

Βιομιμητική- Lotus Effect

Μυλωνάκης Χ.

Πανεπιστήμιο Κρήτης- Τμήμα φυσικής

Βιομιμητική είναι ο κλάδος της επιστήμης ο οποίος μελετά και εξομοιώνει βιολογικά συστήματα με συγκεκριμένες επιθυμητές ιδιότητες. Λόγο της 'πίεσης' της εξέλιξης, με τη πάροδο δεσκατομμυρίων ετών, τα βιολογικά συστήματα έχουν δημιουργήσει μηχανισμούς έξυπνους, ενεργειακά αποδοτικούς, ευέλικτους, προσαρμόσιμους, ανεκτικούς σε σφάλματα, φιλικούς προς το περιβάλλον, και συνάμα πολυλειτουργικούς για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων τους.

Η βιομιμητική έχει βαθιές στο χρόνο ρίζες καθώς πολλοί άνθρωποι προσπάθησαν να μιμηθούν ζωντανούς οργανισμούς. Κλασικά παραδείγματα είναι ο Λεονάρντο ντα Βίντσι ο οποίος παρατηρούσε την ανατομία και την πτήση πουλιών και σχεδίαζε ιπτάμενες μηχανές. Επίσης οι αδερφοί Ράιτ στους οποίους αποδίδεται η εφεύρεση και κατασκευή του πρώτου επιτυχημένου αεροπλάνου στον κόσμο, είχαν ως έμπνευσή τους την παρακολούθηση της πτήσης περιστεριών.

Παρόλα αυτά ο κλάδος της βιομιμητικής επίσημα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950 με τον Otto Schmitt ο οποίος μελετούσε τους νευρώνες καλαμαριών, προσπαθώντας να κατασκευάσει μια συσκευή που αντέγραφε τα βιολογικά συστήματα νευρώνων διάδοσης. Έκτοτε ο τομέας αυτός έχει γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη με την εξέλιξη της νανο- και βιοτεχνολογίας οι οποίες μας έδωσαν τη δυνατότητα να μελετήσουμε, να εξηγήσουμε και να μιμηθούμε διάφορες ιδιότητες βιολογικών συστημάτων. Υπάρχει ένας αυξανόμενος όγκος πληροφοριών που περιγράφουν φυσικές επιφάνειες με εξελιγμένες σχεδιαστικές στρατηγικές, οι οποίες προσδίδουν στους οργανισμούς και τα φυτά ανώτερες μηχανικές, αυτοκαθαριζόμενες, οπτικές, κολλώδεις, αισθητήριες ιδιότητες καθώς και δυνατότητες ανταπόκρισης και κινητοποιήσεως [4].

Οι ειδικές λειτουργίες ορισμένων οργανισμών συνήθως δεν διέπονται από το ενδογενείς ιδιότητες των υλικών, αλλά είναι πιο πιθανό να σχετίζονται με τις μοναδικές επιφανειακές μικρο- και νανοδομές. Αυτή η περίπτωση αφορά ειδικά τα χαρακτηριστικά ειδικής διαβροχής που συχνά παρατηρούνται στη φύση.

Χαρακτηριστικός εκπρόσωπος φαινομένων ειδικής διαβροχής είναι τα φύλλα του λωτού (*Nelumbo Nucifera*). Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι γιατί τα φύλλα του λωτού παρουσιάζουν μία έντονα ιεραρχική δομή. Πιο συγκεκριμένα η επιφάνεια του φύλλου καλύπτεται από κωνικές δομές μικρο-κλίμακας, οι οποίες είναι 'διακοσμημένες' από απολήξεις νανο-κλίμακας. Παρατηρώντας με «Μικροσκόπιο Σάρωσης Ηλεκτρονίων» (Scanning Electron Microscope- SEM) την επιφάνεια των φύλλων του λωτού αποκαλύφθηκε μία τεράστια δομική ποικιλία, με χαρακτηριστικά τραχύτητας διπλής κλίμακας. Εκτός από αυτήν την μοναδική ιεραρχική μορφολογία, χημικά η επιφάνεια είναι δομημένη από επιδερμικά κύτταρα υδροφοβικών κρυστάλλων. Η τραχύτητα των υδροφοβικών θυλάκων μειώνει την περιοχή επαφής ανάμεσα στην επιφάνεια και την σταγόνα του υγρού, με τις σταγόνες να διαμένουν μόνο στην άκρη των επιταξιακών κρυστάλλων και στην κορυφή των θυλάκων των επιδερμικών κυττάρων. Η αποκρουστικότητα του νερού προέρχεται από την συνεργασία της διπλής κλίμακας τραχύτητα και την χημικά υδρόφοβη επιφάνεια [1].

