



# Υπερυγρόφοβες επιφάνειες

Περικλής Παπαδόπουλος



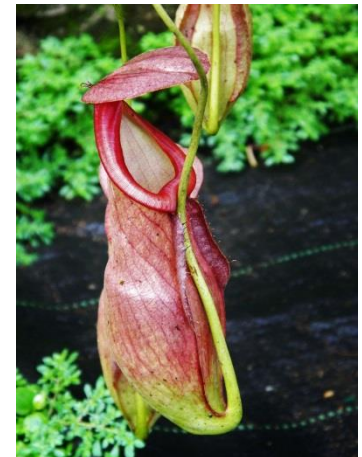
# Βιομιμητικά υλικά

- Φαινόμενο φύλλου λωτού
  - σχεδόν σφαιρικές σταγόνες



- Ελαιόφοβα κελύφη εντόμων
  - springtail, κολλέμβολα

- Ολισθηρές επιφάνειες σαρκοβόρων φυτών
  - Νηπενθές



# Αέρας κάτω από σταγόνες

- Υδρόφοβο φύλλο λωτού
- Μικρές προεξοχές, φυτικό κερι



Koch K., Barthlott W. *Phil. Trans. R. Soc. A* (2009) 367, 1487-1509

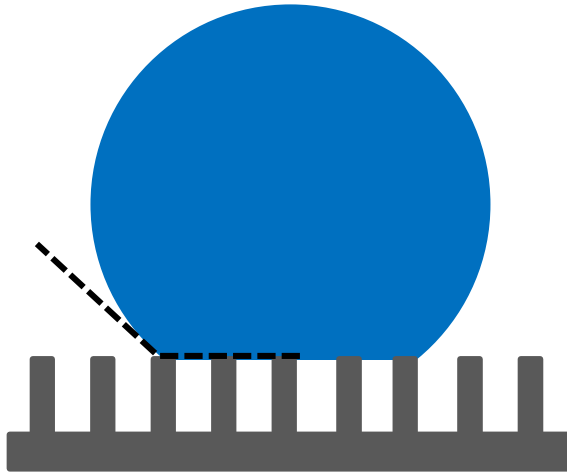
Bhushan B. *et al.*, *Phil. Trans. R. Soc. A* (2009) 367, 1631

# Σκοπός της έρευνας

- Σταθεροποίηση της υγροφοβικότητας έναντι
  - διείσδυσης λόγω πίεσης
  - συμπύκνωσης ατμών
  - μηχανικής καταστροφής
- Εξέλιξη επιφανειών που είναι αποτελεσματικές και σε υγρά πολύ χαμηλής επιφανειακής τάσης  $\gamma < 20 \text{ mN/m}$ 
  - δεν υπάρχει φυσική επιφάνεια
- Εφαρμογές: αυτοκαθαριζόμενες, αντιπαγωτικές & αντιβακτηριδιακές επιστρώσεις, μείωση αντίστασης ροής σε σωλήνες, μεμβράνες ανταλλαγής αερίων

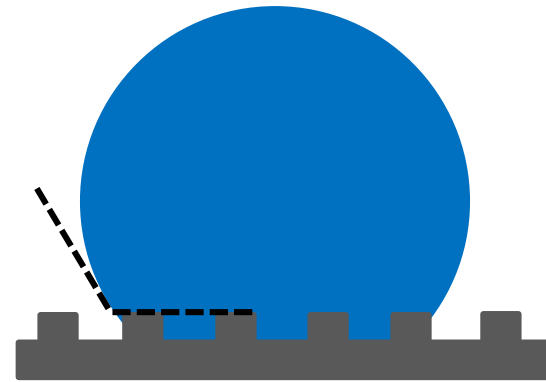
# Δύο ανταγωνιστικές καταστάσεις διαβροχής

Cassie & Baxter 1944



Μεγάλη γωνία συνεπαφής  
Μικρή υστέρηση  
Έυκολη απομάκρυνση  
Συνήθως μετασταθής ή ασταθής

