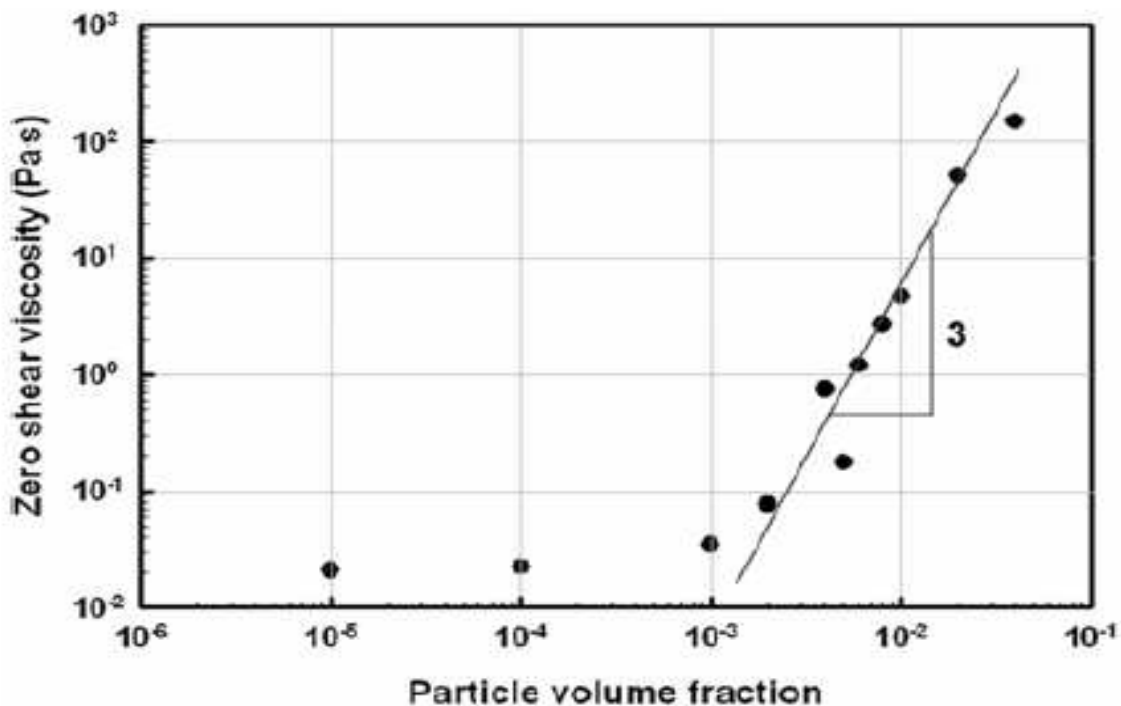
2.2 Ρεολογικές ιδιότητες των νανορευστών

Έχουν υπάρξει λίγες έρευνες για τα χαρακτηριστικά της διασποράς και τις ρεολογικές ιδιότητες των νανορευστών. Από τα νανορευστά αναμένεται ότι για να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες ροής, η ροή όπου είναι μερικές φορές δραστικά διαφορετική από αυτήν τον πιο κοινών ρευστών μεταφοράς θερμότητας που έχουν τα νευτώνεια χαρακτηριστικά, αυτό είναι ουσιαστικό για να έχουν ρεολογικές ιδιότητες τα νανορευστά προκειμένου να χρησιμοποιηθούν. Δεδομένου ότι οι ρεολογικές ιδιότητες μπορούν να παρέχουν σε μας τη γνώση σχετικά με τη μικροδομή και υπό στατικές και δυναμικές μετρήσεις, η μελέτη στις ρεολογικές ιδιότητες των νανορευστών μπορεί να αποκαλύψει τον τρόπο κατανόησης του μηχανισμού της αύξησης της μεταφοράς θερμότητας, και ως εκ τούτου τις ιδιότητες των νανοσωματιδίων για τη μέγιστη αύξηση της μεταφοράς θερμότητας.

Οι ρεολογικές ιδιότητες των νανορευστών μετρήθηκαν από τον Kwak. Σε αυτήν την έρευνα οι ρεολογικές ιδιότητες των νανορευστών που είναι φτιαγμένα από μόρια CuO μήκους

10-30 nm και αιθυλενογλυκόλη έχει εξεταστεί η αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας. Το ιξώδες λειτουργεί σαν ένα μέρος του όγκου των σωματιδίων και παρουσιάζεται στο σχήμα 10. Το μηδενικό ιξώδες αλλάζει απότομα όταν μέρος του όγκου των σωματιδίων

γίνεται μεγαλύτερο από 0,002, ως εκ τούτου θεωρείται ως σπάνιο φαινόμενο, όταν μέρος του όγκου των σωματιδίων είναι μεγαλύτερο από την κρίσιμη τιμή που η κλίση είναι 3. Αυτή η τιμή συμφωνεί απόλυτα με τη θεωρία Doi-Edwards στο διάλυμα για ημιδιαλυτά κυλινδρικά σωματίδια, των σωματιδίων rodlike.



Σχήμα 10: Μηδενικό ιξώδες ως λειτουργία στο μέρος όγκου των σωματιδίων.

Η παραπάνω μελέτη προτείνει ότι για να είναι ένα νανορευστό αποδοτικό, πρέπει τα σωματίδια του να έχουν σφαιρική μορφή για να έχουν υψηλότερο κρίσιμο όριο. Μπορεί να είναι επίσης εφικτό να χρησιμοποιηθεί ένα σφαιροειδές με μικρή διάσταση για να έχει περιστροφική κίνηση BROWN .

2.3 Μέτρηση του ιξώδους

Ο Li και οι υπόλοιποι μέτρησαν το ιξώδες νανορευστού με νανοσωματίδια CuO σε νερό που χρησιμοποιούν τριχοειδές ιξωδόμετρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ιξώδες των νανορευστών είναι μειωμένο με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Όπως επισήμανε, η διάμετρος των τριχοειδών σωλήνων μπορεί να επηρεάσει το ιξώδες σε περιπτώσεις που έχουμε συσσωμάτωση νανοσωματιδίων, ειδικά στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ο WANG και οι υπόλοιποι επίσης μέτρησαν το σχετικό ιξώδες των Al_2O_3 -νερό και Al_2O_3 -αιθυλενογλυκόλη των νανορευστών.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των πειραματικών στοιχείων όσον αφορά τη θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών έδειξαν αύξηση του ιξώδους όσο αυξάνεται το ποσοστό σωματιδίων σε νανορευστά. Αυτό σημαίνει ότι η επιθυμητή αύξηση μεταφοράς θερμότητας μπορεί να αντισταθμιστεί από την ανεπιθύμητη αύξηση της πτώση της πίεσης. Η DAS και οι υπόλοιποι επίσης μέτρησαν το ιξώδες Al_2O_3 -νερό σε νανορευστά ως προς την αύξηση του shear rate. Τα αποτελέσματά παρουσίασαν αύξηση του ιξώδες με τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Υπάρχει μια μεγάλη πιθανότητα τα νανορευστά να έχουν ακόμα και ιξωδοελαστική συμπεριφορά σε μερικές περιπτώσεις.

Οι περαιτέρω πειραματικές μελέτες είναι απαραίτητες για τον καθορισμό του ιξώδους των νανορευστών, ώστε έτσι να μπορούν να χρησιμοποιούν τις μελέτες προσομοίωσης. Το ιξώδες του CNT-νερού των νανορευστών επηρεάζεται από τη διατμητική τάση (shear rate) που μετρήθηκε πρόσφατα από τον Ding και τους υπόλοιπους. Παρατήρησαν ότι το ιξώδες των νανορευστών αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του CNT και μειώθηκε με την θερμοκρασία.

Αυτό σημαίνει ότι τα νανορευστά μπορούν να παρέχουν την καλύτερη απόδοση ροής λόγω του υψηλότερου ποσοστού shear rate στα τοιχώματα τα οποία οδηγούν σε χαμηλό ιξώδες.

2.4 Πειραματική έρευνα της μεταφοράς θερμότητας του Al_2O_3/H_2O νανορευστών σε κυκλικό σωλήνα.

Η θέρμανση και η ψύξη των υγρών παίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλές βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος των διαδικασιών παραγωγής, των μεταφορών και της ηλεκτρονικής. Υπάρχουν άφθονα συγγράμματα που αναφέρουν μεθόδους ενίσχυσης της μεταφοράς θερμότητας σε διάφορες διαδικασίες.

Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στην ποικιλία δομής, ανάμεσα σ' αυτές είναι εναλλαγή θερμής επιφάνειας, δόνηση της θερμαινόμενης επιφάνειας έγχυση η αναρρόφηση του υγρού και εφαρμογή ηλεκτρικών η μαγνητικών πεδίων. Αυτές οι ενισχυτικές τεχνικές, μετά βίας επιτυγχάνουν επιθυμητή αύξηση της θερμότητας των ρευστών σε διαδικασίες όπως είναι τα ηλεκτρονικά τσιπάκια, οι εφαρμογές laser ή οι συσκευές υψηλής ενέργειας.

Απ' αυτή την άποψη η βελτίωση των θερμικών ιδιοτήτων των υγρών που μεταφέρουν ενέργεια, μπορεί να είναι ένα μέσο για την αύξηση της μεταφοράς θερμότητας.

Παραδοσιακά ρευστά που μεταφέρουν θερμότητα όπως το νερό, αιθυλική γλυκόλη, και το πετρέλαιο έχουν εγγενή χαμηλή θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με τα άλατα και τα οξειδία των μετάλλων. Γι αυτό το λόγω τα ρευστά με διεσπαρμένα στερεά σωματίδια αναμένεται να έχουν καλύτερες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας σε σύγκριση με τα συμβατικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας.

Μέχρι τώρα εξαιτίας των σχετικών τεχνολογικών προβλημάτων, η πλειοψηφία των μετάλλων πάνω στη μεταφορά θερμότητας της διασποράς οξειδίων των μετάλλων σε ρευστά, περιορίζονται σε διασπορά σωματιδίων διαστάσεων millimeter ή micron-sized. Τόσο μεγάλα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στον εξοπλισμό μεταφοράς θερμότητας.

Συγκεκριμένα τα μεγάλα σωματίδια τείνουν να καθιζάνουν γρήγορα και να αποσταθεροποιούν τη διασπορά γι' αυτό το λόγο καθώς περνούν μέσα από μικρό

κανάλια προκαλούν σοβαρή θρόμβωση και αυξάνουν σημαντικά την πτώση πίεσης στους σωλήνες .

