

Σας ενημερώνουμε ότι τα μαθήματα που παρέχονται από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο πλαίσιο της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης μπορεί να βιντεοσκοποούνται. Η βιντεοσκόπηση πραγματοποιείται για σκοπούς εκπαιδευτικούς και αρχειακούς. Τα βίντεο μπορεί να αναρτηθούν στο διαδίκτυο.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

- Να κατανοήσετε τι είναι σε μακροσκοπικό επίπεδο και πως προκύπτει σε μικροσκοπικό επίπεδο το φαινόμενο της επιφανειακής τάσης.
- Να γνωρίσετε πως προσδιορίζουμε ποσοτικά την επιφανειακή τάση (ορισμός συντελεστή Επιφανειακής Τάσης) και από τι εξαρτάται.
- Να κατανοήσετε το τριχοειδικό φαινόμενο και να ασκηθείτε σε εφαρμογές του στα επιστημονικά ενδιαφέροντα σας.
- Να κατανοήσετε πως συγκρατούν υγρά οι πορώδεις επιφάνειες και να ασκηθείτε σε εφαρμογές τους.
- Να μάθετε τι είναι οι τασιενεργές ή επιφανειοδραστικές ουσίες και τον ρόλο τους για τη μείωση της επιφανειακής τάσης.

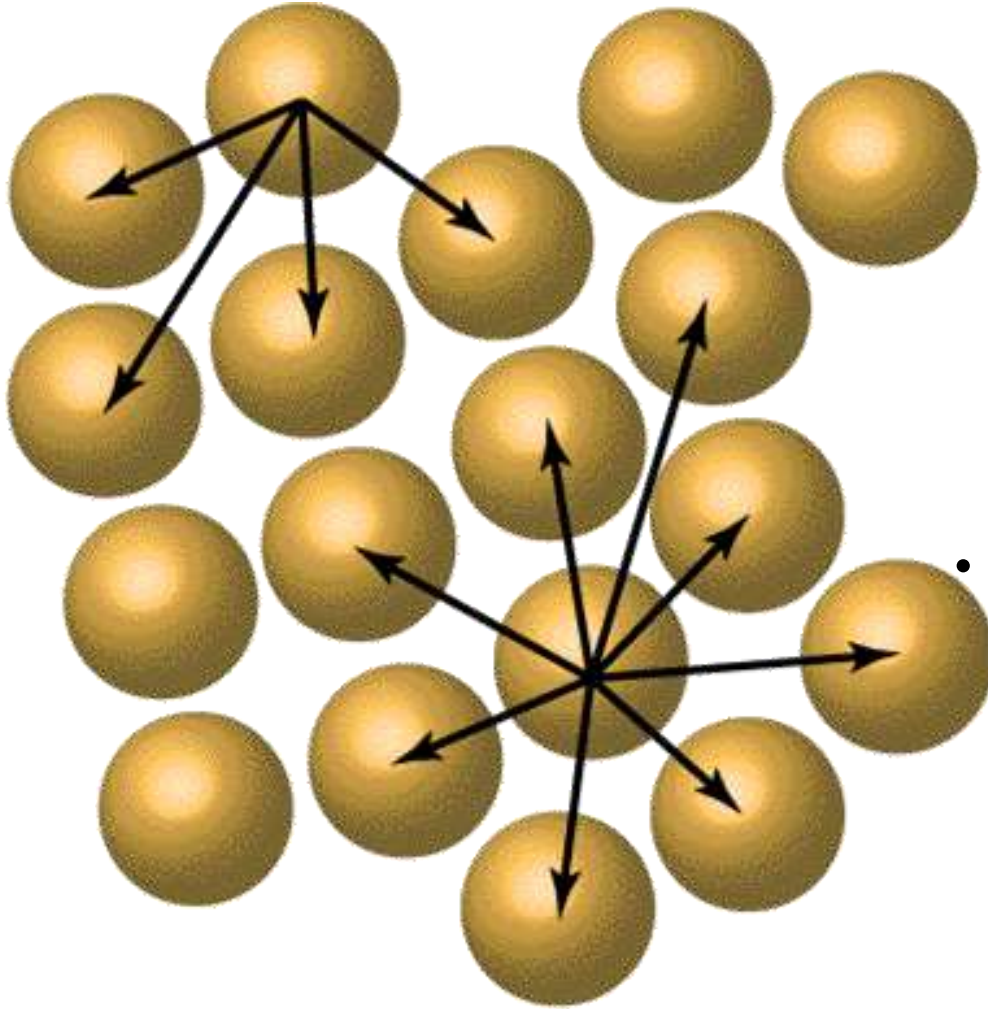
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η Επιφανειακή Τάση



Δείτε **βίντεο** “Επιφανειακή τάση – Αργή κίνηση” (Σύνδεσμοι)

Επιφανειακή Τάση



- Τα μόρια που βρίσκονται στο εσωτερικό του υγρού και σε αρκετή απόσταση από την επιφάνεια υφίστανται την επενέργεια δυνάμεων απ' όλες τις πλευρές, η συνισταμένη των οποίων έχει **στιγμιαία τιμή διάφορη του μηδενός**. **Αλλά η μέση τιμή της για πεπερασμένο χρονικό διάστημα είναι μηδενική**.
- Αντίθετα στα μόρια που βρίσκονται στην επιφάνεια του υγρού, οι διαμοριακές δυνάμεις ασκούνται μόνο από τη μία πλευρά, με αποτέλεσμα να υπάρχει **μη μηδενική συνισταμένη**, η οποία τείνει να τα μετακινήσει προς το εσωτερικό του υγρού.

- Για να μετακινηθεί ένα μόριο από το εσωτερικό του υγρού στην επιφάνειά του, πρέπει **να υπερνικηθούν δυνάμεις και επομένως να καταναλωθεί ενέργεια**.
- Άρα τα μόρια που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια έχουν περισσότερη δυναμική ενέργεια από τα αντίστοιχα στο εσωτερικό του υγρού.
- Επομένως υπάρχει αποταμιευμένη δυναμική ενέργεια στην επιφάνεια ενός υγρού. Καθώς κάθε σύστημα τείνει να μειώσει την ενέργειά του, το υγρό τείνει να μειώσει την επιφάνειά του. Έτσι εμφανίζονται, **μακροσκοπικά**, δυνάμεις, οι οποίες τείνουν να προκαλέσουν συστολή της επιφάνειας, που τελικά παίρνει τη μορφή μεμβράνης*. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **επιφανειακή τάση**.

* Χρησιμοποιούμε τη λέξη *μεμβράνη* για να σχηματίσουμε μια εικόνα του φαινομένου, δεν θα πρέπει, ωστόσο, να την εκλάβουμε κυριολεκτικά.

Η δύναμη που ασκείται από μία **ελαστική μεμβράνη** υπό τάση είναι ανάλογη του μεγέθους που περιγράφει την παραμόρφωση όπως ορίζει ο νόμος του Hooke: Εάν δεν υπάρχει μετατόπιση από τη θέση ισορροπίας δεν ασκείται καμία δύναμη. Η αύξηση της επιφάνειας μιας ελαστικής μεμβράνης που μπορεί να προκληθεί από τον τανυσμό της, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των διαμοριακών αποστάσεων των μορίων που την αποτελούν.

Αντιθέτως, η **επιφάνεια ενός υγρού** είναι πάντα υπό τάση και η τάση αυτή είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε μετατόπιση. Η επιφανειακή “μεμβράνη” είναι δυνατόν να τεντωθεί όχι όμως πολύ. Η αύξηση της σημαίνει ότι περισσότερα μόρια από το εσωτερικό του υγρού φτάνουν στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέες εκτεθειμένες περιοχές.

-Οι σταγόνες των υγρών τείνουν να γίνουν σφαιρικές, **γιατί η επιφάνεια της σφαίρας είναι η μικρότερη δυνατή για δεδομένο όγκο**. Η παραμόρφωση, που συνήθως παρατηρείται οφείλεται στην επίδραση άλλων παραγόντων όπως, π.χ., η επιτάχυνση της βαρύτητας, η αντίσταση του αέρα κλπ.



Δείτε **βίντεο** “NASA
Amazing Experiments with
Water in Zero Gravity”
(Σύνδεσμοι)



Δείτε **βίντεο** “Wringing out
a Water Soaked Washcloth
in Space”
(Σύνδεσμοι)

ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Επιφανειακά φαινόμενα

14. Ποιά/ες από τις ακόλουθες προτάσεις είναι σωστή;

A. Η μέση τιμή της συνισταμένης των δυνάμεων σε ένα μόριο στην επιφάνεια υγρού για πεπερασμένο χρονικό διάστημα είναι μηδενική

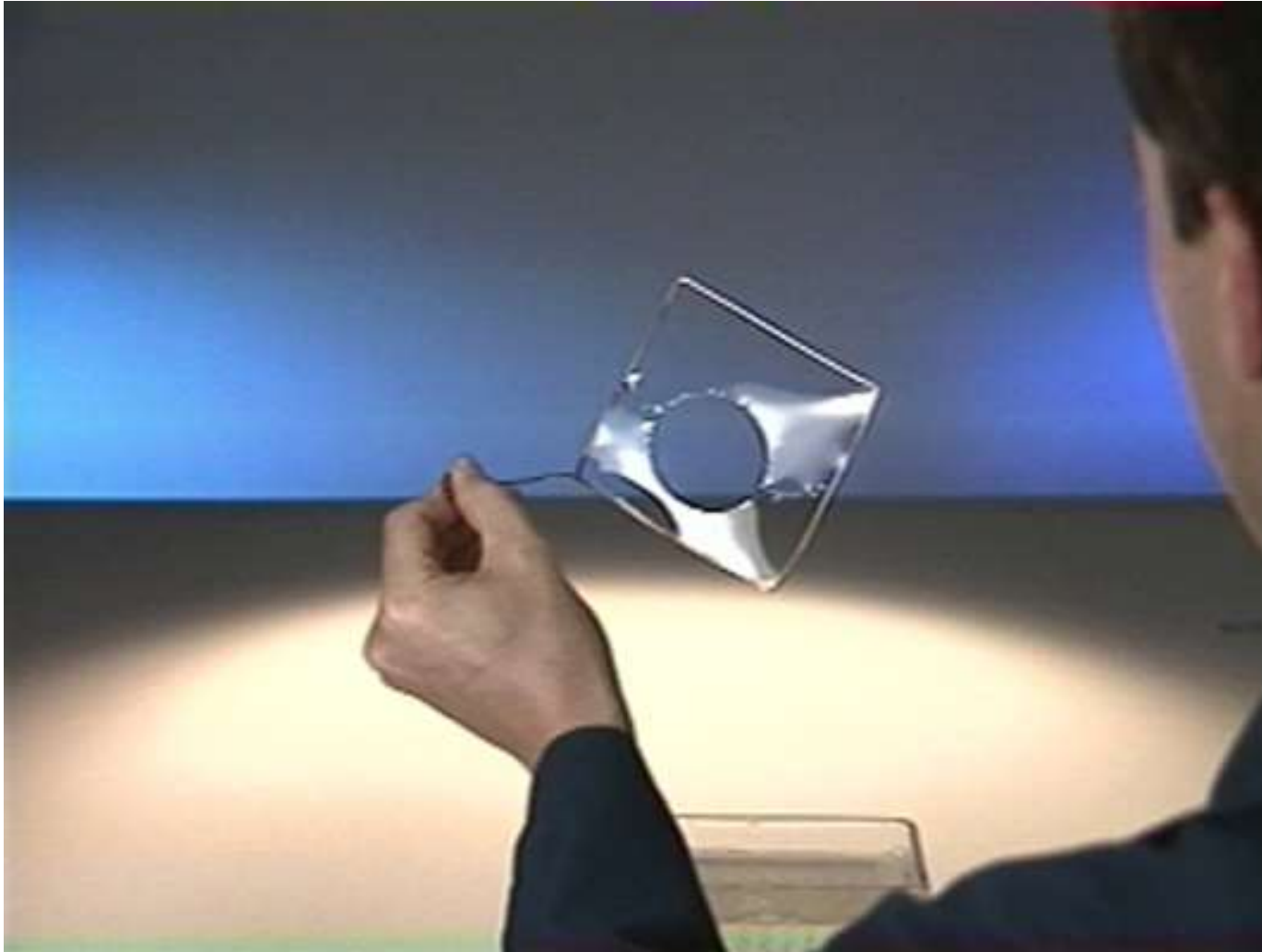
B. Για να μετακινηθεί ένα μόριο από το εσωτερικό του υγρού στην επιφάνειά του, πρέπει να υπερνικηθούν δυνάμεις και επομένως να καταναλωθεί ενέργεια.

Γ. Υπάρχει περισσότερη αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια στο εσωτερικό σε σχέση με την επιφάνεια ενός υγρού

Δ. Η τάση του υγρού να μειώσει την επιφάνειά του ώστε να μειώσει την ενέργειά του έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση, μακροσκοπικά, δυνάμεων συστολής της επιφάνειας του στις οποίες οφείλεται το φαινόμενο που ονομάζουμε επιφανειακή τάση.

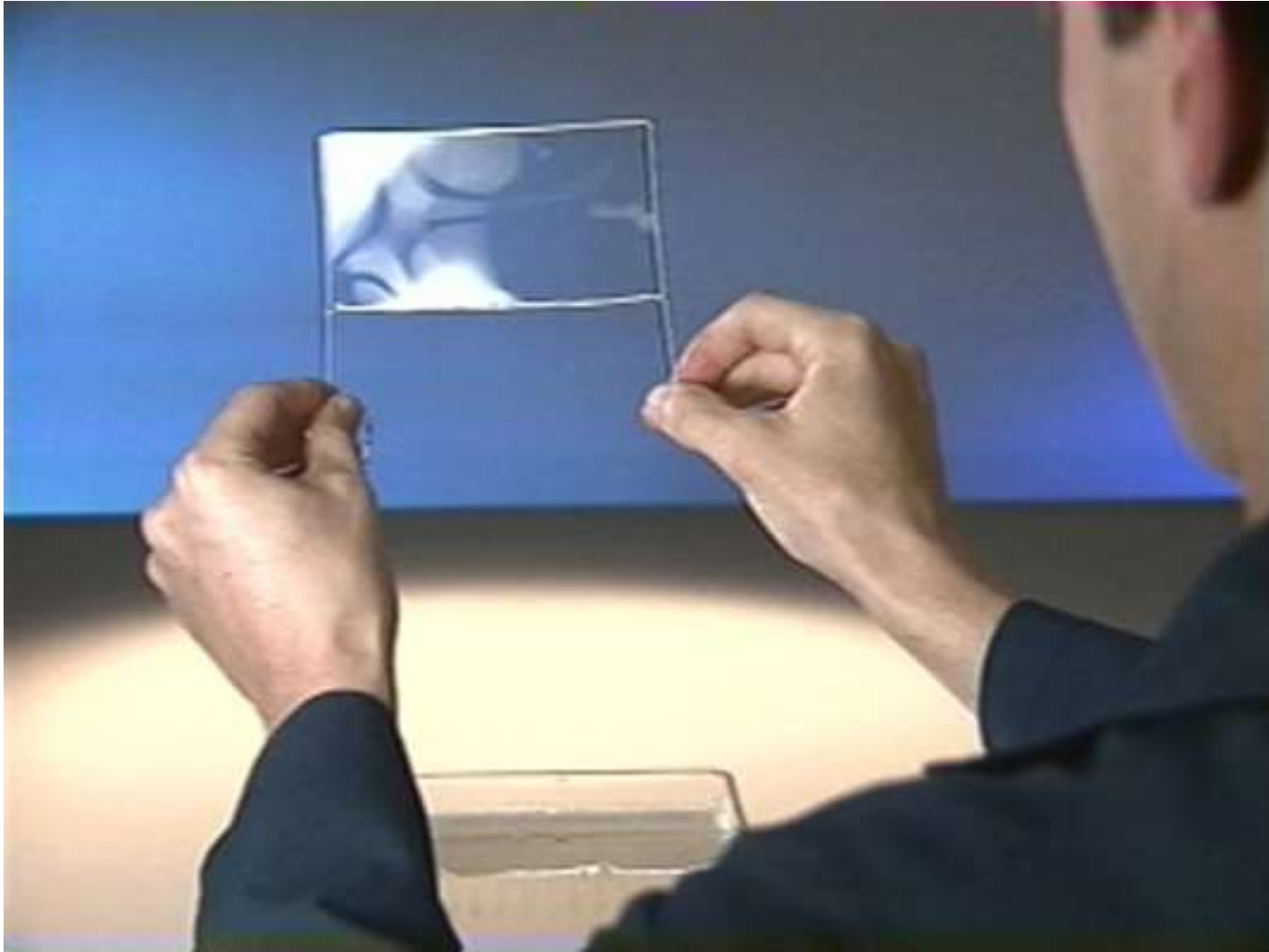
Ο συντελεστής επιφανειακής τάσης

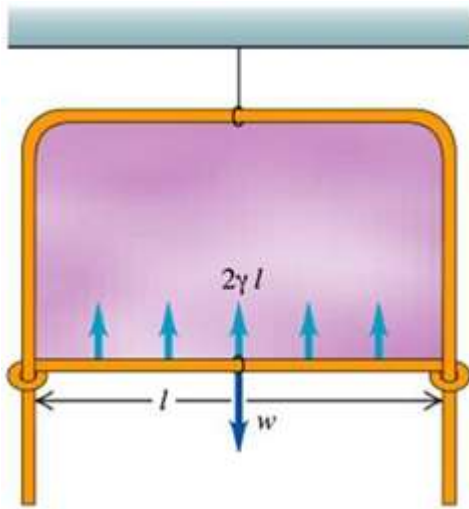
ΠΕΙΡΑΜΑ 1: Ποιοτικός προσδιορισμός



Οι δυνάμεις επιφανειακής τάσης είναι πάντα παρούσες και βρίσκονται σε ισορροπία. Αν η ισορροπία διαταραχθεί εμφανίζονται **ομοιόμορφα** σε όλα τα μέρη του βρόγχου ο οποίος λαμβάνει κυκλικό σχήμα

ΠΕΙΡΑΜΑ 2: Ποσοτικός προσδιορισμός





Η δύναμη F που ισορροπεί το βάρος του σύρματος:
είναι παράλληλη στο επίπεδο της μεμβράνης
και κατανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος l

Ο **συντελεστής επιφανειακής τάσης γ**
ορίζεται ως η δύναμη F που ασκείται από
την επιφάνεια στη μονάδα μήκους:

$$\gamma = F / 2l$$

* Ο παράγοντας 2 εμφανίζεται στον παρανομαστή διότι η μεμβράνη αποτελείται από δύο επιφάνειες σε επαφή με το κινούμενο τμήμα. Παρά του ότι η μεμβράνη είναι πολύ λεπτή το πάχος της είναι τεράστιο συγκρινόμενο με τις διαστάσεις ενός μορίου. Το στρώμα της επιφάνειας που προκαλεί την επιφανειακή τάση έχει πάχος λίγων μόλις μορίων.

ΜΟΝΑΔΕΣ: N/m

1 dyn/cm = 10^{-3} N/m (*)

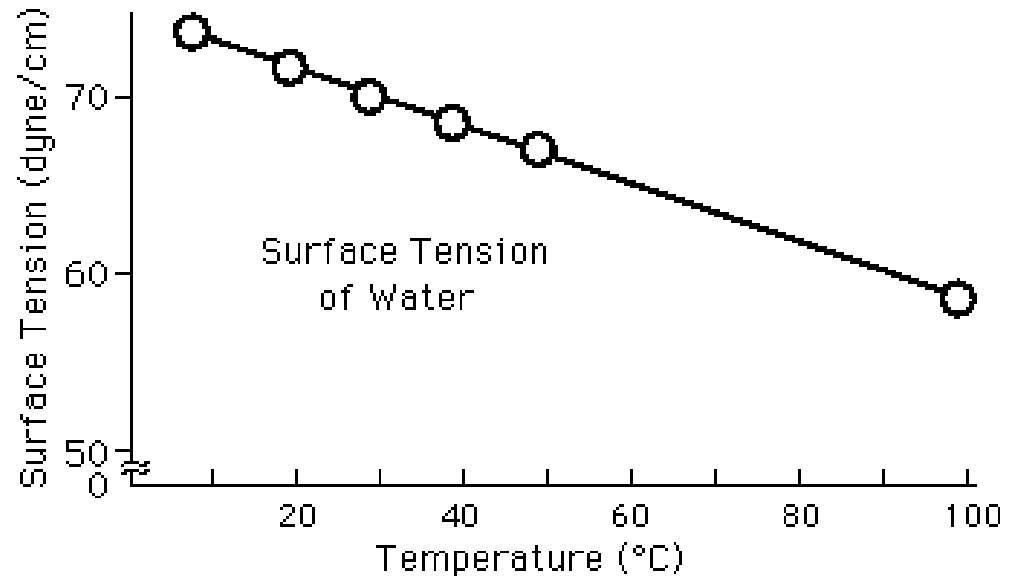
(*) 1 N = 1 kg (m/s²) = 10^3 g (10^2 cm/s²) = 10^5 g (cm/s²) = 10^5 dyn

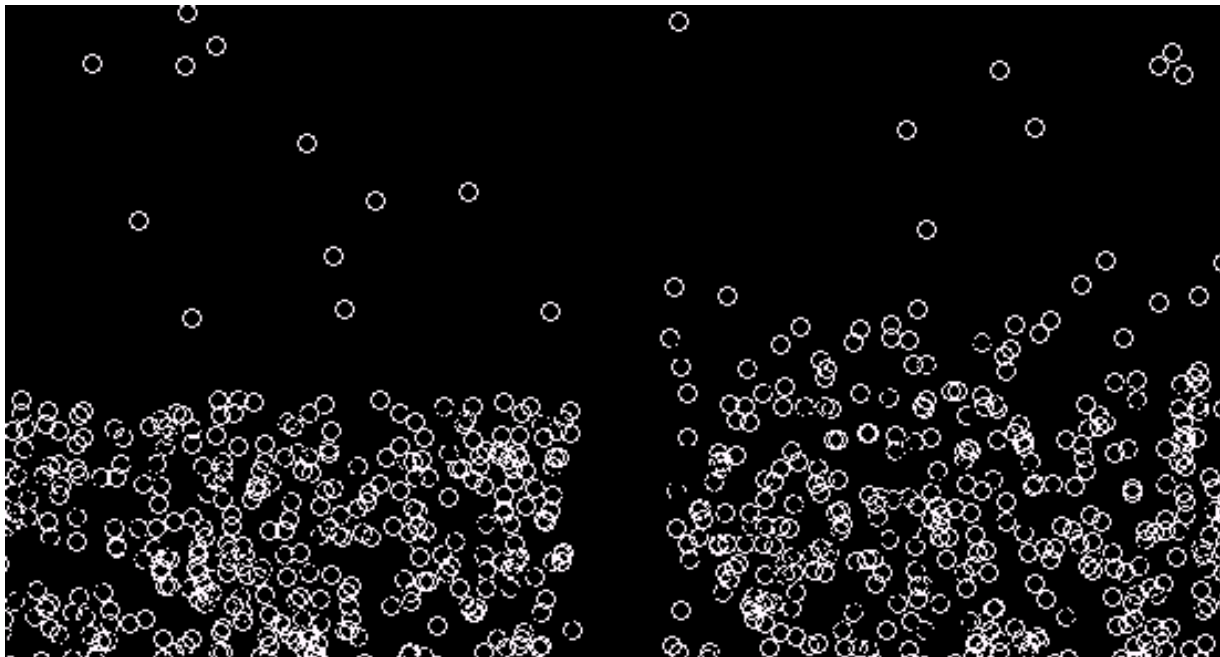
Άρα 1 dyn = 10^{-5} N, και αφού 1 cm = 10^{-2} m, τελικά 1 dyn/cm = 10^{-3} N/m

- Επειδή ο συντελεστής γ εξαρτάται από το είδος των ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των μορίων, θα πρέπει να **εξαρτάται από το υγρό**.
- Όταν εξ' άλλου **αυξάνεται η θερμοκρασία**, αυξάνεται η θερμική κίνηση και η μέση μεταξύ των μορίων απόσταση και επομένως μικραίνει το μέτρο των μεταξύ τους ελκτικών δυνάμεων. Άρα μικραίνει και η επιφανειακή ενέργεια, με τελικό αποτέλεσμα τη **μείωση της τιμής της επιφανειακής τάσεως γ** .

Πειραματικές τιμές του συντελεστή γ για ορισμένα υγρά

υγρό	θερμοκρασία °C	γ dyn/cm= 10^{-3} N/m
αιθανόλη	20	22.3
σαπυνοδιάλυμα	20	25.0
CCl ₄	20	26.8
βενζόλιο	20	28.9
λάδι	20	32.0
γλυκερίνη	20	63.1
υδράργυρος	20	465.0
υγρό ήλιο	-269	0.12
υγρό οξυγόνο	-193	15.7
Νερό	0	75
	20	72
	60	66
	100	58
	375	0.0



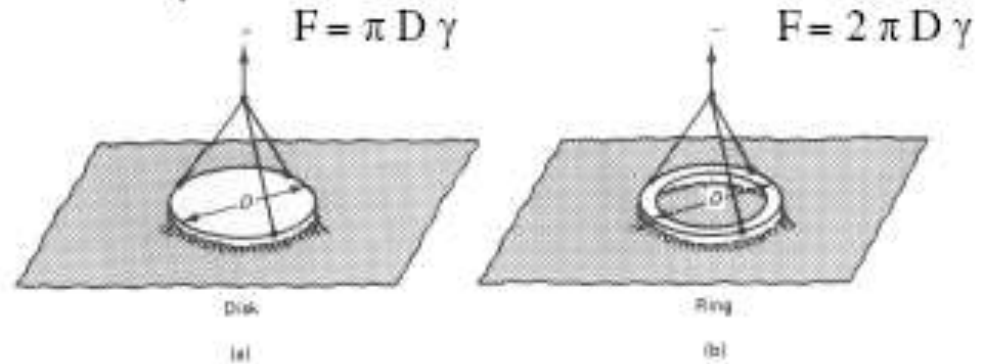


- Παρουσιάζεται «χονδρικά» μια ιδέα για ότι συμβαίνει στην επιφάνεια ενός υγρού. Τα μόρια παριστάνονται με τα λευκά σφαιρίδια για χάρη απλότητας.
- Στα αριστερά παρατηρείται ξεκάθαρα η οροθεσία μεταξύ του υγρού και του ατμού του.
- Η δεξιά εικόνα αποτελεί μεγέθυνση του στρώματος της επιφάνειας στο οποίο η πυκνότητα ελαττώνεται ομαλά από το υγρό προς τον ατμό του. Το στρώμα αυτό, των αραιά κατανεμημένων μορίων, προκαλεί το φαινόμενο της επιφανειακής «μεμβράνης» γνωστό ως επιφανειακή τάση.
- Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του υγρού και του ατμού του γίνεται λιγότερο ευδιάκριτη και η επιφανειακή τάση ελαττώνεται. Σε κρίσιμη θερμοκρασία, η διάκριση μεταξύ υγρού και ατμού δεν είναι δυνατή, επομένως δεν υφίσταται επιφάνεια. Σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν την κρίσιμη αυτή τιμή δεν μπορούμε να μιλάμε για «αέριο» και «υγρό»: απλά και μόνο για ρευστό...

ΑΣΚΗΣΗ

11. Στο σχήμα παριστάνεται μια πρακτική μέθοδος προσδιορισμού της επιφανειακής τάσης υγρού χρησιμοποιώντας (α) δίσκο και (β) δαχτύλιο. Η δύναμη που απαιτείται για την ανύψωση αυτών των αντικειμένων από την επιφάνεια θα πρέπει να υπερνικά τη δύναμη της επιφανειακής τάσης και του βάρους του αντικειμένου.

Υγρό	γ , dyn/cm (*)
Νερό	72,8
Δ/μα με σαπούνι	25,0
Υδράργυρος	54,5



- i) Θεωρείστε ότι στο σχήμα (b) παριστάνεται λεπτός αλουμινένιος δαχτύλιος διαμέτρου 5 cm και μάζας 2,5 gr. Πόση είναι η δύναμη που χρειάζεται για να ανασηκωθεί από την επιφάνεια (α) νερού; (β) σαπουνάδας;
- ii) Εάν η δύναμη αυτή είναι ίση με βάρος σώματος μάζας 5,76 gr, ποια είναι η επιφανειακή τάση του υγρού; ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ: $F = \gamma \cdot L$

$$L = L_{\text{εξ.}} + L_{\text{εσ}} = 2\pi(R + \Delta R) + 2\pi R =$$

(Επειδή ΔR μικρό θεωρούμε ότι $\Delta R \approx 0$)

$$= 4\pi R = 2\pi D$$

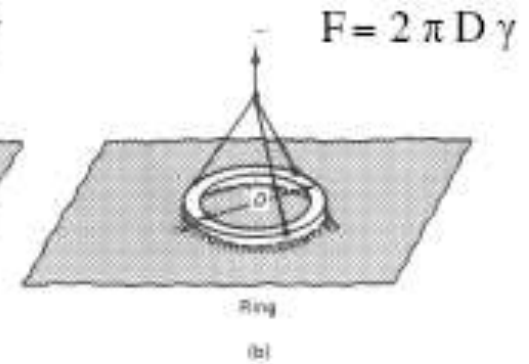
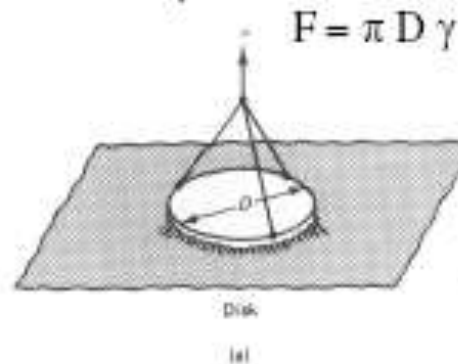
Άρα: $F = 2\pi D \gamma$

ΔΙΣΚΟΣ: $F = \gamma \cdot L$

$$\left. \begin{array}{l} L = 2\pi R \\ D = 2R \end{array} \right\} F = \pi D \gamma$$

ΑΣΚΗΣΗ (Συνέχεια)

Υγρό	γ , dyn/cm (°)
Νερό	72,8
Δ/μα με σαπούνι	25,0
Υδράργυρος	54,5



- i) Θεωρείστε ότι στο σχήμα (b) παριστάνεται λεπτός αλουμινένιος δαχτύλιος διαμέτρου 5 cm και μάζας 2,5 gr. Πόση είναι η δύναμη που χρειάζεται για να ανασηκωθεί από την επιφάνεια (α) νερού; (β) σαπουνάδας;
- ii) Εάν η δύναμη αυτή είναι ίση με βάρος σώματος μάζας 5,76 gr, ποια είναι η επιφανειακή τάση του υγρού; ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

$$(i) F_{o\lambda} = F + W = 2\pi D\gamma + m_{\delta} g$$

$$(α) \text{ νερό: } F_{o\lambda} = 2287 \text{ dyn} + 2450 \text{ dyn} = 4737 \text{ dyn} = 0,047 \text{ N} \quad (1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn})$$

$$(β) \text{ σαπουν.: } F_{o\lambda} = 785,4 \text{ dyn} + 2450 \text{ dyn} = 3235,4 \text{ dyn} = 0,032 \text{ N}$$

$$(ii) \gamma = (m - m_{\delta}) g / 2\pi D = 101,69 \text{ dyn/cm}$$

Συντελεστής Επιφανειακής Τάσης – Εναλλακτικός ορισμός

Για να μεταφερθεί ένα μόριο από το εσωτερικό του υγρού στην επιφάνεια του θα πρέπει να δαπανηθεί έργο. Για την περίπτωση του εξεταζόμενου πειράματος:

$$W_F = F dx \quad (W < 0, F \text{ αντίθετη της αύξησης } dx, F = - F_{\text{εξωτ.}})$$

Αυτό, με τη σειρά του, αντιστοιχεί σε **αύξηση της αποθηκευμένης δυναμικής ενέργειας στην επιφάνεια** $\Delta U = - W_F = 2 \ell \gamma dx > 0$.