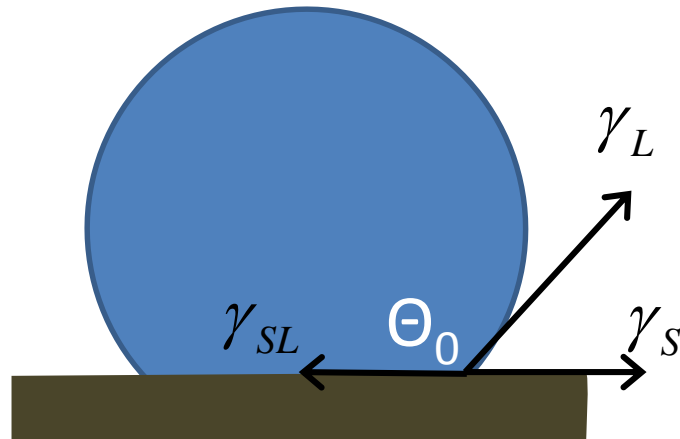
Wenzel 1936



Μεγάλη υστέρηση  
Τουλάχιστον μετασταθής  
πάντα σταθερή για λάδια

# Γωνία συνεπαφής (λεία επιφάνεια)

- Χαρακτηρίζει τις ιδιότητες της επιφάνειας
- Ισορροπία στη γραμμή συνεπαφής 3 φάσεων
- **Εξίσωση Young:**  $\gamma_L \cos \Theta_0 = \gamma_S - \gamma_{SL}$
- Η γωνία εξηγεί όλη τη θερμοδυναμική;



# Γωνιόμετρο

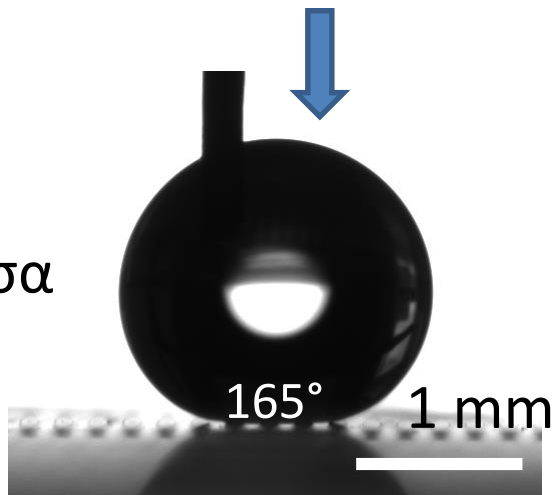
- Γωνία συνεπαφής, υστέρηση
- Επιφανειακής τάσης



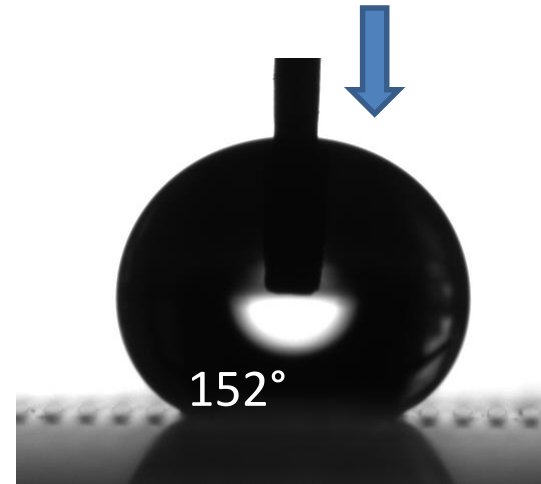
# Μακροσκοπική γωνία συνεπαφής

Cassie

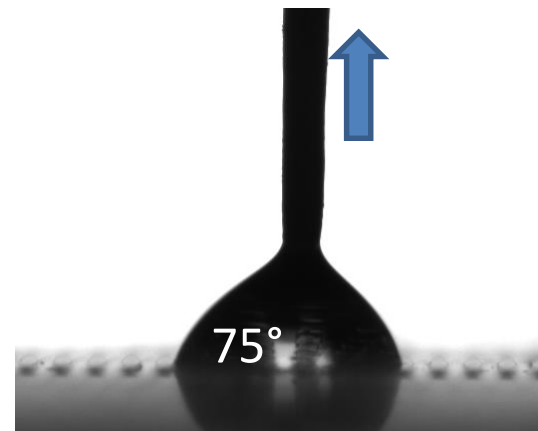
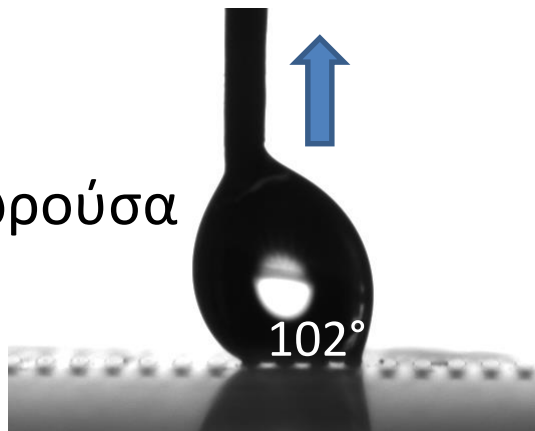
προϊούσα



