

Διαβροχή

Λαναρά Χριστίνα *

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης,
Ηράκλειο 71003, Ελλάδα

9/5/2016

Η ικανότητα διαβροχής επιφανειών αποτελεί σημαντικό κομμάτι της τεχνολογίας τόσο σε εφαρμογές μακροκλίμακας, όσο και σε εφαρμογές μικρο-κλίμακας. Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε το φαινόμενο διαβροχής λείων (ιδανικές) και τραχέων (μικροδομημένες / πραγματικές) στερεών επιφανειών. Η ανάλυση αυτή έχει ενδιαφέρον, διότι η τραχύτητα επιρραάζει σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα διαβροχής των επιφανειών. Η μελέτη του φαινομένου θα διεκπεραωθεί μέσω, της συσχέτισης μικροδομών επιφάνειας και φύσης (φύλλο λωτού), χαρακτηριστικών εξισώσεων και θεωρητικών μοντέλων που περιγράφουν πλήρως το φαινόμενο και την εξέλιξή του. Το βασικό μέγεθος που περιγράφει το φαινόμενο ονομάζεται γωνία επαφής, μέσω του οποίου θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως η τραχύτητα ενισχύει τη διαβρεκτικότητα των επιφανειών.

1. Εισαγωγή

Η φυσική εξήγηση διαβροχής ασχολείται με φαινόμενα που αφορούν την αλληλεπίδραση δύο υγρών φάσεων (τυπικά, ένα υγρό και ένα αέριο), και μιας στερεής επιφάνειας. Οι ικανότητες διαβροχής του υποστρώματος είναι άμεση συνέπεια των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του, και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό υλικών.^[1] Δηλαδή, η διαβροχή αποτελεί θεμελιώδης διεργασία της αλληλεπίδρασης του υγρού στην διεπιφάνεια στερεού – ατμού και περιγράφει πως ένα ρευστό έρχεται σε επαφή με μία στερεή επιφάνεια.^[4] Στην παρούσα εργασία υπάρχουν γενική περιγραφή του φαινομένου, παραδείγματα φαινομένων διαβροχής στη φύση (φύλλο λωτού) και συσχετισμός τους με την πειραματική μελέτη του φαινομένου, ανάλυση βασικών εννοιών, αναπαράσταση και επεξήγηση θεωρητικών σχέσεων, μοντέλων, με στόχο την ανάλυση του φαινομένου διαβροχής σε στερεές επιφάνειες διαφορετικής τραχύτητας και πως αυτή επιρραάζει τις ικανότητες διαβροχής των επιφανειών.

2. Κυρίως Μέρος

Εισαγωγή βασικών εννοιών

Διαβροχή είναι η ικανότητα ενός υγρού να διατηρεί επαφή με στερεά επιφάνεια, λόγω μοριακών αλληλεπιδράσεων, όταν βρίσκονται σε επαφή.^[8] Ο βαθμός διαβροχής καθορίζεται από μία ισορροπία δυνάμεων πρόσφυσης και συνοχής. Η διαβροχή ασχολείται με τις τρεις φάσεις των υλικών: αέριο, υγρό, και στερεό.^[4]

Δυνάμεις πρόσφυσης : Έλξεις με μικρή εμβέλεια (1 μm),^[5] που προκαλούν μια σταγόνα υγρού να απλώσει πάνω στην επιφάνεια.

Δυνάμεις συνοχής : Οι δυνάμεις συνοχής συγκρατούν συνδεδεμένα τα μόρια των ουσιών όπου στα στερεά είναι ισχυρές, στα υγρά ασθενέστερες και στα αέρια πολύ ασθενείς. Όταν κάποια μόρια βρεθούν κοντά απωθούνται, ενώ αν βρίσκονται μακριά έλκονται.^[9] Στις δυνάμεις συνοχής οφείλεται το φαινόμενο της επιφανειακής τάσης.

Επιφανειακή τάση : Μοριακές δυνάμεις του εμπλεκόμενου υγρού, της στερεής επιφάνειας και του περιβάλλοντα αέρα. Μία σταγόνα πάνω σε μια απόλυτα επίπεδη στερεή επιφάνεια διαβρέχει την επιφάνεια σε ορισμένο βαθμό. Σε ποιο ακριβώς βαθμό η επιφάνεια διαβρέχεται περιγράφεται από τη γωνία επαφής.