Επιπλέον η λειαντική δράση των σωματιδίων προκαλεί διάβρωση των συνιστώντων μερών και των σωλήνων.

Η σύγχρονη τεχνολογία μας δίνει τη δυνατότητα να παράγουμε εξαιρετικά λεπτά μεταλλικά και μη μεταλλικά σωματίδια νανομετρικών διαστάσεων, το οποίο αποτελεί επανάσταση στις μεθόδους ενίσχυσης της μεταφοράς θερμότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη το πολύ μικρό μέγεθος του σωματιδίου και τον μικρό όγκο, προβλήματα όπως η θρόμβωση και η αύξηση της πτώσης της θερμοκρασίας έχουν μικρή σημασία για τα νανορευστά.

Επίσης η σχετικά μεγάλη επιφάνεια των νανοσωματιδίων, αυξάνει τη σταθερότητα και μειώνει την καθίζηση του. Μια ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση στην αποτελεσματικότητα της μεταφοράς θερμότητας αναμένεται σαν αποτέλεσμα της μείωσης του μεγέθους του σωματιδίου σε μια βύθιση, επειδή η μεταφορά θερμότητας συντελείται στην επιφάνεια των σωματιδίων.

Παραθέτουμε πίνακες και εικόνες νανορευστών.

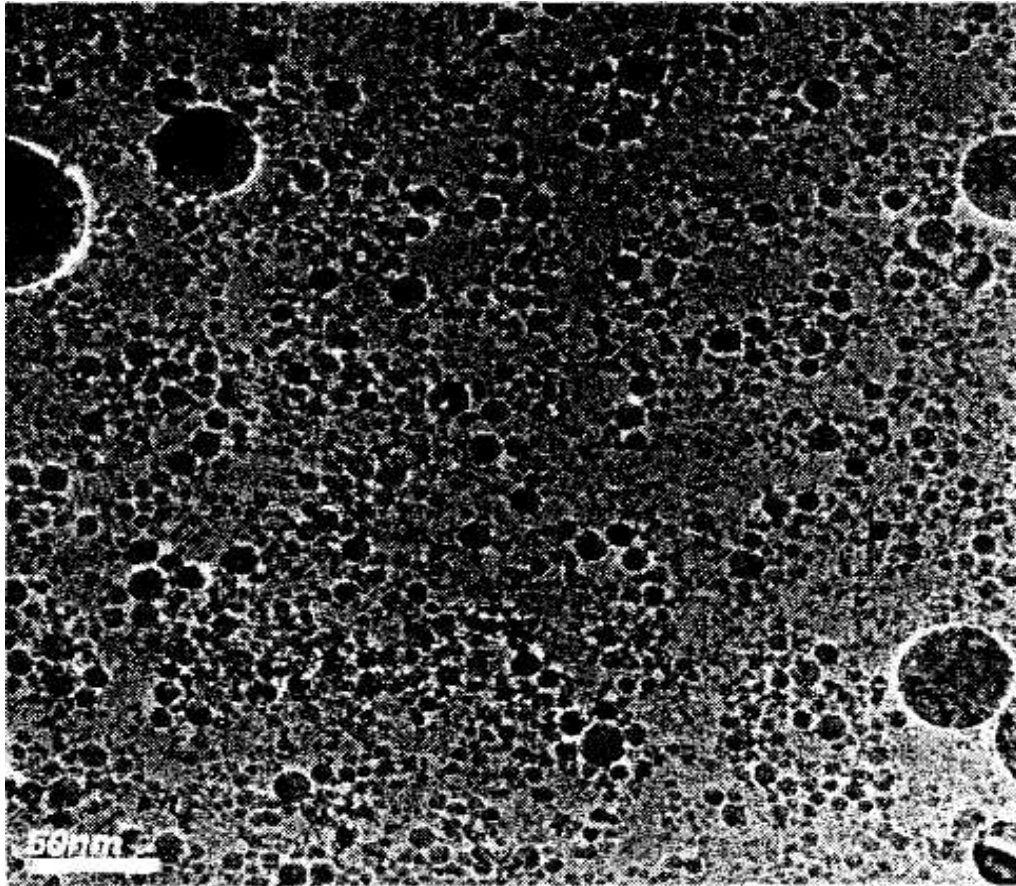


Fig1. TEM micrograph of Al_2O_3 nanoparticles dispersed in water.

Nomenclature

I	current.....	A
q	heat rate	$W m^{-1}$
L	length of the wire.....	m
R	resistance	Ω
C_p	specific heat.....	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
k	thermal conductivity.....	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
V	voltage	V
a	wire radius.....	m

γ	Euler constant	
θ	temperature rise of the wire ($T - T_0$).....	K
R	resistance temperature coefficient.....	K^{-1}
α	thermal diffusivity.....	$m^2 \cdot s^{-1}$
ϕ	volume fraction	

Subscripts

nf	nanofluid
w	wire
g	A/D converter
/	base fluid

Greek symbols

ρ	density	$kg \cdot m^{-3}$
--------	---------------	-------------------

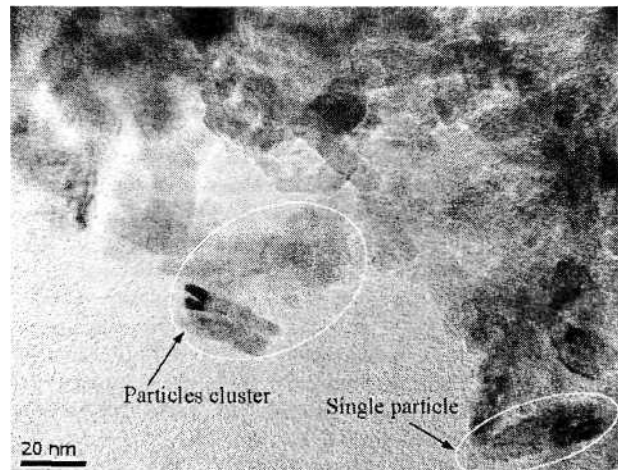
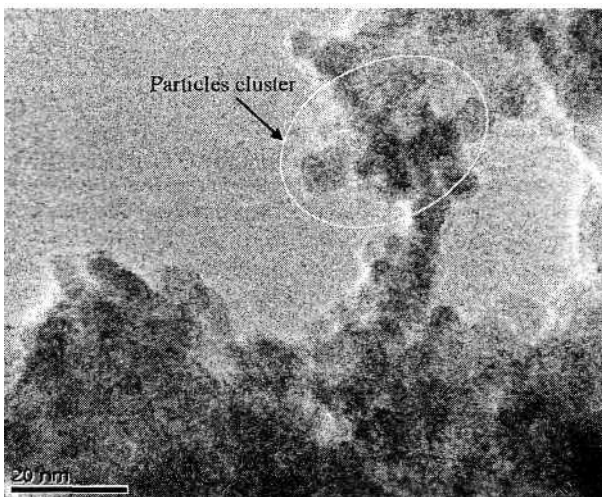


Fig. 2 TEM photograph of 015 nm TiO₂ particles in deionized water.

Fig. 3. TEM photograph of 010 nm x 40 nm TiC_{>2} particles in deionized/ water.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Table 1
Summarized results for thermal conductivity of different types of nanofluids

Researchers	Nanofluids [particle (size in nm)/base fluid]	Measurement technique	Observed significant enhancement of thermal conductivity (<i>k</i>) with particle volume percentage
Eastman et al. [4]	Al ₂ O ₃ (33)/water CuO (36)/water Cu (35)/oil	THW method	29% for 5 vol% 60% for 5 vol% 44% for 0.052 vol%
Lee et al. [6] Wang et al. [7]	Al ₂ O ₃ (38)/water/EG CuO (23.6)/water/EG Al ₂ O ₃ (28)/water/EG CuO (23)/water/EG	THW method Steady-state method	CuO/EG: 22% for 4 vol% Al ₂ O ₃ /EG: 18% for 5 vol% Al ₂ O ₃ /water: 12% for 3 vol% Al ₂ O ₃ /EG: 26% for 5 vol%
Xuan and Li [8] Choi et al. [19] Eastman et al. [5]	Cu (100)/water/TO MWCNT (25 nm x 50 um)/oil Cu (<10)/EG CuO (35)/EG	THW method THW method	Cu/water: 54% for 5 vol% 160% for 1 vol% 40% for 0.3 vol% 22% for 4 vol%
Xie et al. [20] Wang et al. [21]	Al ₂ O ₃ (60.4)/water/EG Al ₂ O ₃ (29)/EG TiO ₂ (40)/EG	THW method Steady-state parallel plate method Quasi-steady state THW method THW method	Al ₂ O ₃ /EG: 30% for 5 vol% 18% for 4 vol% 13% for 5 vol%
Wang et al. [17] Xuan and Li [22] Patel et al. [23] Kumar et al. [24] Murshed et al. [10]	CuO (50)/DIW Cu (10)/water Au (10-20)/toluene/water Au (4)/water/toluene TiO ₂ (15)/DIW	THW method THW method	17% for 0.4 vol% 70% for 3 vol% Au/toluene: 5.5% for 0.008 vol% at 30 °C Au/water: 20%, for 0.00013 vol% at 30 °C
Hong et al. [11] Kwa and Kim [25] Li and Peterson [12]	TiO ₂ (10 x40)/DTW Fe(10)/EG CuO(12)/EG	Steady-state method	30% for 5 vol% 33% for 5 vol% 18% for 0.55 vol%, 6% for 1 vol%
Zhu et al. [26] Hwang et al. [27] Xuan et al. [28] Murshed et al. [25]	CuO (29)/water Al ₂ O ₃ (36)/water Fe ₃ O ₄ (10)/water CuO (35.4)/water/EG Cu (35.4)/water	THW method THW method THW method Unspecified	52% for 6 vol% at 34 °C 30% for 10 vol% at 34 °C 38% for 4 vol% CuO/EG: 9% for 1 vol% 24% for 2 vol% 24% for 5 vol% />. 23%. for 5 vol% 16%, for 1 vol%
Liu et al. [30] Krishnamurthy et al. [31]	Al ₂ O ₃ (80)/DIW CuO (29)/EG Al ₂ O ₃ (20)/water	THW method Optical beam deflection technique	6% for 0.66 vol% 1.3% ± 0.8%, for 0.018 vol%
Wen and Ding [32] Putnam et al. [33]	TiO ₂ (34)/water Au (4)/ethanol	THW method	
Kang et al. [34] Murshed et al. [35]	Diamond (30^t0)/EG Ag(8-15)/water TiO ₂ (15)/EG Al (80)/EG	THW method	75% for 1.32 vol% 11% for 0.4 vol% 18% for 5 vol% 45% for 5 vol%