Wenzel



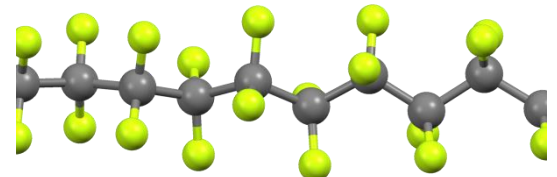
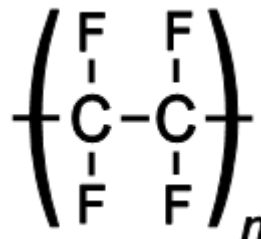
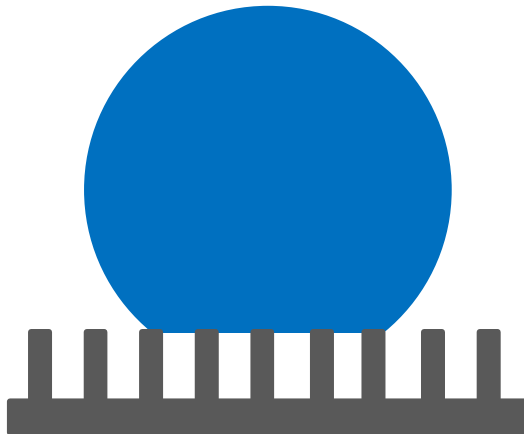
οπισθοχωρούσα





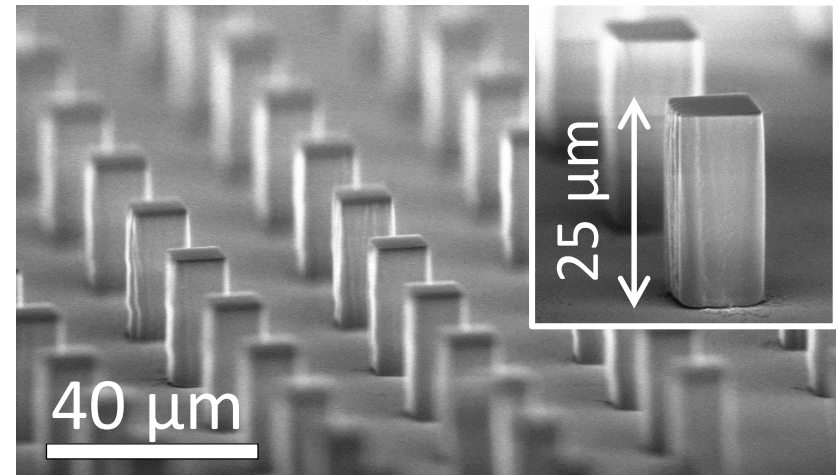
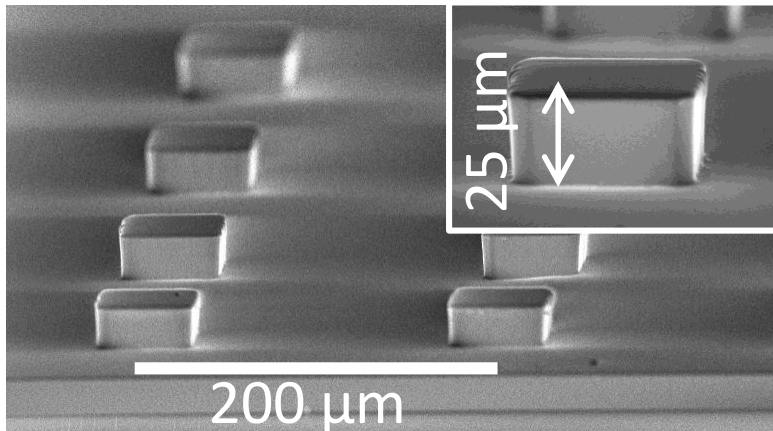
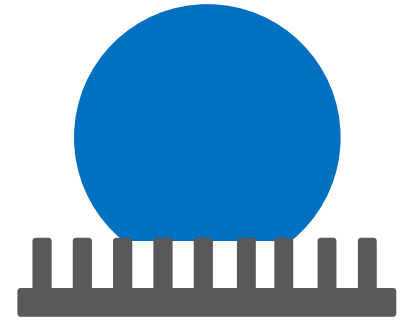
# Έρευνα: μοντέλα

- Προεξοχές από κατακόρυφους στύλους
- Μικρή επιφάνεια επαφής υγρού – στερεού
- Χημική επεξεργασία επιφάνειας
  - φθοριωμένα ολιγομερή / πολυμερή
  - αλκυλομάδες
  - σιλικόνες



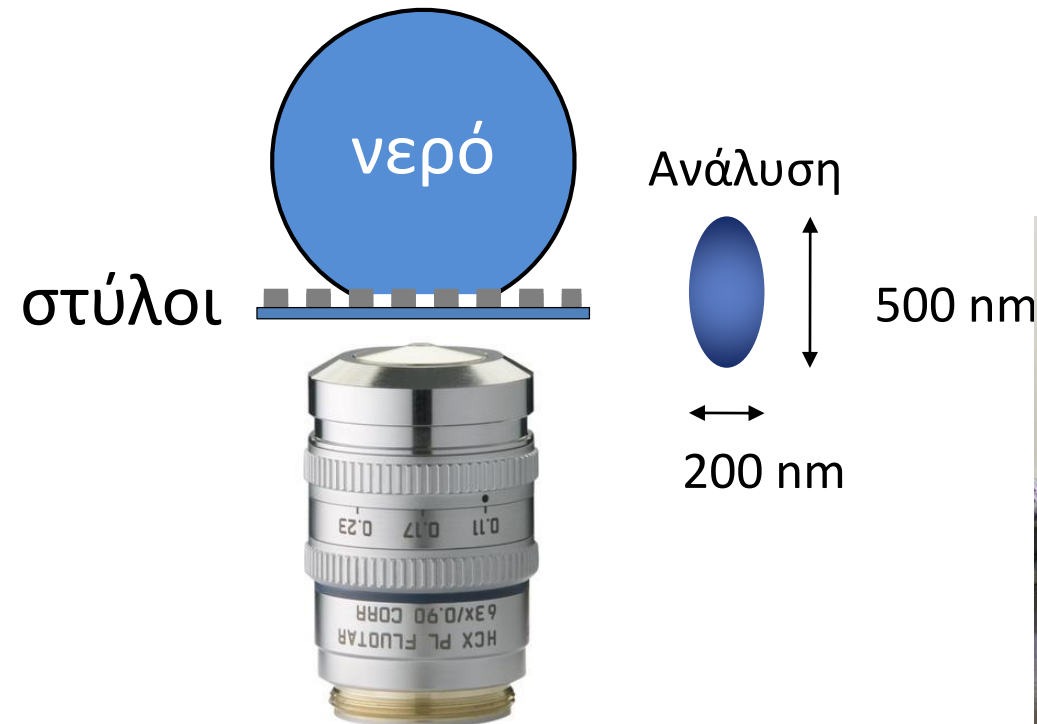
# Καθορισμένη τραχύτητα

- Φωτολιθογραφία
- Μεταβαλλόμενη γεωμετρία



# Συνεστιακή μικροσκοπία

- Τρισδιάστατη δομή
  - Ανακλάσεις από διεπιφάνειες
  - Φθορισμός από βαφές σε νερό και στερεό

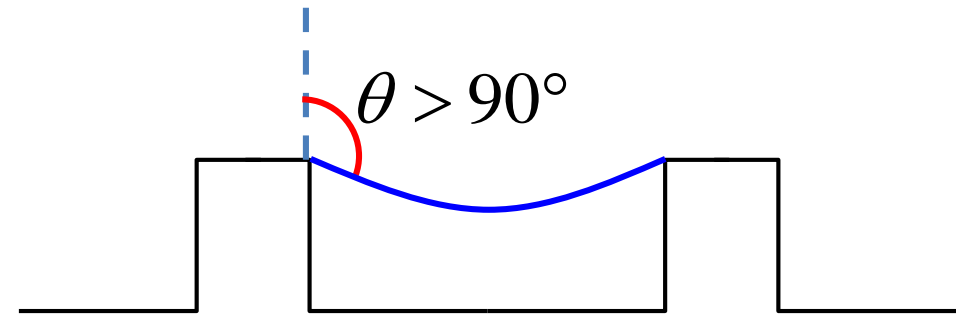
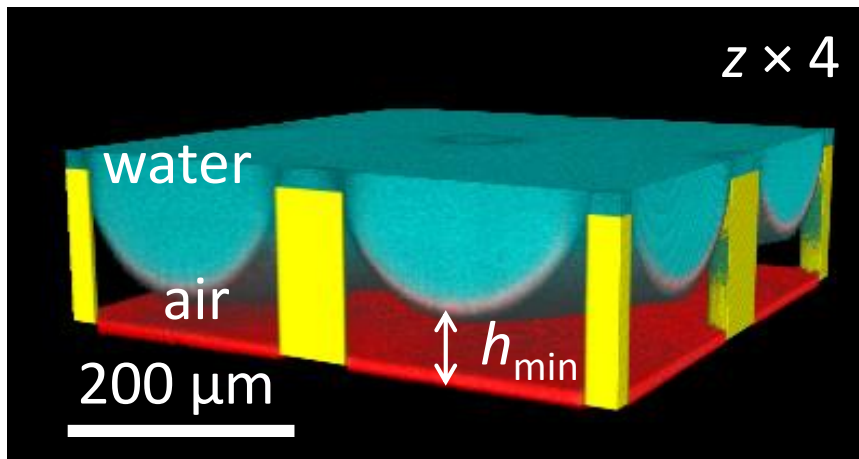
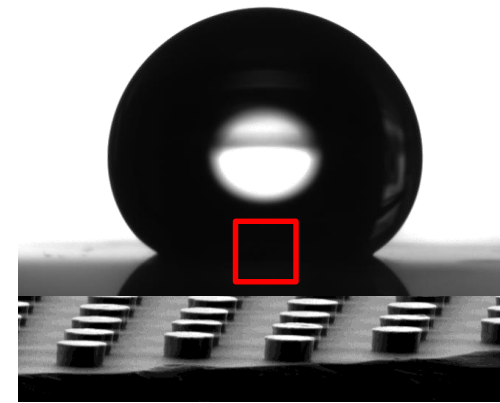