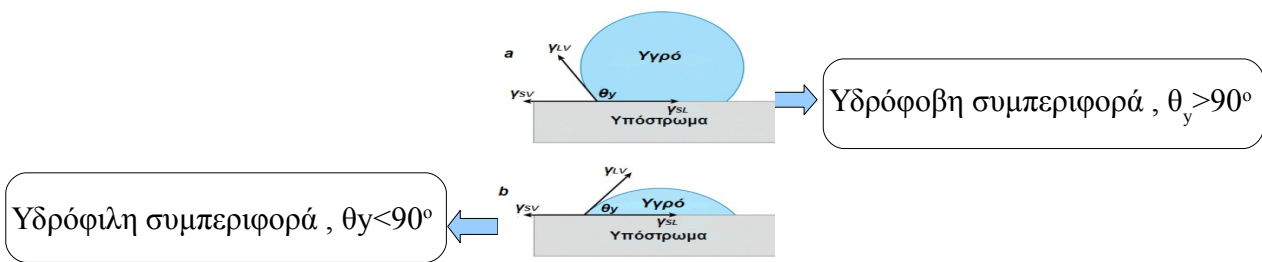
Γωνία επαφής : Είναι η γωνία στην οποία συναντά η διεπιφάνεια ρευστού – ατμού τη διεπιφάνεια στερεού – ρευστού. Η γωνία επαφής ενός ρευστού σε μία επιφάνεια εξαρτάται από την επιφανειακή τάση.

Διαβροχή στερεών επιφανειών

Θεωρητικά περιγράφεται μέσω της θερμοδυναμικής ισορροπίας ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές φάσεις: την υγρή φάση (L), τη στερεή φάση της επιφάνειας (S) και την αέρια φάση (V). Έτσι, η γωνία επαφής καθορίζεται από τις διεπιφανειακές τάσεις γ_{SV} στερεού-αερίου, γ_{SL} στερεού-υγρού, γ_{LV} υγρού-αερίου.

Για λεία / ιδανική επιφάνεια : Περιγραφή ισορροπίας μέσω της εξίσωσης Young, όπως φαίνεται στην εικόνα [1].

* mst775@edu.materials.uoc.gr



Εικόνα [1] : Σταγόνα σε στερεή επιφάνεια – a) Υδρόφοβη συμπεριφορά , b) Υδρόφιλη συμπεριφορά ^[5]
 Εξίσωση Young : $\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} (\cos\theta_y)$, όπου θ_y η γωνία επαφής .

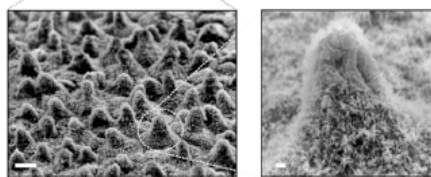
Περιπτώσεις: Σταγόνα σχεδόν σφαιρική → μερική διαβροχή ($\theta_y > 90^\circ$) ή δημιουργία λεπτού φιλμ → ολική διαβροχή ($\theta_y = 0^\circ$). ^[5] .

Για δομημένη / τραχεία επιφάνεια : Η εξίσωση Young δεν ισχύει με την παραπάνω μορφή της. Έχουν αναπτυχθεί δύο μοντέλα ερμηνείας του φαινομένου :

- I. Μοντέλο ομογενούς διαβροχής (Wenzel) : Πλήρης διείσδυση υγρού σε όλα τα στοιχεία της τραχείας επιφάνειας. Η γωνία επαφής εξαρτάται από τον παράγοντα τραχύτητας.
- II. Μοντέλο ετερογενούς διαβροχής (Cassie – Baxter) : Η σταγόνα του υγρού δεν διεισδύει πλήρως στα στοιχεία τραχύτητας επιφανείας και συνεπώς αέρας παγιδεύεται κάτω από τη σταγόνα, ελαττώνοντας την περιοχή επαφής μεταξύ υγρού – επιφανείας. ^[4].

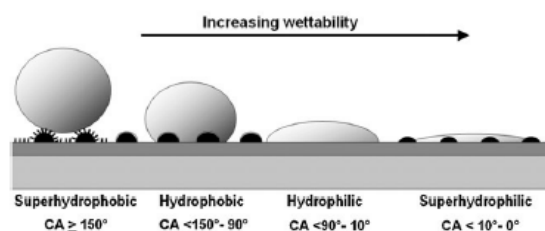
Συσχέτιση επιφανειών – φύλλο λωτού

Τα φύλλα ορισμένων φυτών, όπως *Nelumbo nucifera* (φύλλο λωτού), παρουσιάζουν εκπληκτικές ιδιότητες διαβροχής. Το νερό σχηματίζει γωνία επαφής $\sim 180^\circ$ σε αυτά τα φύλλα, έτσι ώστε ένα σταγονίδιο κυλάει μακριά χωρίς να αφήνει ίχνη υγρασίας. ^[6] Οι δομές επιφανειών που ενσωματώνουν δομές από διαφορετικές κλίμακες μεγέθους (μικρο – και νάνο – κλίμακα) ονομάζονται *ιεραρχικές*. ^[4] .



Εικόνα [2] : Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης επιφάνειας φύλλων λωτού, αριστερά : μεγέθυνση της αριστερής σε μία μεμονωμένη θηλοειδή προβολή (10μm) με απολήξεις (nm). ^[2] .

Στην εικόνα [3] φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση πιθανής δόμησης της επιφάνειας του φύλλου του φυτού που θα εξηγούσε την αντίστοιχη συμπεριφορά διαβροχής.



Εικόνα [3] : Αναπράσταση δομής φύλλου λωτού σε στερεή επιφάνεια . ^[3] .

Η εξαιρετική σουπερ – υδροφοβικότητα που επιδεικνύει η επιφάνεια ενός φύλλου λωτού σχετίζεται άμεσα με την ιεραρχική τραχύτητα της επιφανείας του.

3. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας παρατηρούμε ότι, το σχήμα που παίρνει μία σταγόνα όταν ισορροπεί σε μια οριζόντια στερεή επιφάνεια, εξαρτάται από τη φύση της στερεάς επιφάνειας, του υγρού καθώς και από το τρίτο μέσο που περιβάλλει τη σταγόνα (αέρας ή υγρό). Επίσης, μία υψηλή γωνία επαφής περιγράφει επιφάνειες στις οποίες μια σταγόνα σχηματίζει σφαιρικό σχήμα , σε αντίθεση με τις υδρόφιλες επιφάνειες στις οποίες μια σταγόνα νερού τείνει να απλωθεί και η γωνία επαφής είναι μικρή. Ακόμη, το μοντέλο Wenzel προβλέπει ότι η τραχύτητα της επιφάνειας αυξάνει την υδροφιλικότητα ή την υδροφοβικότητα της αντίστοιχης λείας επιφάνειας. Τέλος , το μοντέλο Cassie – Baxter προβλέπει πάντα ενίσχυση της υδροφοβικότητας της επιφανείας ανεξάρτητα από την αρχική γωνία επαφής . Συνολικά συμπεραίνουμε ότι η τραχύτητα επιφανειών σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα διαβροχής τους . ^[4] .

Αναφορές

- [1] Andrea Cavalli , 2013 ,Wetting on micro-structured surfaces: modelling and optimization , *PhD thesis* , Technical University of Denmark.
- [2] E.Stratakis,A.Ranella & K.Fotakis, 2011, *Biomimetic micro/nanostructured functional surfaces for microfluidic and tissue engineering applications*, Citation: *Biomicrofluidics* 5 , 013411 (2011); doi: 10.1063/1.3553235
- [3]K. Koch, Bh. Bhushan, W. Barthlott, *Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces*, *Soft Matter* 4, (2008), 1943
- [4] Κ.Φωτάκης , Μ.Στρατάκης, Χ.Σιμιτζή , *Εργαστηριακή άσκηση : Βιομιμητικές επιφάνειες* , Εργαστήρια Λείζερ και Μοντέρνας Οπτικής – PH461 (ELMO), Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας , Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ
- [5] Νικόλαος Θ. Χαμάκος , 2011 , Υπολογιστική ανάλυση διαβροχής στερεών επιφανειών από σταγόνες , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , Σχολή Χημικών Μηχανικών
- [6] S. Herminghaus , 2000, Roughness - induced non - wetting , *Europhys. Lett.*, 52 (2), pp. 165–170
- [7] http://lyk-n-epivat.thess.sch.gr/kolles/Klebstoffe/kleb_prosfysi.htm , (πρόσβαση 3/5/2016)
- [8] Wikipedia , <https://en.wikipedia.org/wiki/Wetting> (πρόσβαση 29/4/2016)
- [9] Wikipedia, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%87%CE%AE> , (πρόσβαση 3/5/2016)