Τι διδάσκουμε για την έννοια πίεση; Πώς, πότε και γιατί εισήχθη η έννοια πίεση στη Φυσική;

Παναγιώτης Κουμαράς

Στο 5ο τεύχος του παρόντος περιοδικού είχα παρουσιάσει προβληματικά σημεία των εγχειριδίων Φυσικής σχετικά με την έννοια ενέργεια. Στο άρθρο αυτό θα εστιάσω στο τι διδάσκουμε για την έννοια πίεση και αν αυτό είναι σε συνέπεια με τη Φυσική.

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται δύο κυρίως προβλήματα σχετιζόμενα με τη διδασκαλία της πίεσης:

Α. Η πίεση στα σχολικά βιβλία εισάγεται σε περιβάλλον στερεών

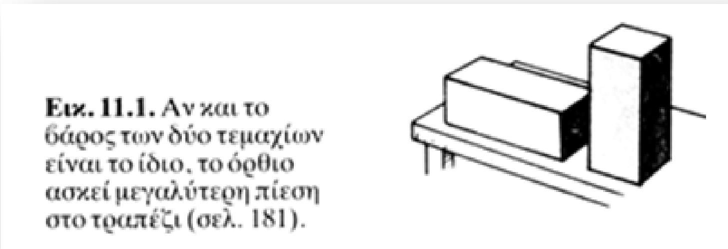
Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα που χρησιμοποιείται είναι το βούλιαγμα ή όχι σε χιόνι, ανάλογα με αν κάποιος φορά ή όχι χιονοπέδιλα. Ενδεικτικά, σε παλιότερο βιβλίο της Ε΄ Δημοτικού (Δασκαλάκης κ. ά., 1997, σελ. 78) παρουσιάζεται το σκίτσο και το κείμενο της Εικόνας 1.

Εικόνα 1. Εισαγωγή της πίεσης σε βιβλίο Ε΄ Δημοτικού

Παρόμοια (Εικόνα 2) εισάγεται η πίεση και σε παλιότερο βιβλίο της Β΄ Γυμνασίου (Ζενάκος κ.ά. 1995, σελ. 87),

Εικόνα 2. Εισαγωγή της πίεσης σε βιβλίο Β΄ Γυμνασίου

Εισαγωγή της πίεσης σε περιβάλλον στερεών βρίσκουμε και στο βιβλίο "Οι έννοιες της Φυσικής" του Hewitt (1997, Τόμος Ι, σελ. 205), ένα από τα γνωστότερα παγκοσμίως πανεπιστημιακά βιβλία γενικής Φυσικής (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Εισαγωγή της πίεσης σε πανεπιστημιακό βιβλίο

Στα παραπάνω βιβλία η πίεση εισάγεται ως κατανομή δύναμης σε επιφάνεια. Ο ίδιος τρόπος εισαγωγής της πίεσης έχει καταγραφεί σε ανάλυση αντιπροσωπευτικού δείγματος βιβλίων Δημοτικού, Γυμνασίου, Λυκείου, Πανεπιστημίου, από τέσσερεις χώρες (Kariotoglou, Psillos & Valassiades, 1990; Καριώτογλου, 1991, σελ. 55-63; Φασουλόπουλος, 2000, σελ. 35-36). Φαίνεται πως το βούλιαγμα ή όχι του σκιέρ, ανάλογα με το αν φορά ή όχι χιονοπέδιλα, και η «καταστροφή» που προκαλεί μια κυρία με τακούνια «στιλέτο» είναι από τα παραδείγματα που προτιμώνται από τους συγγραφείς για την εισαγωγή της έννοιας πίεση και, αντίστοιχα, η πινέζα είναι από τα πλέον προτιμούμενα παραδείγματα εφαρμογής. Από τον Καριώτογλου σχολιάζεται ότι ενώ η εισαγωγή της πίεσης γίνεται σε περιβάλλον στερεών ακολουθεί η μεταφορά της στα ρευστά «χωρίς καμιά ιδιαίτερη επισήμανση ή αναφορά, στα κρυφά, και μάλιστα ακολουθεί εξέταση της πίεσης στο εσωτερικό του ρευστού, ενώ είχε οριστεί για την επιφάνεια στερεών» (Καριώτογλου, 1991, σελ. 58). Στη λογική αυτή των βιβλίων η ερμηνεία της λειτουργίας του υδραυλικού πιεστηρίου έρχεται ως εφαρμογή της σχέσης $p = \frac{F}{S}$ που έχει οριστεί στα στερεά.