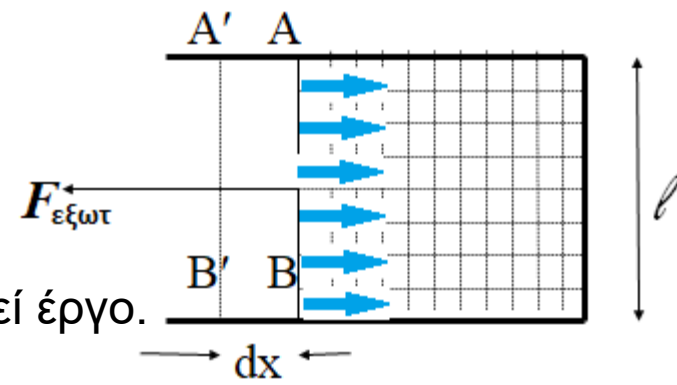
$$\text{Αύξηση της επιφάνειας} = \Delta A = 2 \ell dx$$

Οπότε:

$$\frac{\Delta U}{\Delta A} = \frac{2 \ell \gamma dx}{2 \ell dx} = \gamma$$

Επομένως, το γ ορίζεται εναλλακτικά ως η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια της συνολικής επιφάνειας στη μονάδα επιφάνειας.

ΜΟΝΑΔΕΣ: 1 J/m² ισοδύναμο του N/m
όπως 1 erg/cm² ισοδύναμο του dyn/cm (=10⁻³ N/m)



ΕΡΩΤΗΣΗ:

Μπορεί ο συντελεστής επιφανειακής τάσης να πάρει αρνητικές τιμές;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

- **ΌΧΙ!** Ο συντελεστής επιφανειακής τάσης **είναι πάντα θετικός**, αφού αύξηση της επιφάνειας ενός υγρού προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της αποθηκευμένης δυναμικής ενέργεια σε αυτήν. Το υγρό τείνει ως σύστημα να αποκτήσει την ελάχιστη ενέργεια και επομένως να μειώσει την επιφάνειά του.

Αν ο γ ήταν αρνητικός, αυτό θα σήμαινε ότι αύξηση της επιφάνειας του υγρού θα αντιστοιχούσε σε μείωση της ενέργειάς του. Τότε το υγρό θα η έτεινε να αυξήσει απεριόριστα την επιφάνεια του, ώστε να βρεθεί σε ελάχιστη ενέργεια και δεν θα υπήρχαν παρά μόνο μονομοριακές επιφάνειες υγρών

ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ

- (i) Με ποιο χαρακτηριστικό μέγεθος αξιολογείται η επιφανειακή τάση ενός υγρού;
- (ii) Από τι εξαρτάται και πως;
- (iii) Μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές και γιατί;

ΑΣΚΗΣΗ

Από τη δεξαμενή ψεκαστήρα, ο οποίος χρησιμοποιείται για ψεκασμό φυτών, αντλούνται 100 cm^3 νερού ώστε να μετατραπούν σε ομίχλη σφαιρικών σταγονιδίων με μέση διάμετρο $50 \mu\text{m}$. Προσδιορίστε το συνολικό ποσό ενέργειας που πήγε στο σχηματισμό των σταγονιδίων. Αγνοείστε την επιφάνεια του νερού αρχικά. (Δίνεται: $\gamma = 72.8 \text{ dyn/cm}$)



ΛΥΣΗ

Δεδομένα: $D = 50 \times 10^{-6} \text{ m}$, $V = 100 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ και $\gamma = 72.8 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$

Απαιτούμενη Ενέργεια (ΔE) = Έργο που σπαταλήθηκε για να δημιουργηθούν οι καινούργιες επιφάνειες (W).

Όπως είδαμε προηγουμένως:

$$\Delta W = \gamma \Delta A \quad (1) \quad (\text{όπου } \Delta A \text{ η αύξηση της επιφάνειας του νερού}).$$

Πόσο αυξήθηκε η επιφάνεια του νερού ΔA όταν έγινε όλο μικροσταγονίδια;

Κάθε σφαιρικό σταγονίδιο έχει επιφάνεια $4\pi R^2$ και όγκο $\frac{4}{3}\pi R^3$.

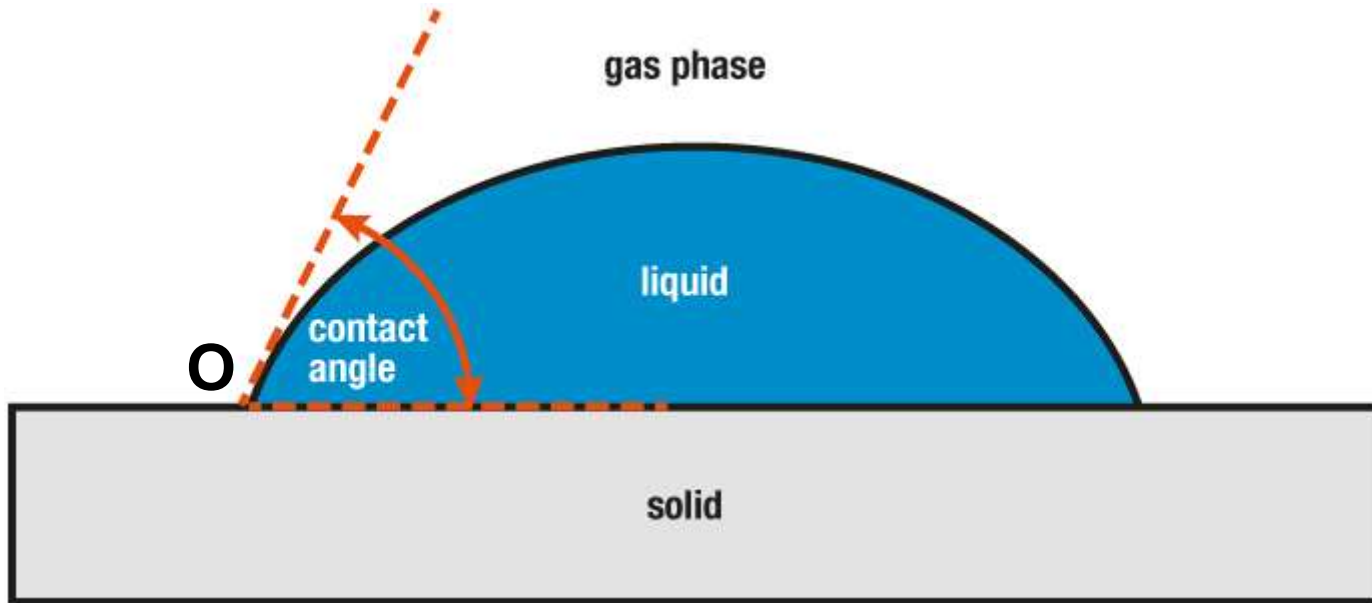
Σχηματίστηκαν, επομένως, $N = V / (\frac{4}{3})\pi R^3$ σταγονίδια

με συνολική επιφάνεια $\Delta A = 4\pi R^2 N = 3V/R \quad (2)$.

Οπότε, από (1) και (2) έχουμε: $W = \gamma 3V/R = 0,87 \text{ J}$

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΑΦΗΣ ΥΓΡΟΥ - ΣΤΕΡΕΟΥ

Σταγόνα υγρού τοποθετείται επάνω στην επιφάνεια στερεού

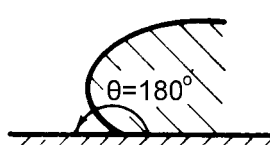
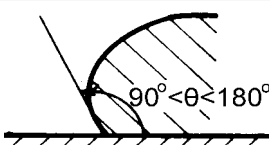

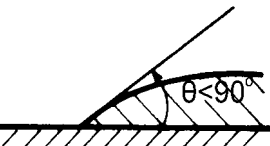



Η γωνία θ , που σχηματίζεται από την εφαπτομένη της σταγόνας στο σημείο O με την επιφάνεια του στερεού, ονομάζεται **γωνία συνεπαφής (contact angle)**.

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΑΦΗΣ ΥΓΡΟΥ - ΣΤΕΡΕΟΥ

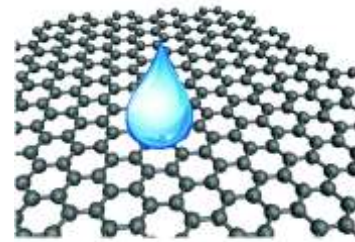
Σταγόνα υγρού τοποθετείται επάνω στην επιφάνεια στερεού

Μικρή γωνία συνεπαφής $\theta \Rightarrow$ μεγάλη ενέργεια συνάφειας

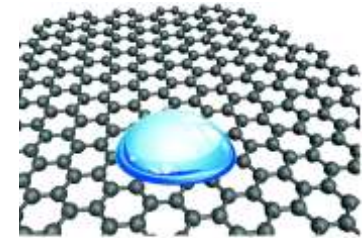
	θ ($^\circ$)	συνθ		ΣΧΟΛΙΑ
	180	-1	Δείτε βίντεο "Υδρόφοβες επιφάνειες - Αργή κίνηση" (Σύνδεσμοι)	Η ενέργεια συνάφειας είναι μηδέν και επομένως το στερεό δεν διαβρέχεται . Ενδεικτικές περιπτώσεις: νερό σε υδρόφοβες επιφάνειες, υδράργυρος επάνω σε γυαλί, κα.
	$90 < \theta < 180$	< 0		Η διαβροχή είναι κακή . Οι δυνάμεις συνάφειας είναι μικρότερες από τις δυνάμεις συνοχής του υγρού.
Οριακή περίπτωση	90	0		Οι δυνάμεις συνάφειας εξισορροποούνται από τις δυνάμεις συνοχής του υγρού.
	< 90	> 0		Καλή διαβροχή του στερεού από το υγρό . Οι δυνάμεις συνάφειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνοχής του υγρού.
	0	1		Η ενέργεια συνάφειας ισούται με την ενέργεια συνοχής του υγρού και η διαβροχή είναι τέλεια .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Καλή διαβροχή όταν $\downarrow \gamma_u$ (ζεστό νερό, απορρυπαντικό)

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΑΦΗΣ ΥΓΡΟΥ - ΣΤΕΡΕΟΥ



hydrophobic



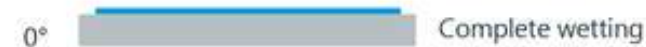
hydrophilic



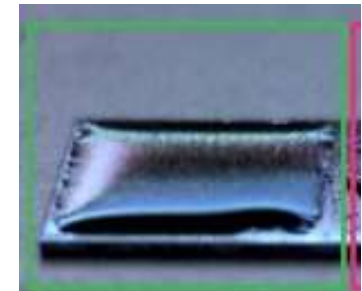
Bad wetting



Good wetting



Complete wetting



Η εξέλιξη έχει φροντίσει ώστε τα φύλλα των φυτών να έχουν επιφάνειες με **κακή διαβροχή** ώστε το νερό της βροχής να καλύπτει όσο δυνατόν μικρότερη επιφάνεια. Έτσι, δεν καλύπτονται τα περισσότερα στόματα και το φυτό μπορεί να αναπνέει μετά από βροχή.

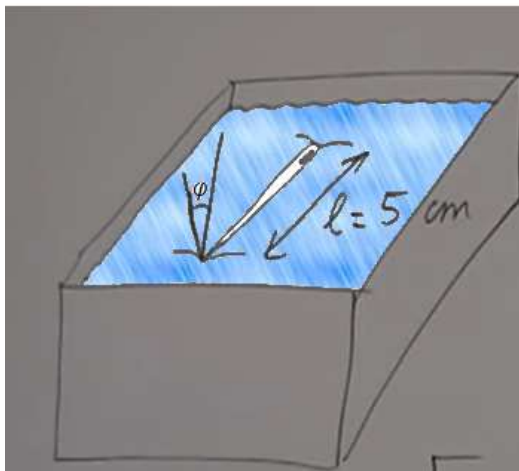
ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΛΟΓΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ

Στην περίπτωση που ένα σωματίδιο αποτελείται από υλικό που δεν διαβρέχεται από το υγρό, είναι δυνατόν να τοποθετηθεί στην επιφάνεια του υγρού και να επιπλεύσει, παρά το ότι η πυκνότητά του είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του υγρού. Μπορεί όμως να συμβεί και το αντίθετο φαινόμενο. Δηλαδή στερεά σωματίδια με πυκνότητα μικρότερη από εκείνη του υγρού, των οποίων όμως το υλικό είναι τέτοιο ώστε να διαβρέχεται από αυτό, μπορούν "ν' απορροφηθούν" από το υγρό αν οι διαστάσεις τους είναι αρκετά μικρές.

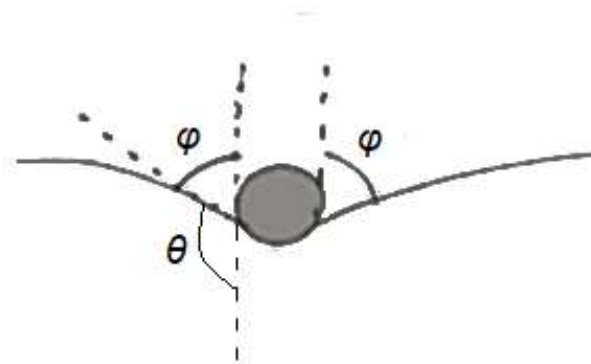


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Η επίπλευση μιας ατσάλινης βελόνας εξαιτίας της επιφανειακής τάσης



(α)



(β)

Σχήμα 1

Η ατσάλινη βελόνα στο σχήμα 1(α) έχει τοποθετηθεί προσεκτικά κατά μήκος στην επιφάνεια νερού (σε θερμοκρασία 20°C) και μπορεί να επιπλέει παρόλο που η πυκνότητά της είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του νερού. Το μήκος της βελόνας είναι $\ell = 5\text{ cm}$. Στο σχήμα 1(β) δίνεται η προβολή κατά μήκος της βελόνας όπου φαίνεται ότι η βελόνα δεν βυθίζεται καθόλου στο νερό αλλά επιπλέει στην επιφάνεια του, κάμπτοντας την έτσι ώστε η γωνία επαφής μεταξύ της επιφάνειας της βελόνας και της επιφάνειας του νερού να είναι φ (*). Η επιφανειακή τάση του νερού στους 20°C είναι $\gamma = 72,8\text{ dyn/cm}$ και $g = 10\text{ m/s}^2$

(*) εδών η φ είναι η παραπληρωματική της γωνίας συνεπαφής θ .