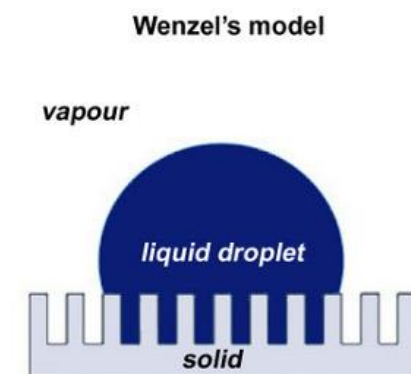
Η επίδραση της διπλής κλίμακας τραχύτητας στην διαβροχή των διαφόρων επιφανειών έχει προσεγγιστεί από δύο διαφορετικά θεωρητικά μοντέλα, το μοντέλο Wenzel και το μοντέλο των Cassie and Baxter.

- Μοντέλο ομογενούς διαβροχής (Wenzel's model)

Σε αυτό το μοντέλο η σταγόνα θεωρείται ότι 'βρέχει' ολόκληρη την επιφάνεια χωρίς να αφήνει στη κάτω πλευρά της θύλακες αέρα (Εικόνα 1). Η φαινομενική γωνία επαφής (θ_w) δίνεται από την εξίσωση:

$$\cos\theta_w = r \cos\theta_0$$

Όπου r είναι η ακτίνα της απλωμένης επιφάνειας προς τη φαινόμενη επιφάνεια επαφής κάτωθεν της σταγόνας. Το θ_0 είναι η γωνία επαφής στη λεία επιφάνεια της ίδιας φύσεως με τη τραχιά επιφάνεια. Δεδομένου ότι το r είναι πάντα μεγαλύτερο από τη μονάδα, το μοντέλο αυτό προβλέπει ότι η γωνία επαφής θα αυξηθεί ή θα μειωθεί ανάλογα με την τραχύτητα (για $\theta_0 > 90^\circ$ υδρόφιλη, για $\theta_0 < 90^\circ$ υδρόφοβη).



Εικόνα 1: Η σταγόνα του υγρού γεμίζει τα στοιχεία τραχύτητας της επιφάνειας

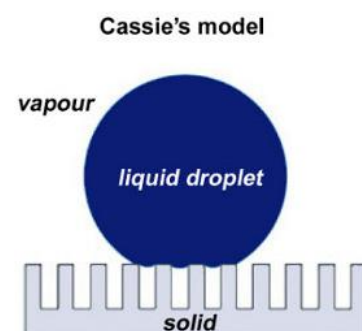
- Μοντέλο ετερογενούς διαβροχής (Cassie and Baxter model)

Οι Cassie και Baxter, σε αντίθεση με το προηγούμενο μοντέλο, πρότειναν ότι το υγρό δεν 'βρέχει' ολόκληρη την επιφάνεια καθώς ο αέρας φυλακίζεται από κάτω έχοντας ως αποτέλεσμα να σχηματιστεί μια σύνθετη διεπαφή στερεού-υγρού/ υγρού αέρα με το δείγμα σε επαφή (Εικόνα 2). Σε αυτή την περίπτωση η εξίσωση που δίνει την φαινόμενη γωνία επαφής (θ_{CA}) είναι:

$$\cos\theta_{CB} = r \cos\theta_0 - f_{ia}(1 - r \cos\theta_0)$$

Όπου f_{ia} είναι το τμήμα της επίπεδης επιφάνειας διεπαφής υγρού-αέρα κάτω από τη σταγόνα. Καθώς η f_{ia} είναι πάντα μικρότερη από τη μονάδα,

αυτό μοντέλο προβλέπει πάντα βελτίωση της υδροφοβικότητας, ανεξάρτητα από την τιμή της αρχικής γωνίας επαφής θ_0 . Καθώς μειώνεται η τιμή του f_{ia} , τόσο αυξάνει η γωνία επαφής που μετράται.



Εικόνα 2: Ο αέρας παγιδεύεται αέρα μεταξύ των χαρακτηριστικών τραχύτητας, ελαχιστοποιώντας την επιφάνεια επαφής στερεού-υγρού.

Βιβλιογραφία

[1] Challa S. S. R. Kumar *Nanomaterials for the Life Sciences Vol.7: Biomimetic and Bioinspired Nanomaterials*.(2010)

[2] V. Zorba, E. Stratakis, M. Barberoglou, E. Spanakis, P. Tzanetakis, C. Fotakis *Tailoring the wetting response of silicon surfaces via fs laser structuring* (2008)

[3] <http://www.intechopen.com/books/biomimetics-learning-from-nature/superhydrophobicity-learn-from-the-lotus-leaf>

[4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics>