

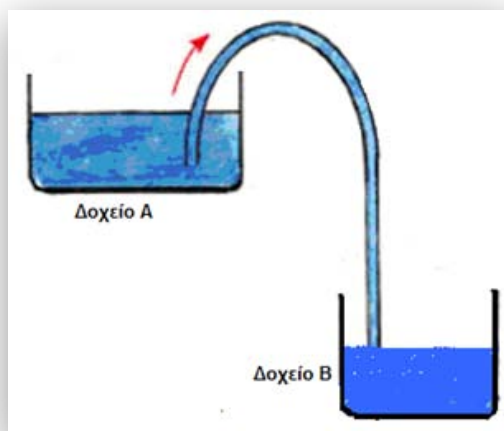
Ο όρος “Αστικός μύθος” ή “Αστικός θρύλος” χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει κάτι ευρύτατα διαδεδομένο το οποίο όμως δεν στηρίζεται σε γεγονότα, ούτε στη βιβλιογραφία. Στη στήλη “Αστικοί μύθοι και διδακτικοί θρύλοι” θα δημοσιεύονται απόψεις ευρύτατα διαδεδομένες και μάλλον αποδεκτές από πολλούς οι οποίες αφορούν είτε το περιεχόμενο των Φυσικών Επιστημών είτε τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, που έρχονται, όμως, σε αντίθεση με την οικεία επιστήμη.

Πως λειτουργεί ο σίφωνας; ;

Παναγιώτης Κουμαράς

Εισαγωγή

Ο σίφωνας είναι ένας καμπυλωμένος σωλήνας (ένα λάστιχο), με δύο άνισα σκέλη. Γεμίζεται με κάποιο υγρό, και με κλειστά τα άκρα του, το κοντό σκέλος βυθίζεται σε δοχείο που περιέχει ίδιο υγρό. Όταν, στη συνέχεια ανοιχτούν τα δυο του άκρα, το υγρό εκρέει από το ελεύθερο άκρο του σωλήνα που βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του υγρού στο δοχείο. Ενδιάμεσα το υγρό, κατά μήκος του κοντού σκέλους του, έχει ακολουθήσει ανοδική πορεία. Διαδεδομένη είναι η άποψη ότι ο σίφωνας λειτουργεί λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης. Όμως πειραματικά έχειδειχτεί ότι ο σίφωνας μπορεί να λειτουργήσει: α) ακόμη και στο κενό και β) και αν ακόμη το ύψος του κοντού σκέλους του είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ύψος του υγρού που μπορεί να συγκρατηθεί από την ατμοσφαιρική πίεση (Nokes M., 1948).



Σχήμα 1. Σίφωνας σε λειτουργία

Για τη λειτουργία του σίφωνα υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία με αντιπαραθέσεις, η οποία αναζωπυρώθηκε τα τελευταία χρόνια μετά την επισήμανση (Hughes 2010) ότι ο ορισμός στο λεξικό της Οξφόρδης, μεταξύ πολλών λεξικών που δίνουν αντίστοιχο ορισμό, είναι λάθος γιατί αναφέρει ότι η δύναμη που ξεκινάει τη λειτουργία του σίφωνα είναι η δύναμη που προκαλείται από την ατμοσφαιρική πίεση και όχι η βαρύτητα. Μια σειρά άρθρων που είχαν προηγηθεί (Nokes, 1948; Potter & Barnes, 1971; Benenson, 1991; Ganci & Yagorenkon, 2008) ή ακολούθησαν (Planinšič & Sliško, 2010; Hughes, 2011; Richert & Binder, 2011; Boatwright, Puttick & Licence, 2011; Nanayakkara & Rosa, 2012; McGuire, 2012) δίνοντας εξηγήσεις για τη λειτουργία του σίφωνα δείχνει το ενδιαφέρον για το θέμα. Πρώτη γραπτή αναφορά και ερμηνεία της λειτουργίας του σίφωνα γίνεται από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρινό στα “Πνευματικά” (Woodcroft, 1851, σελίδες 12-13).

Πως λειτουργεί ο σίφωνας;

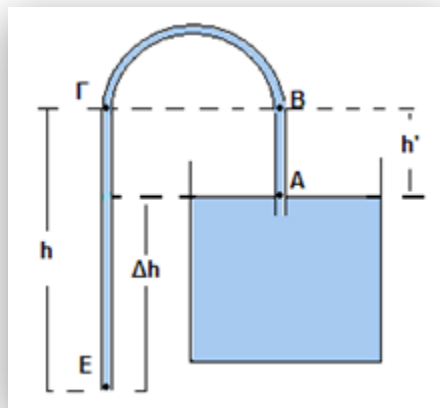
I. Ερμηνείες που στηρίζονται στην Υδροστατική

A) Από τους Ganci και Yegorenkon (2008) καταγράφεται μια από τις παλιότερες ερμηνείες για τη λειτουργία του σίφωνα, δίνεται το 1714 στο “Histoire de l’ Académie royale”. Η ερμηνεία σε γενικές γραμμές:

Οι πιέσεις στο A και στο E, Σχήμα 2, είναι ίσες με την ατμοσφαιρική δηλαδή, $p_E = p_A = p_{\text{ατμ}}$. Στο B η πίεση είναι $p_B = p_A - dgh'$ ή $p_B = p_{\text{ατμ}} - dgh'$, όπου d η πυκνότητα του υγρού, g η επιτάχυνση της βαρύτητας και h' το ύψος της στήλης AB. Στο Γ (στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με το B) είναι $p_\Gamma = p_E - dgh$ ή $p_\Gamma = p_{\text{ατμ}} - dgh$, όπου h το ύψος της στήλης ΓΕ. Άρα μεταξύ των σημείων B και Γ υπάρχει μια διαφορά πίεσης

$$\Delta p = p_B - p_\Gamma = (p_{\text{ατμ}} - dgh') - (p_{\text{ατμ}} - dgh) = dg(h - h') = dg\Delta h$$

που κάνει το υγρό να ρέει από το B στο Γ και στη συνέχεια να εκρέει. Η ατμοσφαιρική πίεση στο A συντηρεί τη ροή.



Σχήμα 2. Διάγραμμα του σίφωνα, υδροστατική αντιμετώπιση

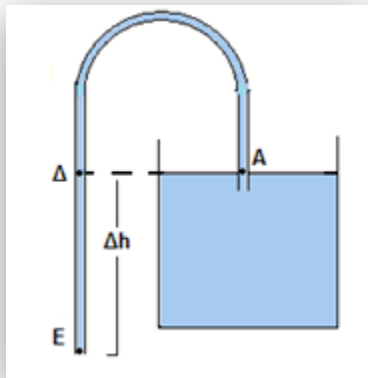
Σύμφωνα με τους Ganci και Yegorenkon (2008) η εξήγηση αυτή αναπαράγεται και παρουσιάζεται στα κύρια σχολικά βιβλία του 19^{ου} αιώνα αλλά συναντάται και σε βιβλία του 20^{ου}.

Η παραπάνω ερμηνεία είναι **λάθος**: Αν το υγρό είναι στατικό (οι σχέσεις $p_B = p_{\text{ατμ}} - \rho gh'$ και $p_{\Gamma} = p_{\text{ατμ}} - \rho gh$ είναι από την “υδροστατική”) οι πιέσεις στα σημεία Β και Γ, που βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, δεν είναι δυνατό να είναι διαφορετικές μεταξύ τους, ισχύει $p_B = p_{\Gamma}$

Β) Από τους Potter και Barnes (1971) αναφέρεται ότι η συνήθης ερμηνεία που δίνεται στα βιβλία επιπέδου GCE Ο και Α επιπέδου του 20^{ου} αιώνα είναι, σε γενικές γραμμές η εξής:

Έστω Α, Δ και Ε σημεία μέσα στο υγρό του σίφωνα, Σχήμα 3. Στο σημείο Α η πίεση, p_A , είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Στο σημείο Δ η πίεση είναι ίση με την πίεση στο σημείο Α, αφού Δ και Α είναι στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, δηλαδή, $p_{\Delta} = p_A = p_{\text{ατμ}}$ (1). Η πίεση στο Ε είναι $p_E = p_{\Delta} + \rho g \Delta h$ και από την (1) προκύπτει $p_E = p_A + \rho g \Delta h$ ή $p_E = p_{\text{ατμ}} + \rho g \Delta h$, δηλαδή η πίεση στο Ε είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική κατά τον παράγοντα $\rho g \Delta h$, και για αυτό το νερό εκρέει. Η ατμοσφαιρική πίεση στο Α συντηρεί τη ροή.

Έχω καταγράψει την άποψη αυτή ως την πλέον διαδεδομένη μεταξύ των Φυσικών στη χώρα μας.



Σχήμα 3. Διάγραμμα του σίφωνα, υδροστατική αντιμετώπιση

Η ερμηνεία αυτή, όμως, **είναι σωστή μόνο όταν δεν υπάρχει ροή**. Τα όριά της είναι φανερά: περιγράφει μια (υδρο)στατική κατάσταση, άρα επαρκεί μόνο στιγμιαία για το ξεκίνημα της λειτουργίας του σίφωνα. Όταν ο σίφοντας λειτουργεί, έχουμε ροή και άρα επιβάλλεται να αναζητήσουμε (υδρο)δυναμικές απαντήσεις για τη συνέχεια της λειτουργίας του.

Στην ερώτηση: «Λειτουργεί ο σίφοντας στο κενό» και οι δυο παραπάνω ερμηνείες απαντούν: «Όχι!» Από τους Ganci και Yegorenkon (2008) αναφέρονται βιβλία που σαφώς δίνουν αυτή την απάντηση.

Σημείωση: Ο Epstein στο βιβλίο του «στις γειτονίες της φυσικής» καταγράφει ως συνηθισμένη την άποψη ότι ο σίφοντας λειτουργεί «λόγω διαφοράς ατμοσφαιρικής πίεσης στις άκρες του», δηλαδή στα

σημεία Α και Ε του σχήματος 3 (Erstein, 1989, σελ.143). Την άποψη αυτή έχω και εγώ καταγράψει. Αν βέβαια ίσχυε αυτό η λειτουργία του σίφωνα θα έπρεπε να γίνεται κατά την αντίθετη κατεύθυνση.

II. Ερμηνεία που στηρίζεται στην Υδροδυναμική

Κατά τη λειτουργία του σίφωνα έχουμε ροή υγρού σε σωλήνα. Από τη δυναμική των ρευστών για ασυμπίεστα ρευστά, χωρίς ιξώδες που ρέουν χωρίς στροβίλους και με στρωτή ροή για δυο σημεία 1 και 2 του υγρού έχουμε:

την εξίσωση της συνέχειας:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{σταθερό} \quad (2)$$

και την εξίσωση του Bernoulli

$$p_1 + \frac{1}{2} d v_1^2 + d g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} d v_2^2 + d g h_2 = \text{σταθερό} \quad (3)$$

όπου d η πυκνότητα του υγρού, S το εμβαδόν της διατομής του σωλήνα στο σημείο που μας απασχολεί, v η ταχύτητα ροής του υγρού σε αυτό το σημείο και h η απόσταση του σημείου μας από επίπεδο που έχουμε ορίσει ως επίπεδο αναφοράς (Serway 1990, σελ. 390-393).

Υποθέτουμε ότι η διατομή του δοχείου είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με τη διατομή του σωλήνα, που αποτελεί τον σίφωνα, και ότι η διατομή του σωλήνα είναι παντού η ίδια. Από τις υποθέσεις μας, με βάση τη σχέση 2, προκύπτει: α) η καθοδική ταχύτητα της επιφάνειας του υγρού στο δοχείο είναι ουσιαστικά μηδενική, δηλαδή η επιφάνεια του υγρού μένει πρακτικά αμετάβλητη και β) η ταχύτητα ροής του υγρού παντού μέσα στο σωλήνα του σίφωνα είναι σταθερή, παντού ή ίδια. Στη συνέχεια ως επίπεδο αναφοράς ορίζεται η επιφάνεια του υγρού στο δοχείο.

Η εφαρμογή της εξίσωσης του Bernoulli για ένα σημείο Κ της επιφάνειας του υγρού στο δοχείο και για ένα σημείο Α (Σχήμα 4) που βρίσκεται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, αλλά μέσα στο σίφωνα μας δίνει:

$$p_K + \frac{1}{2} d v_K^2 + d g h = p_A + \frac{1}{2} d v_A^2 + d g h \quad (4)$$

Είναι $v_K=0$, $v_A=v$, $h=0$, διότι ως επίπεδο αναφοράς ορίσαμε την επιφάνεια του υγρού στο δοχείο, και $p_K=p_{\text{ατμ}}$, στο σημείο Κ έχουμε μόνο ατμοσφαιρική πίεση. Άρα η (4) γράφεται:

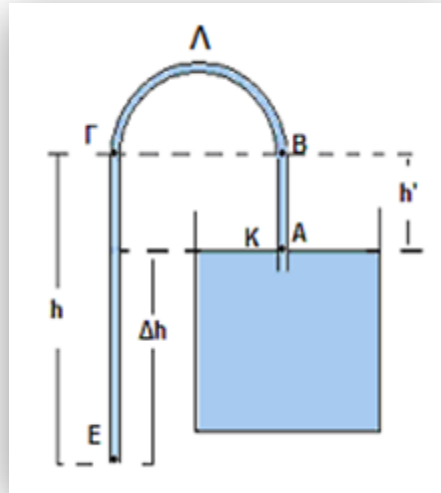
$$p_{\text{ατμ}} + 0 + 0 = p_A + \frac{1}{2} d v^2 + 0 \Rightarrow p_A = p_{\text{ατμ}} - \frac{1}{2} d v^2$$

Θυμίζω ότι η υδροστατική αντιμετώπιση για το σημείο Α έδινε $p_A=p_{\text{ατμ}}$. Η εξίσωση του Bernoulli για τα σημεία Κ και Β, δίνει:

$$p_K = p_B + \frac{1}{2} d v_B^2 + d g h' \Rightarrow p_K = p_B + \frac{1}{2} d v^2 + d g h'$$
$$p_B = p_K - \frac{1}{2} d v^2 - d g h'$$

Η υδροστατική για το σημείο Β έδινε $p_B=p_{\text{ατμ}}-d g h'$.

Άρα η υδροδυναμική δίνει την πίεση σε κάθε σημείο μέσα στο σίφωνα ελαττωμένη, από την πίεση που δίνει για το ίδιο σημείο η υδροστατική, κατά τον παράγοντα $1/2dv^2$, κάτι αναμενόμενο λόγω της ροής του υγρού.



Σχήμα 4. Διάγραμμα σίφωνα, υδροδυναμική αντιμετώπιση

Σήμερα υπάρχει γενική συναίνεση ότι η λειτουργία ενός σίφωνα μπορεί να εξηγηθεί ικανοποιητικά χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Bernoulli (Potter & Barnes 1971; Serway, 1990; Benenson, 1991; Richert & Binder, 2011; Boatwright, Puttick & Licence, 2011). Αρχικά από τους Potter and Barnes (1971) γίνονται διορθώσεις για υγρά με ιξώδες και διορθώσεις εξαρτώμενες από τη διατομή του σωλήνα του σίφωνα. Αντίστοιχες διορθώσεις έχουν γίνει από τους Beneston (1991) και τους Synolakis and Badeer (1989). Δίνονται ακόμη και διορθώσεις λόγω διαταραχής των υδροδυναμικών γραμμών στην είσοδο του σωλήνα.

Ας δούμε τώρα με βάση τη σχέση

$$p_X = p_{\text{ατμ}} - \frac{1}{2}dv^2 - dgh_X$$

όπου X ένα τυχαίο σημείο, την εξήγηση της λειτουργίας του σίφωνα. Ας υποθέσουμε ότι στο Σχήμα 4 το δοχείο και ο σίφοντας είναι γεμάτα με ένα υγρό και η άκρη E του σίφωνα είναι κλειστή. Όταν ανοίξει η κλειστή άκρη E, τότε η πίεση στο E στιγμιαία είναι:

$$p_E = p_{\text{ατμ}} - \frac{1}{2}dv^2 - dg(-\Delta h)$$

$$p_E = p_{\text{ατμ}} + dg\Delta h$$

δεδομένου ότι η ταχύτητα του υγρού είναι 0, δηλαδή η p_E είναι στιγμιαία μεγαλύτερη από την εξωτερική πίεση $p_{\text{ατμ}}$ κατά το ποσό $dg\Delta h$ (βλ. και υδροστατική αντιμετώπιση, Σχήμα 3). Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης το υγρό θα αρχίσει να εκρέει από τον σωλήνα με αυξανόμενη ταχύτητα μέχρις

όπου η p_E να γίνει ίση με την $p_{ατμ}$. Ας υποθέσουμε ότι όταν $p_E=p_{ατμ}$ το υγρό ρέει μέσω του σωλήνα με ταχύτητα v . Σύμφωνα με την υδροδυναμική αντιμετώπιση που έγινε παραπάνω (Σχήμα 4) η πίεση στο Κ είναι $p_{ατμ}$ και η πίεση στο Α, ακριβώς στο ίδιο επίπεδο αλλά στο εσωτερικό της εισόδου του σωλήνα, είναι $p_A=p_{ατμ}-1/2\rho v^2$. Αυτή η διαφορά πίεσης κατά μήκος της εισόδου του σωλήνα, μέσα και έξω από το σωλήνα, διατηρεί τη ροή του υγρού (Potter & Barnes, 1971).

Ερωτήσεις: 1) Ας υποθέσουμε ότι η διάταξη του σχήματος 4 είναι σε χώρο στον οποίο μπορεί να μεταβάλλεται η εξωτερική πίεση. Τι προσδιορίζει την ελάχιστη τιμή πίεσης για να λειτουργεί ο σίφωνας; 3) Ας υποθέσουμε ότι η διάταξη του σχήματος 4 βρίσκεται στο κενό και ο αρχικά γεμισμένος με υγρό σίφωνας είναι κλειστός με αντίστοιχες βαλβίδες στα σημεία Α και Ε. Θα λειτουργήσει ο σίφωνας αν ανοίξουν ταυτόχρονα οι δυο βαλβίδες;

III. Ερμηνεία της λειτουργίας του σίφωνα που στηρίζεται στην ύπαρξη δυνάμεων συνοχής.

Ο Nokes το 1948 αρχίζει την εργασία του «The siphon» ως εξής:

“Η δράση του σίφωνα φαίνεται να μη γίνεται πλήρως κατανοητή από τους συγγραφείς ορισμένων σχολικών βιβλίων. Ίσως οι ακόλουθες παρατηρήσεις θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν για να δώσουν μια σαφέστερη εικόνα των αρχών πάνω στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία του σίφωνα:

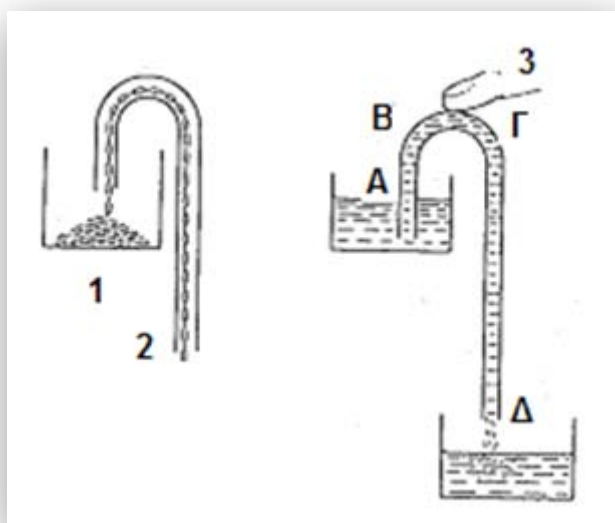
i. Ένας σίφωνας μπορεί να λειτουργεί στο κενό

ii. Το ύψος του σωλήνα με την προς τα πάνω ροή του υγρού (δηλαδή το ΑΛ στο Σχήμα 4) δεν περιορίζεται από το βαρομετρικό ύψος του υγρού” (Nokes 1948).

Ο Nokes έδειξε πειραματικά: 1. τη λειτουργία σίφωνα (χρησιμοποιώντας εναλλακτικά νερό, υδράργυρο, φθαλικό διβουτυλεστέρα) στο κενό και 2. τη μετάγχιση υδραργύρου σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης (βαρομετρικό ύψος για υδράργυρο: 76 cm Hg) με σίφωνα, το κοντό σκέλος του οποίου ήταν από 80 έως 84 cm. Από τον Minor αναφέρεται λειτουργία σίφωνα υδραργύρου, σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, το κοντό σκέλος του οποίου είναι 110 cm (Minor, 1914). Ο σιφωνισμός στο κενό παρουσιάζει ιδιαίτερες πειραματικές δυσκολίες. Απαιτεί να αποφευχθούν παράγοντες όπως: αέριο διαλυμένο στο υγρό, μόρια αερίου προσκολλημένα στα τοιχώματα του σωλήνα, μηχανικό σοκ και τυρβώδης ροή του υγρού (Nokes 1948). Το πείραμα επαναλήφθηκε με σύγχρονα μέσα και υλικά από τους Boatwright *et al.* (2011).

Ο Nokes πρώτος χρησιμοποιείσαι για την ερμηνεία της λειτουργίας του σίφωνα την αναλογία που δείχνεται στο Σχήμα 5. Έκτοτε η αναλογία αυτή χρησιμοποιείται συχνά, όπως π.χ. από τον Epstein (1989, σελ. 143). Η αλυσίδα βρίσκεται στο δοχείο 1. Περνάμε τη μια άκρη της από το κοντό σκέλος του σίφωνα και την βγάζουμε από το μακρύ. Η άκρη 2 της αλυσίδας είναι χαμηλότερα από το δοχείο 1. Αν αφήσουμε την άκρη 2 της αλυσίδας, αυτή πέφτοντας θα ανεβάσει ένα τμήμα της αλυσίδας στο κοντό σκέλος του σίφωνα και τελικά θα πέσει ολόκληρη στο μέρος της άκρης 2. Αυτό θα συμβεί γιατί

το βάρος της αλυσίδας στο μακρύ σκέλος είναι μεγαλύτερο από το βάρος στο κοντό σκέλος και οι κρίκοι της αλυσίδας συνδέονται μεταξύ τους.



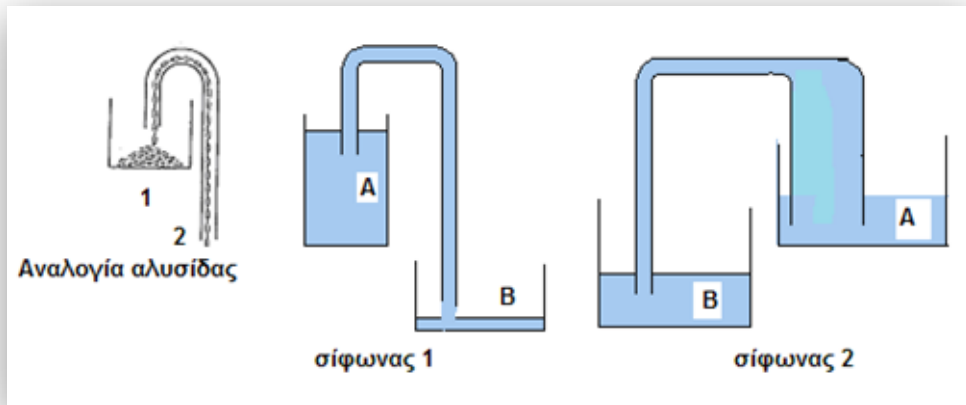
Σχήμα 5. Αναλογία της λειτουργίας του σίφωνα

Έτσι οι συνολικά βαρύτεροι κρίκοι του σκέλους 2 τραβάνε και ανεβάζουν τους κρίκους στο σκέλος 1, αυτοί στη συνέχεια πέφτουν τραβώντας τους επόμενους κτλ. Αντίστοιχα τα μόρια του υγρού συνδέονται μεταξύ τους με δυνάμεις συνοχής και αν αυτές δεν «σπάσουν» έχουμε μηχανισμό αντίστοιχο με τους κρίκους της αλυσίδας. Μέσω των δυνάμεων συνοχής το υγρό αντέχει σε μηχανικές τάσεις. Από τους Potter and Barnes αναφέρονται έρευνες που έχουν δείξει ότι αν το νερό έχει βράσει ή έχει υποβληθεί σε μεγάλη πίεση, η οποία αφαιρεί όλες τις φυσαλίδες αέρα, μπορεί να δώσει στήλες που αντέχουν σε σημαντικές μηχανικές τάσεις. Η αντοχή της υγρής στήλης στις μηχανικές τάσεις εξαρτάται επίσης από το υλικό και τη φύση των τοιχωμάτων των δοχείων που περιέχουν το υγρό, την παρουσία ξένων σωμάτων στα τοιχώματα κτλ. (Potter & Barnes, 1971). Στη σχολική πράξη, προφανώς οι παραπάνω περιορισμοί δεν επιτρέπουν τη δυνατότητα παρατήρησης λειτουργίας σίφωνα στο κενό κτλ, ουσιαστικά εδώ η ατμοσφαιρική πίεση είναι αυτή που συντελεί στο να μη «σπάσει» η στήλη του υγρού και η οποία περιορίζει το ύψος του κοντού σκέλους.

Σχολιάζοντας την αναλογία που έχει προταθεί για την εξήγηση της λειτουργίας του σίφωνα

Κάθε αναλογία λύνει ένα πρόβλημα αλλά μπορεί αν επεκταθεί να γεννήσει τέρατα. Ας δούμε που μπορούμε να οδηγηθούμε από την επέκτασή της «αναλογίας της αλυσίδας». Με αυτήν ερμηνεύεται η λειτουργία του σίφωνα 1 (Σχήμα 6), πράγματι το νερό ρέει από το δοχείο A στο B όπως κινείται μια (ομοιόμορφη) αλυσίδα από το A στο B. Η «αναλογία της αλυσίδας» (όχι ομοιόμορφης) όμως προβλέπει ότι ο σίφωνας 2 θα πρέπει να ανεβάζει το νερό από το δοχείο B στο δοχείο A. Το κοντό και

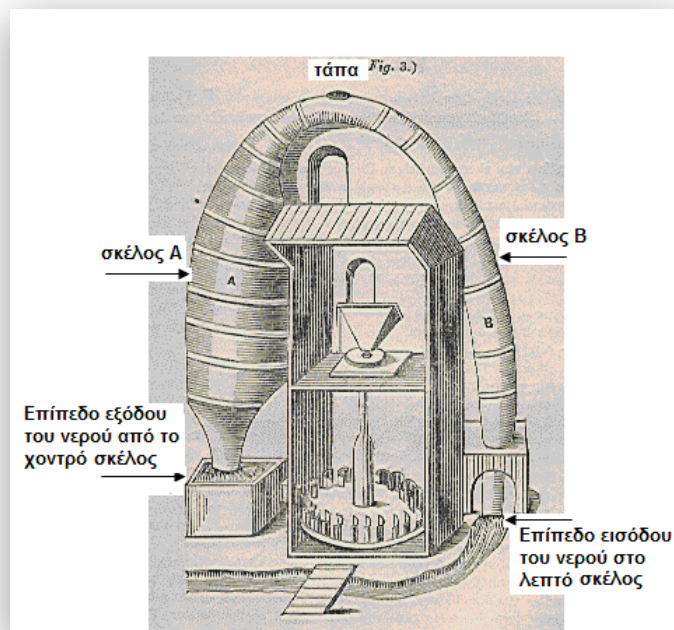
χοντρό κομμάτι της αλυσίδας, ως βαρύτερο, μπορεί και ανεβάζει το μακρύ και λεπτό. Αυτό γίνεται στα στερεά, Όχι όμως στα ρευστά!



Σχήμα 6. Τα όρια της “αναλογίας της αλυσίδας”

Αν η «αναλογία της αλυσίδας» λειτουργούσε στα ρευστά, θα μπορούσαμε να έχουμε ένα αεικίνητο: Ο σίφωνας 1 θα κατέβαζε το νερό από το A στο B και ο σίφωνας 2 θα το ανέβαζε πάλι στο A. Το νερό στον αέναο κύκλο του θα μπορούσε να κινεί κάτι, βλέπε το Μύλο του Vittorio Zonca. Με την «αναλογία της αλυσίδας» φέραμε στα υγρά μια αναλογία από τα στερεά. Στα υγρά όμως έχει σημασία το ύψος της στήλης τους και όχι το συνολικό τους βάρος, σκεφτείτε το υδροστατικό παράδοξο.

Στο Σχήμα 7 έχουμε, από χαλκογραφία, το μύλο του Vittorio Zonca. Μια πρόταση του 1600 για αεικίνητο (Simanek 2012).



Σχήμα 7. Ο μύλος του Vittorio Zonca (1607)

Ο μύλος αποτελείται από ένα μεγάλο κλειστό σωλήνα, σχήματος ανεστραμμένου U, με ανισοπαχή σκέλη. Το χοντρό (και κοντό) σκέλος A του σωλήνα τελειώνει πιο πάνω από το λεπτό (και μακρύ) σκέλος B (Σχήμα 7). Ο σωλήνας, κλείνοντας τα άκρα του, γεμίζεται με νερό από την «τάπα πληρώσεως» που φαίνεται στο πάνω μέρος. Γεμίζονται επίσης οι περιοχές από την έξοδο του σκέλους A μέχρι την είσοδο του σκέλους B. Αν ανοιχτούν ταυτόχρονα οι δυο άκρες του σωλήνα, το νερό στο σκέλος A είναι βαρύτερο και πέφτοντας ανεβάζει το νερό στο σκέλος B. Τελικά το νερό κάνει έναν αέναο κύκλο. Το νερό ρέοντας από την έξοδο του σωλήνα A προς την είσοδο του B θέτει σε λειτουργία ένα μύλο για άλεσμα δημητριακών. Ο Zonca και οι σύγχρονοί του πίστευαν ότι η διάταξη του σχήματος 6 θα έπρεπε να λειτουργεί, απέδιδαν το γεγονός της μη λειτουργίας σε τεχνικές ατέλειες (Simanek 2012).

Σχόλια

[1]. Όταν $p_E = p_{ατμ}$ από τη σχέση $p_E = p_{ατμ} - 1/2 \rho v^2 - \rho g(-\Delta h)$ προκύπτει $1/2 \rho v^2 = \rho g \Delta h$ και άρα $v^2 = 2 \rho g \Delta h$ όπου v η ταχύτητα εκροής του υγρού από το σίφωνα

[2]. δηλαδή το ύψος στο οποίο μπορεί να κρατηθεί λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης στήλη του υγρού αυτού, π.χ. για τον υδράργυρο το βαρομετρικό ύψος είναι 76 cm, για το νερό 10,33m

Βιβλιογραφία

- Benenson R., 1991. The Hyphenated Siphon. *The Physics Teacher* 29, p.188.
- Boatwright A., Puttick S., Licence P., 2011. Can a Siphon work in Vacuum? *J. Chem. Educ.* 88, p.1547-1550.
- Erstein L., 1989. *Στις γειτονίες της φυσικής*. Εκδόσεις Κάτοπτρο. Αθήνα
- Ganci S., Yagorenkov V., 2008. Historical and pedagogical aspects of a humble instrument. *Eur. J. Phys.* 29 p. 421-430
- Hughes St., 2010. A practical example of a siphon at work. *Physics Education* 45 p. 162-166.
- Hughes St., 2011. The Secret Siphon. *Physics Education* 46, p.p. 298-302
- McGuire A., 2012. *On the Physics of Siphons*. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:
http://reu.eng.hawaii.edu/harp/sites/reu.eng.hawaii.edu.harp/files/mcguire_finalpresentation.pdf
- Minor R., 1914. Would a siphon flow in a vacuum? Experimental answers. *School science and mathematics*. Vol.14, 2. p 152-155.
- Nanayakkara N.W.K.T.R., Rosa S.R.D. 2012. *Revisiting the Physics behind Siphon Action*. Proceedings of the 28th Technical Sessions, 28 (2012) 106-112. Kelaniya, Sri Lanka. Διαθέσιμο στη διεύθυνση:
<http://www.ip-sl.org/procs/2012/ips12-16.pdf>
- Nokes M., 1948. The siphon. *Sch.sci. Rev.* p. 233-234
- Planinšič G. and Sliško J., 2010. The pulley analogy does not work for every siphon. *Physics Education* 45(4) p. 356-361.
- Potter A., Barnes F., 1971. The siphon. *Phys. Educ.* 6 p. 362-366
- Richert A., Binder P-M, 2011. Siphons, Revisited. *The Physics Teacher* 49, p.78-80.

Serway R., 1990. *Physics for Scientists & Engineers*. Τόμος Ι: Μηχανική. Ελληνική μετάφραση. Τρίτη έκδοση, βιβλιοπωλείο Κορφιάτη. Αθήνα.

Simanek D., 2012. *Perpetual Futility. A short history of the search for perpetual motion*. <http://www.lhup.edu/~dsimanek/museum/people/people.htm>, (ημερομηνία ανάκτησης 29/11/2013)

Synolakis E., Badder H., 1989. On combining the Bernoulli and Poiseuille equation – A plea to authors of college Physics texts. *Am.J.Phys.* 57 (11) p. 1013-1019.

Woodcroft B., 1851. *The pneumatics of Hero von Alexandria from the original greek* (Translated for and edited by Bennet Woodcroft). Taylor Walton and Maberly. London



Ο Παναγιώτης Κουμαράς είναι Φυσικός. Έχει εργαστεί τέσσερα χρόνια στο Τμήμα Φυσικής, δέκα χρόνια στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση και από το 1990 εργάζεται στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Α.Π.Θ.. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα αφορούν τα προγράμματα σπουδών Φυσικών Επιστημών, πειράματα με υλικά καθημερινής χρήσης, την Ιστορία της Φυσικής και τις εναλλακτικές απόψεις μαθητών.