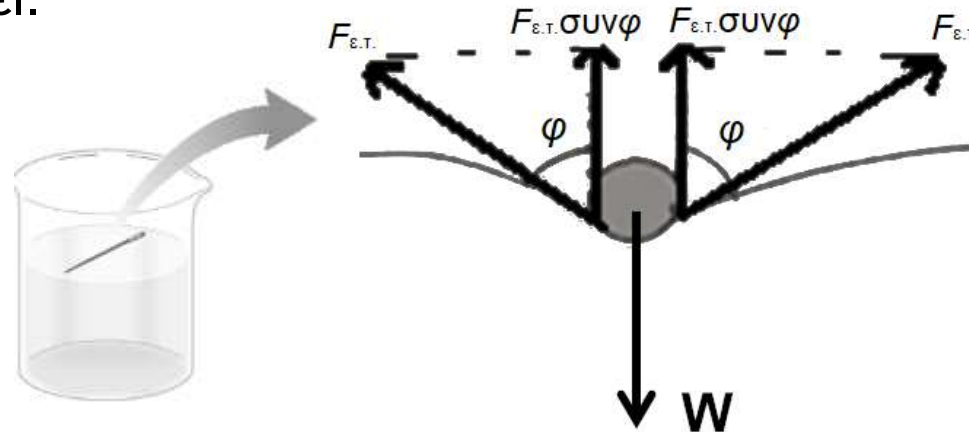
$$\varphi = \pi - \theta \text{ και } \text{συν}\varphi = \text{συν}(\pi - \theta) = - \text{συν}\theta$$

ΕΡΩΤΗΜΑ 1:

Πόση είναι η μέγιστη μάζα της βελόνας ώστε η επιφάνεια του νερού να μπορεί οριακά ($\theta = 0^\circ$) να την στηρίξει.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Στη βελόνα ασκούνται οι εξής δυνάμεις που σημειώνονται και στο διπλανό σχήμα:



Η δύναμη της επιφανειακής τάσης $F_{\varepsilon.τ.}$, που ασκείται σε όλο το μήκος της βελόνας και σύμφωνα με τον ορισμό του γ είναι:

$F_{\varepsilon.τ.} = \gamma \cdot \ell$ ($\ell = 5 \text{ cm}$ το μήκος της βελόνας). Επειδή η δύναμη αυτή ασκείται και στις δύο πλευρές της βελόνας, τελικά $F_{\varepsilon.τ.} = 2 \cdot \gamma \cdot \ell$

Και η βαρυτική δύναμη στη βελόνα $W = m \cdot g$

Από την ισορροπία των δυνάμεων στον κατακακόρυφο άξονα- y , έχουμε:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow 2 \cdot \gamma \cdot \ell \cdot \sigmaυνφ - m \cdot g = 0 \Rightarrow m = 2 \cdot \gamma \cdot \ell \cdot \sigmaυνφ / g \quad (1)$$

Στην οριακή περίπτωση που η επιφάνεια του νερού μόλις που μπορεί να στηρίξει την βελόνα, θα έχουμε $\varphi = 0^\circ$ (η βελόνα είναι έτοιμη να βουλιάξει) και επομένως $\sigmaυνφ = 1$.

Σε αυτήν την περίπτωση, η μάζα της βελόνας θα είναι η μέγιστη που μπορεί να υποστηρίξει η επιφάνεια του νερού, m_{\max} , η οποία υπολογίζεται από την Εξίσωση (1)

ως: $m_{\max} = 2 \cdot \gamma \cdot \ell / g = 2 \cdot (72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}) (5 \cdot 10^{-2} \text{ m}) / (10 \text{ m/s}^2) = 7,28 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = \mathbf{0,728 \text{ g}}$

ΕΡΩΤΗΜΑ 2:

Εάν η μάζα της βελόνας είναι $m = 0,5 \text{ g}$, πόση θα είναι η γωνία φ ;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Λύνοντας ως προς $\sin\varphi$ την Εξίσωση (1) που βρήκαμε στο προηγούμενο ερώτημα

$$m = 2 \cdot \gamma \cdot \ell \cdot \sin\varphi / g \quad (1)$$

βρίσκουμε: $\sin\varphi = m \cdot g / 2 \cdot \gamma \cdot \ell$

Οπότε για $m = 0,5 \text{ g} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$

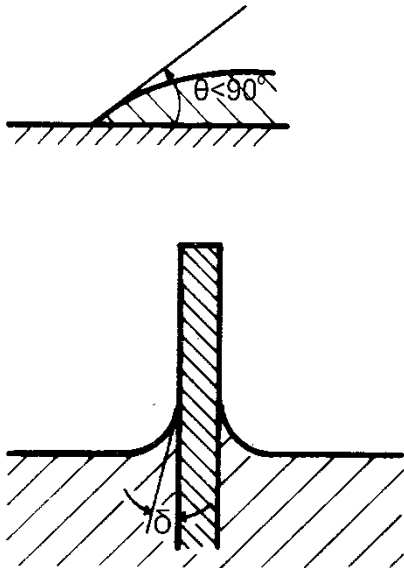
$$\sin\varphi = (5 \cdot 10^{-4} \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) / 2 \cdot (72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}) (5 \cdot 10^{-2} \text{ m}) = 0,687$$

το οποίο αντιστοιχεί σε γωνία $\varphi = 46,6^\circ$

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΑΦΗΣ ΥΓΡΟΥ - ΣΤΕΡΕΟΥ

Αν ένα στερεό εμβαπτισθεί σε υγρό ανασύρεται καλυμμένο (το υγρό διαβρέχει το στερεό) ή όχι (δεν το διαβρέχει) με λεπτό υγρό υμένιο ανάλογα με τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των δυνάμεων συνοχής του υγρού και συνάφειας στερεού - υγρού.

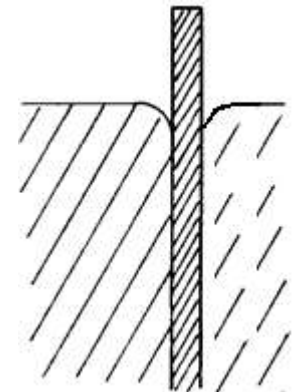
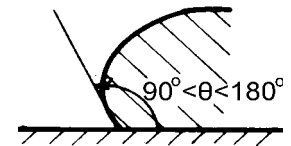
Καλή διαβροχή
υγρού – στερεού:



Αν μια στερεή πλάκα βυθιστεί στο υγρό, κατακόρυφα στην επιφάνεια του, η επιφάνεια του υγρού (που διαβρέχει καλώς την πλάκα) θα καμπυλωθεί στην περιοχή επαφής υγρού-στερεού, σύμφωνα με τη γωνία συνεπαφής που υπάρχει μεταξύ του συγκεκριμένου υγρού και στερεού.

Στην περίπτωση καλής διαβροχής η επιφάνεια του υγρού κοντά στην πλάκα θα είναι *κοίλη* ($\theta < 90^\circ$) ενώ στην περίπτωση κακής διαβροχής θα είναι *κυρτή* ($\theta > 90^\circ$). (βλέπε Σχήματα).

Κακή διαβροχή
υγρού – στερεού:



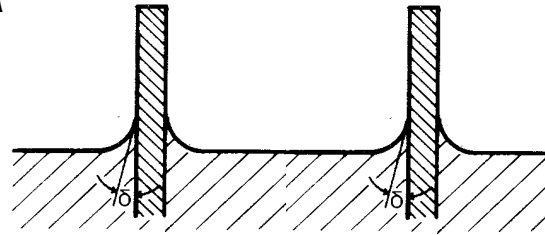
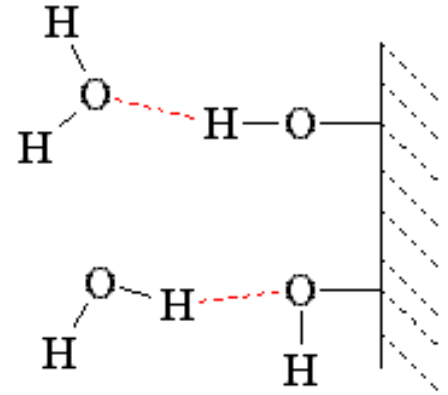
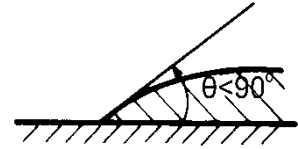
ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Ας εξετάσουμε αρχικά την περίπτωση **καλής διαβροχής** υγρού – στερεού (στη συνέχεια θα δούμε τι συμβαίνει και στην κακή διαβροχή).

Το υγρό για το οποίο παρατηρείται συνηθέστερα το φαινόμενο είναι **το νερό εξαιτίας του ότι έχει τη δυνατότητα να συνάψει ισχυρές δυνάμεις συνάφειας με άλλες επιφάνειες** και βρίσκεται άφθονο στη φύση.

Π.χ. τα μόρια του νερού σχηματίζουν ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου με τα άτομα οξυγόνου των επιφανειακών μορίων του γυαλιού (SiO_2 – τα επιφανειακά οξυγόνα συνδέονται με υδρογόνα) και επομένως το νερό διαβρέχει καλώς το γυαλί.

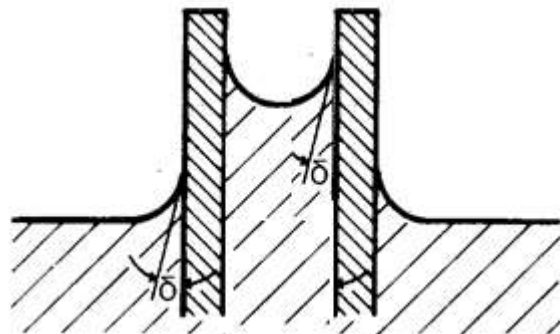
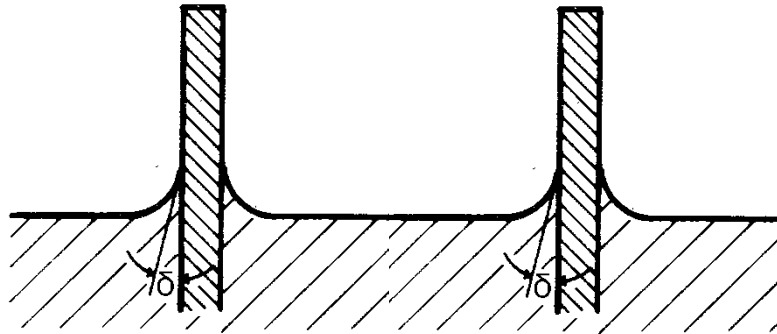
Όταν δύο π.χ. γυάλινες πλάκες βρίσκονται βυθισμένες σε νερό και σε αρκετή απόσταση η μία από την άλλη, η επιφάνεια του νερού καμπυλώνεται εκεί που το νερό διαβρέχει την κάθε μία πλάκα, αλλά παραμένει επίπεδη στο μεγαλύτερο μέρος της ενδιάμεσης απόστασης. Η στάθμη του υγρού ανάμεσα στις πλάκες, παραμένει τότε στο ίδιο επίπεδο με το υγρό εξωτερικά των πλακών.



ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Αν όμως φέρουμε **σε κοντινή απόσταση λίγων mm** δύο τέτοιες πλάκες τότε η καμπύλωση του νερού στην επιφάνεια της μιας θα συναντήσει την καμπύλωση στην επιφάνεια της άλλης.

Ανάμεσά τους θα παρατηρήσουμε ανύψωση της στάθμης του νερού που μάλιστα είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης μεταξύ των πλακών.



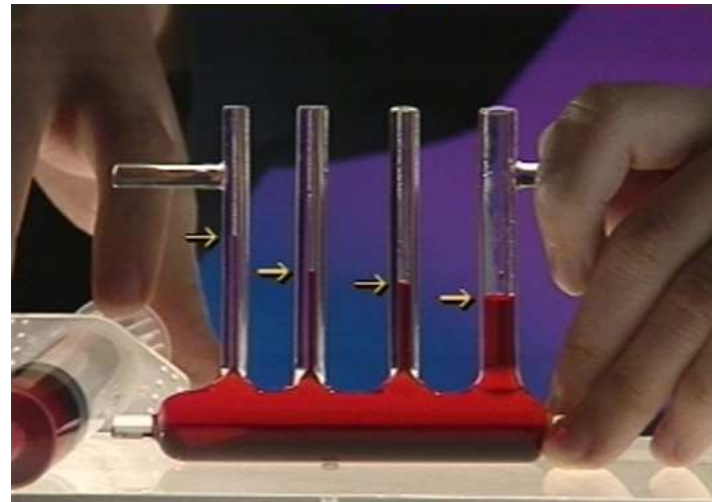
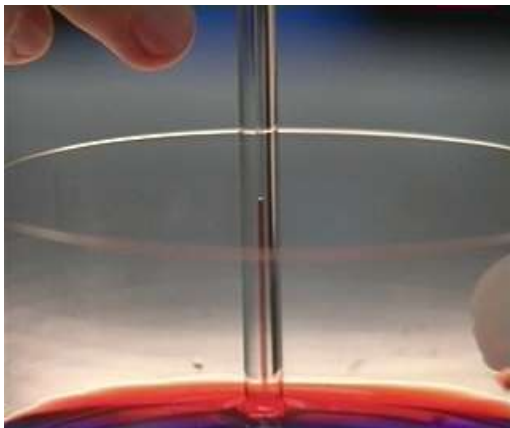
Δείτε **βίντεο** “Capillary Action”
(Σύνδεσμοι)

ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το ίδιο θα παρατηρήσουμε όταν βυθίζουμε ένα γυάλινο (ή οποιουδήποτε άλλου υλικού που διαβρέχεται καλώς από το νερό) σωλήνα σε νερό.

Εάν ο σωλήνας είναι αρκετά φαρδύς, δηλ. η απόσταση μεταξύ των εσωτερικών τοιχωμάτων του σωλήνα είναι μεγάλη (φανταστείτε π.χ. ένα ποτήρι με νερό), το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του νερού στο εσωτερικό του θα είναι επίπεδο και δεν θα παρατηρήσουμε ανύψωση της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του σωλήνα.

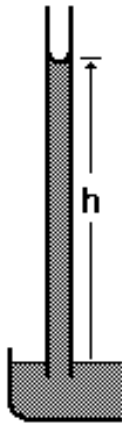
Αν όμως ο σωλήνας είναι στενός (η εσωτερική διάμετρός του είναι της τάξης των mm και μικρότερη, αντιστοιχεί σε **τάξη μεγέθους του πάχους τρίχας και για αυτό ονομάζεται τριχοειδής σωλήνας**), η επιφάνεια του νερού στο εσωτερικό του είναι σημαντικά καμπυλωμένη και η στάθμη του νερού στο εσωτερικό του σωλήνα ανυψώνεται. Παρατηρούμε μάλιστα ότι όσο μικρότερη είναι η εσωτερική διάμετρός του σωλήνα τόσο μεγαλύτερη είναι η ανύψωση της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του.



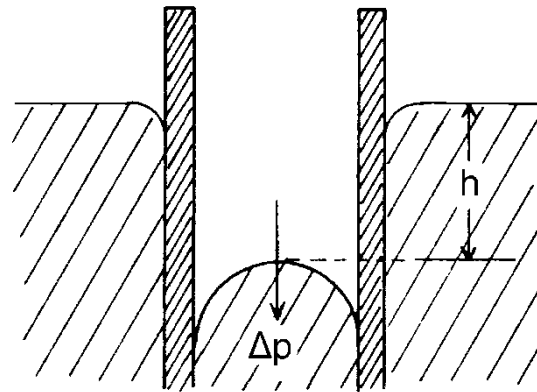
ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Είδαμε ότι η καμπύλωση της επιφάνειας του υγρού (κοίλη ή κυρτή) οφείλεται στην (καλή ή κακή αντίστοιχα) διαβροχή των εσωτερικών τοιχωμάτων του σωλήνα από το υγρό και στη μικρή εσωτερική διάμετρο των τριχοειδών σωλήνων.