Συνεργάτις: Σοφία Μπέλλου, ΙΒΕΙ



# Διεπιφάνεια νερού – αέρα

- Καμπύλη

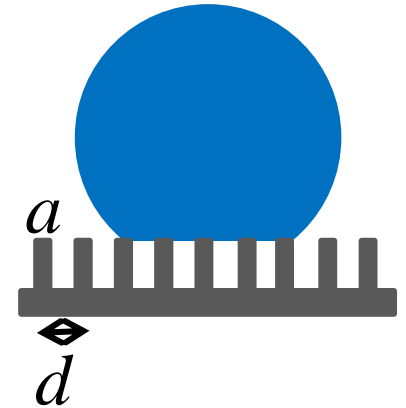


Στύλοι, νερό, ανάκλαση

- Πόσο σταθερή είναι η κατάσταση Cassie;

# Βέλτιστη δομή

- Για μεγάλη γωνία συνεπαφής  
μικρό κλάσμα στερεού  $a^2/d^2$
- Για μεγάλη κρίσιμη πίεση  
μεγάλο  $a/d^2$
- Και τα δύο ταυτόχρονα: νανοδομές

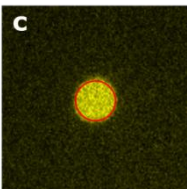
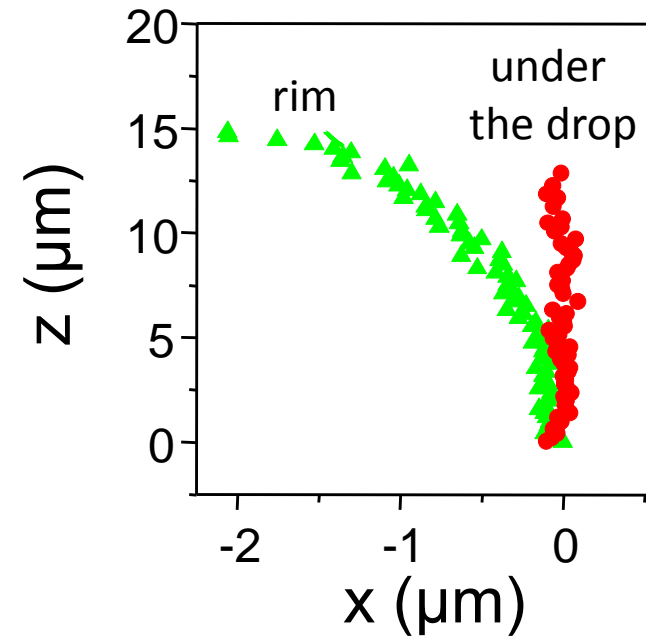
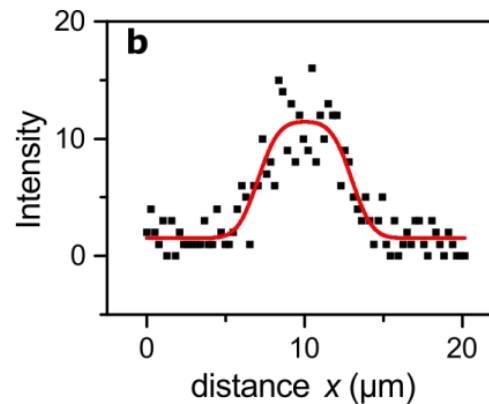
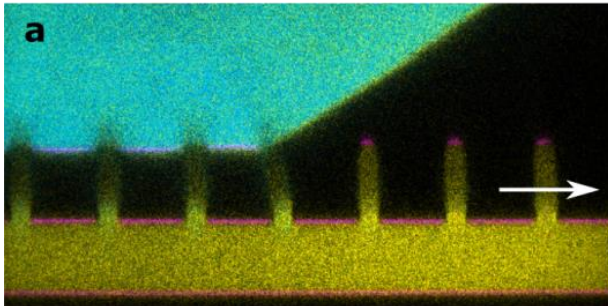


N. Tret'yakov, P. Papadopoulos, D. Vollmer, H.-J. Butt, B. Dünweg, and K. C. Daoulas, J. Chem. Phys. **145**, 134703 (2016).

H.-J. Butt, D. Vollmer, and P. Papadopoulos, Adv. Colloid Interf. Sci. **222**, 104–109 (2015).

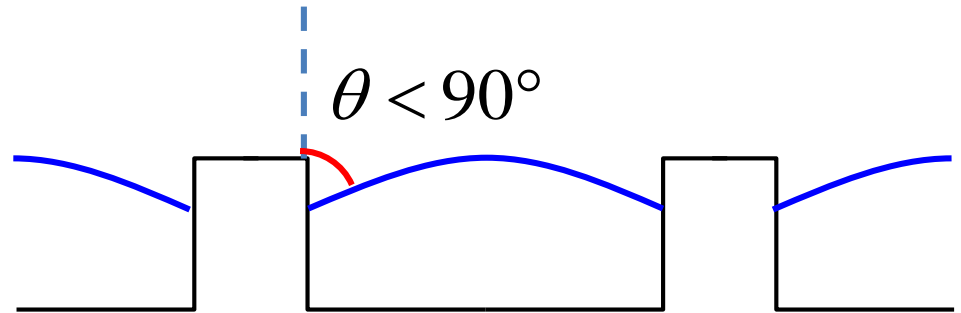
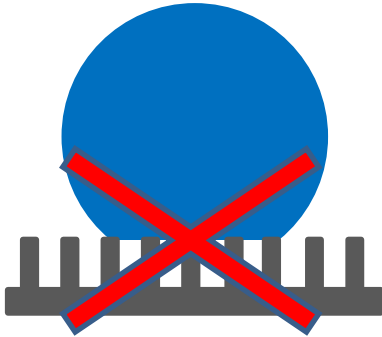
# Έυκαμπτες προεξοχές

- Αλλαγή σχήματος προεξοχών
- Βελτιώνεται η σταθερότητα και η γωνία συνεπαφής



# Υπερυγρόφοβες επιφάνειες

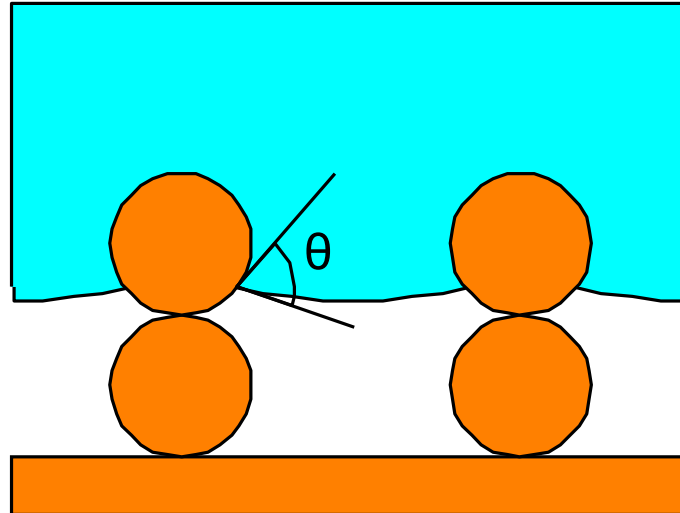
- Πρόβλημα: σε κάθε λεία επιφάνεια  $\theta > 90^\circ$  για κάθε «έλαιο»



- Υπάρχουν όμως ελαιόφοβα έντομα

# Νανοσωματίδια

- Π.χ. αιθάλη, ή fumed silica
  - μπορεί να γίνει υδρόφοβο με φθοριωμένα πολυμερή

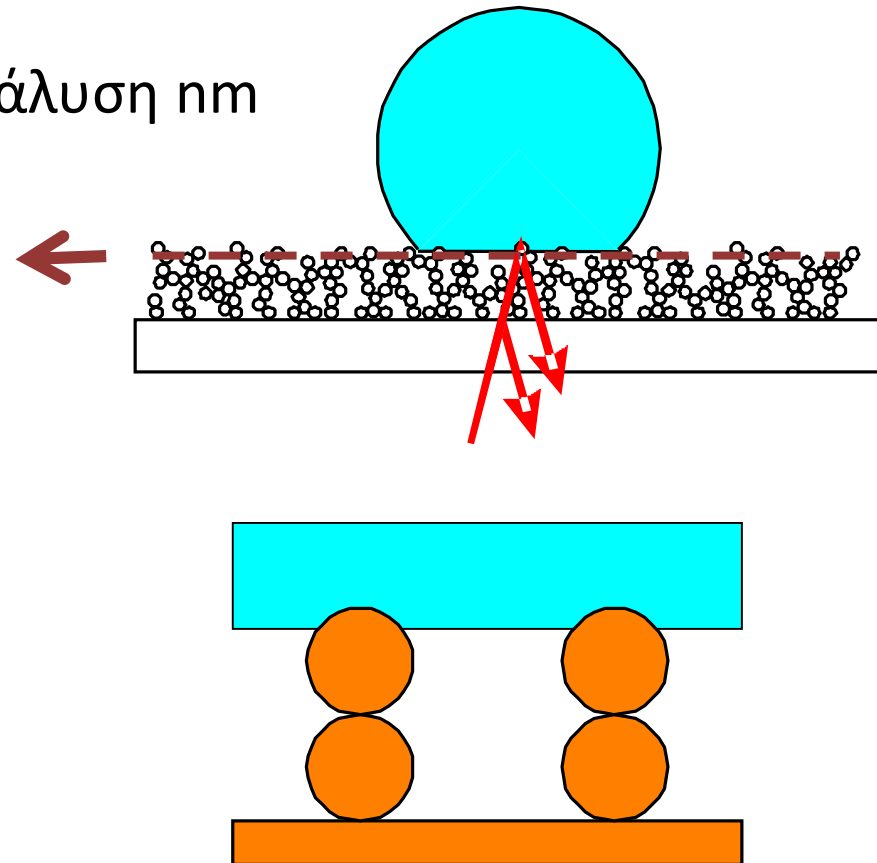
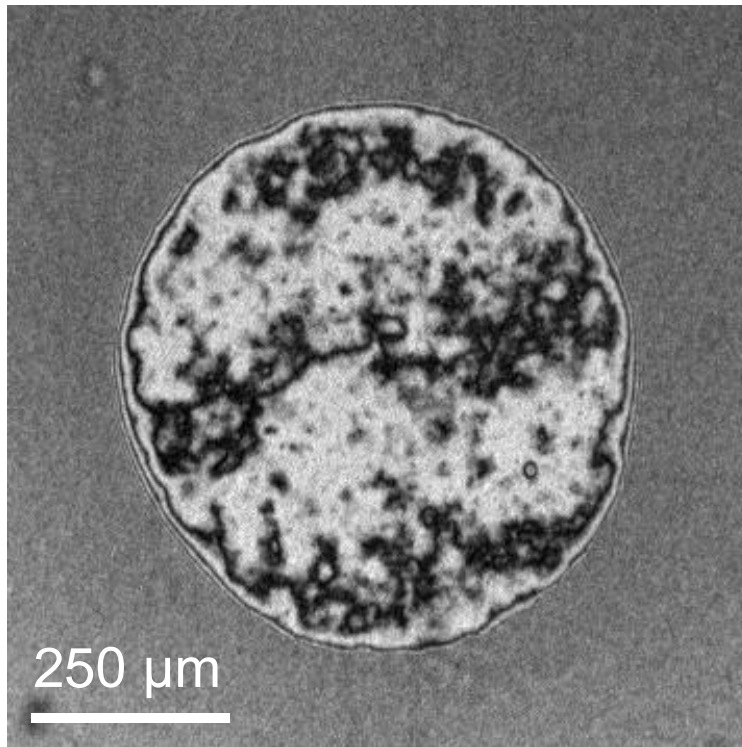


Λιγότερο σταθερή Cassie  
Εύκολη κατασκευή



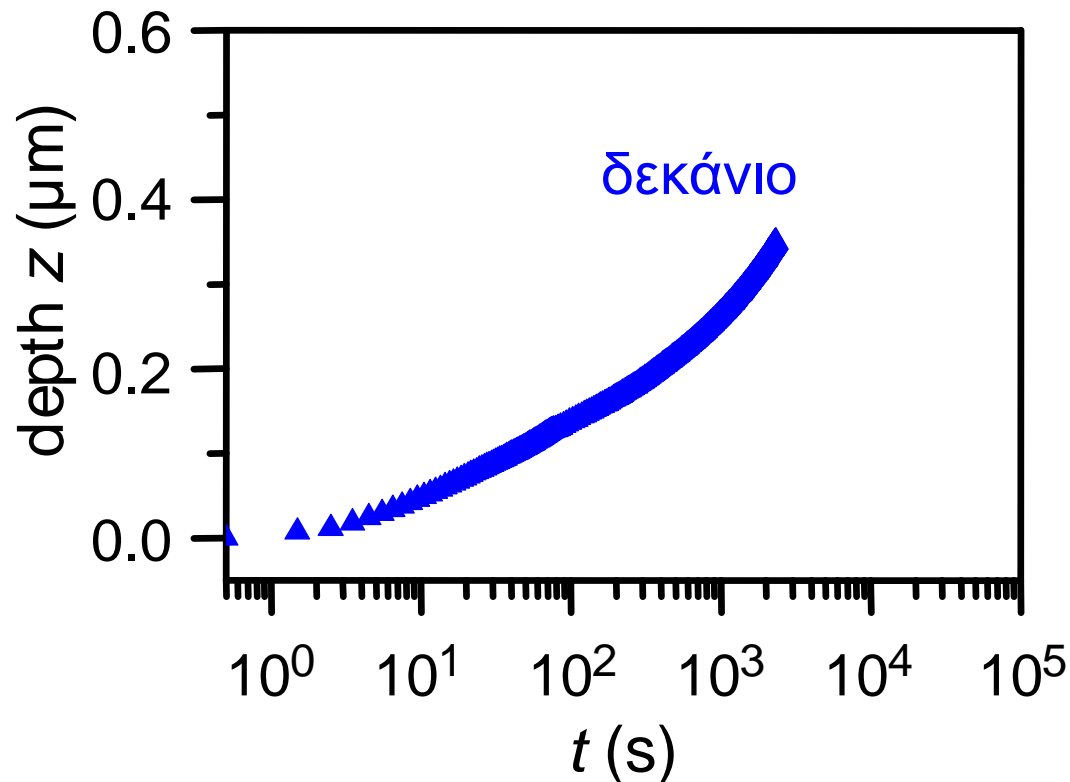
# Νερό

- Μικροσκοπία συμβολής
  - confocal με άλλες ρυθμίσεις
  - ανάστροφο μικροσκόπιο
- Βάθος διείσδυσης υγρού με ανάλυση nm



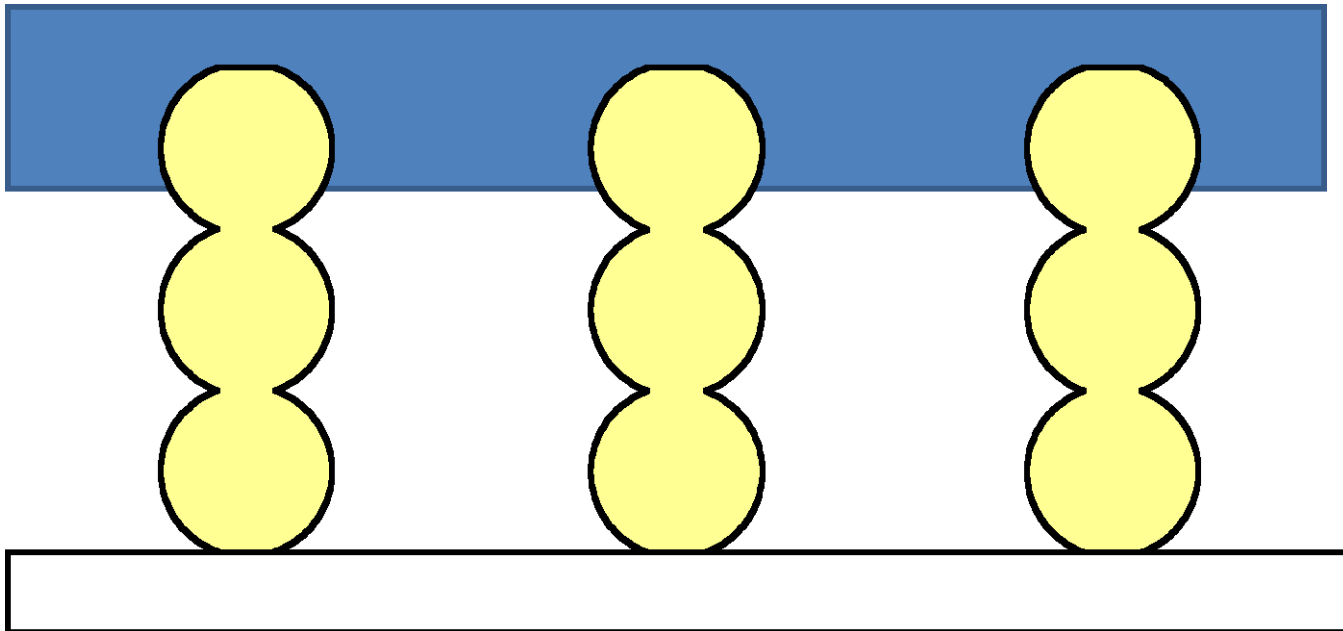
# Μακροπρόθεσμη σταθερότητα

- Βάθος που αντιστοιχεί σε αρκετά νανοσωματίδια



Γιατί δεν είναι σταθερή η κατάσταση Cassie;

- Το ενεργειακό φράγμα είναι της τάξεως  $\sim 100 k_B T$
- Ανάλογο του μεγέθους των προεξοχών



# Συμπεράσματα

- Οι υπερυγρόφοβες επιφάνειες χρειάζονται «κρεμαστές» προεξοχές
- Νανοδομές για μεγάλη κρίσιμη πίεση
- Ανοιχτά ερωτήματα
  - Διαφορετικές ιδιότητες διαβροχής σε κλίμακα nm;
  - Ποιες είναι οι μικρότερες χρήσιμες διαστάσεις;
  - Πώς μπορεί να βελτιωθεί η μακροπρόθεσμη σταθερότητα;