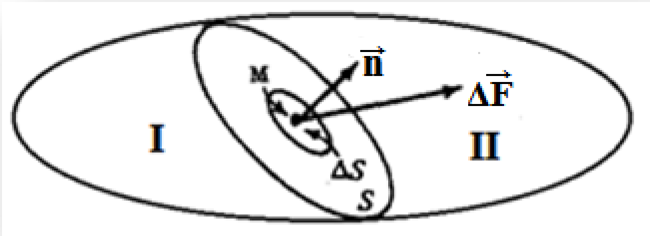
Β. Η πίεση, για πολλά σχολικά βιβλία, "ασκείται" και έχει κατεύθυνση

Ήδη στην Εικόνα 3 καταγράφεται η φράση «το όρθιο [τούβλο] ασκεί μεγαλύτερη πίεση στο τραπέζι». Το «ασκεί» είναι ρήμα που συνδέεται με τη δύναμη και όχι με το βαθμωτό μέγεθος πίεση. Ένα ακόμη από τα αποτελέσματα της ανάλυσης αντιπροσωπευτικού δείγματος βιβλίων Δημοτικού, Γυμνασίου, Λυκείου, Πανεπιστημίου, που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, είναι η καταγραφή εκφράσεων που χρησιμοποιούνται σε αυτά για την πίεση. Έχουν καταγραφεί εκφράσεις όπως: «η προς τα πάνω πίεση», «η προς τα κάτω πίεση», «ασκείται πίεση», «η πίεση που δέχεται», «η πίεση δρα», «η πίεση που ασκεί το νερό», «η πίεση ωθεί κάθετα τα τοιχώματα» που αποδίδουν στην πίεση διανυσματικό χαρακτήρα και δε διευκολύνουν τη διαφοροποίησή της από τη δύναμη. Προς την κατεύθυνση αυτή λειτουργεί και η χρήση βελών για να δηλωθεί η ύπαρξη πίεσης «προς τα πάνω» (Καριώτογλου, 1991, σελ. 59). Τέλος η συνδυασμένη χρήση εκφράσεων, που συναντώνται στα σχολικά εγχειρίδια, όπως «η δύναμη πιέζει» και «η πίεση ασκείται» επιτείνει το πρόβλημα (Φασουλόπουλος, 2000, σελ. 36). Παρόμοια από τον McClelland (1987) καταγράφονται σε βιβλία Φυσικής λανθασμένες εκφράσεις όπως: «η πίεση κάτω από τα πόδια τους μπορεί να τους κάνει να βυθιστούν στο μαλακό έδαφος ή στο χιόνι» ή «η πίεση στα υγρά δρα ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις».

Από την τάση στην πίεση

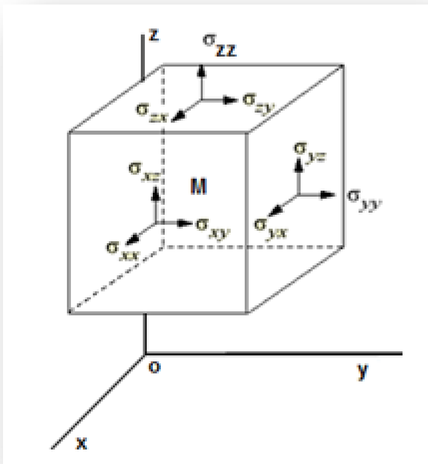
Η κατανομή δύναμης σε μια επιφάνεια (διατομή), σε περιβάλλον στερεών, που ορίζεται στα παραπάνω βιβλία ως το μονόμετρο μέγεθος πίεση, στην πραγματικότητα είναι ένας τανυστής 2ης τάξης (με $3^2=9$ συνιστώσες) και ονομάζεται *τάση*.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα συνεχές μέσο και μια επίπεδη επιφάνεια S μέσα σε αυτό που το χωρίζει σε δύο τμήματα Ι και ΙΙ. Κατά την επαφή μεταξύ των δυο αυτών τμημάτων το καθένα ασκεί δυνάμεις στο άλλο. Στην Εικόνα 4 αναπαριστάται η στοιχειώδης δύναμη ΔF που το τμήμα Ι ασκεί στο ΙΙ μέσω της επιφάνειας ΔS που διέρχεται από το σημείο Μ.



Εικόνα 4. Δυνάμεις στο εσωτερικό ενός συνεχούς μέσου

Ο λόγος $f = \lim \frac{\Delta F}{\Delta S}$ (όταν $\Delta S \to 0$) ορίζεται ως η ανηγμένη δύναμη που ασκείται σε μια μοναδιαία επίπεδη επιφάνεια που διέρχεται από το σημείο Μ, στο εσωτερικό του όγκου που καταλαμβάνεται από το συνεχές μέσο. Επειδή από το σημείο Μ διέρχονται άπειρες επίπεδες επιφάνειες γεννάται το ερώτημα: «πώς μπορεί να υπολογιστεί η ανηγμένη δύναμη σε τυχούσα επίπεδη επιφάνεια που διέρχεται από το σημείο Μ;». Η απάντηση στο ερώτημα είναι: Αρκεί να είναι γνωστές οι ανηγμένες δυνάμεις f_1 , f_2 και f_3, σε τρία επίπεδα που δεν διέρχονται από την ίδια ευθεία. Τρία τέτοια επίπεδα μπορούν να θεωρηθούν τα τρία επίπεδα που είναι κάθετα στις διευθύνσεις των καρτεσιανών αξόνων x, y, z. Ουσιαστικά δηλαδή περνάμε στον στοιχειώδη κύβο που περιβάλλει το σημείο Μ (x, y, z) (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Ο στοιχειώδης κύβος που περιβάλλει το σημείο Μ (x, y, z)

Οι ανηγμένες δυνάμεις για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτά είναι:

$$f_x = (\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}), f_y = (\sigma_{yx}, \sigma_{yy}, \sigma_{yz}), f_z = (\sigma_{zx}, \sigma_{zy}, \sigma_{zz})$$

όπου στις παρενθέσεις είναι οι συνιστώσες των ανηγμένων δυνάμεων κατά μήκος των καρτεσιανών αξόνων. Οι συνιστώσες των τριών αυτών ανηγμένων δυνάμεων μπορούν να γραφούν συνοπτικά στη μορφή του πίνακα (1):

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} (1)$$

Ο πίνακας (1) ορίζει τον τανυστή των τάσεων (σ) για το σημείο Μ. Τα διαγώνια στοιχεία (σ_{ij} με $i = j$ και $i, j = x, y, z$) είναι οι ορθές τάσεις (normal stresses) και είναι κάθετες στην επιφάνεια της διατομής. Τα υπόλοιπα, μη διαγώνια, στοιχεία (σ_{ij} με $i \neq j$ και $i, j = x, y, z$) είναι οι διατμητικές τάσεις (shear stresses) που είναι επί (παράλληλες) της επιφάνειας της διατομής.

Στο εσωτερικό υγρού σε κατάσταση ισορροπίας τα μη διαγώνια στοιχεία είναι ίσα με 0, διότι στο ακίνητο υγρό, λόγω της μη αντίδρασής του στην αλλαγή σχήματος, δεν υπάρχουν διατμητικές τάσεις. Έτσι ο πίνακας (1) γίνεται διαγώνιος σε κάθε σύστημα αναφοράς. Η απαίτηση να είναι διαγώνιος σε κάθε σύστημα αναφοράς οδηγεί στην ανάγκη να είναι τα διαγώνια στοιχεία ίσα μεταξύ τους, δηλαδή $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ [κάθε ανηγμένη δύναμη είναι κάθετη στην επιφάνεια που αντιστοιχεί και ίση προς όλες τις κατευθύνσεις] $= -P(x, y, z)$ [με το – να δηλώνει συμπίεση]. Αυτή η συνάρτηση σημείου $P(x, y, z)$ ονομάζεται υδροστατική πίεση και είναι αριθμητικό μέγεθος. Ο τανυστής 2ης τάξης, η τάση, περιορίζεται σε τανυστή μηδενικής τάξης την πίεση (Καριώτογλου 1991, σελ. 40-44; Καββαδάς, 2005, κεφ.3 σελίδες 1-2).

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι η πίεση ορίζεται για κάθε σημείο ενός ρευστού και όχι για μια επιφάνεια ή ακόμη και για κάποιο όγκο. Έτσι η συνηθισμένη φράση «η πίεση στην επιφάνεια είναι» πρέπει να γίνει «η πίεση σε (κάθε) σημείο της επιφάνειας είναι». Στη γραμμή αυτή ο McClelland (1987) σχολιάζοντας ερώτηση των Engel – Clouth και Driver (1985) με την οποία ζητούσαν από τους μαθητές να συγκρίνουν πιέσεις πάνω σε ψάρια που κολυμπούν στο ίδιο μεν βάθος αλλά σε διαφορετικής διατομής ενυδρεία σημειώνει ότι η φράση "Which fish has more pressure on it?", με την οποία διατυπώνεται η ερώτηση δεν είναι σωστή. Η σωστή ερώτηση θα ήταν για την πίεση σε ένα σημείο της ράχης κάθε ψαριού.

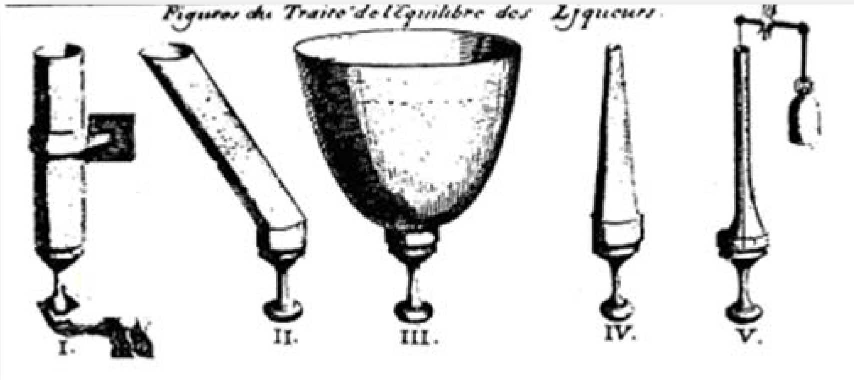
Ποιά ήταν η ανάγκη για την εισαγωγή της έννοιας πίεση, πότε και πώς εισήχθη;

Το 1663 δημοσιεύτηκε το έργο "The Treatise on the Equilibrium of Liquids and the Heaviness of the Mass of Air" του Πασκάλ. Τα δυο πρώτα κεφάλαια έχουν ασυνήθιστους και προκλητικούς για σήμερα τίτλους. Το κεφάλαιο Ι τιτλοφορείται: «Πώς το βάρος των υγρών είναι σε αναλογία με το ύψος τους» (Evans, 1973, σελ. 3-5) και το κεφάλαιο ΙΙ: «Γιατί τα υγρά ζυγίζουν σε αναλογία με το ύψος τους» (Evans, 1973, σελ. 6-11). Ας δούμε τι σημαίνουν αυτοί οι τίτλοι.

Ι. Πώς το βάρος των υγρών είναι σε αναλογία με το ύψος τους. Τι έκανε, τι παρατήρησε και τι συμπέρανε ο Πασκάλ

Ο Πασκάλ στερέωσε στον τοίχο πέντε διαφορετικούς σωλήνες (Evans, 1973, σελ. 3-5 και εικόνες μεταξύ των σελίδων 20-21) με κατάλληλο στήριγμα βιδωμένο στον τοίχο (Εικόνα 6, Ι). Ο κυλινδρικός σωλήνας Ι έχει ομοιόμορφη διάμετρο σε όλο του το μήκος. Ο σωλήνας ΙΙ είναι ίδιας διαμέτρου με τον Ι, με κλίση από ένα μέρος του και πάνω, αλλά τελειώνει σε κατακόρυφο τμήμα κοντά στη βάση του. Ο σωλήνας ΙΙΙ έχει βάση ίδιας διαμέτρου με του Ι, αλλά τα τοιχώματά του ανοίγουν προς τα πλάγια έχοντας έτσι έναν πολύ μεγαλύτερο όγκο, σε σχέση με τον σωλήνα Ι. Ο σωλήνας IV έχει βάση ίδιας διαμέτρου με τους προηγούμενους άλλα ψηλότερα τα τοιχώματά του συγκλίνουν, με αποτέλεσμα να έχει μικρότερο όγκο από τον σωλήνα Ι. Τέλος ο σωλήνας V είναι ένας ακόμη πιο στενός σωλήνας που στο κάτω μέρος καταλήγει σε ίδια διάμετρο με αυτήν που έχουν και οι προηγούμενοι σωλήνες κοντά στη βάση τους.

Οι σωλήνες κλείνονται στο κάτω μέρος τους υδατοστεγώς με βουλώματα. Στην Εικόνα 6, στο κάτω μέρος του σωλήνα Ι φαίνεται ένα χέρι να τοποθετεί το βούλωμα, στους άλλους φαίνονται τα βουλώματα να αιωρούνται παράλληλα στον τοίχο.



Εικόνα 6. Τα δοχεία του Πασκάλ

Ο Πασκάλ γράφει:

«[…]αν κάποιος τα γεμίσει όλα με νερό μέχρι το ίδιο ύψος […] το πείραμα δείχνει ότι απαιτείται η ίδια δύναμη για να κρατήσει τα βουλώματα στη θέση τους, αν και υπάρχουν πολύ διαφορετικές ποσότητες νερού στα διάφορα δοχεία […] και το μέτρο της δύναμης [που απαιτείται για να φύγει το βούλωμα] είναι ίσο με το βάρος του νερού που περιέχεται στον πρώτο σωλήνα, ο οποίος είναι ομοιόμορφος έχοντας την ίδια διάμετρο σε όλο του το μήκος. Αν το νερό ζυγίζει 100 λίβρες [45,5 kg], τότε θα απαιτείται δύναμη 100 λίβρες για να κρατηθεί στη θέση του κάθε ένα από τα πώματα, ακόμα και στον πέμπτο σωλήνα αν και το νερό σε αυτόν μπορεί να μη ζυγίζει περισσότερο από μια ουγγιά [28,35 g]» (Evans, 1973, σελ. 3).

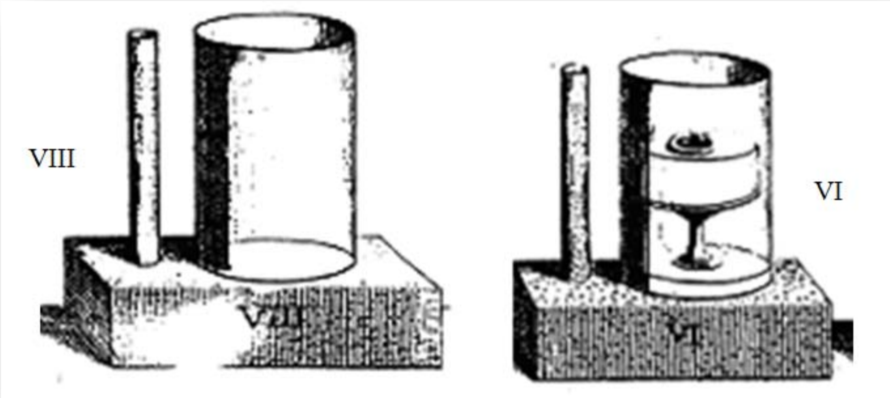
Ουσιαστικά το «εκπληκτικό», που προβάλλει ο Πασκάλ και δεν εξηγείται με την έννοια βάρος (δύναμη), είναι ότι απαιτείται η ίδια δύναμη για να συγκρατήσει τον πυθμένα στα δοχεία του, είτε αυτά περιέχουν 45,5 kg νερό είτε μόλις 28,35 g.

Στη συνέχεια ο Πασκάλ έκανε την κατασκευή με ζυγό που φαίνεται στο σωλήνα V της Εικόνας 6. *«Για να ελέγξετε τα παραπάνω με ακρίβεια είναι απαραίτητο να κλείσει η βάση του πέμπτου σωλήνα με ένα στρογγυλό κομμάτι ξύλου σαν το έμβολο μιας αντλίας που να ταιριάζει ακριβώς ώστε να μπορεί να γλιστρά προς τα πάνω και προς τα κάτω χωρίς να κολλάει και να μη διαρρέει νερό. Στη συνέχεια ένα νήμα στερεώνεται στο κέντρο του εμβόλου, το νήμα αυτό περνάει μέσα από το στενό σωλήνα και τέλος δένεται στο κρεμασμένο βάρος των 100 λιβρών. Το βάρος των 100 λιβρών φαίνεται να είναι σε τέλεια ισορροπία με τη 1 ουγκιά του νερού που βρίσκεται στο στενό σωλήνα. Όμως αν έστω και λίγο μειωθεί το βάρος των 100 λιβρών τότε το βάρος της μιας ουγκιάς του νερού θα φέρει το έμβολο προς τα κάτω, αυτό θα κινήσει το βραχίονα της ζυγαριάς με τον οποίο συνδέεται και τέλος θα δούμε τον άλλο βραχίονα, αυτόν στον οποίον είναι κρεμασμένο το λίγο μικρότερο από 100 λίβρες βάρος, να υψώνεται.*

Αν συμβεί το νερό [στο στενό σωλήνα] να παγώσει και ο πάγος δεν κολλήσει στο σωλήνα (πράγμα που συμβαίνει σπάνια) τότε χρειάζεται να κρεμαστεί βάρος μόνο μιας ουγκιάς [28,35 g] για να εξισορροπήσει τον πάγο, αλλά αν δοθεί θερμότητα στο σωλήνα και λειώσει ο πάγος θα χρειαστεί πάλι να κρεμαστεί βάρος 100 λίβρες [45,5 kg] για να εξισορροπήσει τώρα το βάρος του λειωμένου πάγου, αν και όπως έχουμε επαναλάβει, το βάρος του νερού είναι μόνο μια ουγκιά [1]»(Evans, 1973, σελ. 4).

Στη συνέχεια ο Πασκάλ δείχνει ότι «κάτι» μεταδίδεται αμείωτο προς όλες τις κατευθύνσεις, διατυπώνοντας τη γνωστή μας σήμερα "Αρχή του Πασκάλ":

«Το ίδιο πράγμα συμβαίνει και όταν τα διαφράγματα [τα βουλώματα] που εμποδίζουν [το νερό να χυθεί] τοποθετηθούν σε ανοίγματα [που έχουν γίνει] στα πλάγια ή ακόμα και στην κορυφή της ευρύτερης βάσης, μάλιστα αυτή η διευθέτηση θα κάνει το πείραμα ευκολότερο. Για να δειχτεί αυτό, είναι αναγκαίο να έχουμε ένα δοχείο ερμητικά κλεισμένο από όλες τις πλευρές, στην κορυφή του οποίου έχουν ανοιχτεί δυο ανοίγματα, το ένα στενότερο και το άλλο πλατύτερο. Στα ανοίγματα συγκολλούνται σωλήνες που ταιριάζουν ακριβώς [Εικόνα 7, VIII]. Αν τώρα τοποθετήσουμε ένα έμβολο στον πλατύτερο σωλήνα και ρίξουμε νερό στον στενότερο, για να μην μετακινηθεί το έμβολο προς τα πάνω πρέπει να τοποθετηθεί πάνω στο έμβολο ένα μεγάλο βάρος [2], διαφορετικά το βάρος του νερού που ρίξαμε στο στενότερο σωλήνα θα κινήσει το έμβολο προς τα πάνω. Ακριβώς όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις δύναμη 100 λιβρών είναι αναγκαία για να αποτραπεί το βάρος του νερού [που περιέχεται] στο στενό σωλήνα να υψώσει το έμβολο. Και αν το άνοιγμα ήταν στην πλαϊνή επιφάνεια η ίδια δύναμη θα απαιτείτο για να αποτραπεί το βάρος του νερού να σπρώξει το έμβολο προς αυτή την πλευρά. Και αν ο σωλήνας που γέμιζε με νερό ήταν εκατό φορές πλατύτερος ή εκατό φορές στενότερος, τότε εφόσον το επίπεδο του νερού παρέμενε σταθερό απαιτείται το ίδιο βάρος [να τοποθετηθεί στο έμβολο] για να το ισορροπήσει...» (Evans, 1973, σελ. 4-5)

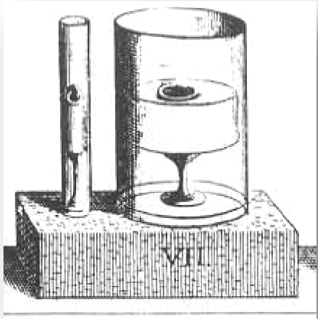


Εικόνα 7. Τα ανοίγματα τοποθετούνται στο πάνω μέρος ενός ορθογώνιου δοχείου

Από τα πειράματα της Εικόνας 6 που περιγράφει ο Πασκάλ φαίνεται ότι η έννοια βάρος όλου του υγρού που υπάρχει στα δοχεία (γενικότερα η έννοια δύναμη) δεν επαρκεί για την ερμηνεία της παρατήρησης ότι το βάρος των 45,5 kg είναι σε "τέλεια ισορροπία" με το βάρος των 28,35 g. Το ερώτημα είναι: πώς ερμήνευσε ο Πασκάλ το γεγονός ότι ο πυθμένας όλων των δοχείων της Εικόνας 6 δέχεται την ίδια δύναμη [3] παρά τις διαφορετικές ποσότητες νερού που περιέχουν; Περνάμε έτσι στο κεφάλαιο ΙΙ.

ΙΙ. Γιατί τα υγρά ζυγίζουν [4] σε αναλογία με το ύψος τους. Πώς ερμήνευσε ο Πασκάλ τις παρατηρήσεις του

Ο Πασκάλ από τα παραπάνω πειράματα καταλήγει: «Όλα αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι μια λεπτή κλωστή νερού μπορεί να ισορροπήσει ένα μεγάλο βάρος» (σωλήνας V, Εικόνα 6) και συνεχίζει: *«μένει να δείξουμε την αιτία αυτού του πολλαπλασιασμού της δύναμης»* (Evans, 1973, σελ. 6). Από την παρατήρηση «ότι μια λεπτή κλωστή νερού μπορεί να ισορροπήσει ένα μεγάλο βάρος», επινόησε άμεσα το υδραυλικό πιεστήριο. Θεωρεί ένα δοχείο κλειστό από όλες τις πλευρές με προσαρμοσμένους στην πάνω πλευρά του δυο κυλινδρικούς σωλήνες διαφορετικής διαμέτρου (οι δυο σωλήνες πάνω από το ορθογώνιο που φαίνονται στην Εικόνα 7, VIII). Στους δυο κυλινδρικούς σωλήνες προστίθεται νερό και στις επιφάνειες του νερού, σε κάθε σωλήνα, προσαρμόζονται δυο έμβολα (Εικόνα 8). Στην Εικόνα 8 διακρίνονται τα βάρη, που τοποθετούμενα πάνω στα έμβολα επιφέρουν την ισορροπία.



Εικόνα 8. Από τα δοχεία της Εικόνας 7 περνάμε στο υδραυλικό πιεστήριο

Αν το μεγάλο έμβολο έχει διατομή 100 φορές μεγαλύτερη από τη διατομή του μικρού τότε: *«Ένας άνδρας σπρώχνοντας το μικρό έμβολο θα ασκήσει μια δύναμη ίση με εκείνη 100 ανδρών που σπρώχνουν το μεγάλο έμβολο[…] και ανεξάρτητα από τα σχετικά εμβαδά των εμβόλων, αν οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στα έμβολα βρίσκονται στην ίδια αναλογία με τα εμβαδά τους θα εξισορροπούν η μια την άλλη* [σε σημερινή γλώσσα Φυσικής εδώ ο Πασκάλ ουσιαστικά εισάγει τη σχέση $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$]. *Αυτό που προκύπτει είναι μια νέα αρχή της Μηχανικής και μια νέα μηχανή που θα πολλαπλασιάζει τις δυνάμεις για οποιοδήποτε επιθυμητό ποσό, για έναν άνθρωπο αυτό σημαίνει ότι θα είναι σε θέση να σηκώσει κάθε βάρος που κάποιος μπορεί να του προτείνει. Είναι αξιοσημείωτο ότι σε αυτή τη νέα μηχανή εμφανίζεται η ίδια σταθερή σχέση που είναι χαρακτηριστική όλων των παλαιών μηχανημάτων όπως ο μοχλός, το βαρούλκο* [ότι κερδίζεις σε δύναμη το χάνεις σε διαδρομή]*… ένας άνθρωπος πατώντας το μικρό έμβολο προς τα κάτω σε απόσταση μιας ίντσας θα κινήσει το άλλο έμβολο μόνο κατά το ένα εκατοστό αυτής της απόστασης. Είναι η συνέχεια του νερού που καθιστά αδύνατο να μετακινηθεί το ένα χωρίς το άλλο».*

Σε αυτό το πλαίσιο ο Πασκάλ ορίζει την πίεση:

«Το νερό κάτω από τα δυο έμβολα [του υδραυλικού πιεστηρίου] είναι εξίσου συμπιεσμένο, αν και από τη μια πλευρά υπάρχει βάρος 100 φορές μεγαλύτερο αυτό είναι σε επαφή με μια επιφάνεια 100 φορές μεγαλύτερη. Κατά συνέπεια η πίεση για το καθένα είναι ή ίδια και θα πρέπει να ισορροπούν» (Evans, 1973, σελ.7).

Πρόταση για τη διδασκαλία της έννοιας πίεση σε συμφωνία με την εισαγωγή της από τον Πασκάλ έχει διατυπωθεί σε άλλες μας εργασίες (Κουμαράς, 2015, σελ. 289-297; Koumaras & Pierratos, 2015)

Σχόλια

1. Θεωρώ αυτό το απόσπασμα ιδιαίτερα σημαντικό. Η πίεση ορίζεται για τα ρευστά. Στα στερεά η δύναμη μεταδίδεται αμετάβλητη κατά μέτρο και διεύθυνση. Μόνο τα ρευστά είναι “μεταδότες”

πίεσης. Ο λόγος για την ισορροπία σε όλα τα παραδείγματα οφείλεται στο γεγονός ότι "το υλικό που υπάρχει στο δοχείο είναι υγρό".

2. Αυτό που διακρίνεται στον πλατύτερο σωλήνα του δοχείου VI, Εικόνα 7.

3. Σημειώνεται ότι ο πυθμένας δεν είναι κολλημένος με τα πλευρικά τοιχώματα και ότι οι δυνάμεις που ασκούνται στα πλευρικά τοιχώματα εξουδετερώνονται από το στήριγμα που συγκρατεί το σωλήνα στον τοίχο.

4. Σε γλώσσα σημερινής Φυσικής: ασκούν πιεστικές δυνάμεις στον πυθμένα του δοχείου.

Βιβλιογραφία

Engel-Clough, E. & Driver, R. (1985). What do children understand about pressure in fluids, J. Research in Science and Technological Education 3 pp.133-43.

Evans, A., (Editor) (1973). *The Physical treatises of Pascal*. Octagon Books, New York.

Hewitt, P. (1997). *Οι έννοιες της Φυσικής. Τόμος 1*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης. Τρίτη έκδοση. Ηράκλειο.

Kariotoglou, P., Psillos, D. & Valassiades, O. (1990). Understanding pressure: didactical transpositions and pupils' conceptions. *Physics Education* 25, pp. 92-96.

Koumaras, P. & Pierratos T. (2015). How Much Does a Half-Kilogram of Water "Weigh"? *Physics Teacher* 53,174.

McClelland, J. (1987). Pressure points. *Physics Education* 22 pp. 107-109.

Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπεροπούλου, Σ. & Σπηλιώτης, Μ. (1997). *Ερευνώ το φυσικό κόσμο. Φυσικά Ε΄ Τάξης, δεύτερο μέρος*. ΟΕΔΒ, Αθήνα.

Ζενάκος, Α., Λεκάτης, Ν. & Σχοινάς, Α. (1995). *Φυσική Β΄ Γυμνασίου*. ΟΕΔΒ, Αθήνα.

Καββαδάς, Μ. (2005). *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Έκδοση Ε. Μ. Πολυτεχνείου.

Καριώτογλου, Π. (1991). *Προβλήματα διδασκαλίας και μάθησης της Μηχανικής των Ρευστών στο Γυμνάσιο*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ.

Κουμαράς, Π. (2015). *Μονοπάτια της σκέψης στον κόσμο της Φυσικής*. Εκδόσεις Gutenberg. Αθήνα.

Φασουλόπουλος, Γ. (2000). *Οι αντιλήψεις των μαθητών για τη σχέση εντατικών φυσικών μεγεθών με την ποσότητα του συστήματος και οι συνέπειές τους στη διδασκαλία*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, ΑΠΘ.

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.