Notation: DIW, EG, TO, and MWCNT stand for deionised water, ethylene glycol, transformer oil, and multi-wall carbon nanotubes, respectively and THW stands for transient hot-wire.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

X.-Q. Wang, A.S. Mujumdar / International Journal of Thermal Sciences 46
(2007) 1-19

investigator Particles		Size (ran)	Fluids	Observations
Eastman et. al	Al ₂ O ₃ /CuO/Cu	33/36/18	water, HE-200	
Lee et al	Al ₂ O ₃ /CuO	24.4,38.4/18.6,23	water, EG	
Wang et al	Al ₂ O ₃ /CuO	28/23	water, EG, PO,	60% improvement for 5 vol% CuO particles in water
Das et al	Al ₂ O ₃ /CuO	38.4/28.6	water	20% improvement for 4 vol% CuO/EG mixture
Xie et al.	Al ₂ O ₃	12.2-302	water, EG, PO	12% improvement for 3 vol% Al ₂ O ₃ /water nanofluids
Li & Peterson	Al ₂ O ₃ /CuO	36/29	water	2-4 fold increase over range of 21 °C to 52 °C
Xuan & li	Cu	100	water, oil	pH value, SSA, crystalline phase
Eastman et. al	Cu	<10	EG	enhancement with volume fraction and temperature
Huan and yang	Fe	10	EG	successful suspension of relatively big metallic nanoparticles
Patel et. Al.	Au, Ag	4, 15/70	water, toluene	40% increase for 0.3 vol% Cu-based nanofluids
Murshed et al.	TiO ₂	010x40, 015	DW	18% increase for 0.55 vol% Fe/EG nanofluids
Xie et. Al.	SiC	026,600	water, EG	size, temperature, and chemical characteristics
Choi et. Al.	MWNTs	025 x 50 um	oil	33% and 30% increase at 5 vol% for 010 x 40 and 015, respectively
Biercuk et al.	SWNTs	03-30	Epoxy	15.8% increase at 4.2 vol% for 026 SiC-H ₂ O and 22.9% at 4 vol%
Xie et al.	TCNTs	015 x 30 Mm	DW, EG, DE	for 0600 SiC-H ₂ O
Choi et al.	SWNTs	020-30 x 200	epoxy	exceed 250% at 1.0 vol%
Wen & Ding	CNTs	020-60x~ 10 Mm	water	125% at 1.0 wt%
Assael et al.	MWNTs, MWNTs	0130 x 10 Mm	water	19.6%, 12.7%, and 7.0% increase at 1.0 vol% for TCNT/DE, EG, and DW, respectively
Liu et al.	CNTs	020-30	EG, EO	300% at 3 wt% SWNT loading
				23.7% and 31% increase at 0.84% CNT concentration for 20°C and 45 °C, respectively
				34% increase for 0.6 vol% suspension
				12.4% for EG at 1 vol%, 30% for EO at 2 vol%

note: EG: ethylene glycol, PO pump oil, DW: deionized water, DE: decene.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

3.1 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Η θερμότητα είναι ενέργεια. Ο όρος θερμότητα χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε διεργασίες ή δυναμικά ανταλλαγής ενέργειας.

Η μεταφορά θερμότητας (heat transfer) ασχολείται με την μελέτη των μηχανισμών μέσω των οποίων σώματα ανταλλάσσουν ενέργεια. Στόχος αυτής της μελέτης είναι η πρόβλεψη του ρυθμού και της παραγωγικότητας αυτής της διεργασίας.

Η μεταφορά θερμότητας διαφέρει από την θερμοδυναμική. Η μεταφορά θερμότητας μελετά συστήματα τα οποία δεν βρίσκονται σε κατάσταση ισορροπίας ενώ η θερμοδυναμική ασχολείται με συστήματα σε κατάσταση ισορροπίας.

Παράδειγμα: Χύσιμο κρύου γάλακτος σε ένα φλιτζάνι με ζεστό καφέ.

Η θερμοδυναμική θα μας πει ποια θα είναι η τελική κατάσταση του συστήματος καφές – γάλα.

Η μεταφορά θερμότητας θα μας πει πώς το σύστημα έφτασε στην τελική κατάσταση και πόσο γρήγορα.

Ποσότητα	Έννοια	Σύμβολο	Μονάδες
Θερμική ενέργεια (thermal energy)	Ενέργεια η οποία συσχετίζεται με την Μικροσκοπική συμπεριφορά της ύλης	U ή u ή E	J J/kg
Θερμοκρασία (temperature)	Ένας τρόπος για έμμεσο προσδιορισμό της θερμικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην ύλη	T	K ή °C
Μεταφορά θερμότητας (heat transfer)	Μεταφορά θερμικής ενέργειας λόγω βαθμίδων θερμοκρασίας		
Θερμότητα (heat)	Ποσότητα θερμικής ενέργειας η οποία μεταφέρεται κατά την διάρκεια χρόνου $\Delta t > 0$	Q ή q	J
Ρυθμός θερμότητας (heat rate)	Μεταφορά θερμικής ενέργειας ανά μονάδα χρόνου	Q ή q	W
Ροή θερμότητας (heat flux)	Μεταφορά θερμικής ενέργειας ανά Μονάδα χρόνου και εμβαδό επιφάνειας	q"	W/m ²

3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Θερμική αγωγιμότητα είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας από θερμές περιοχές σε κρύες. Η μεταφορά είναι μηχανισμός ο οποίος βασίζεται στις ατομικές και μοριακές δονήσεις. Στην πραγματικότητα θερμική αγωγιμότητα είναι το άθροισμα των κβάντων ενέργειας της ταλάντωσης (κβάντα ενέργειας που οφείλονται στις κινήσεις δόνησης, ταλάντωσης και περιστροφής) των μορίων του υλικού καθώς και της κίνησης των ελευθέρων ηλεκτρονίων του. Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες, συμβάλλει σε διαφορετικό ποσοστό στην τιμή της ταχύτητα μεταφοράς της θερμότητας σε κάθε υλικό.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι οι θερμικές ιδιότητες κάθε υλικού καθορίζονται από το είδος και τις κινήσεις των μορίων τους και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Είναι γνωστό ότι μερικά υλικά μεταφέρουν ενέργεια πιο εύκολα από άλλα (μέταλλα σε σχέση με το ξύλο). Η φυσική ιδιότητα που σχετίζεται με την μεταφορά της ενέργειας καλείται θερμική αγωγιμότητα, k .

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τις τιμές της θερμικής αγωγιμότητας ορισμένων υλικών.

Υλικό	W/m*K	g/cm(3)	Αλουμίνιο
247	2.71		Αλουμίνιο (6061)
171	2.6-2.9		Αλουμίνιο (6063)
193	2.6-2.9		Αλουμίνιο (7075-T6)
130	2.6-2.9		Μπρούντζος (70Cu-30Zn)
115	n/a		Χαλκός
398	8.94		Χρυσός
315	19,32		

Οι μηχανισμοί για την μεταφορά θερμότητας είναι.

- **Μεταφορά θερμότητας με Αγωγή:** με τον όρο αυτό αναφερόμαστε σε μοριακούς μηχανισμούς μεταφοράς ενέργειας
- **Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή:** εξαρτάται από την ροή του ρευστού σχετίζεται άμεσα με τη μεταφορά μάζας και έχει νόημα μόνο όταν υπάρχει ροή.
- **Μεταφορά θερμότητας με διάχυση:** έχει εφαρμογή σε υλικά που αλληλοδιαχέονται (ρευστά ή αέρια) ή σε μείγματα που αλληλοδιαχέονται
- **Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία:** το κυριότερο πλεονέκτημα του τρόπου αυτού μεταφοράς θερμότητας είναι ότι δεν χρειάζεται μέσον για να μεταδοθεί όπως για μετάδοση με αγωγή και συναγωγή. Γιατί η ακτινοβολία μπορεί να μεταδοθεί και στο κενό.

3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΗ ΓΙΑ ΥΓΡΑ

Στη βιβλιογραφία μπορεί κανένας να βρει πάρα πολλές θεωρητικές προσεγγίσεις και λεπτομερείς κινητικές θεωρίες για την θερμική αγωγιμότητα υγρών, αλλά υπάρχει μεγάλη απόσταση ανάμεσα στα θεωρητικά αυτά μοντέλα και στις εφαρμογές.

Παρακάτω αναφέρουμε την επικρατέστερη σήμερα θεωρία του Bridgman που προσπαθούν να προσεγγίσουν με ακρίβεια το πρόβλημα της μεταφοράς θερμότητας στα ρευστά.

Ο Bridgman ανέπτυξε μία θεωρία για μεταφορά ενέργειας σε υγρά. Υπέθεσε ότι τα μόρια είναι διευθετημένα σε μία κυβική κρυσταλλική δομή (cubic lattice) με την απόσταση τους (center-to-center) να είναι $(V/N)^{1/3}$ στην οποία (V/N) είναι ο όγκος ανά μόριο.

Επίσης υπέθεσε ότι η ενέργεια μεταφέρεται από ένα επίπεδο της κρυσταλλικής δομής σε ένα άλλο, με την ταχύτητα του ήχου (sonic velocity), u_s . Η θεωρητική ανάπτυξη έδωσε την εξής εξίσωση:

$$k = \frac{1}{3} \rho C_v \hat{u}_l = \rho C_v \hat{u}_s$$

C_v δίνεται από την σχέση DuLong Petit (ίδια όπως στα μονοατομικά αέρια και υγρά $C_v = 3(K/m)$). Η μέση μοριακή ταχύτητα στην y -κατεύθυνση μπορεί να αντικατασταθεί από την ταχύτητα του ήχου. Κάνοντας αυτές τις αντικαταστάσεις:

$$k = 3(N/V)^{2/3} K u_s$$

Πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο παράγοντας 3 μπορεί να αντικατασταθεί με 2.8, έτσι ώστε η εξίσωση να δώσει καλύτερα αποτελέσματα,

$$k = 2.80(N/V)^{2/3} K u_s$$

Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πολυατομικά υγρά, παρ' ότι χρησιμοποιεί $C_v = 3(K/m)$ που ισχύει μόνο για μονοατομικά υγρά (αυτό επειδή οι συγκρούσεις πολυατομικών μορίων είναι ατελής).

3.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΣΥΝΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί και με την ροή ρευστών και αυτός ο μηχανισμός αναφέρεται σαν μεταφορά ενέργειας με συναγωγή.

(βλέπε σχήμα 9.7-1)

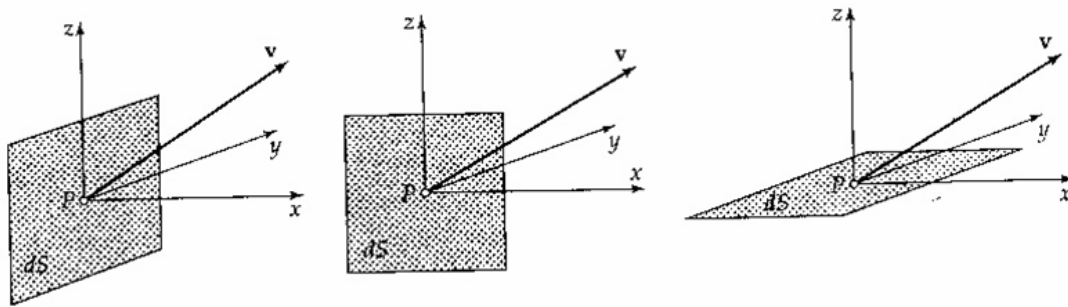


Fig. 9.7-1. Three mutually perpendicular surface elements of area dS across which energy is being transported by convection by the fluid moving with the velocity \mathbf{v} . The volume rate of flow across the face perpendicular to the x -axis is $v_x dS$, and the rate of flow of energy across dS is then $(\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho U)v_x dS$. Similar expressions can be written for the surface elements perpendicular to the y - and z -axes.

Η ταχύτητα του ρευστού είναι \mathbf{v} . Ο ογκομετρικός ρυθμός ροής δια μέσου της επιφάνειας dS κάθετης στον x -άξονα είναι $v_x dS$. Ο ρυθμός με την οποία η θερμότητα μεταφέρεται δια μέσου της ίδιας επιφάνειας είναι:

$$(1/2 \rho v^2 + \rho U)v_x dS$$

όπου $(1/2 \rho v^2) = 1/2 \rho (u^2 + v^2 + w^2)$ είναι η κινητική ενέργεια ανά μονάδα όγκου, και ρU είναι η εσωτερική ενέργεια ανά μονάδα όγκου.

Οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να γενικευθούν σε τρεις διαστάσεις:

$$(1/2 \rho v^2 + \rho U) \delta x = (1/2 \rho v^2 + \rho U) \delta y = (1/2 \rho v^2 + \rho U) \delta z = (1/2 \rho v^2 + \rho U) v$$

Αυτή η ποσότητα λέγεται διάνυσμα ρυθμού μεταφοράς της θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας με συναγωγή. Για να υπολογίσουμε την συναγωγή θερμότητας δια μέσου μιας μονάδας επιφάνειας, η οποία είναι κάθετη στον μοναδιαίο διάνυσμα \mathbf{n} , χρησιμοποιούμε το εσωτερικό γινόμενο.

$$(\mathbf{n} \cdot (1/2 \rho v^2 + \rho U) \mathbf{v}).$$

Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτή είναι η συναγωγή θερμότητας από την αρνητική πλευρά της επιφάνειας προς την αντίστοιχη θετική, που σημαίνει κατεύθυνση

από ένα σημείο με μικρότερη συντεταγμένη προς ένα άλλο σημείο με μεγαλύτερη συντεταγμένη.

3.5 ΜΟΡΙΑΚΗ ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όταν η αρχή διατήρησης της ενέργειας εφαρμόζεται πάνω σε ένα διαφορικό στοιχείο υλικού, πρέπει να λάβουμε υπ' όψη και την ενέργεια που γίνεται πάνω στο σύστημα από τις μοριακές κινήσεις. Σε αυτή την περίπτωση εφαρμόζουμε τον πρώτο νόμο της Θερμοδυναμικής για ένα ανοικτό σύστημα.

Όταν μία δύναμη, \mathbf{F} , ασκείται πάνω σε ένα σώμα και προκαλεί μετατόπιση κατά μία απόσταση $d\mathbf{r}$ τότε η ενέργεια είναι $dW=\mathbf{F}\cdot d\mathbf{r}$. Ο ρυθμός παραγωγής θερμικής ενέργειας είναι $dW/dt=\mathbf{F}\cdot d\mathbf{r}/dt=\mathbf{F}\cdot \mathbf{v}$.

Αυτή η αρχή θα χρησιμοποιηθεί τώρα πάνω σε ένα σύστημα ροής που ορίζεται από τρεις επιφάνειες που είναι μεταξύ τους κάθετες (βλέπε σχήμα Fig. 9.8-1)

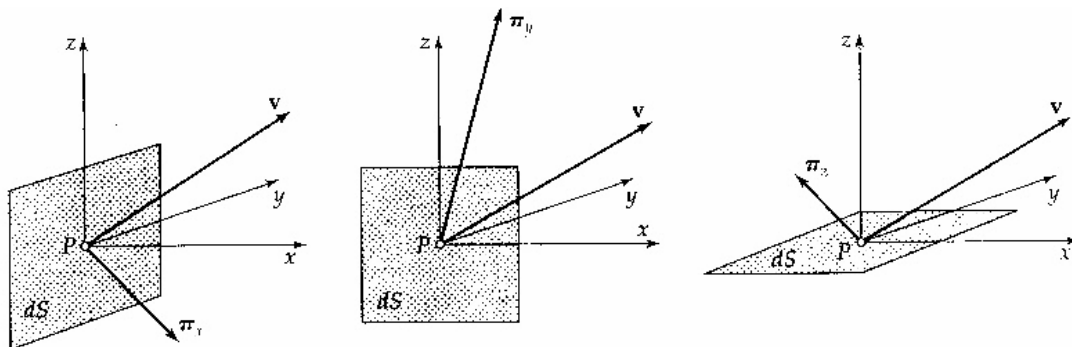


Fig. 9.8-1. Three mutually perpendicular surface elements of area dS at point P along with the stress vectors π_x, π_y, π_z acting on these surfaces. In the first figure, the rate at which work is done by the fluid on the minus side of dS on the fluid on the plus side of dS is then $(\pi_x \cdot \mathbf{v})dS = [\pi \cdot \mathbf{v}]_x dS$. Similar expressions hold for the surface elements perpendicular to the other two coordinate axes.

Θεωρούμε την πρώτη επιφάνεια που είναι κάθετη στον x -άξονα. Το ρευστό στην αρνητική πλευρά ασκεί μία δύναμη $\pi_x dS$ πάνω στο ρευστό στην άλλη

πλευρά (θετική). Το ρευστό κινείται με ταχύτητα \mathbf{v} . Τότε ο ρυθμός με τον οποίο το έργο που γίνεται από το «αρνητικό» ρευστό στο «θετικό» ρευστό είναι $(\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}) dS$.

Κάνοντας το ίδιο και για όλες τις άλλες πλευρές, οι εξής σχέσεις προκύπτουν:

$$(\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v})_x = \pi_{xx} u_x + \pi_{xy} u_y + \pi_{xz} u_z = [\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}]_x$$

$$(\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v})_y = \pi_{yx} u_x + \pi_{yy} u_y + \pi_{yz} u_z = [\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}]_y$$

$$(\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v})_z = \pi_{zx} u_x + \pi_{zy} u_y + \pi_{zz} u_z = [\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}]_z$$

Όταν αυτές πολλαπλασιαστούν με τα αντίστοιχα μοναδιαία διανύσματα και προστεθούν, η εξίσωση για το διάνυσμα ρυθμού παραγωγής έργου ανά μονάδα επιφανείας μπορεί να εξαχθεί:

$$[\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}] = \delta_x (\pi_x \cdot \mathbf{v}) + \delta_y (\pi_y \cdot \mathbf{v}) + \delta_z (\pi_z \cdot \mathbf{v})$$

Επιπλέον, ο ρυθμός παραγωγής θερμικής ενέργειας δια μέσου μιας επιφάνειας με προσανατολισμό που δίνεται από το μοναδιαίο κάθετο στην επιφάνεια διάνυσμα \mathbf{n} είναι $(\mathbf{n} \cdot [\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}])$.

Τώρα μπορούμε να ορίσουμε το διάνυσμα συνδυασμένου ρυθμού παραγωγής θερμικής ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας \mathbf{e} , ως:

$$\mathbf{e} = (1/2 \rho \mathbf{v}^2 + \rho U) \mathbf{v} + [\mathbf{\pi} \cdot \mathbf{v}] + \mathbf{q}$$

Αυτή η ποσότητα συνδυάζει:

- Τη ροή της ενέργειας
- Το ρυθμό παραγωγής έργου ανά μονάδα επιφανείας με μοριακό μηχανισμό
- Το ρυθμό μεταφοράς ενέργειας με μοριακά μέσα

Ο τανυστής $\boldsymbol{\pi}$ μπορεί να γραφεί $\boldsymbol{\pi} = p\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\tau}$ έτσι ώστε $[\boldsymbol{\pi} \cdot \mathbf{v}] = pv + [\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}]$. Ο όρος pv μπορεί να συνδυαστεί με την εσωτερική ενέργεια για να δώσει την ενθαλπία. Έτσι μπορούμε να γράψουμε:

$$\mathbf{e} = (1/2 \rho v^2 + \rho H) \mathbf{v} + [\boldsymbol{\pi} \cdot \mathbf{v}] + \mathbf{q}$$

Για μία επιφάνεια με προσανατολισμό \mathbf{n} , η ποσότητα $(\mathbf{n} \cdot \mathbf{e})$ δίνει το ρυθμό ενέργειας με συναγωγή, με αγωγή και το ρυθμό έργου δια μέσου του διαφορικού στοιχείου επιφάνειας, dS , από την αρνητική πλευρά προς τη θετική.

3.6 ΜΕΘΟΔΟΣ HOT-WIRE ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΥΓΡΩΝ

Η μέθοδος hot-wire είναι η μέθοδος με τις περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά στη μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας των υγρών. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος αυτή είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί σε εξαιρετικά διαβρωτικά υγρά που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, όπως οι τηγμένοι άνθρακες, γιατί όλα τα μακριά καλώδια πρέπει να μονωθούν με αντιδιαβρωτικά υλικά που δεν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Αυτές οι δυσκολίες θα μπορούσαν να αναπτύξουμε μια μέθοδο με πολύ κοντότερο καλώδιο από το συνηθισμένο. Βασισμένοι σ' αυτή την άποψη, οι συγγραφείς ανέπτυξαν μια καινούρια μέθοδο στην οποία χρησιμοποίησαν ένα θερμό καλώδιο μήκους περίπου 10mm.

Για παράδειγμα η τεχνική hot-wire έχει εφαρμοστεί στις πειραματικές μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας στην πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε. Το μήκος και η διάμετρος του καλωδίου και η αναλογία ηλεκτρικής αντίστασης των πόλων καθώς και ολόκληρη η έρευνα καθορίζονται από τη χρήση καθαρού νερού και toluene ως σταθερά δείγματα ρευστών. Μέσα από αυτές τις διαβαθμίσεις $\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$ και $\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$. Ερευνάται επίσης η επίδραση της αβεβαιότητας της θερμικής διάχυσης στον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας.

Το προσωρινό κοντό, θερμό καλώδιο που θα χρησιμοποιούσαμε σε αυτή τη μελέτη, είναι ένα κοντό πλατινένιο καλώδιο με μήκος 9,2 mm και διάμετρο 97 μm έχει συγκολληθεί και στα δύο άκρα με πόλους από πλατίνα με διάμετρο 1,5mm, το οποίο υποστηρίζεται από στρογγυλό κεραμικό πιάτο και είναι συνδεδεμένο με πλατινένιους αγωγούς τάσης και ρεύματος που έχουν διάμετρο 0,5mm. Το κεραμικό πιάτο είναι στερεωμένο με μια ράβδο από ανοξείδωτο ατσάλι που μπορεί να μετακινηθεί πάνω κάτω.

Ένα δοχείο από καθαρό χρυσό με διάμετρο 50mm και όγκο 120 cm³ θερμαίνεται με ηλεκτρικό φούρνο που είναι καλυμμένος εξωτερικά με θερμομονωτικό υλικό. Οι θερμοκρασίες στα εξωτερικά τοιχώματα του φούρνου μέτρουνται με θερμοζεύγη για να δίνουν σήμα ανατροφοδότησης στον ελεγκτή θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις γίνονται σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης .

Το πλατινένιο θερμό καλώδιο θερμαίνεται (και ψύχεται σταδιακά) στους 800°C για λίγες ώρες και ο συντελεστής θερμότητας της ηλεκτρικής του αντίστασης β ορίζεται από τη διαμέτρηση της διακύμανσης της θερμοκρασίας από 20 μέχρι 800°C. Το καλώδιο αυτό κόβεται και συγκολλάτε στους πλατινένιους πόλους. Η συσκευή πρέπει να καθαριστεί προσεκτικά με υπέρηχους πριν τοποθετηθεί στο θάλαμο της συσκευής. Η συσκευή είναι τοποθετημένη στη δεξιά πάνω πλευρά και περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα κατά τη διάρκεια της επίστρωσης του κυλινδρικού καλωδίου. Στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιούμε Al₂O₃ μεγάλης καθαρότητας (99.99%) για την επίστρωση. Η παραγωγή ενέργειας ελέγχεται στα 100W . Η πίεση στο θάλαμο είναι 0.22Pa. Το ποσοστό ροής αργού και οξυγόνου ελέγχονται στα 10 και 5 cm³ .min⁻¹ . Ο χρόνος παραγωγής σπινθήρων είναι 6.4 h για μια επίστρωση πάχους 2μm. Η επιστρωμένη συσκευή διαβαθμίζεται πάλι για να καθοριστεί η συνολική της αντίσταση συμπεριλαμβάνοντας τους αγωγούς Rt0 στους 0 °C με την παραδοχή ότι ο συντελεστής του καλωδίου είναι ίδιος με το β . Όταν η συσκευή βυθίζεται σε ένα υγρό με ενιαία θερμοκρασία, η θερμοκρασία του θερμού καλωδίου βγαίνει ως εξής :

$$T_v = 1/\beta (R_i/R_{t0} - 1)$$

όπου το R_i είναι η αντίσταση της συσκευής. Από την άλλη μεριά, όταν θερμαίνεται η συσκευή, η θερμοκρασία του καλωδίου ανεβαίνει αλλά η θερμοκρασία του αγωγού παραμένει στην αρχική της τιμή λόγω της μεγάλης θερμαντικής του ικανότητας .

Η θερμοκρασία του θερμού καλωδίου υπολογίζεται ως εξής:

$$T_v = 1/\beta(R_i(t) - \varepsilon R_i / (1 - \varepsilon) R_{to} - 1)$$

όπου το ε είναι το ποσοστό αντίστασης των αγωγών και ολόκληρης της συσκευής και είναι περίπου 0.075 για τις συγκεκριμένες συσκευές .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΑΝΟΡΕΥΣΤΩΝ

4.1 Χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας των νάνο ρευστών.

Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να ενισχυθεί παθητικά αλλάζοντας τη γεωμετρία της ροής , τις οριακές συνθήκες ή ενισχύοντας τη θερμική αγωγιμότητα του ρευστού . Έχουν προταθεί Διαφορές τεχνικές για την ενίσχυση της δυνατότητας μεταφοράς θερμότητας των ρευστών. Οι ερευνητές έχουν ακόμα προσπαθήσει να αυξήσουν τη θερμική αγωγιμότητα των βασικών ρευστών προσθέτοντας στερεά μικροσωματίδια η μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια σε ρευστά εφόσον η θερμική αγωγιμότητα των στερεών είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη από αυτήν των ρευστών. Πολυάριθμες θεωρητικές και πειραματικές έρευνες προσθήκης στερεών σωματιδίων έχουν διεξαχθεί από τότε που δημοσιεύτηκε η εργασία του Maxwell, πριν από εκατό χρόνια. Παρόλα αυτά εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους και της υψηλής πυκνότητας των σωματιδίων, δεν υπάρχει κατάλληλος τρόπος για να εμποδίσουμε την καθίζηση των στερεών σωματιδίων. Η έλλειψη σταθερότητας τέτοιων διασπορών επιφέρει πρόσθετη αντίσταση στη ροή και πιθανή διάβρωση.

Γι'αυτό το λόγο , τα ρευστά με διεσπαρμένα σωματίδια διαστάσεων $\sim 100\text{nm}$ δεν έχουν εμπορευματοποιηθεί ακόμα.

Η μοντέρνα νανοτεχνολογία παρέχει νέες ευκαιρίες επεξεργασίας και παραγωγής υλικών με μέσο μέγεθος σωματιδίων κάτω από 50 nm.

Τα ρευστά στα οποία έχουν διασπαρθεί νανοσωματίδια ονομάζονται νάνο ρευστά , όρος που προτάθηκε από τον Choi ο 1995 από το Argonne National laboratory , USA .

Τα νάνο ρευστά μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι η επόμενη γενιά ρευστών που μεταφέρουν θερμότητα καθώς προσφέρουν συναρπαστικές νέες δυνατότητες ενίσχυσης της δυνατότητας μεταφοράς θερμότητας σε σύγκριση με τα καθαρά ρευστά . Αναμένεται ότι έχουν βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τα συμβατικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας , καθώς και με τα ρευστά που περιέχουν μεταλλικά μικροσωματίδια. Η πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια των νανοσωματιδίων, σε σύγκριση με αυτήν των συμβατικών σωματιδίων, θα έπρεπε όχι μόνο να βελτιώσει σημαντικά τη δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας αλλά και να αυξήσει τη σταθερότητα αυτών των διασπορών.

Η επιτυχής χρήση των νάνο ρευστών ενισχύει την σύγχρονη τάση για σμίκρυνση των συστατικών , δίνοντας τη δυνατότητα να σχεδιαστούν μικρότερα και ελαφρύτερα συστήματα ανταλλαγής θερμότητας.

Η εξέλιξη των νάνο ρευστών παρεμποδίζεται ακόμα από αρκετούς παράγοντες όπως η έλλειψη συμφωνίας των αποτελεσμάτων, μεταξύ διαφόρων ερευνητικών ομάδων. Ο ανεπαρκής χαρακτηρισμός των βυθίσεων και η ελλιπής κατανόηση των μηχανισμών.

Τα διασπαρμένα σε βασικά υγρά νανοσωματίδια, μπορούν να αλλάξουν τη ροή του υγρού και τα χαρακτηριστικά της μεταφοράς θερμότητας των βασικών υγρών. Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε τις πρόσφατες εξελίξεις της έρευνας στη μελέτη της μεταφοράς θερμότητας με τη χρήση νανορευστών. Πρώτα εξετάζεται η παρασκευή των νανορευστών. Στη συνέχεια ακολουθεί μια περιγραφή των πρόσφατων πειραματικών και αναλυτικών ερευνών με νανορευστά.

4.2 Αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα και θερμική διάχυση των νανορευστών που περιέχουν σφαιρικά και κυλινδρικά νανοσωματίδια.

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των υγρών που περιέχουν διάφορα στερεά σωματίδια έχουν ερευνηθεί για πολλές δεκαετίες και έχουν προταθεί θεωρητικά και πειραματικά εξαιρετικοί τύποι πρόβλεψης για την αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα των διεσπαρμένων υλικών. Από τότε που αναφέρθηκε μια ενισχυμένη θερμική αγωγιμότητα για τη διασπορά μεταλλικών ή μη μεταλλικών νανοσωματιδίων σε συμβατικά υγρά και από τότε που εισήχθη ο όρος νανορευστά από τον Choi το 1995, πολλοί ερευνητές έχουν αναφέρει τα θεωρητικά, αριθμητικά και πειραματικά τους συμπεράσματα για τις θερμοφυσικές ιδιότητες των νανορευστών. Πρόσφατα, ο Kumar κ.α. ανέφεραν μια ενισχυμένη θερμική αγωγιμότητα κατά περίπου 20% για ένα νανορευστό με 0.00013% Au νανοσωματίδια μόνο σε νερό. Αφού μια τόσο απαθής ενίσχυση αναμένεται να έχει ποικίλες εφαρμογές στη θερμομηχανική, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα νανορευστά από επιστήμονες που ασχολούνται με τις επιστήμες μεταφοράς θερμότητας και τη μηχανική. Παρ' όλα αυτά είναι δύσκολο να καταλάβει κανείς γιατί τα νανορευστά έχουν τόσο υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Εν τω μεταξύ, υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στις θερμικές αγωγιμότητες που αναφέρονται από διαφορετικούς ερευνητές. Ο Koblinski κ.α. επεσήμαναν ότι τα πιο συναρπαστικά πειραματικά αποτελέσματα δεν μπόρεσαν να αναπαραχθούν. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να επανεξετάσουμε την αξιοπιστία των μετρήσεων που έχουν αναφερθεί μέχρι σήμερα.

Η εργασία κάνει αναφορά σε μετρήσεις της αποτελεσματική θερμικής αγωγιμότητας και θερμικής διάχυσης διαφόρων νανορευστών, χρησιμοποιώντας μια παραδοσιακή τεχνική του κοντού θερμικού καλωδίου (SHW). Για να εξαλειφθεί η επίδραση του στατικού φορτίου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νανοσωματιδίων στην ακρίβεια της μέτρησης, οι συσκευές κοντών θερμικών καλωδίων (SHW), έχουν επιστρωθεί με ένα λεπτό στρώμα περίπου 1μm από καθαρό Al_2O_3 με συσκευή σπινθήρων. Η ηλεκτρική διαρροή των επιστρωμένων συσκευών SHW ελέγχεται προσεκτικά, και μόνο εκείνες οι συσκευές που έχουν επιστρωθεί σωστά χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις. Τα νανορευστά που έχουν εξετασθεί είναι Au/toluene, Al_2O_3/H_2O , $TiO_2/νερό$, CuO/H_2O και CNF/H_2O και οι μετρήσεις γίνονται για διάφορες εντάσεις και θερμοκρασίες. Τα νανοσωματίδια Au, Al_2O_3 , TiO_2 και CuO είναι σφαιρικά και οι μέσες διαμέτροι τους είναι 1.65, 20, 40, 33nm αντίστοιχα. Το μέσο μήκος και η μέση διάμετρος των CNF είναι 10μm και 150nm αντίστοιχα. Οι μετρήσεις δείχνουν ότι **η αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα και θερμική διάχυση αυξάνονται γενικά ανάλογα με την αύξηση της έντασης των σωματιδίων.** Παρ' όλα αυτά η αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών δε δείχνει καμία αντικανονική ενίσχυση/αύξηση για τις περιπτώσεις αραιών διασπορών αυτών των σφαιρικών νανοσωματιδίων και των κυλινδρικών CNF και μπορεί να προβλεφθεί με την εξίσωση των Hamilton Crosser για τις περιπτώσεις των σφαιρικών και με την εξίσωση μονάδας κυττάρου των Yamada και Ota για τις ανθρακούχες νανοίνες.

4.3 Πειράματα.

Η αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα και θερμική διάχυση των νανορευστών μετρούνται παράλληλα με την τεχνική SHW.

. Η τεχνική των SHW αναπτύχθηκε από τη συμβατική τεχνική του παροδικού θερμικού καλωδίου και βασίστηκε στην αριθμητική λύση της δυσδιάστατης παροδικής μεταφοράς θερμότητας για κοντά καλώδια με την ίδια αναλογία μήκους – διαμέτρου και οριακές συνθήκες ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στις πραγματικές μετρήσεις. Τα αριθμητικά αποτελέσματα της αύξησης θερμοκρασίας του μέσου όγκου θερμού καλωδίου χωρίς διαστάσεις $\theta_v = (T_v - T_i) / (q_n r^2 / \lambda)$ υπολογίζονται κατά προσέγγιση με μια γραμμική εξίσωση με βάση το λογάριθμο του αριθμού Fourier $Fo = (\alpha t) / r^2$, όπου T_i και T_v είναι η αρχική θερμοκρασία υγρού και η θερμοκρασία του θερμού καλωδίου αντίστοιχα, q_n είναι το ποσοστό θέρμανσης που παράγεται ανά μονάδα όγκου, r είναι η ακτίνα του SHW, t είναι ο όγκος, λ και α είναι η θερμική αγωγιμότητα και η θερμική διάχυση του υγρού αντίστοιχα.

Οι συντελεστές A και B , η κλίση και το intercept, καθορίζονται από τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων για μια σχετική κλίμακα του αριθμού Fourier που αντιστοιχεί στις περιόδους μέτρησης. Η υπό μέτρηση αύξηση θερμοκρασίας $\Delta T_v = T_v - T_i$ του καλωδίου υπολογίζεται επίσης από μια γραμμική εξίσωση με συντελεστές a και b οι οποίοι επίσης καθορίζονται με τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων για τη χρονική κλίμακα πριν την έναρξη της φυσικής μεταφοράς θερμότητας. Μια σύγκριση των παραπάνω δύο εξισώσεων μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τη θερμική αγωγιμότητα (λ) και θερμική διάχυση (α) των νανορευστών από: $\lambda = (V I / \pi) / (A / \alpha)$ (1) και $\alpha = r^2 \exp(b/a - B/A)$ (2)

Όπου I είναι το μήκος του θερμικού καλωδίου και οι V I είναι η τάση και το ρεύμα που παρέχονται στο καλώδιο.

Σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν μια συσκευή SHW και ένα Teflon cell με όγκου περίπου 30 cm^3 . Η συσκευή SHW τοποθετήθηκε πάνω στο καπάκι Teflon του cell. Ένα κοντό καλώδιο από πλατίνα με μήκος $14,5 \text{ mm}$ και διάμετρο $20 \mu\text{m}$ συγκολλάται και στα δύο τέρματα στα Pt lead wires διαμέτρου $1,5 \text{ mm}$. Χρησιμοποιώντας αποσταγμένο νερό και με τολουόλιο ως υγρά αναφοράς με γνωστές θερμοφυσικές ιδιότητες το αποτελεσματικό μήκος και η ακτίνα του θερμού καλωδίου και το πάχος του μονωτικού στρώματος από Al_2O_3 μετριοούνται πριν και μετά την εφαρμογή της επίστρωσης του μονωτικού Al_2O_3 . Έχει εσωτερική διάμετρο 30 mm και ύψος 47 mm έτσι ώστε ο συνολικός εσωτερικός όγκος να είναι $33,2 \text{ cm}^3$. Δύο θερμικά ζεύγη τοποθετούνται στο ίδιο ύψος στο ανώτερο και κατώτερο σημείο συγκόλλησης του θερμού καλωδίου και των lead wires αντίστοιχα για να ελέγχεται η ομοιογένεια της θερμοκρασίας. Για να ελαχιστοποιηθούν οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας το κύτταρο του θερμού καλωδίου τοποθετήθηκε σε θερμοστατικό λουτρό στη θερμοκρασία για την οποία έγιναν οι μετρήσεις της θερμικής αγωγιμότητας. Χρησιμοποιώντας ως βάση τις εξισώσεις ανάλυσης αβεβαιότητας των Zhang & Fugii οι ανακρίβειες των μετρήσεων θερμικής αγωγιμότητας και διάχυσης της παρούσας μελέτης υπολογίζονται ότι είναι μεταξύ 1% και 5% αντίστοιχα. Οι ανακρίβειες έχουν επιβεβαιωθεί περαιτέρω συγκρίνοντας τις μετρηθείσες τιμές με τα σταθερά στοιχεία αναφοράς για το καθαρό νερό και το toluene.

Πιθανόν ο Choi στο Argonne National Laboratory να ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τα σωματίδια νανομετρικών διαστάσεων βυθισμένα μέσα σε διάλυμα ως νανορευστό και έδειξε σημαντική αύξηση στη θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών. Ο Lee κ.ά ανέφεραν ότι η βύθιση σωματιδίων 4% με όγκο 35 nm σε αιθυλική γλυκόλη έδειξε αύξηση 20% της θερμικής αγωγιμότητας. Άλλοι παρατήρησαν αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας του λαδιού μηχανής 160% με 1.0% volume carbon nanotube. Ο Das κ.α. ερεύνησαν πειραματικά τη σχέση της αύξησης της θερμικής αγωγιμότητας των νανορευστών με τη θερμοκρασία. Παρατηρήθηκε ότι μία αύξηση 2-4 φορές της θερμικής αγωγιμότητας του νανορευστού μπορεί να συντελεστεί σε θερμοκρασίες από 21-51 °C. Εφόσον τα θεωρητικά μοντέλα όπως Maxwell & Hamilton – Crosser δεν προβλέπουν με ακρίβεια την θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών, υπάρχει μεγάλη ανάγκη να μελετηθούν οι μηχανισμοί ενίσχυσης της θερμικής αγωγιμότητας στα νανορευστά.

Οι Lee & Xuan ερεύνησαν πειραματικά 35mm Cu-deionized water nanofluid μέσα σε σωλήνα με συνεχή ροή θερμότητας και έδειξαν ότι η αναλογία του αριθμού Νουζέλτ, για νανορευστό προς τον αριθμό του καθαρού νερού με την ίδια ταχύτητα υγρού, ποικίλει από 1.05-1.14 αυξάνοντας την ένταση των νανοσωματιδίων από 0,5 σε 1,2 % αντίστοιχα. Επίσης οι ίδιοι εξέτασαν δύο μεθόδους για να εξηγήσουν την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας από νανορευστά. Η πρώτη μέθοδος ήταν το μοντέλο μίας φάσης στο οποίο και το υγρό και τα σωματίδια βρίσκονταν σε κατάσταση θερμικής ισότητας και σε ροή με την ίδια ταχύτητα. Στη δεύτερη ανάλυση υιοθέτησαν το μοντέλο διασποράς να εξηγήσουν την ενίσχυση μεταφοράς θερμότητας των νανορευστών που απορρέει από τη χαστική κίνηση των νανοσωματιδίων στη βασική ροή. Οι ίδιοι ερευνητές ερεύνησαν τη μεταφορά θερμότητας του *culwater* νανορευστού με συνεχή ροή θερμότητας σε κατάσταση στροβιλώδους ροής και συμπέραναν ότι η ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας των νανορευστών μπορεί να σχετίζεται με την αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας ή με την τυχαία κίνηση και διασπορά των νανοσωματιδίων στα νανορευστά.

Προτείνουν ένα καινούριο συσχετισμό βασισμένο στο μοντέλο διασποράς και συνυπολόγισαν την επίδραση της έντασης και του μεγέθους των νανοσωματιδίων, για να εξηγήσουν την ενίσχυση. Οι Wen & Ding έχουν μελετήσει τη μεταφορά θερμότητας του νανορευστού Al_2O_3/H_2O σε laminar flow κάτω από συνεχή ροή θερμότητας και ανέφεραν αύξηση στο συντελεστή της μεταφοράς θερμότητας του νανορευστού με τον αριθμό Reynolds και τη συγκέντρωση νανοσωματιδίων στην περιοχή εισόδου. Διαπίστωσαν ότι το μάκρος ανάπτυξης θερμότητας των νανορευστών ήταν μεγαλύτερο από αυτό του καθαρού νερού. Ο λόγος για τον οποίο ενισχύεται η μεταφορά θερμότητας των νανορευστών είναι η μείωση του πάχους του στρώματος θερμικού περιορισμού εξαιτίας της μη ομοιογενούς κατανομής της θερμικής αγωγιμότητας και παχυρευστότητας που προέρχεται από την κίνηση Brownian των νανοσωματιδίων.

Ο Palm και Roy ανέφεραν σημαντική αύξηση του ποσοστού μεταφοράς θερμότητας μέσα από αριθμητική έρευνα της μεταφοράς θερμότητας με laminar flow $Al_2O_3/ethylene\ glycol$ & Al_2O_3/H_2O νανορευστού σε ένα σύστημα radial flow. Επίσης έδειξαν ότι η πίεση τοιχωμάτων αυξήθηκε με συγκέντρωση νανοσωματιδίων και τον αριθμό Reynolds. Ο Yang αναφέρει αύξηση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για γραφίτη/ATF και γραφίτη/(λαδιού βάσεως) νανορευστού σε laminar flow, αλλά εξήγησαν ότι οι παράγοντες ενίσχυσης είναι άξιες κάτω της πρόβλεψης που έχουν εξαχθεί από συμβατικές εξισώσεις. Ο Putra κ.α. έχουν αναφέρει καταστολή της φυσικής μεταφοράς θερμότητας από νανορευστό με $Al_2O_3/νερο$ και $CuO/νερο$ και συμπέραναν ότι αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως είναι η καθίζηση των νανοσωματιδίων και η διαφορά ταχύτητας ανάμεσα στα νανοσωματίδια και το βασικό υγρό.

H

αλλαγή της φάσης του νανορευστού ερευνήθηκε από τον Das. Αυτός παρατήρησε επιδείνωση της απόδοσης βρασμού των νανορευστών.

Ο Tsai

κ.α. μελέτησαν την επίδραση του δομικού χαρακτήρα των νανοσωματιδίων στη θερμική απόδοση των σωλήνων θέρμανσης και συμπέραναν ότι η θερμική αντίσταση των σωλήνων με νανορευστά ήταν χαμηλότερη από αυτή του αποσταγμένου νερού. Οι Ding και Wen εξήγησαν ότι η κίνηση των νανοσωματιδίων εξαιτίας της κλίσης του χώρου στο ποσοστό παχυρευστότητας καθώς και η κίνηση Brownian έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη μεταφορά θερμότητας.

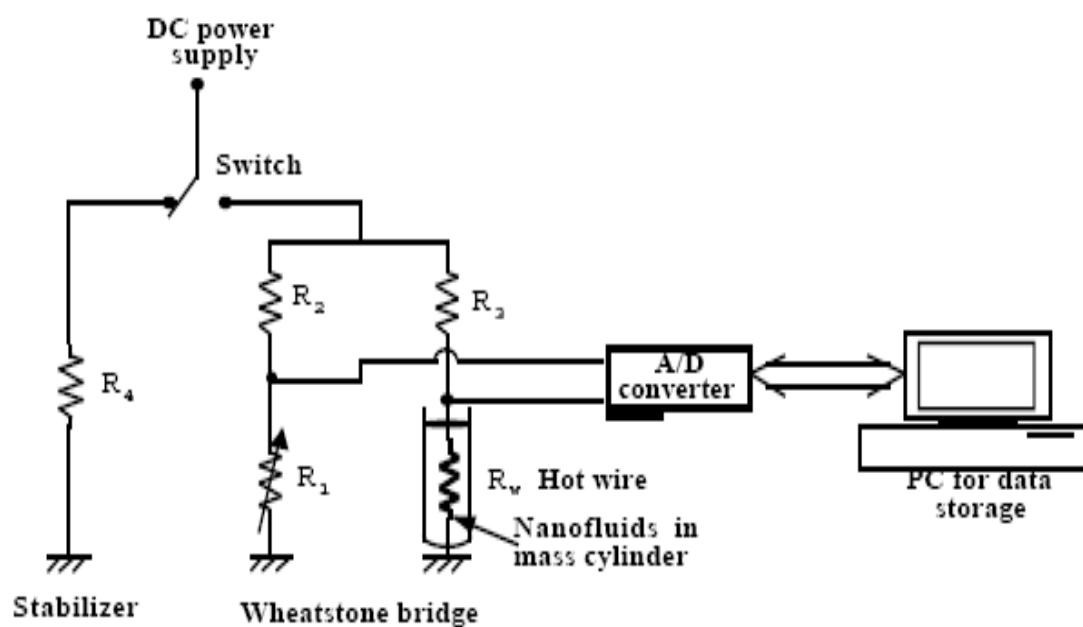
Ο

σκοπός αυτής της εργασίας είναι να μελετηθεί η μεταφορά θερμότητας σε laminar flow του Al_2O_3 /νερό νανορευστού, κάτω από συνεχή/σταθερή θερμοκρασία τοιχωμάτων και διαφορετικές συγκεντρώσεις νανοσωματιδίων.

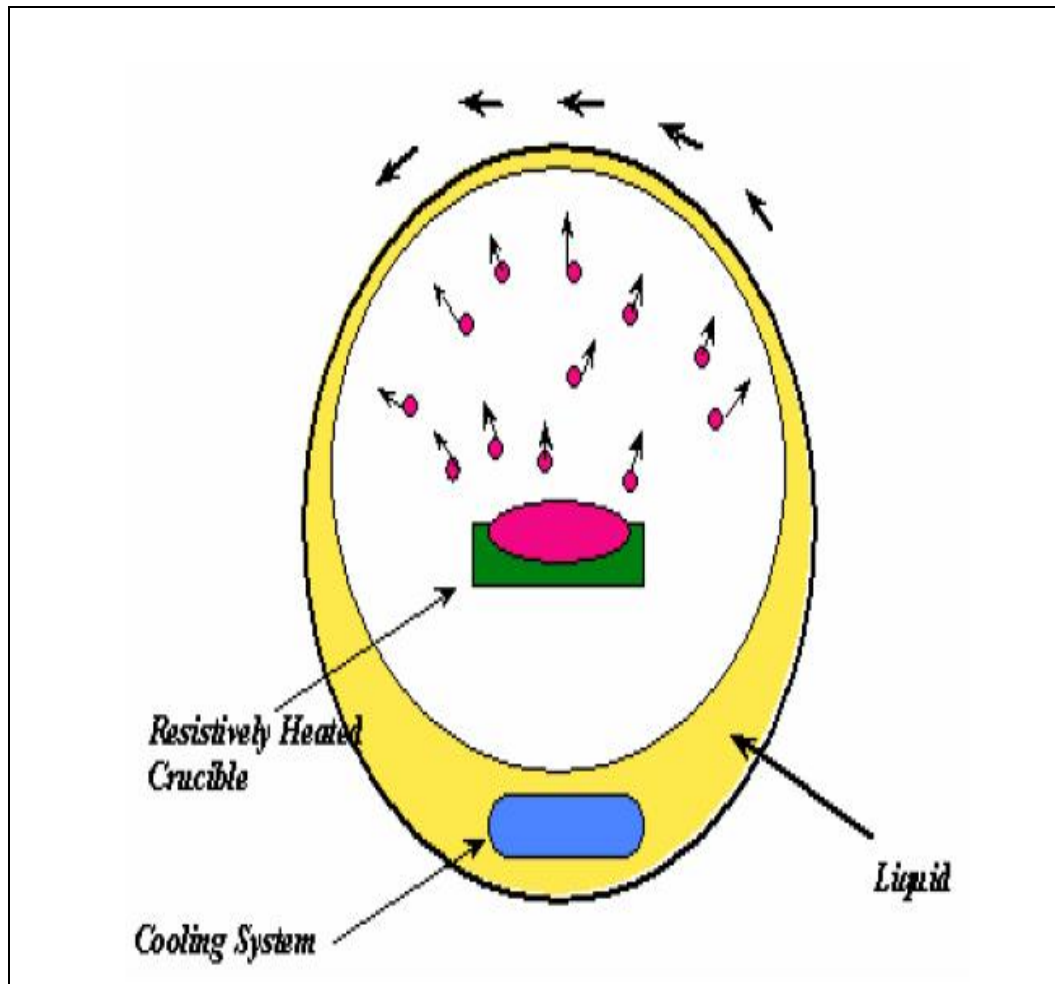
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΧΕΔΙΑ - ΕΙΚΟΝΕΣ

5.1 ΣΧΕΔΙΑ



συσκευή hot wire



Παρασκευή νανορευστών.

5.2 ΕΙΚΟΝΕΣ



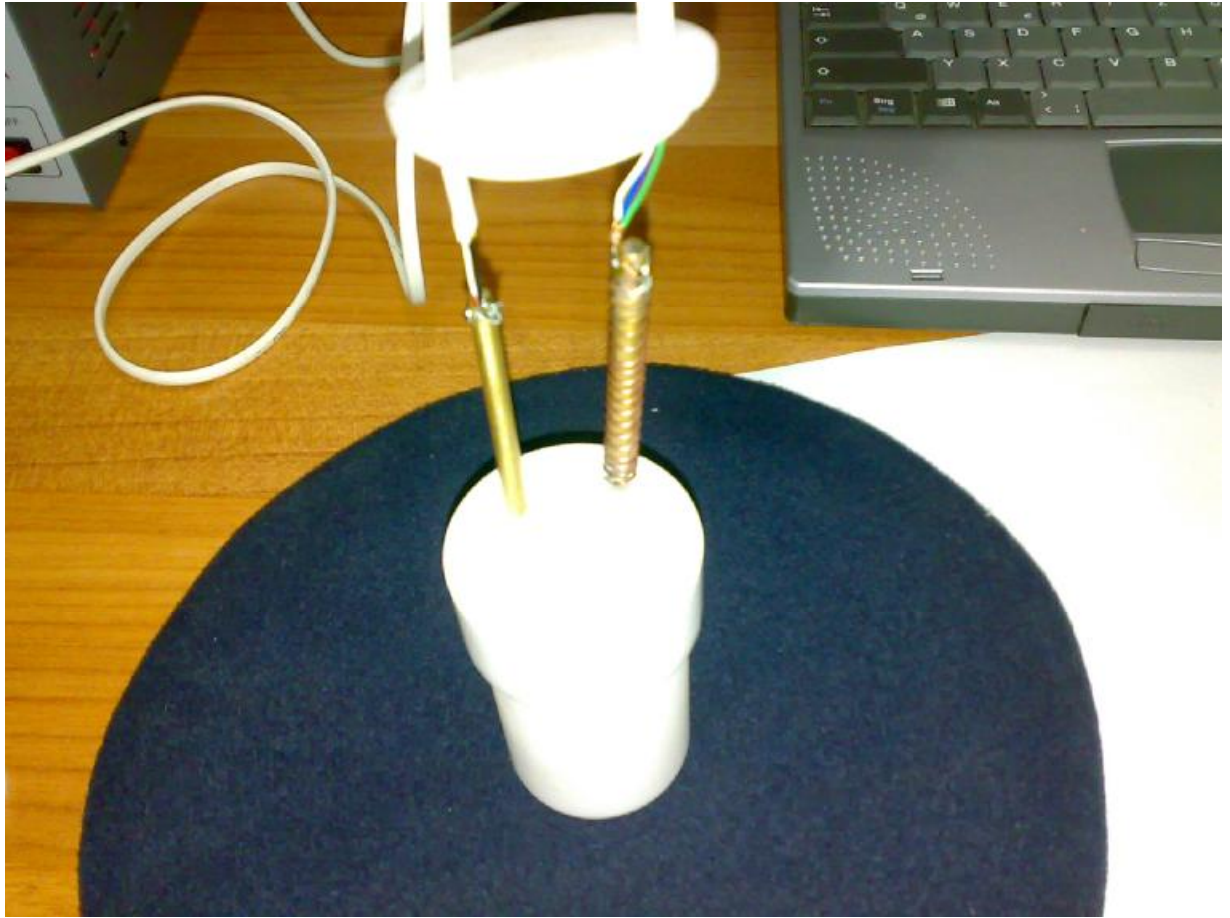
Εικόνα 1: Ρυθμιστής θερμοκρασίας (0 – 400 °C) & τροφοδοτικό (6 Ampere)



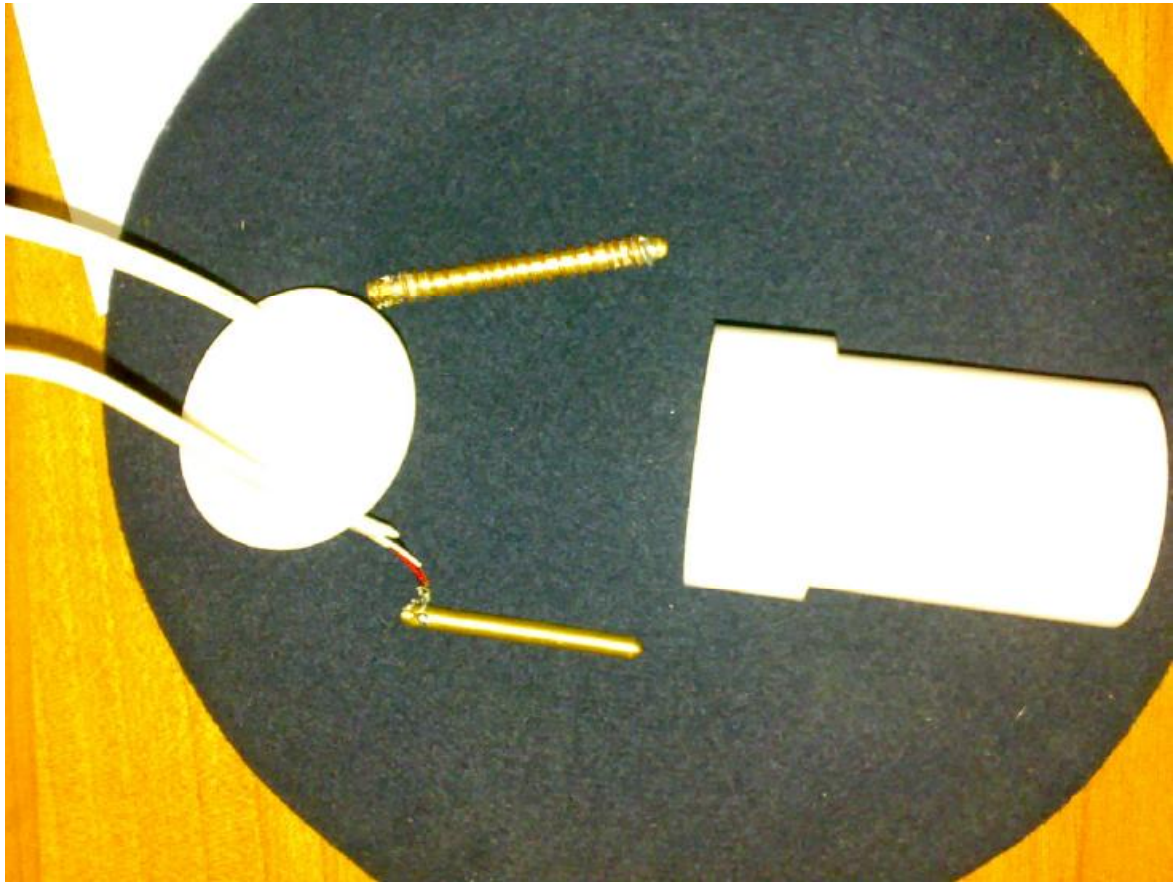
Εικόνα 2: Συνδεσμολογία συσκευών



Εικόνα 3: Συνδεσμολογία από άλλη οπτική



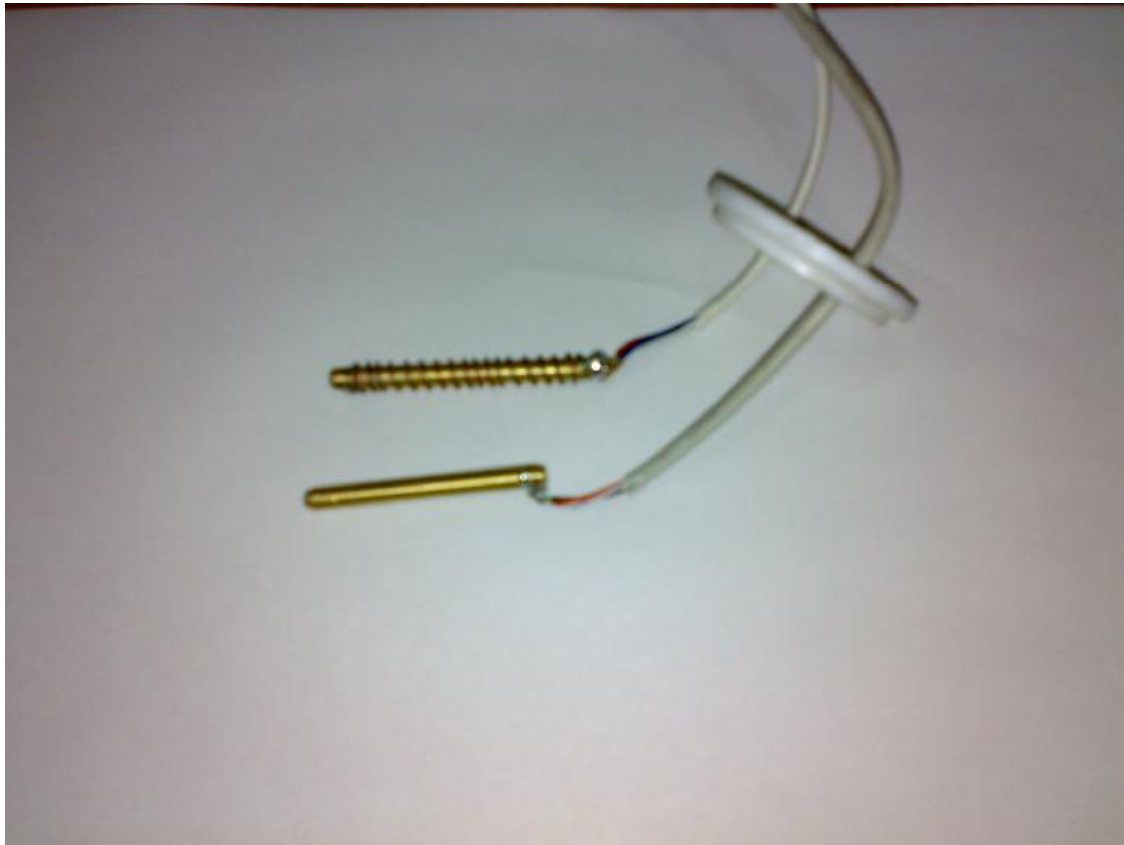
Εικόνα 4: Δοχείο νανορευστού και θερμοζεύγος



Εικόνα 5: Δοχείο νανορευστού και θερμοζεύγος σε άλλη διάταξη



Εικόνα 6: Διαχωριστικό παρέμβυσμα θερμοστοιχείου & hot-wire



Εικόνα 7: Θερμοστοιχείου & hot-wire

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημοσιεύσεις

Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture. Praveen K.Namburu,Devdatta

Praveen K. Namburu ,Devdatta P. kulkarni, Debasmita Mistra,
Debendra K. Das

- Experimental Thermal and fluid Science 32 (2007) 397-402

Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/H₂O nanofluid in circular tube

S. Zeinali Heris, M. Nasr Esfahany, S. Gh. Etemad

- Internal journal of heat and fluid flow 28 (2007) 203-210

Preparation and heat transfer properties of nanoparticles in transformer oil dispersion as advanced energy efficient coolants

C. Choi, H.S Yoo, J. M. Oh

- Current Applied physics 8 (2008) 710-712

Heat transfer and flow behavior of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe

Yurong He, Yi Jin, Haisheng Chen, Yulong Ding, Daqiang Cang, Huilin Lu

- International journal of heat and mass transfer 50 (2007) 2272-2281

Synthesis of Ag-deionized water nanofluids using multi-beam laser ablation in liquids

Tran X. Phuoc, Yee Soong, Minking K. Chyu

- Optics and lasers in engineering 45 (2007) 1099-1106

A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids

Hai-tao Zhu, Yu-sheng Lin, Yan-sheng Yin

- Journal of Colloid and interface Science 277 (2004) 100-103

Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al₂O₃ nanoparticles

Ji – Hwan Lee, Kyo Sik Hwang, Seok Pil Jang, Byeong HO Lee, Jun Ho Kim, Stephen U.S Choi, Chul Jin Choi

- International journal of heat and mass transfer 51 (2008) 2651-2656

Thermophysical and electrokinetic properties of nanofluids – A critical review

S.M.S Murshed, K.C Leong, C. Yang

- Applied thermal engineering 28 (2008) 2109-2125

Shape – controlled synthesis of Cu-based nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system (SANSS)

Chih-Hung Lo, Tsing-Tshih Tsung, Liang-Chia Chen

- Journal of crystal growth 277 (2005) 636-642

Enhanced thermal conductivity of TiO₂ – water based nanofluids

S.M.S Murshed, K.C Leong, C. Yang

- International journal of thermal sciences 44 (2005) 367-373

Heat transfer characteristics of nanofluids: a review

Xiang-Qi Wang, Arun S. Mujumdar

- International journal of thermal sciences 46 (2007) 1-19