Γιατί, όμως, η καμπύλωση της επιφάνειας του υγρού στο εσωτερικό ενός τριχοειδή σωλήνα, οδηγεί σε ανύψωση (ή ταπείνωση όπως θα δούμε στην περίπτωση κακής διαβροχής) της στάθμης του υγρού;

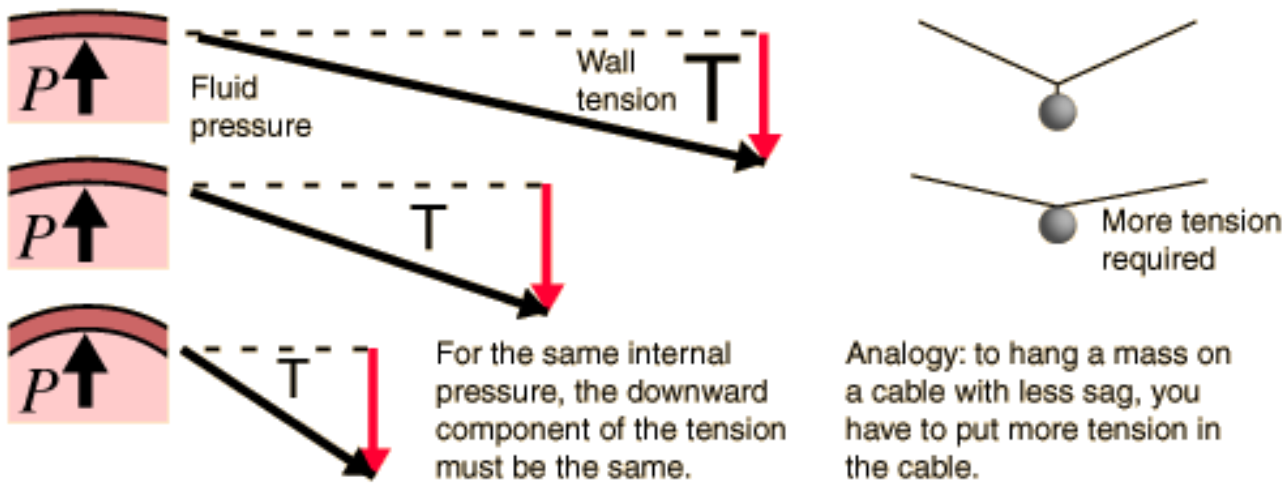


Καλή διαβροχή
ανύψωση



Κακή διαβροχή
ταπείνωση

Ενδοπίεση στο εσωτερικό καμπύλης επιφάνειας



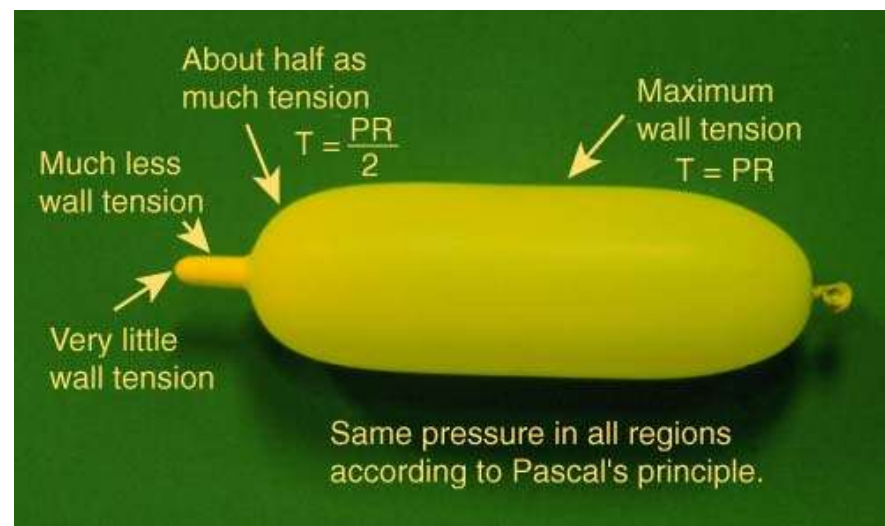
Μηχανικά ανάλογα:

1. Σχοινί
2. Σεντόνι

Σταθερή πίεση στο εσωτερικό ελαστικής μεμβράνης:

Σφαιρικό μπαλόνι – Μακρόστενο μπαλόνι

$$T \sim p, r \quad (r: \text{ακτίνα καμπυλότητας σφαίρας})$$

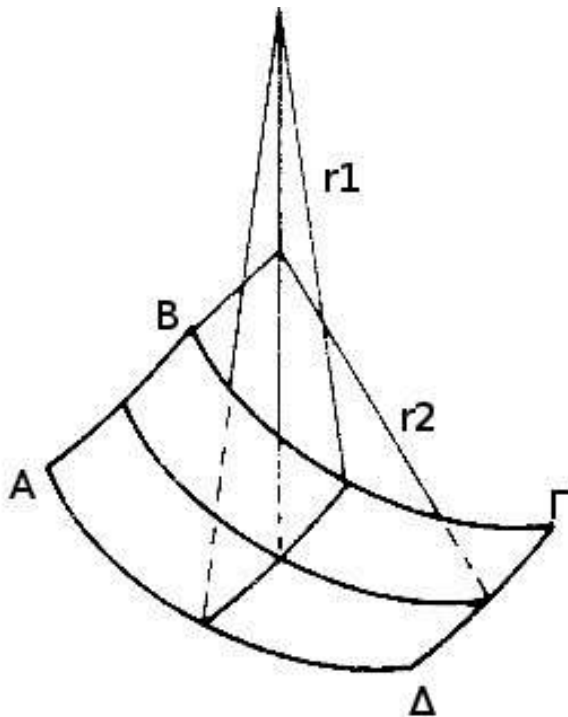


Δείτε βίντεο “Balloon tension - Αργή κίνηση” (Σύνδεσμοι)

Η τάση στα τοιχώματα ελαστικού μπαλονιού: $T \sim p, r$

Όπως, όμως, έχουμε πει προηγουμένως, η επιφανειακή τάση ενός υγρού γ εξαρτάται μόνο από τη φύση του υγρού και τη θερμοκρασία. Μεταβολή της πίεσης p ή της καμπυλότητας της επιφάνειας r , δεν επηρεάζουν την γ .

Επομένως, για διαφορετικές καμπυλότητες r της επιφάνειας ενός υγρού θα έχουμε διαφορετική πίεση στο εσωτερικό του. Δεδομένου ότι $\gamma = \text{σταθ.}$ και σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, η καμπύλωση r της επιφάνειας ενός υγρού έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση πίεσης (η οποία μεταδίδεται αμετάβλητη σε όλο το εσωτερικό του υγρού σύμφωνα με την αρχή του Pascal) $p_{\text{καμπυλ.}} \sim \gamma, 1/r$



Νόμος του Laplace

Ο Laplace διατύπωσε τον μαθηματικό νόμο για την πίεση που δημιουργείται εξαιτίας της καμπύλωσης μιας επιφάνειας ως εξής:

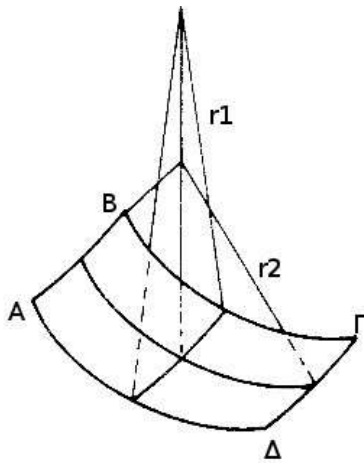
Έστω ΑΒΓΔ στοιχειώδες τμήμα επιφάνειας υγρού με ακτίνες καμπυλότητας r_1 και r_2 . Τότε, η πίεση p_i στο εσωτερικό του υγρού θα έχει μεταβληθεί κατά $p_{\text{καμπυλ.}}$ εξαιτίας αυτής της καμπύλωσης της επιφάνειάς του και η διαφορά της πίεσης στο εσωτερικό από το εξωτερικό του υγρού $\Delta p = p_i - p_o$, θα δίνεται από το **νόμο του Laplace**:

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Νόμος του Laplace

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Οι ακτίνες καμπυλότητας r_1 και r_2 **θεωρούνται θετικές, αν αντιστοιχούν σε κυρτή επιφάνεια, και αρνητικές, αν αντιστοιχούν σε κοίλη.**



Κοίλη επιφάνεια

$r_1 < 0$ και $r_2 < 0$

Επομένως, $\Delta p < 0$



Κυρτή επιφάνεια

$r_1 > 0$ και $r_2 > 0$

Επομένως, $\Delta p > 0$

Νόμος του Laplace

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Επίπεδη επιφάνεια: $r_1 \rightarrow \infty$ και $r_2 \rightarrow \infty \Rightarrow \Delta p = 0$



Σφαίρα: $r_1 = r_2 = r (> 0) \Rightarrow \Delta p = 2\gamma / r (> 0)$

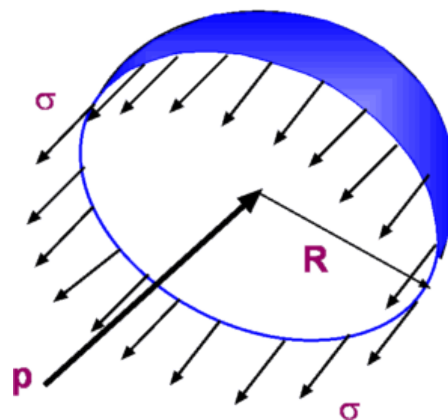
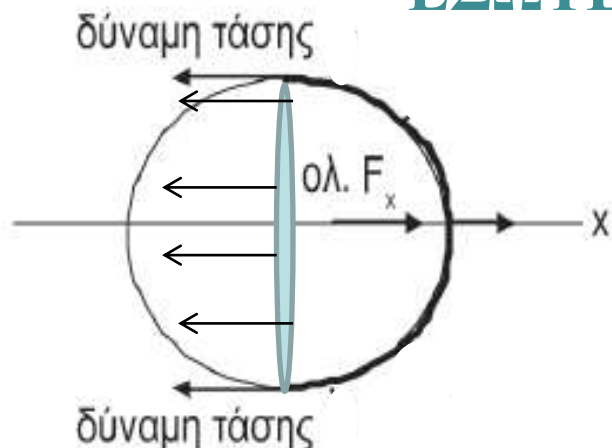


Επομένως, η πίεση στο εσωτερικό μιας σταγόνας νερού (θεωρείστε ότι είναι σφαιρική) θα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η ακτίνα καμπυλότητας της σφαίρας r , δηλ. όσο μικρότερη είναι η σταγόνα.

Η πίεση p_1 στο εσωτερικό μιας μικρής σταγόνας (με r_1) είναι μεγαλύτερη από την πίεση p_2 στο εσωτερικό μιας μεγαλύτερης σταγόνας (με $r_2 > r_1$), με αποτέλεσμα, όταν αυτές οι δύο σταγόνες συναντηθούν, η **μεγάλη σταγόνα να “απορροφήσει” τη μικρή.**



ΆΛΛΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΤΑΓΟΝΑΣ



Η πίεση p_i στο εσωτερικό της σφαίρας είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική πίεση p_o .

Η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης, $\Delta p = p_i - p_o$, τείνει να διαλύσει τη σφαίρα.

Φανταστείτε ότι διαιρούμε τη σφαίρα σε δύο ημισφαίρια. Εξαιτίας της Δp , τα υποθετικά ημισφαίρια θα τείνουν να διαχωριστούν στο επίπεδο του μεσημβρινού (βλέπε Σχήμα). Μπορούμε να δεχτούμε ότι το ένα ασκεί στο άλλο συνολική δύναμη:

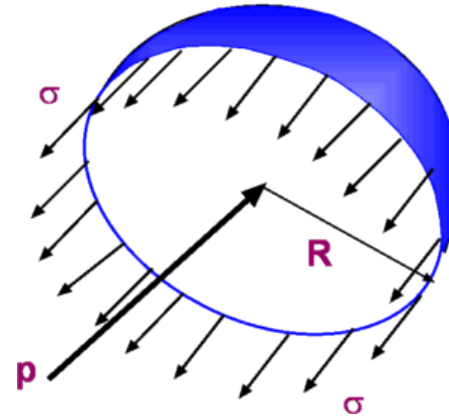
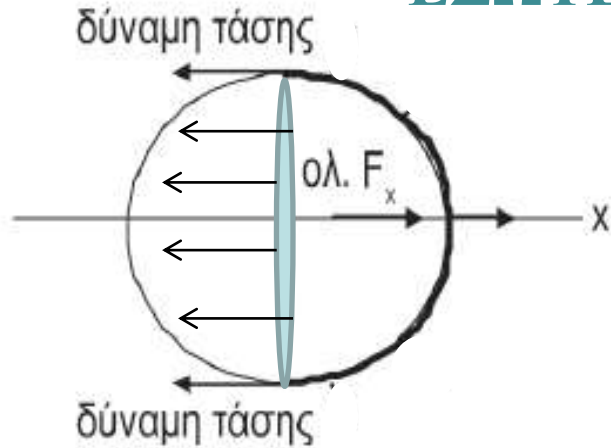
$$F_x = \Delta p A$$

όπου $A = \pi r^2$, η διατομή της σφαίρας στον μεσημβρινό της. Επομένως:

$$F_x = (p_i - p_o) \pi r^2$$

(στο σχήμα σημειώνεται η δύναμη που ασκεί το αριστερό στο δεξί ημισφαίριο)

ΆΛΛΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΤΑΓΟΝΑΣ



Τα ημισφαίρια, όμως, συγκρατούνται ενωμένα μεταξύ τους εξαιτίας των δυνάμεων επιφανειακής τάσης που αναπτύσσονται ομοιόμορφα στον μεσημβρινό της (βλ. σχήμα).

Η περιφέρεια του μεσημβρινού της σφαίρας είναι: $L = 2\pi r$

Οι δυνάμεις εξαιτίας της επιφανειακής τάσης αναπτύσσονται κατά μήκος του μεσημβρινού (βλ. σχήμα) και η ολική δύναμη που προκύπτει από αυτές και τραβάει προς τα αριστερά το δεξί ημισφαίριο, είναι:

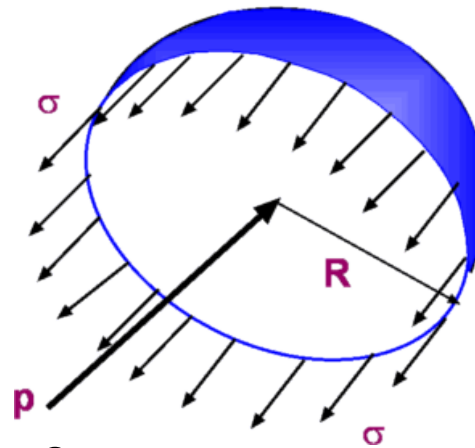
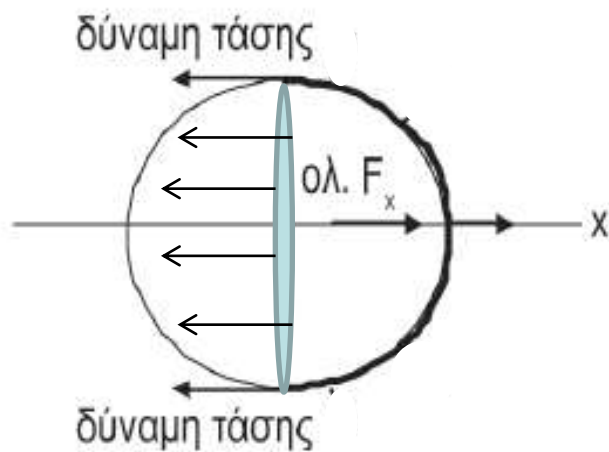
$$F_{\text{επιφ. τάσ.}} = \gamma L = 2\pi r \gamma$$

Από την ισορροπία των δυνάμεων: $F_x = F_{\text{επιφ. τάσ.}}$ και επομένως:

$$(\rho_i - \rho_o) \pi r^2 = 2\pi r \gamma$$

προκύπτει ο νόμος *Laplace* για σφαιρική σταγόνα υγρού.

ΆΛΛΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΤΑΓΟΝΑΣ



$$(p_i - p_o) \pi r^2 = 2\pi r \gamma$$

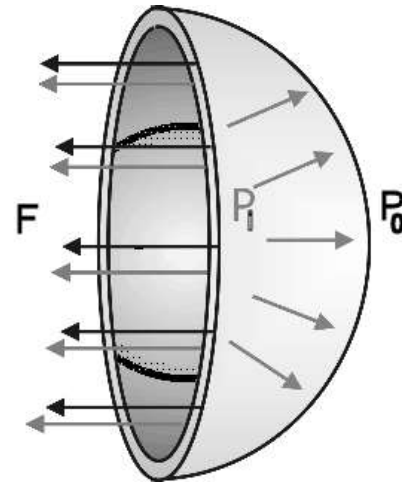
Η διαφορά της πίεσης p_i στο εσωτερικό της σταγόνας, από την πίεση p_o στο εξωτερικό της σταγόνας, οφείλεται στην σφαιρική της επιφάνεια και σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση είναι ίση με:

$$\Delta p = (p_i - p_o) = 2\gamma / r$$

Η σχέση αυτή είναι όμοια με τη σχέση που προκύπτει από το νόμο του *Laplace* για σφαιρική σταγόνα υγρού:

$$\Delta p = 2\gamma / r$$

Για σφαιρικό υμένιο (φουσαλίδα)



Στην περίπτωση φουσαλίδας, οι δυνάμεις επιφανειακής τάσης που «συγκρατούν» τα δύο ημισφαίρια, αφορούν πλέον δύο επιφάνειες: την εσωτερική και την εξωτερική, και αναπτύσσονται ομοιόμορφα γύρω-γύρω στο εσωτερικό και εξωτερικό μεσημβρινό της φουσαλίδας.

Η ολική δύναμη λόγω επιφανειακής τάσης είναι: $F = \gamma L$
όπου $L = 2\pi r$ (εσωτερικά) + $2\pi r$ (εξωτερικά) = $4\pi r$ (θεωρούμε ότι το πάχος του υμενίου της φουσαλίδας είναι πολύ μικρό έτσι ώστε $r_{\text{εσωτ.}} \approx r_{\text{εξωτ.}} = r$)

Οπότε $F = 4\pi\gamma r$.

Αυτή πρέπει να ισορροπήσει τη δύναμη εξαιτίας της υπερπίεσης Δp στο εσωτερικό της φούσκας δηλ., την $F = A \Delta p$
όπου $A =$ το εμβαδόν της διατομής της σφαίρας με $A = \pi r^2$.

Άρα $F = \pi r^2 \Delta p$.

Αφού $F = F$ τότε $4\pi\gamma r = \pi r^2 \Delta p$, οπότε τελικά για φουσαλίδα: **$\Delta p = 4\gamma/r$**

Για σφαιρικό υμένιο (φουσαλίδα)



$$\Delta p = (p_i - p_o) = 4\gamma/r$$

Επομένως, ο αέρας που είναι εγκλωβισμένος στο εσωτερικό της φουσαλίδας δεν βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση (p_o) αλλά σε μεγαλύτερη πίεση (p_i).

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, όσο μεγαλώνει η φουσαλίδα ($r \uparrow$) τόσο η διαφορά της πίεσης από το εσωτερικό στο εξωτερικό της μειώνεται ($\Delta p \downarrow$).

Γιατί τότε η φουσαλίδα δεν μεγαλώνει συνεχώς μέχρι η πίεση του αέρα στο εσωτερικό της να γίνει ίση με την πίεση του αέρα εξωτερικά ($\Delta p = 0$);

Για να γίνει αυτό ($\Delta p = 0$), το μέγεθος της φουσαλίδας θα πρέπει θεωρητικά να γίνει άπειρο ($r \rightarrow \infty$). Όμως, οι δυνάμεις επιφανειακής τάσης που συγκρατούν τα ημισφαίρια της φουσαλίδας ($F = 4\pi\gamma r$), για συγκεκριμένη τιμή της γ , μπορούν να πάρουν μια μέγιστη τιμή F_{\max} , που αντιστοιχεί σε μια μέγιστη τιμή r_{\max} ($F_{\max} = 4\pi\gamma r_{\max}$), πέραν της οποίας η φουσαλίδα θα «σκάσει».

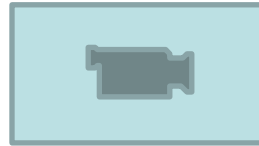
Επομένως,

$$r_{\max} = F_{\max} / 4\pi\gamma$$

Δηλ., όσο πιο μικρή είναι η γ του υμενίου (όπως π.χ. της σαπουνάδας συγκριτικά με το καθαρό νερό) τότε τόσο πιο μεγάλη θα είναι η φουσαλίδα που μπορούμε να φτιάξουμε.

Για σφαιρικό υμένιο (φουσαλίδα)

$$\Delta p = 4\gamma/r$$

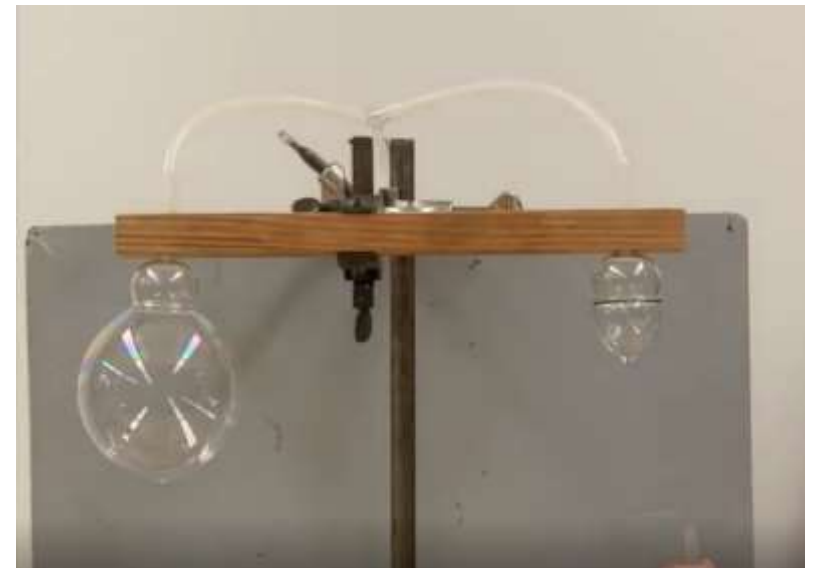


Δείτε βίντεο
“Pressure within a
Bubble”
(Σύνδεσμοι)



Η μαθήτρια διακόπτει τη ροή του αέρα (που φουσάει) προς τη φουσαλίδα δεξιά.

Η φουσαλίδα δεξιά είναι μικρότερης ακτίνας από αυτήν αριστερά.



Όταν ο επικοινωνεί ο αέρας μεταξύ δύο φουσαλίδων διαφορετικής ακτίνας, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη φουσαλίδα «απορροφά» τη μικρότερη. Γιατί;

Ερωτήσεις

(i) Πόσο πιο μεγάλη είναι η πίεση (σε pascal) του αέρα που είναι εγκλωβισμένος σε μια σαπουνόφουσκα με διάμετρο 6 cm, από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο συντελεστής επιφανειακής τάσης του συγκεκριμένου σαπυνοδιαλύματος είναι 25 dyn/cm.

$$\Delta p = \frac{4\gamma}{r} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}}{3 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 3,33 \text{ Pa}$$

(ii) Τι θα συμβεί όταν μια σταγόνα νερού με ακτίνα 1mm περάσει μέσα από ομίχλη που αποτελείται από σταγονίδια ακτίνας 0,01mm; (Υποθέστε ότι $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ και επομένως η επιφανειακή τάση για το νερό είναι 72,8 dyn/cm)

$$\Delta p_1 = \frac{2\gamma}{r_1} = \frac{2 \cdot 72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\Delta p_2 = \frac{2\gamma}{r_2} = \frac{2 \cdot 72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\Delta p_2 = 100\Delta p_1$$

Η υπερπίεση στο εσωτερικό των σταγονιδίων (Δp_2) είναι 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της μεγάλης σταγόνας. Επομένως, η μεγάλη σταγόνα θα απορροφήσει στο πέρασμά της όλα τα σταγονίδια και θα μεγαλώσει ακόμη περισσότερο.

(iii) Εάν η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής της πίεσης μιας σταγόνας νερού είναι 0,02 atm τότε η διάμετρος της σταγόνας είναι περίπου: (Υποθέστε ότι $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ και επομένως η επιφανειακή τάση για το νερό είναι 72,8 dyn/cm. Δίνεται $1\text{atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$).

A. 0,146 m

B. 0,146 cm

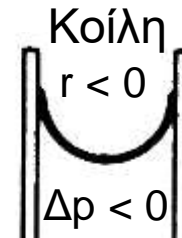
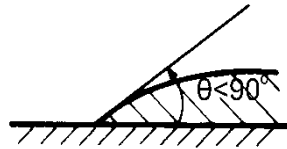
Γ. 0,146 mm

Δ. 0,146 μm

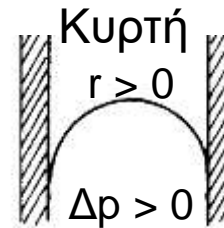
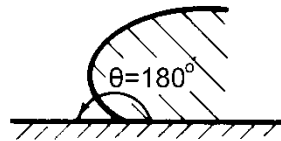
$$\Delta p = \frac{2\gamma}{r} \Leftrightarrow d = \frac{4\gamma}{\Delta p} = \frac{4 \cdot 72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}}{2 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = 145,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N/m}}{\text{N/m}^2} \approx 0,146 \text{ mm}$$

ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Καλή διαβροχή

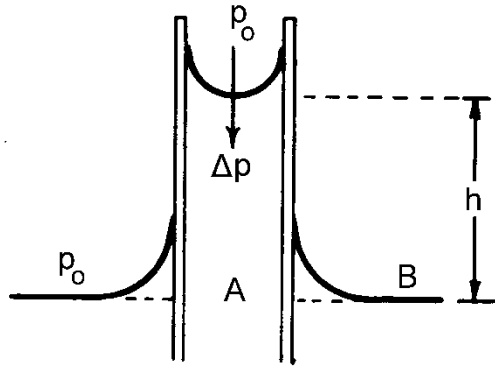


Κακή διαβροχή



ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Καλή διαβροχή

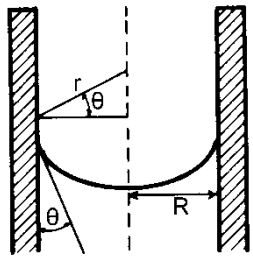


Τότε, λόγω της ισορροπίας του συστήματος, η πίεση στο σημείο B της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού και στο σημείο A, το οποίο βρίσκεται στο εσωτερικό του σωλήνα και στην προέκταση της ελεύθερης επιφάνειας και πρέπει να είναι ίσες. Η πίεση στο B είναι η εξωτερική p_0 ($p_B = p_0$) ενώ στο A είναι:

$$p_A = p_0 + \Delta p + \rho gh = p_0 - \frac{2\gamma}{|r|} + \rho gh$$

όπου ρgh η υδροστατική πίεση και r η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας.

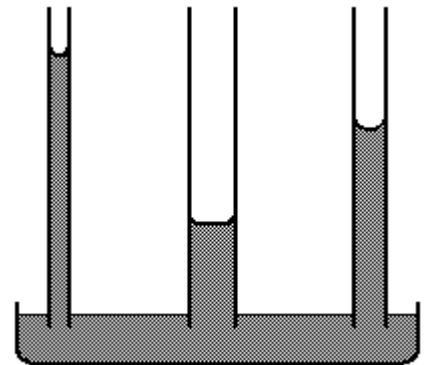
Αφού $p_A = p_B \Rightarrow p_0 - \frac{2\gamma}{|r|} + \rho gh = p_0 \Rightarrow \frac{2\gamma}{|r|} = \rho gh$



Η ακτίνα καμπυλότητας r και η ακτίνα R του σωλήνα συνδέονται με τη σχέση: $R = |r| \text{ συν}\theta$ όπου θ η γωνία συνεπαφής

$$\rho gh = \frac{2\gamma}{R} \text{ συν}\theta$$

Η ανύψωση μέσα στο σωλήνα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας του.



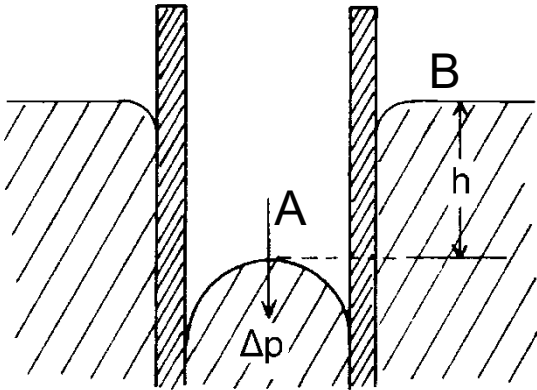
ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Κακή διαβροχή

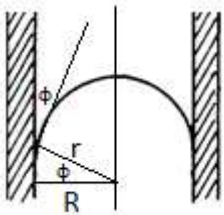
Το σύστημα θα ισορροπεί όταν:

$$p_A = p_B$$

$$p_0 + \frac{2\gamma}{|r|} + \rho gh = p_0 \Rightarrow \frac{2\gamma}{|r|} = -\rho gh$$



$$\frac{2\gamma}{|r|} = -\rho gh$$

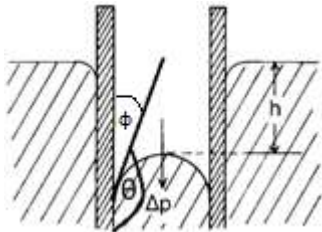


Η ακτίνα καμπυλότητας r και η ακτίνα R του σωλήνα συνδέονται με τη σχέση:

$$R = |r| \text{ συν} \varphi$$

όπου $\varphi = \pi - \theta$

Επομένως, $R = |r| \text{ συν}(\pi - \theta) = -|r| \text{ συν} \theta$
 όπου θ η γωνία συνεπαφής



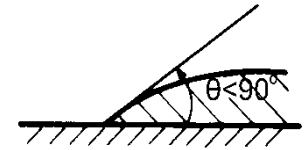
$$\rho gh = \frac{2\gamma}{R} \text{ συν} \theta$$

Η ταπείνωση μέσα στο σωλήνα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας του.

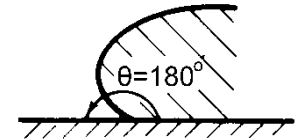
ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ

$$\rho gh = \frac{2\gamma}{R} \cos\theta \Rightarrow h = \frac{2\gamma}{Rg\rho} \cos\theta$$

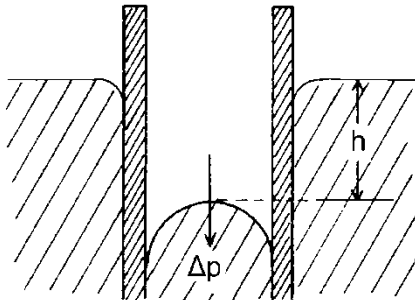
• **ΚΑΛΗ ΔΙΑΒΡΟΧΗ:** $\theta < 90^\circ \Rightarrow \cos\theta > 0 \Rightarrow h > 0$



• **ΚΑΚΗ ΔΙΑΒΡΟΧΗ:** $\theta > 90^\circ \Rightarrow \cos\theta < 0 \Rightarrow h < 0$.

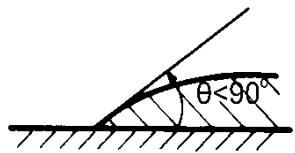


Δηλαδή εμφανίζεται **ταπείνωση** της στάθμης του υγρού στο σωλήνα. Αυτό συμβαίνει γιατί η κυρτή καμπυλότητα της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού μέσα στον τριχοειδή σωλήνα προκαλεί αύξηση της πίεσης κατά $\Delta p = 2\gamma/r$ και η στάθμη του υγρού πέφτει κατά h έτσι ώστε στο εσωτερικό του σωλήνα το υγρό να υπολείπεται κατά υδροστατική πίεση ρgh από την επιφάνεια του υγρού έξω από τον σωλήνα που είναι επίπεδη.



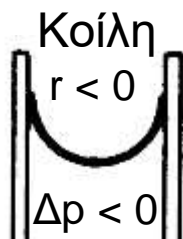
Παράδειγμα:
Υδράργυρος σε
γυάλινους
τριχοειδείς
σωλήνες

ΔΙΑΒΡΟΧΗ



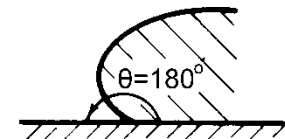
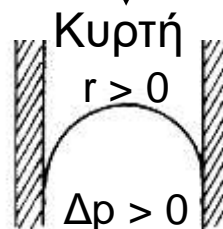
Καλή
 $0^\circ < \theta < 90^\circ$

$$\text{συν}\theta > 0$$



Κακή
 $90^\circ < \theta < 180^\circ$

$$\text{συν}\theta < 0$$



Καμπύλωση επιφάνειας

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{r}$$

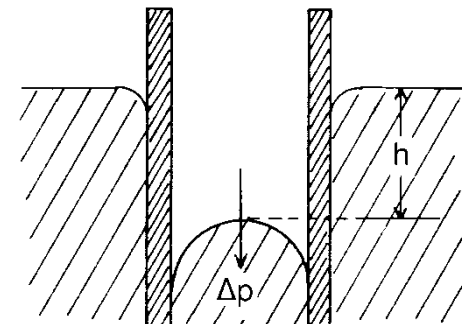
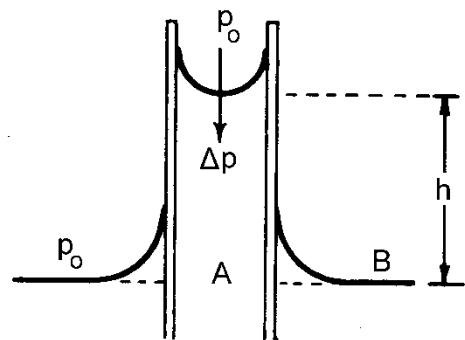
$$R = r \text{ συν}\theta$$

$$\rho g h = \frac{2\gamma}{R} \text{ συν}\theta$$

$$h = \frac{2\gamma \text{ συν}\theta}{\rho g R}$$

$$h > 0$$

$$h < 0$$



ΕΡΩΤΗΣΗ Πολ. Επιλ.

Το υλικό τεφλόν δεν διαβρέχεται καθόλου από το νερό. Η γωνία συνεπαφής του νερού σε τεφλόν είναι:

(α) 0° , (β) 90° , (γ) 180° , (δ) 270° .

ΑΣΚΗΣΗ

Μια μακρά, λεπτή, γυάλινη, τριχοειδής πιπέτα, εσωτερικής διαμέτρου $0,1 \text{ mm}$, εμβαπτίζεται σε αποσταγμένο νερό θερμοκρασίας 25°C . Δεδομένου ότι για το νερό σε αυτήν τη θερμοκρασία $\gamma = 72 \text{ dyn/cm}$, πόσο ψηλά θα ανέλθει η στάθμη του νερού στο εσωτερικό της πιπέτας; (το γυαλί είναι εξαιρετικά καθαρό και η γωνία συνεπαφής του με νερό ίση με 0° , $g = 10 \text{ m/s}^2$ και $\rho_{\text{νερ}} = 1 \text{ g/cm}^3$).

ΛΥΣΗ

$$\rho gh = \frac{2\gamma}{R} \text{ συν}\theta \Rightarrow h = \frac{2\gamma}{Rg\rho} \text{ συν}\theta$$

$$R = \frac{d}{2} = \frac{10^{-1} \cdot 10^{-3}}{2} \text{ m} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\gamma = 72 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}} = 72 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\rho = \rho_{\text{νερ}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\theta = 0 \Rightarrow \text{συν}\theta = 1$$

$$h = \frac{2 \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 10^3} \cdot 1 = 28,8 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 28,8 \text{ cm}$$

ΑΣΚΗΣΗ

Που θα βρεθεί η στάθμη υδραργύρου μέσα σε τριχοειδή γυάλινο σωλήνα διαμέτρου 0,5 mm; Θεωρήστε ότι ο υδράργυρος δεν διαβρέχει τα τοιχώματα του γυάλινου σωλήνα (γωνία επαφής $\theta = 180^\circ$), $\rho_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ και ο συντελεστής επιφανειακής του τάσης είναι 465 dyn/cm στους 20 °C ($g = 10 \text{ m/s}^2$, $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm/s}^2$).

ΛΥΣΗ

$$1\text{N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10^3 \text{g} \frac{10^2 \text{cm}}{\text{s}^2} = 10^5 \text{ dyn} \text{ επομένως } 1 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 1 \frac{10^5 \text{dyn}}{10^2 \text{cm}} = 10^3 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$$

$$\rho g h = \frac{2\gamma}{R} \text{ συν}\theta \Rightarrow h = \frac{2\gamma}{R g \rho} \text{ συν}\theta$$

$$\gamma = 465 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}} = 465 \cdot 10^{-3} \text{N/m}$$

$$R = \frac{d}{2} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{2} \text{m} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{m}$$

$$\rho = \rho_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\theta = 180^\circ \Rightarrow \text{συν}\theta = -1$$

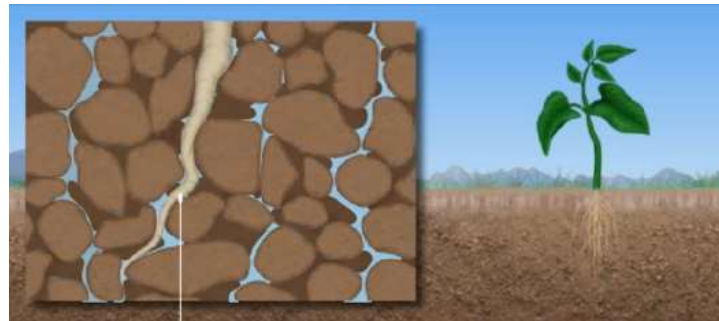
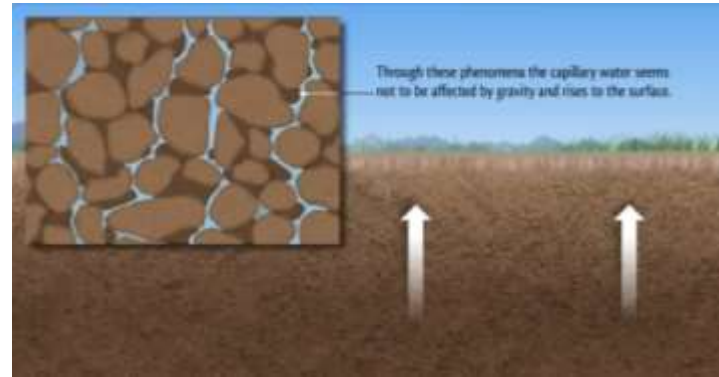
$$\text{ή } 1 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}} = 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$h = \frac{2 \cdot 465 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 13,6 \cdot 10^3} \cdot (-1) =$$
$$= -27,35 \cdot 10^{-3} \text{m} = -27,35 \text{ mm}$$

Δηλ., η στάθμη του υδραργύρου θα ταπεινωθεί κατά 27,35 mm

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ τριχοειδούς φαινομένου

Το νερό ανεβαίνει εξαιτίας του τριχοειδούς φαινομένου μέσα από τις πορώδεις περιοχές του χώματος. Η διάμετρος των πόρων και επομένως του «τριχοειδούς σωλήνα» εξαρτάται από το είδος του χώματος. Οπότε και η ανύψωση h του νερού είναι διαφορετική σε διαφορετικά χώματα.



Δείτε βίντεο
“Capillary water”
(Σύνδεσμοι)

Το νερό ανεβαίνει στους ιστούς των φυτών μέσω τριχοειδών σωλήνων.

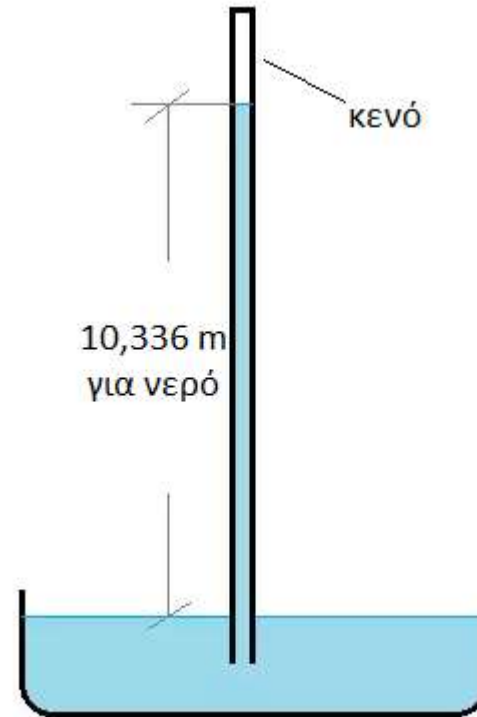
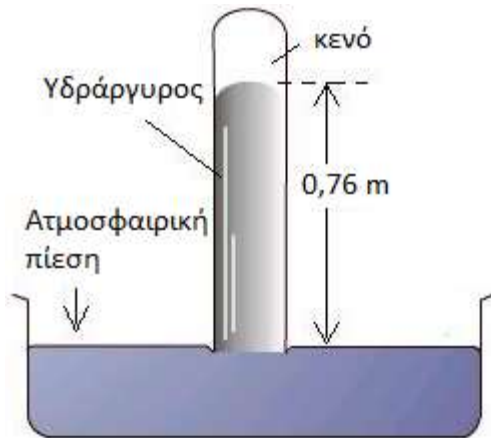


Δείτε βίντεο
“Colored flowers”
(Σύνδεσμοι)



Η μεταφορά του νερού στα φυτά

Πως το νερό καταφέρνει να ανέλθει μέχρι την κορυφή δέντρων που μπορεί να ξεπερνούν τα 100 m σε ύψος;



Είδαμε στην υδροστατική ότι ακόμα και αν καταφέραμε να τραβήξουμε όλον τον αέρα από την κορυφή ενός σωλήνα ώστε να δημιουργηθεί κενό, η ατμοσφαιρική πίεση δεν μπορεί να ανεβάσει μια στήλη νερού πάνω από τα 10,336 m.

Η μεταφορά του νερού στα φυτά

Πως το νερό καταφέρνει να ανέλθει μέχρι την κορυφή δέντρων που μπορεί να ξεπερνούν τα 100 m σε ύψος;

Τι ρόλο παίζει σε αυτήν την ανύψωσή το τριχοειδές φαινόμενο κατά τη μεταφορά του νερού στα αγγεία των ριζών και του αγωγού ιστού (ξύλωμα και φλοίωμα) των φυτών;

Η ακτίνα αυτών των αγγείων είναι συνήθως γύρω στα 20 μm . Έτσι ακόμα και αν θεωρήσουμε ότι η γωνία συνεπαφής τους με το νερό είναι $\theta = 0^\circ$, η μέγιστη ανύψωση του νερού μέσα σε αυτά,
(σύμφωνα με την Εξίσωση $\rho gh = \frac{2\gamma}{r}$)

θα έπρεπε να είναι περίπου 75 cm.



Η μεταφορά του νερού στα φυτά

Πως το νερό καταφέρνει να ανέλθει μέχρι την κορυφή δέντρων που μπορεί να ξεπερνούν τα 100 m σε ύψος;

1) Ωσμωτική πίεση - ρίζες

2) Τριχοειδές φαινόμενο

- φλοΐωμα + ξύλωμα (μέχρι 75 cm)

(1) + (2) -----> Μέχρι 2-3 m

3) Αρνητική πίεση - Διαπνοή

4) Δυνάμεις συνοχής

(φαινόμενο σιφωνίου)

Δείτε βίντεο

“The siphon”

(Σύνδεσμοι)

- υποβοηθούμενο από διόδους ροής νερού

στα διάκενα στα φύλλα των δέντρων που είναι της τάξης των 5 nm

(Εφόσον το νερό καταφέρει να φτάσει στα φύλλα, υπολογίζεται ότι μπορεί να σταθεί στήλη ύψους κοντά στα 3 km, πολύ μεγαλύτερο από το ύψος οποιοδήποτε δέντρου.)



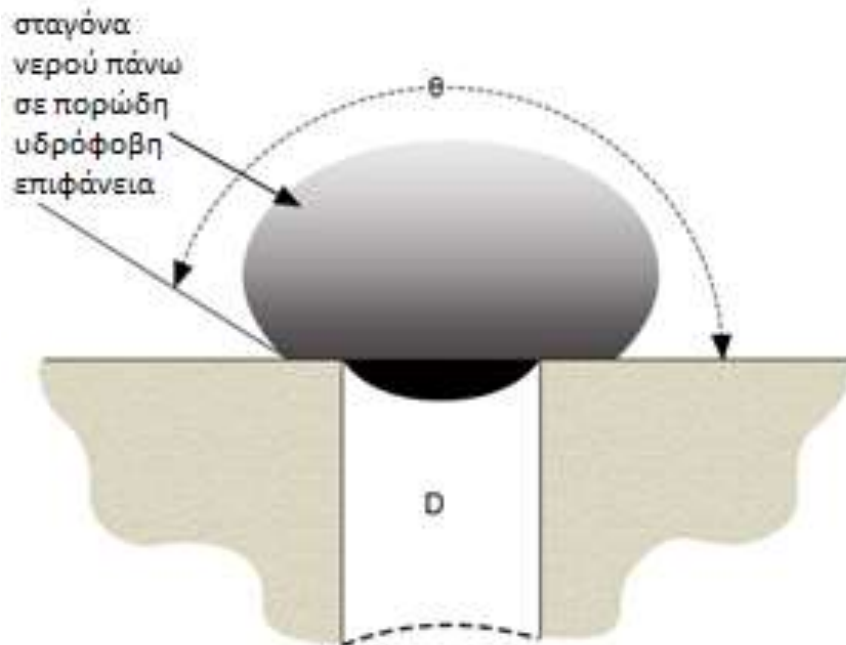
Δείτε βίντεο

“How Trees Bend the Laws of Physics”

(Σύνδεσμοι)

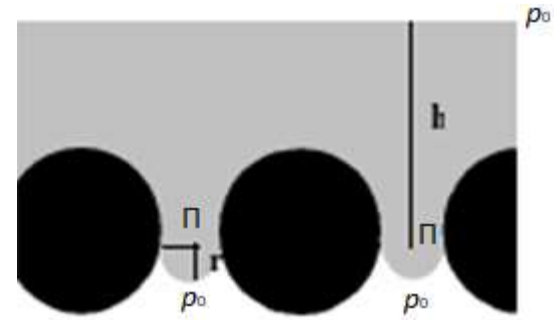
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ τριχοειδούς φαινομένου

Μία πορώδης επιφάνεια (με πόρους μικρής διαμέτρου), από υλικό που δεν διαβρέχεται από το νερό, δεν επιτρέπει σ' αυτό να τη διαπεράσει (Παράδειγμα: εξήγηση γιατί τα δέρματα είναι αδιάβροχα.)



ΑΣΚΗΣΗ

Πόση πρέπει να είναι η μέγιστη διάμετρος των πόρων μιας πορώδους επιφάνειας (π.χ. μιας τέντας) ώστε να συγκρατεί νερό ύψους $h = 10 \text{ cm}$; ($g = 10 \text{ m/s}^2$ και θεωρείστε για το νερό $\gamma = 0,07 \text{ N/m}$, $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$)



ΛΥΣΗ (Α' ΤΡΟΠΟΣ)

Όταν η πορώδης επιφάνεια οριακά υποστηρίζει το νερό που βρίσκεται πάνω της, στο διάκενο των πόρων η επιφάνεια του νερού θα είναι ημισφαιρική, με ακτίνα $r = d/2$ (όπου d : η διάμετρος των πόρων).

Σε αυτό το στιγμιότυπο το νερό (παριστάνεται με γκρι στο σχήμα) συγκρατείται οριακά ανάμεσα στους πόρους και η γωνία συνεπαφής του με το υλικό της τέντας (παριστάνεται με μαύρο στο σχήμα) είναι $\theta = 180^\circ \Rightarrow \text{συν}\theta = -1$ (εξαιτίας της κακής διαβροχής νερού-πορώδους επιφάνειας). Επομένως, η μεταβολή της πίεσης στο εσωτερικό του νερού εξαιτίας της ημισφαιρικής επιφάνειας του στους πόρους θα είναι ίση με: $\frac{2\gamma}{r} \text{συν}\theta = -\frac{2\gamma}{r}$

Αφού το νερό συγκρατείται, η ολική πίεση p_i στο εσωτερικό του νερού στην περιοχή Π (βλ. σχήμα), θα είναι ίση με την εξωτερική πίεση $p_{\text{εξωτ.}} = p_0$. Επομένως:

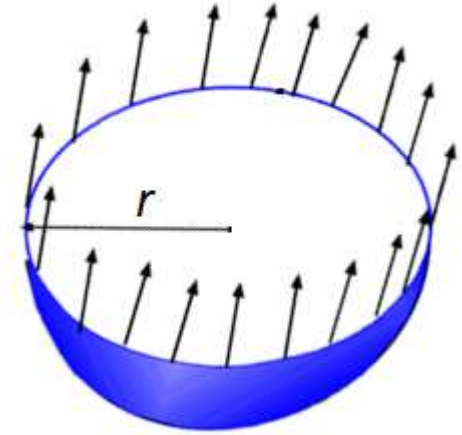
$$\left. \begin{aligned} p_i &= p_{\text{εξωτ}} = p_0 \\ p_i &= p_0 + \rho gh - \frac{2\gamma}{r} \end{aligned} \right\} \rho gh = \frac{2\gamma}{r} \Rightarrow r = \frac{2\gamma}{\rho gh} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 10^{-2}}{10^3 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} \text{ m} = 14 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,14 \text{ mm}$$

Άρα η μέγιστη διάμετρος θα είναι: $d = 2r = \mathbf{0,28 \text{ mm}}$

ΑΣΚΗΣΗ

ΛΥΣΗ (Β' ΤΡΟΠΟΣ)

Οι δυνάμεις επιφανειακής τάσης που αναπτύσσονται ομοιόμορφα στον ισημερινό του ημισφαιρίου του νερού στον πόρο της τέντας, είναι αυτές που συγκρατούν αυτό το ημισφαίριο και δεν αποκόπτεται από το υπόλοιπο νερό.



Η ολική δύναμη επιφανειακής τάσης κατά μήκος της περιμέτρου $L=2\pi r$ του ισημερινού του ημισφαιρίου είναι: $F_{\text{επιφ. τάσ.}} = \gamma L = 2\pi r \gamma$

Αυτή η δύναμη εξισορροπεί τη δύναμη $F = A \pi r^2 \Delta p$ εξαιτίας της διαφοράς πίεσης στο εσωτερικό από το εξωτερικό του ημισφαιρίου: $\Delta p = p_i - p_o$

$$\text{Αφού } F_{\text{επιφ. τάσ.}} = F \Rightarrow 2\pi r \gamma = \pi r^2 (p_i - p_o) \Rightarrow \mathbf{p_i - p_o = 2\gamma / r} \quad (1)$$

Εάν το κέντρο αυτού του ημισφαιρίου επιφάνειας βρίσκεται σε βάθος h από την επιφάνεια του νερού πάνω από την πορώδη επιφάνεια $\mathbf{p_i = p_o + \rho g h} \quad (2)$

Επομένως, για να συγκρατεί νερό ύψους h , η πορώδης επιφάνεια θα πρέπει να έχει πόρους διαμέτρου $d (= 2r)$, ώστε τουλάχιστον:

$$(1), (2) \Rightarrow p_o + \rho g h - p_o = 2\gamma / r \Rightarrow \rho g h = 2\gamma / r$$

$$r = 2\gamma / \rho g h = 0,14 \text{ (N/m)} / 1000 \cdot 10 \cdot 0,1 \text{ (N/m}^2) = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,14 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d = 2r = 0,28 \text{ mm}}$$

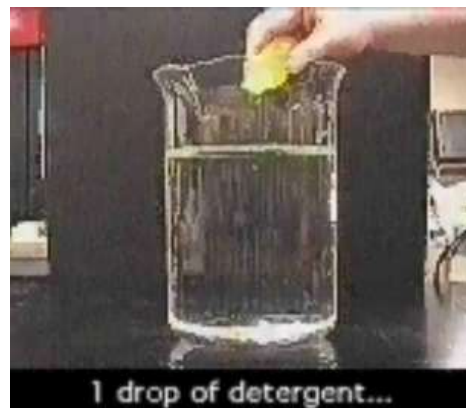
Πείραμα: Η επιφάνεια του νερού «πασπαλίζεται» με θείο σε σκόνη. Το θείο επιπλέει επειδή είναι υδροφοβικό στερεό και οι κόκκοι του είναι πολύ μικροί.



ΕΡΩΤΗΣΗ: Σε ποια ιδιότητα του νερού οφείλεται αυτό το φαινόμενο;

Όταν μια σταγόνα υγρού απορρυπαντικού προστεθεί στο νερό που βρίσκεται σε αυτό το δοχείο, ακόμα και χωρίς να αναδευτεί, το θείο αμέσως βυθίζεται στον πυθμένα του δοχείου.

ΓΙΑΤΙ;



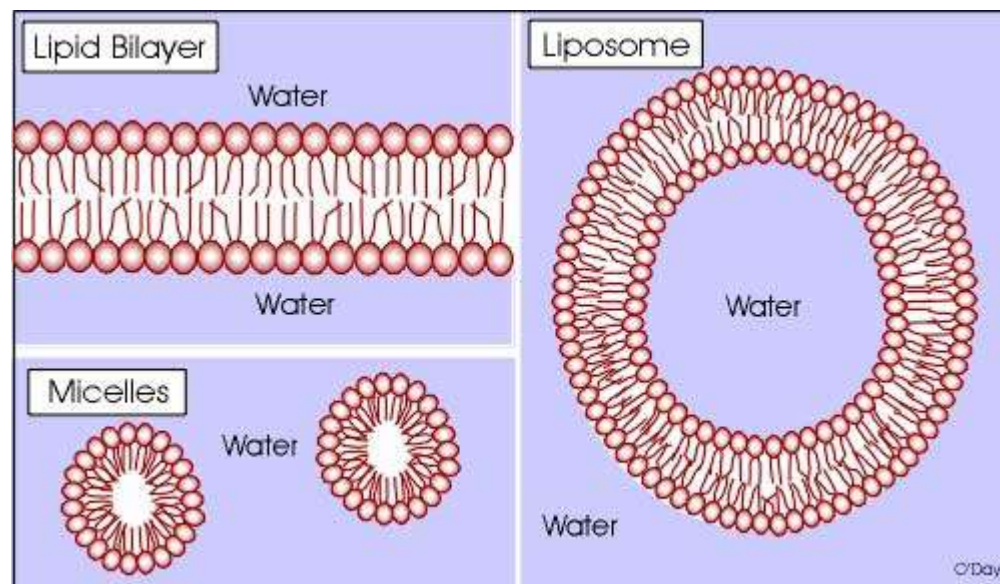
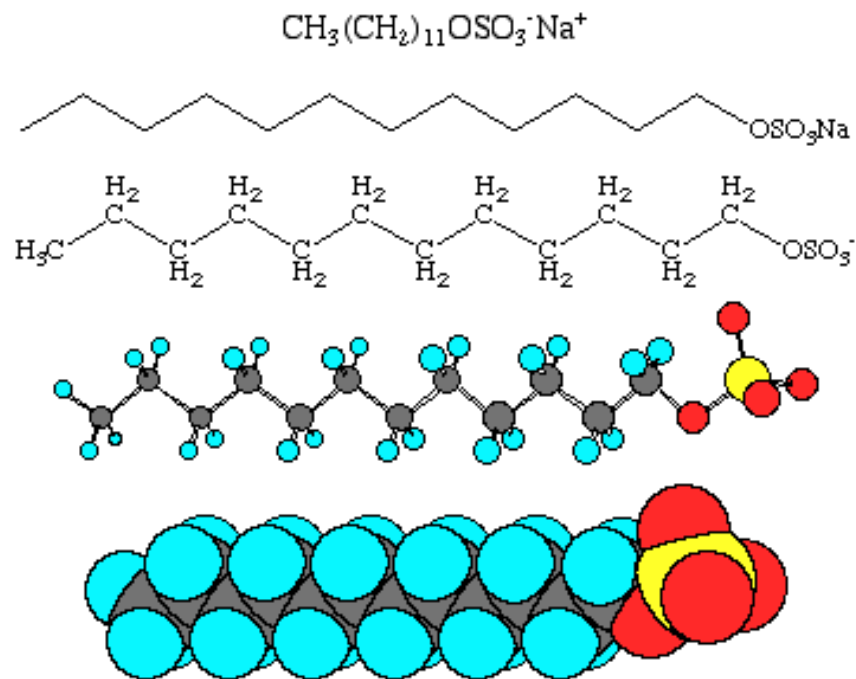
Δείτε βίντεο
“Επιφανειοδραστικές ουσίες”
(Πολυμέσα)

Τασιενεργές ή επιφανειοδραστικές ουσίες

Ουσίες που όταν προστεθούν σε ένα υγρό ελαττώνουν δραστικά την επιφανειακή τάση ενός υγρού. Οι περισσότερες από αυτές είναι αμφίφιλες, δηλ. περιέχουν ένα υδρόφιλο (κεφαλή) και ένα υδρόφοβο (ουρά) τμήμα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Μόρια που έχουν υδρόφοβη ουρά υδρογονάνθρακα ενώ η κεφαλή τους αποτελείται από πολικές ομάδες.

Διαρρηγνύουν το δίκτυο υδρογονικών δεσμών του νερού, ελαττώνοντας έτσι τις δυνάμεις συνάφειας σε αυτό και συνακόλουθα την επιφανειακή τάση του.



Μικύλλια
(μικρες συγκεντρωσεις)

Κυστίδια
(μεγαλες συγκεντρωσεις)

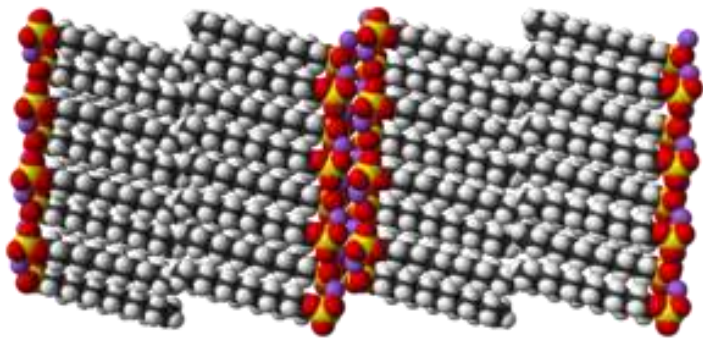
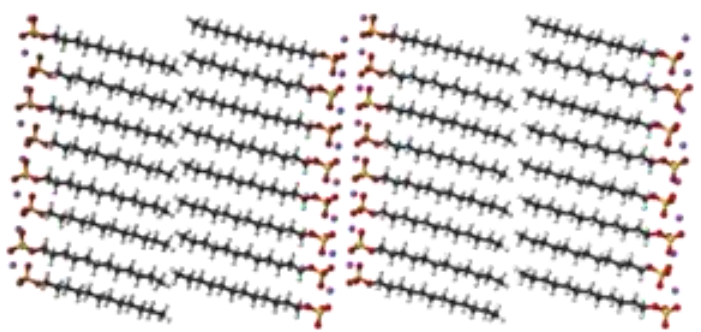
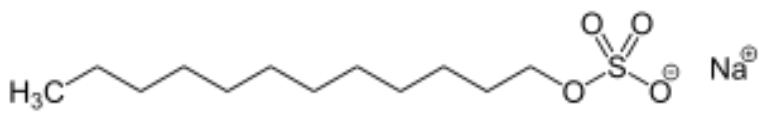
Εφαρμογές: απορρυπαντικά, καλλυντικά, φάρμακα κλπ

Τασιενεργές ή επιφανειοδραστικές ουσίες

Παράδειγμα:

Λαυρυλοθειικό Νάτριο $n\text{-C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$

Ανιοντικό απορρυπαντικό, από τα βασικά συστατικά διαφόρων ειδών προσωπικής υγιεινής (αφροσάπωνες, κρέμες ξυρίσματος)



ΘΕΜΑ από εξετάσεις Ιαν. 2019

A) Αν πασπαλίσουμε με θειάφι (θείο) την επιφάνεια νερού που περιέχεται σε ένα δοχείο, θα παρατηρήσουμε ότι οι κόκκοι του δεν θα βυθιστούν αλλά θα παραμείνουν στην επιφάνεια του νερού. Που οφείλεται αυτό το φαινόμενο;

B) Αν ρίξουμε μια σταγόνα απορρυπαντικού στο νερό θα παρατηρήσουμε τους κόκκους του θείου να κατακρημνίζονται από την επιφάνεια του διαλύματος νερού-απορρυπαντικού προς τον βυθό του δοχείου. Γιατί συμβαίνει αυτό; Με ποιον άλλο τρόπο θα μπορούσαμε να πετύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα χωρίς να χρησιμοποιήσουμε απορρυπαντικό;



Δείτε βίντεο
“Τριχοειδές
Φαινόμενο”
(Πολυμέσα)

ΔΕΙΤΕ ΣΤΑ ΕΓΓΡΑΦΑ:

«01β ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ -ΛΥΜΕΝΑ ΠΑΛΙΑ

ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ»