

ΦΥΣΙΚΗ

**Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών
και Σπουδών Υγείας**

**Γ' τάξη
Γενικού Λυκείου**

ΤΟΜΟΣ 4ος

**Σημείωση: Στο Ευρετήριο Όρων τα
γράμματα Α, Β, Γ,..., Θ δηλώνουν
αντίστοιχα τον 1ο, 2ο, 3ο,...,9ο τόμο.**

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Α. ΙΩΑΝΝΟΥ - Γ. ΝΤΑΝΟΣ
Α. ΠΗΤΤΑΣ - Σ. ΡΑΠΤΗΣ**

**Η συγγραφή και η επιστημονική επι-
μέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθη-
κε υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού
Ινστιτούτου**

ΦΥΣΙΚΗ

**Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών
Σπουδών και Σπουδών Υγείας**

**Γ' τάξη
Γενικού Λυκείου**

ΤΟΜΟΣ 4ος

Ι. Τ. Υ. Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Συγγραφείς:

**Αλέκος Ιωάννου, Γιάννης Ντάνος
Άγγελος Πήττας, Σταύρος Ράπτης**

Κριτές:

**Αντωνίου Νικόλαος, καθηγητής Πα-
νεπιστημίου Αθηνών, ως πρόεδρος
Ευθυμιόπουλος Θωμάς, Αν. Καθη-
γητής Πανεπιστημίου Κρήτης**

**Αρναουτάκης Ιωάννης, Σχολικός
Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης**

**Καρανίκας Ιωάννης, Σχολικός
Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης**

**Πρίντζας Γεώργιος, Σχολικός Σύμ-
βουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης**

**Κοτρόζου Αικατερίνη, Φυσικός,
M.Sc. Καθηγήτρια Δ/θμιας Εκ/σης**

**Φωτάκης Ιωάννης, Καθηγητής
ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης».**

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

**Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕ-
ΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

**Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟ-
ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥ-
ΣΗΣ**

Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα-βιβλία

**ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΣΥΓ-
ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ-
ΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙ-
ΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩ-
ΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ».



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

**Η αξιολόγηση, η κρίση
των προσαρμογών και
η επιστημονική επιμέλεια
του προσαρμοσμένου βιβλίου
πραγματοποιείται από τη Μονάδα
Ειδικής Αγωγής του Ινστιτούτου
Εκπαιδευτικής Πολιτικής.**

**Η προσαρμογή του βιβλίου
για μαθητές με μειωμένη όραση
από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ
πραγματοποιείται με βάση
τις προδιαγραφές που έχουν
αναπτυχθεί από ειδικούς
εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.**

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ
ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ
ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ



(3 ΡΕΥΣΤΑ ΣΕ ΚΙΝΗΣΗ)



**Αρχή του
Pascal**

**Εξίσωση
συνέχειας**

**Εξίσωση
Bernoulli**

**Τριβή στα
ρευστά**

Σύνοψη

Ασκήσεις

(3.1.) Εισαγωγή

Οι φυσικοί και οι μηχανικοί αποδίδουν το χαρακτηρισμό «ρευστά» στα υγρά και τα αέρια σώματα, τα οποία -αντίθετα με τα στερεά- δεν έχουν δικό τους σχήμα αλλά παίρνουν το σχήμα του δοχείου που τα περιέχει.

Η διάκριση των ρευστών σε υγρά και αέρια βασίζεται στη σταθερότητα του όγκου τους (για ορισμένη θερμοκρασία). Τα υγρά είναι πρακτικά **ασυμπίεστα**, έχουν δηλαδή σταθερό όγκο, ανεξάρτητο από την πίεση. Αντίθετα τα αέρια είναι **συμπιεστά**. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος τους εξαρτάται από την πίεσή τους.

Κινούμαστε μέσα σε ρευστά (στον ατμοσφαιρικό αέρα ή στο νερό της θάλασσας) μεταφέρουμε τεράστιες ποσότητες ρευστών με σωλήνες,

**εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια των
ρευστών για να λύσουμε πρακτικά
μας προβλήματα**

**Η ανάπτυξη της τεχνολογίας
στους τομείς αυτούς βασίστηκε στη
μελέτη των νόμων που διέπουν την
κίνηση των ρευστών.**

(3.2.) Υγρά Σε Ισορροπία

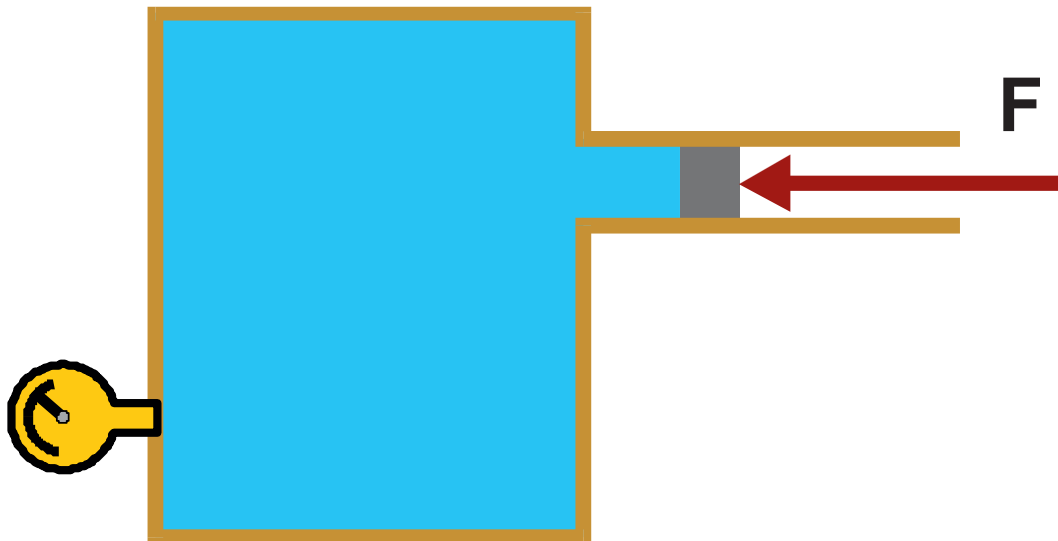
Η πίεση¹ στα διάφορα σημεία του χώρου που καταλαμβάνει κάποιο υγρό και στα τοιχώματα του δοχείου μέσα στο οποίο περιέχεται οφείλεται ή στο βάρος του υγρού ή σε εξωτερικό αίτιο. Ως εξωτερικό αίτιο μπορούμε να θεωρήσουμε την πίεση που κάποιο έμβολο ασκεί σε μια περιοχή του υγρού.

¹ Υπενθυμίζεται ότι η πίεση ορίζεται ως το πηλίκο του μέτρου της δύναμης που ασκείται κάθετα σε μία επιφάνεια προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής:

$$p = \frac{dF}{dA}.$$

Στο S.I. η πίεση μετριέται σε **Pa (Pascal)**. **$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$** .

Η πίεση που μετράει το μανόμετρο στο δοχείο του **σχήματος 3.1** οφείλεται και στο βάρος του υγρού που περιέχεται στο δοχείο αλλά και στη δράση του εμβόλου.



Η πίεση στα διάφορα σημεία ενός υγρού οφείλεται στο βάρος του και σε εξωτερικά αίτια.

Σχήμα 3-1.

Υδροστατική πίεση

Η πίεση που οφείλεται στο βάρος του υγρού ονομάζεται υδροστατική πίεση.

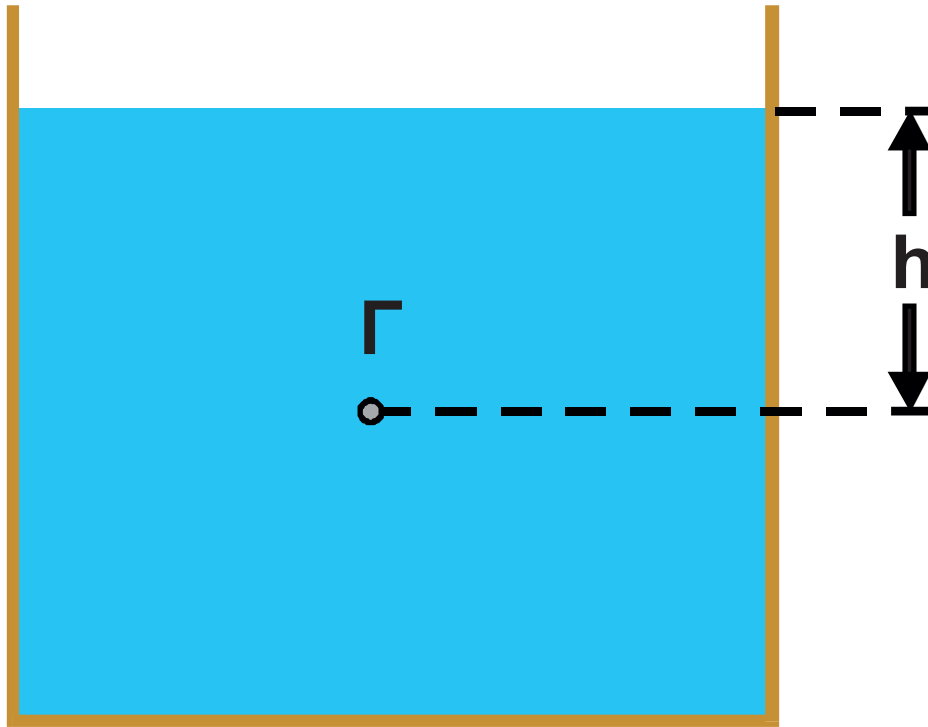
Η υδροστατική πίεση έχει νόημα μόνο εφόσον το υγρό βρίσκεται μέσα σε πεδίο βαρύτητας.

Η σχέση που δίνει την υδροστατική πίεση σε κάποιο σημείο Γ του χώρου που καταλαμβάνει ένα υγρό σε ισορροπία είναι

$$p = \rho gh$$

(Θεμελιώδης νόμος της υδροστατικής)

όπου h : το βάθος του σημείου Γ (η απόσταση από την ανώτερη επιφάνεια του υγρού) και ρ : η πυκνότητα του υγρού.



Η υδροστατική πίεση σε βάθος h είναι ρgh .

Σχήμα 3-2.

Αρχή του Pascal (Πασκάλ)

Όταν ένα υγρό βρίσκεται εκτός πεδίου βαρύτητας, σε όλη του την έκταση επικρατεί η ίδια πίεση. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι

η πίεση που δημιουργεί ένα εξωτερικό αίτιο σε κάποιο σημείο του υγρού μεταφέρεται αναλλοίωτη σε όλα τα σημεία του.

(αρχή του Pascal)

Για παράδειγμα, στο δοχείο του σχήματος 3.3, τα μανόμετρα δείχνουν όλα την ίδια πίεση όταν το δοχείο βρίσκεται εκτός πεδίου βαρύτητας. Αν αυξηθεί η δύναμη που ασκείται στο έμβολο κατά ΔF θα αυξηθεί και η πίεση σε όλα τα μανόμετρα κατά $\frac{\Delta F}{A}$ (A εμβαδόν του εμβόλου).

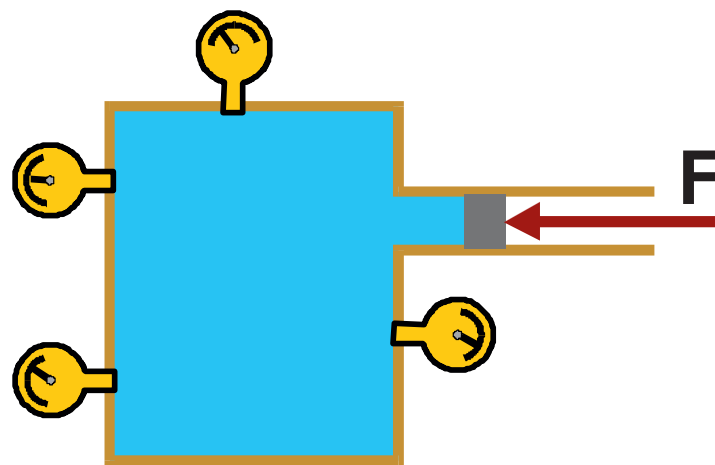
Εάν τώρα το δοχείο βρίσκεται εντός του πεδίου βαρύτητας, η πίεση που δείχνουν τα μανόμετρα είναι διαφορετική στο κάθε ένα από αυτά ανάλογα με το βάθος στο οποίο βρίσκεται. Αν πάλι αυξηθεί η δύναμη που

ασκείται στο έμβολο κατά ΔF θα αυξηθεί και η πίεση σε όλα τα μανόμετρα κατά $\frac{\Delta F}{A}$.

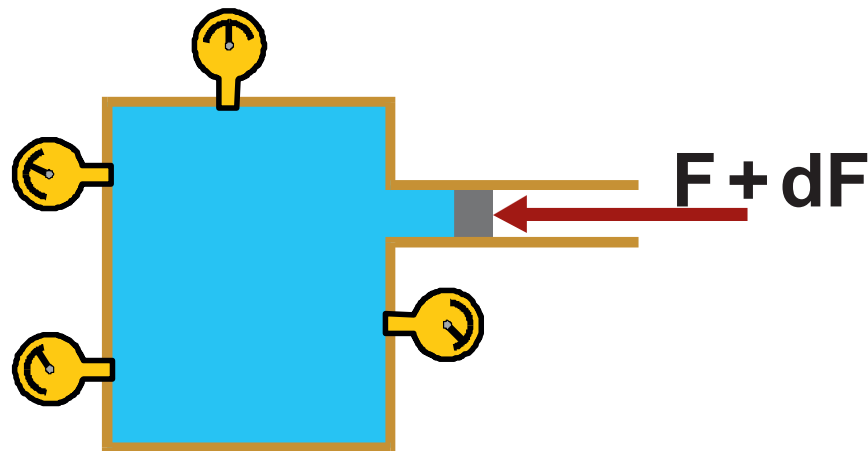
Σημείωση: Αν κάποιο υγρό ισορροπεί σε ανοιχτό δοχείο, στην ελεύθερη επιφάνειά του ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι η πίεση σε βάθος h θα είναι

$$p = p_{at} + \rho gh,$$

ακριβώς επειδή, όπως προβλέπει η αρχή του Pascal, η ατμοσφαιρική πίεση μεταφέρεται σε όλα τα σημεία του υγρού.



(α)



(β)

(α) Το δοχείο βρίσκεται εκτός πεδίου βαρύτητας. Η πίεση που δημιουργεί η δύναμη μεταφέρεται σε όλα τα σημεία του υγρού (β) Αν αυξηθεί η δύναμη, η πίεση στο υγρό αυξάνεται ομοιόμορφα σε όλα τα σημεία του.

Σχήμα 3-3.

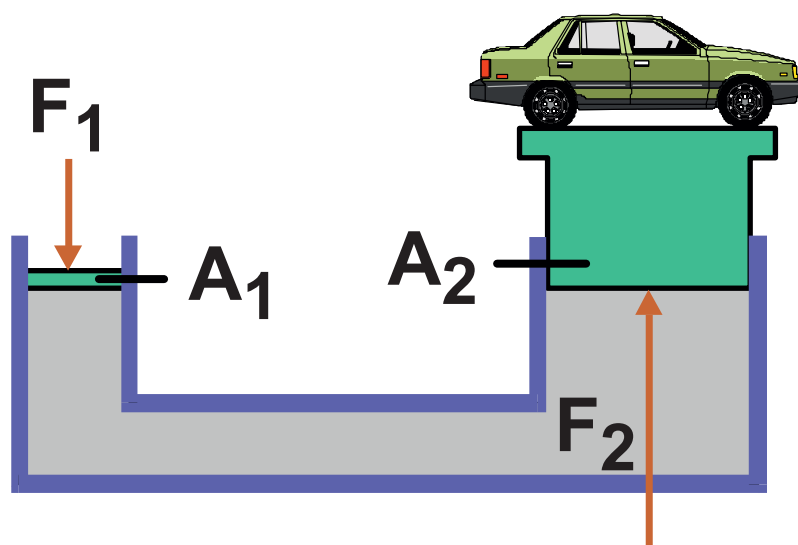


Blaise Pascal (1623-1662). Γάλλος επιστήμονας και φιλόσοφος. Ανήσυχο πνεύμα, παλινδρομούσε συνεχώς ανάμεσα στο θρησκευτικό του συναίσθημα και τις επιστημονικές του ανησυχίες, προσπαθώντας να τα συμβιβάσει.

Εικόνα 3-1.

Παράδειγμα 3.1

Υδραυλικός ανυψωτήρας χρησιμοποιείται για την ανύψωση αυτοκινήτου βάρους $w=18000\text{ N}$. Πόση δύναμη πρέπει να ασκήσουμε στο μικρής διατομής έμβολο του **σχήματος 3.4** ώστε να πετύχουμε την ανύψωση με το μεγάλης διατομής έμβολο; Τα έμβολα είναι κυλινδρικά και έχουν ακτίνες $r_1=4\text{ cm}$ και $r_2=20\text{ cm}$ αντίστοιχα.



Σχήμα 3-4.

Απάντηση:

Σύμφωνα με την αρχή του Pascal η επιπλέον πίεση που οφείλεται στη δύναμη που ασκήσαμε στο μικρό έμβολο θα μεταφερθεί και στο μεγάλο.

$$\text{Άρα} \quad \Delta p_1 = \Delta p_2 = p \quad (3.1)$$

$$\text{Όμως} \quad \Delta p_1 = F_1 / A_1 \quad (3.2)$$

$$\text{και} \quad \Delta p_2 = F_2 / A_2 \quad (3.3)$$

Αντικαθιστώντας τις (3.3) και (3.2) στην (3.1) προκύπτει

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{οπότε} \quad F_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το μέτρο της F_2 πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το μέτρο του βάρους w του αυτοκινήτου, καταλήγουμε

$$F_1 = (18000\text{N}) \frac{\pi (4 \times 10^{-2}\text{m})^2}{\pi (20 \times 10^{-2}\text{m})^2} = 720\text{N}$$



Ρίχνοντας χρώματα μέσα σε ένα ρευστό που κάνει τυρβώδη ροή έχουμε μια εικόνα των δινών που σχηματίζει.
Εικόνα 3-2.

(3.3.) Ρευστά Σε Κίνηση

Κατά την κίνηση των ρευστών αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής μεταξύ των μορίων τους (εσωτερική τριβή) αλλά και μεταξύ των μορίων τους και των τοιχωμάτων του σωλήνα μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η κίνηση (δυνάμεις συναφείας). Αν οι δυνάμεις που προαναφέραμε υπερβούν κάποιο όριο το ρευστό δημιουργεί κατά τη ροή του δίνες και η ροή λέγεται **τυρβώδης** ή στροβιλώδης. Η μελέτη μιας τέτοιας κίνησης είναι πολύπλοκη. Εμείς θα περιοριστούμε στη μελέτη της ροής ενός ρευστού που δεν παρουσιάζει εσωτερικές τριβές και τριβές με τα τοιχώματα του σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει και επιπλέον είναι ασυμπίεστο. Ένα τέτοιο ρευστό χαρακτηρίζεται ως **ιδανικό**.

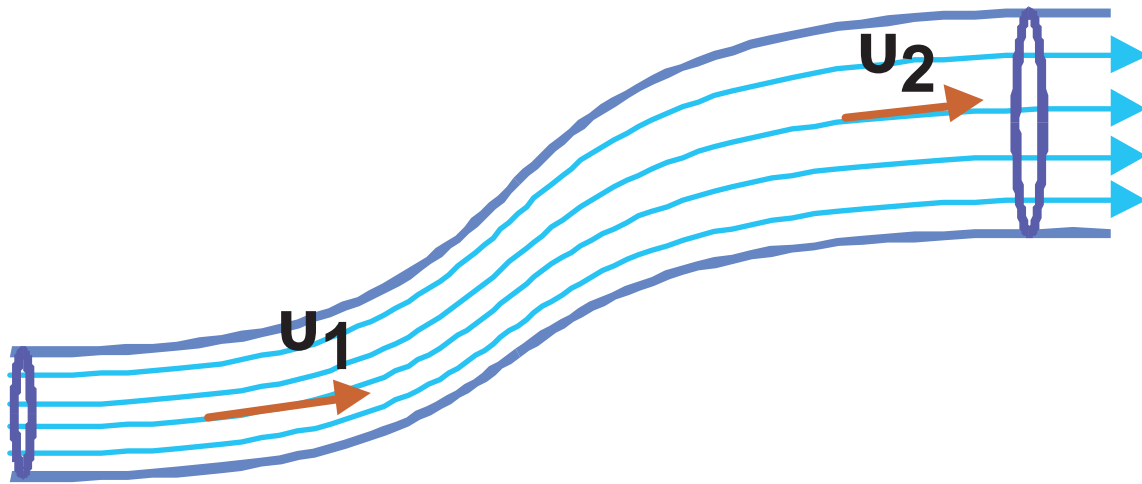
Στην πραγματικότητα η συμπεριφορά των κινούμενων ρευστών διαφέρει πολύ ή λίγο από τη συμπεριφορά των ιδανικών ρευστών. Για να διακρίνουμε τα υπαρκτά ρευστά από τα ιδανικά θα τα ονομάζουμε **πραγματικά ρευστά**.

Η ροή ενός ιδανικού ρευστού είναι **στρωτή**, δηλαδή δεν παρουσιάζει στροβίλους.

Ρευματικές γραμμές - Φλέβα - Παροχή

Το σύνολο των θέσεων από τις οποίες περνά κάθε μόριο του ρευστού στη διάρκεια της κίνησής του ορίζει μια γραμμή που την ονομάζουμε **ρευματική γραμμή**. Εφόσον η ρευματική γραμμή είναι στην πραγματικότητα η τροχιά του μορίου, η ταχύτητά

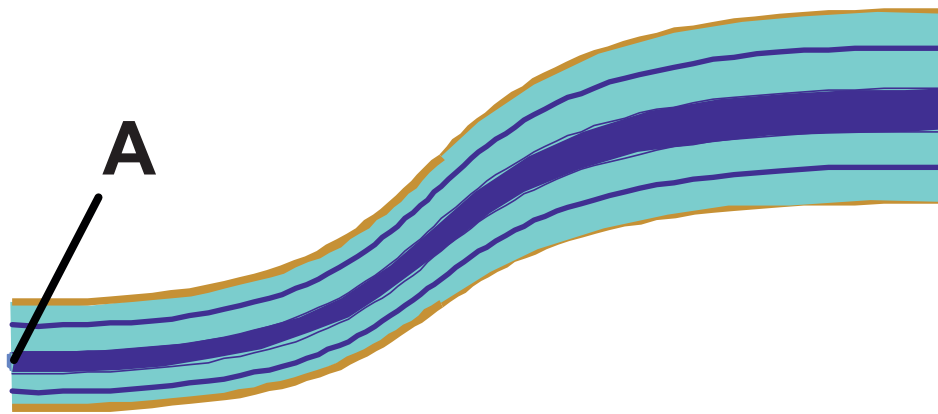
του σε κάθε θέση θα είναι εφαπτομένη της ρευματικής γραμμής πράγμα που σημαίνει ότι δύο ρευματικές γραμμές δεν είναι δυνατόν να τέμνονται (σχ. 3.5).



Ρευματική γραμμή είναι η τροχιά ενός μορίου του υγρού.
Σχήμα 3-5.

Αν θεωρήσουμε μια επιφάνεια **A** κάθετη στη διεύθυνση του σωλήνα¹, μέσα στον οποίο κινείται ένα ρευστό και από κάθε σημείο του περιγράμματος της **A** σχεδιάσουμε την αντίστοιχη ρευματική γραμμή μέσα στο ρευστό σχηματίζεται ένας νοητός σωλήνας που ονομάζεται **φλέβα** (σχ. 3.6).

¹ Ως σωλήνες θεωρούμε κάθε μορφής τοιχώματα που περιορίζουν το κινούμενο ρευστό. Για παράδειγμα σωλήνες μπορούν να θεωρηθούν η κοίτη και τα πλευρικά τοιχώματα στη ροή των ποταμών ή οι κοιλάδες στην κίνηση των ανέμων.



Σε κάθε σημείο στο περίγραμμα της επιφάνειας A αντιστοιχεί μια ρευματική γραμμή. Όλες αυτές οι ρευματικές γραμμές ορίζουν μία φλέβα.

Σχήμα 3-6.

Όπως φαίνεται από τον ορισμό της το ρευστό που κυλάει σε κάποια φλέβα δεν αναμιγνύεται με το περιεχόμενο άλλης φλέβας του σωλήνα.

Από μια διατομή του σωλήνα ή της φλέβας σε χρόνο Δt περνάει ένας όγκος υγρού ΔV . Το πηλίκο

$$\Pi = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.4)$$

ονομάζεται **παροχή** του σωλήνα ή της φλέβας και μετριέται σε **m^3/s** .

Αν η διατομή του σωλήνα είναι **A** και το υγρό στο χρονικό διάστημα **Δt** έχει μετατοπιστεί κατά **Δx** , μπορούμε να γράψουμε

$$\Delta V = A\Delta x \quad (3.5)$$

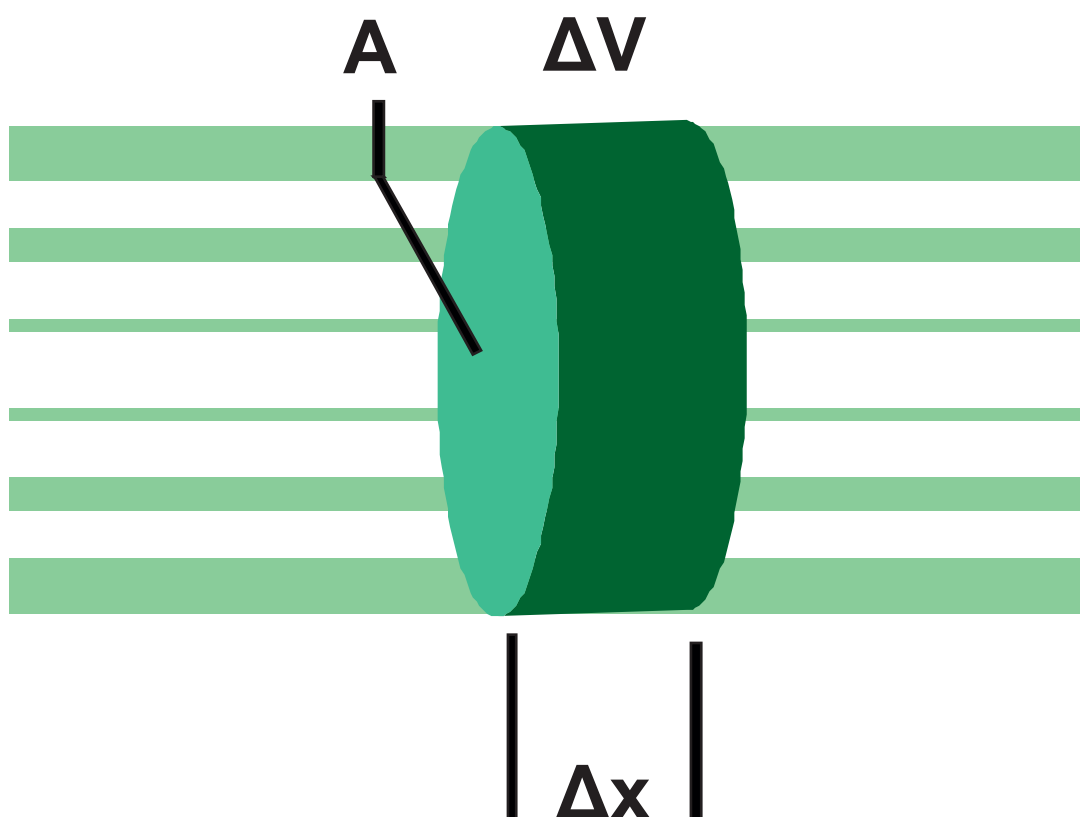
Αντικαθιστώντας την (3.5) στην (3.4) προκύπτει

$$\Pi = \frac{A\Delta x}{\Delta t}$$

και επειδή το πηλίκο $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ισούται με την ταχύτητα του υγρού στη θέση αυτή

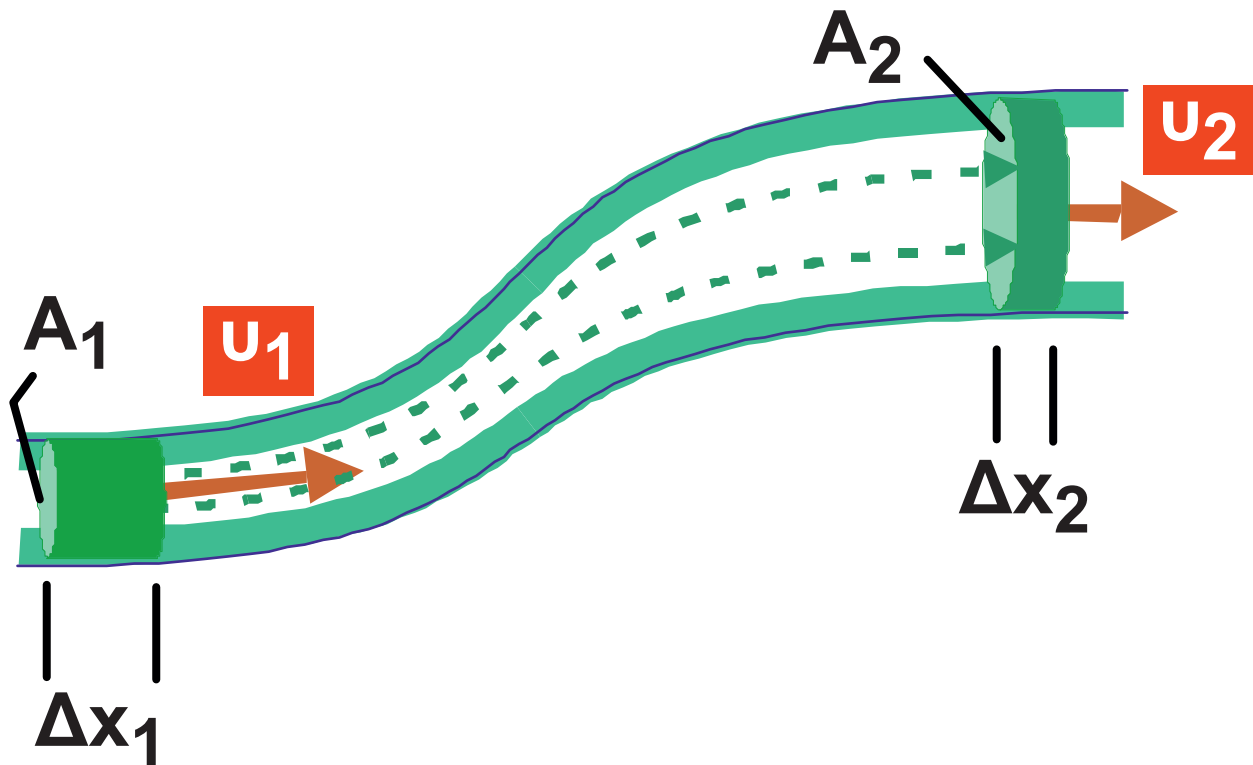
$$\Pi = Au$$

Η παροχή σωλήνα ή φλέβας σε κάποια θέση είναι ίση με το γινόμενο του εμβαδού της διατομής επί την ταχύτητα του ρευστού στη θέση αυτή.



Στο χρονικό διάστημα Δt , από μια διατομή A του σωλήνα περνάει υγρό όγκου $A \Delta x$.

Σχήμα 3-7.



Αν το ρευστό που ρέει στο σωλήνα είναι ασυμπίεστο, το γινόμενο $A u$ είναι σταθερό.
Σχήμα 3-8.

(3.4.) Διατήρηση Ύλης και η Εξίσωση Συνέχειας

Θεωρούμε ένα ασυμπίεστο ρευστό που ρέει μέσα σ' ένα σωλήνα μεταβλητής διατομής (σχ. 3.8). Υποθέτουμε ότι η ροή είναι στρωτή.

Επειδή το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο θα πρέπει η μάζα Δm_1 που περνάει από μία διατομή A_1 του σωλήνα σε χρόνο Δt να είναι ίση με τη μάζα Δm_2 που περνάει στο ίδιο χρονικό διάστημα από μία άλλη διατομή του σωλήνα A_2 . Είναι δηλαδή

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 \quad (3.6)$$

ή $\rho \Delta V_1 = \rho \Delta V_2$

όπου ΔV_1 και ΔV_2 οι στοιχειώδεις όγκοι που καταλαμβάνουν μέσα στο σωλήνα οι μάζες Δm_1 και Δm_2 αντίστοιχα.

Αλλά $\Delta V_1 = A_1 \Delta x_1 = A_1 u_1 \Delta t$ και $\Delta V_2 = A_2 \Delta x_2 = A_2 u_2 \Delta t$ όπου u_1 και u_2 οι ταχύτητες του ρευστού στις διατομές A_1 και A_2 αντίστοιχα.¹

Η εξίσωση (3.6) γίνεται

$$A_1 u_1 \Delta t = A_2 u_2 \Delta t \quad (3.7)$$

και τελικά

$$\boxed{A_1 u_1 = A_2 u_2} \quad (3.8)$$

Η εξίσωση αυτή ονομάζεται **εξίσωση της συνέχειας** και είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ύλης.

¹ Υπενθυμίζεται ότι το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο. Αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητά του είναι ίδια σε όλη την έκτασή του.

Επειδή $\Pi = Au$ η (3.8) γράφεται και

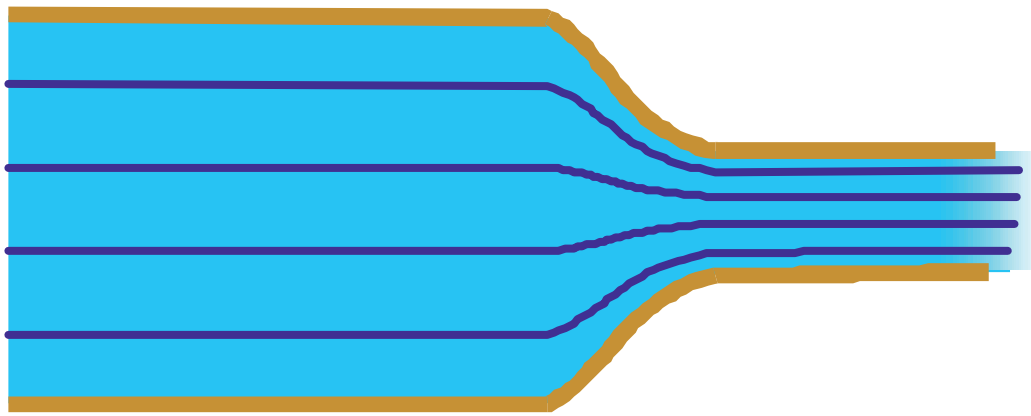
$$\Pi_1 = \Pi_2 \text{ ή } \Pi = \text{σταθερό} \quad (3.9)$$

Η σχέση (3.9) ισχύει για σωλήνα αλλά και για φλέβα και διατυπώνεται ως εξής:

Κατά μήκος ενός σωλήνα ή μιας φλέβας η παροχή διατηρείται σταθερή.

Από τη σχέση (3.8) φαίνεται ότι κατά μήκος ενός σωλήνα που δεν έχει σταθερή διατομή, η ταχύτητα του υγρού δεν είναι παντού ίδια. Σε σημεία όπου ο σωλήνας στενεύει η ταχύτητα ροής είναι πιο μεγάλη. Κατά μήκος ενός ποταμού με σταθερό πλάτος πολλές φορές το βάθος ποικίλει. Όπου το ποτάμι έχει μικρό βάθος έχει και μικρή εγκάρσια διατομή. Επειδή η παροχή είναι σταθερή,

στις περιοχές όπου το ποτάμι είναι ρηχό το νερό κυλάει γρηγορότερα. Παραστατικά μπορούμε να πούμε ότι εκεί που οι ρευματικές γραμμές πυκνώνουν η ταχύτητα ροής είναι πιο μεγάλη (σχ. 3.9).



Η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη εκεί που πυκνώνουν οι ρευματικές γραμμές.

Σχήμα 3-9.

Παράδειγμα 3.2

Ένας κυλινδρικός σωλήνας συνδέεται με βρύση παροχής $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$.

α) Εάν ο σωλήνας έχει διάμετρο 3 cm

ποια η ταχύτητα ροής του νερού μέσα στο σωλήνα; β) Με τι ταχύτητα εκτοξεύεται το νερό αν μειώσουμε με το δάχτυλό μας, στο μισό, τη διατομή του σωλήνα;

Απάντηση:

$$\alpha) \frac{\Delta V}{\Delta t} = Au \quad \text{άρα} \quad u = \frac{1}{A} \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{οπότε}$$

$$u = \frac{1}{\pi \frac{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{4}} 0,001 \text{ m}^3/\text{s} =$$
$$= 1,42 \text{ m/s}$$

$$\beta) A_1 u_1 = A_2 u_2 \quad \text{οπότε} \quad u_2 = u_1 \frac{A_1}{A_2}$$

και τελικά

$$u_2 = (1,42 \text{ m/s}) \cdot 2 = 2,84 \text{ m/s}$$

(3.5.) Η Διατήρηση Ενέργειας και η Εξίσωση του Bernoulli (Μπερνούλι)

Από την καθημερινή μας εμπειρία γνωρίζουμε ότι η πίεση ενός ρευστού που ρέει μέσα σε ένα σωλήνα είναι, εν γένει, διαφορετική ανάμεσα σε δύο σημεία που έχουν υψομετρική διαφορά. Το νερό στις βρύσες του πέμπτου ορόφου έχει μικρότερη πίεση από το νερό στις βρύσες του ισόγειου.

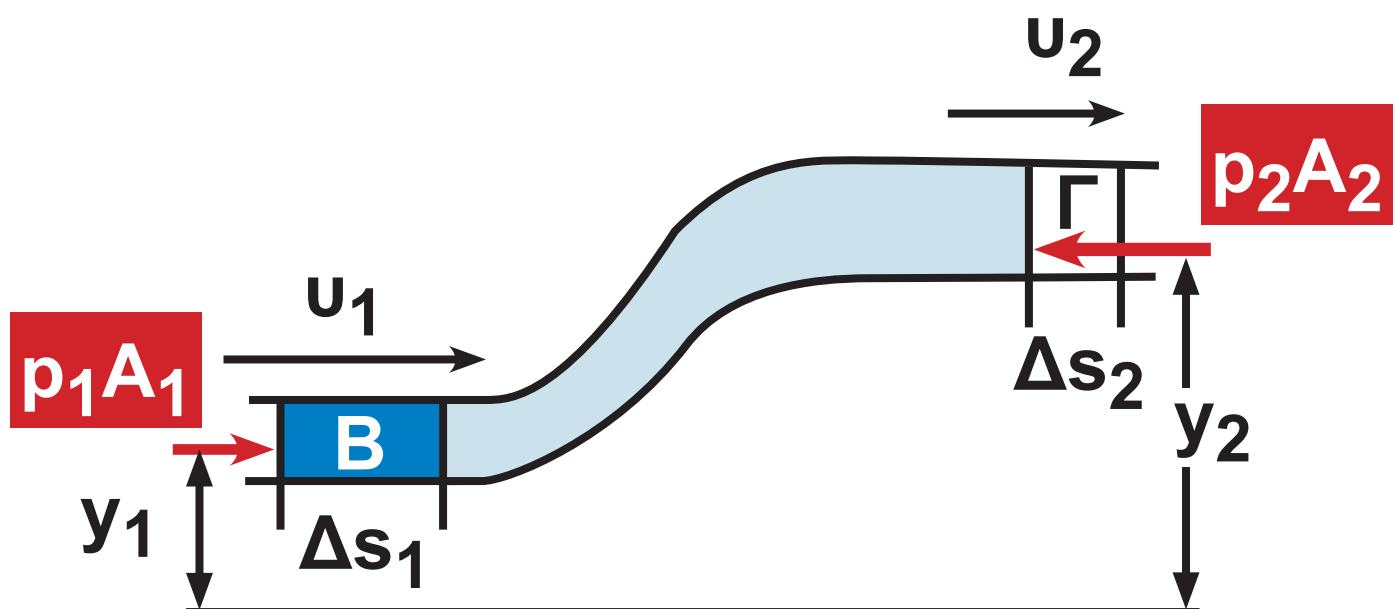
Σε ένα σωλήνα που η διατομή του δεν είναι παντού ίδια, η ταχύτητα του υγρού μεταβάλλεται (εξίσωση της συνέχειας). Δηλαδή μια μικρή μάζα Δm του υγρού σε άλλες περιοχές του σωλήνα επιταχύνεται και σε άλλες επιβραδύνεται. Στις περιπτώσεις αυτές η συνολική δύναμη που δέχεται αυτή η μάζα από το περιβάλλον υγρό

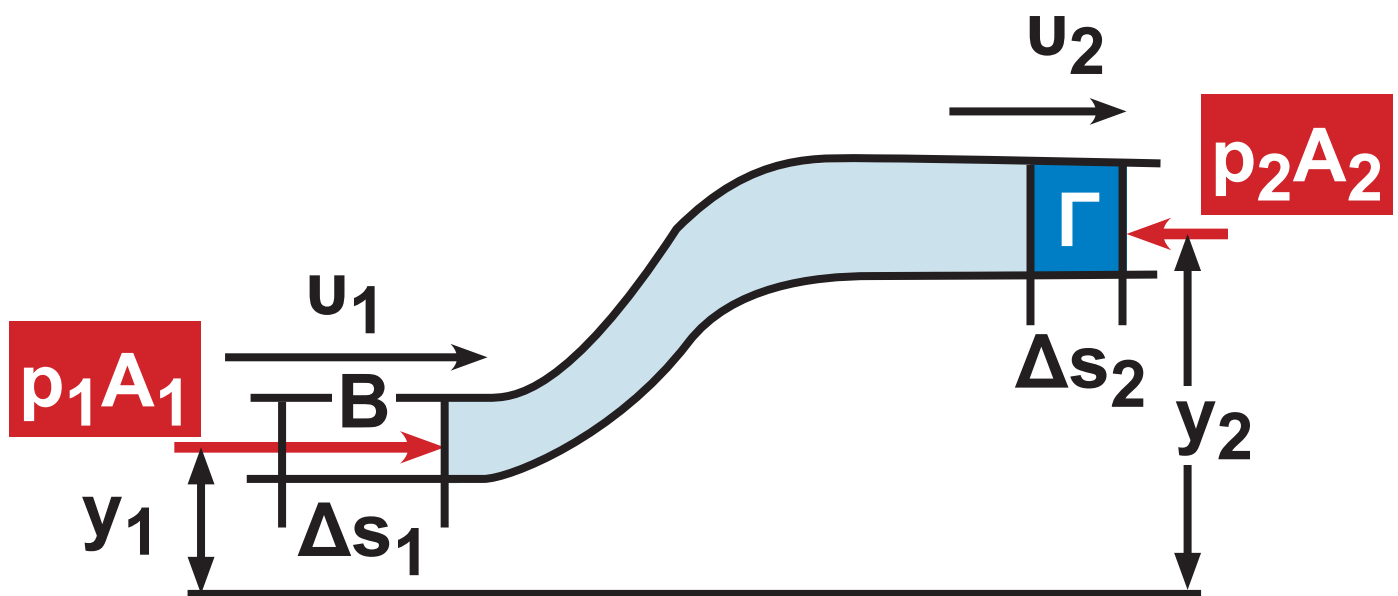
δεν είναι μηδενική και κατά συνέπεια η πίεση δε μπορεί να είναι ίδια σε όλες τις περιοχές του σωλήνα.

Το 1738 ο Ελβετός Daniel Bernoulli βρήκε μια σχέση που συνδέει την πίεση με την ταχύτητα και με το ύψος.

Έστω ότι έχουμε ένα σωλήνα μεταβλητής διατομής μέσα στον οποίο ρέει ένα ασυμπίεστο ρευστό (σχ. 3.10). Θα εξετάσουμε την πίεση σε δύο σημεία **B**, **Γ**, του σωλήνα. Το σημείο **B** βρίσκεται σε ύψος y_1 από το έδαφος και ο σωλήνας έχει στην περιοχή του **B** διατομή A_1 . Η πίεση του ρευστού στο **B** είναι p_1 . Το σημείο **Γ** βρίσκεται σε ύψος y_2 από το έδαφος, η διατομή του σωλήνα εκεί είναι A_2 και η πίεση p_2 . Αν θεωρήσουμε σαν σύστημα το ρευστό από το **B** μέχρι το **Γ**, βλέπουμε ότι δέχεται από το υπόλοιπο ρευστό μια δύναμη $p_1 A_1$

στην περιοχή του **B** και μια δύναμη, την $p_2 A_2$ στην περιοχή του **Γ**, με φορά αντίθετη με τη φορά της $p_1 A_1$. Σ' ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα Δt ένα στοιχειώδες τμήμα του ρευστού στην περιοχή του **B** μετατοπίζεται κατά Δs_1 ενώ ένα αντίστοιχο τμήμα του ρευστού ίσης μάζας, άρα και όγκου, στην περιοχή του **Γ** μετατοπίζεται κατά Δs_2 .





Ασυμπίεστο ρευστό ρέει με στρωτή ροή μέσα σε ένα σωλήνα. Το ρευστό που βρίσκεται στο μέρος του σωλήνα με μήκος Δs_1 μετακινείται στο μέρος του σωλήνα που έχει μήκος Δs_2 . Οι όγκοι του ρευστού στα δύο μέρη είναι ίσοι.

Σχήμα 3-10.



Daniel Bernoulli (1700 - 1782). Ελβετός φυσικός και μαθηματικός, από οικογένεια διάσημων μαθηματικών. Η πιο φημισμένη του εργασία ήταν πάνω στην υδροδυναμική. Οι μελέτες του Bernoulli πάνω στα ρευστά αποτέλεσαν την απαρχή της κινητικής θεωρίας των αερίων. Ο Bernoulli τιμήθηκε πολύ στη διάρκεια της ζωής του με σειρά από αξιώματα και θέσεις στα πανεπιστήμια της εποχής του.

Εικόνα 3-3.

Θα εφαρμόσουμε το θεώρημα έργου – ενέργειας στο μικρό χρονικό διάστημα Δt . Σύμφωνα με αυτό

$$W + W_B = \Delta K \quad (3.10)$$

όπου W το έργο που προσφέρεται στο τμήμα του ρευστού από το B στο Γ από το περιβάλλον ρευστό. Το έργο αυτό θα είναι το έργο της δύναμης $p_1 A_1$ (θετικό) συν το έργο της $p_2 A_2$ (αρνητικό)

$$W = p_1 A_1 \Delta s_1 - p_2 A_2 \Delta s_2 \quad (3.11)$$

$$\text{Όμως } A_1 \Delta s_1 = A_2 \Delta s_2 = \Delta V$$

$$\text{Οπότε } W = (p_1 - p_2) \Delta V$$

Το έργο του βάρους στο ίδιο χρονικό διάστημα είναι

$$\begin{aligned} W_B &= -\Delta m g (y_2 - y_1) = \\ &= -\rho \Delta V g (y_2 - y_1) \end{aligned} \quad (3.12)$$

καθώς, στην ουσία, ένα τμήμα του ρευστού Δm έφυγε από το ύψος y_1 και βρέθηκε στο ύψος y_2 .

Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας θα είναι

$$\begin{aligned} \Delta K &= \frac{1}{2} \Delta m u_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m u_1^2 = \\ &= \frac{1}{2} \rho \Delta V (u_2^2 - u_1^2) \end{aligned} \quad (3.13)$$

όπου u_1 η ταχύτητα του ρευστού στο B και u_2 η ταχύτητα του ρευστού στο Γ.

Αντικαθιστώντας τις (3.11), (3.12) και (3.13) στη σχέση (3.10) έχουμε

$$(p_1 - p_2)\Delta V - \rho\Delta V g(y_2 - y_1) = \\ = \frac{1}{2} \rho\Delta V(u_2^2 - u_1^2)$$

Απλοποιούμε τα ΔV και αναδιατάσσοντας την εξίσωση έχουμε

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 + \rho g y_2$$

Η σχέση αυτή ισχύει για οποιοδήποτε ζεύγος σημείων άρα μπορεί να γραφτεί και με τη μορφή

$$p + \frac{1}{2} \rho u^2 + \rho g y = \text{σταθερό}$$

Η παραπάνω σχέση είναι η **εξίσωση του Bernoulli** για ιδανικό ρευστό.

Από την εξίσωση του Bernoulli προκύπτει ότι

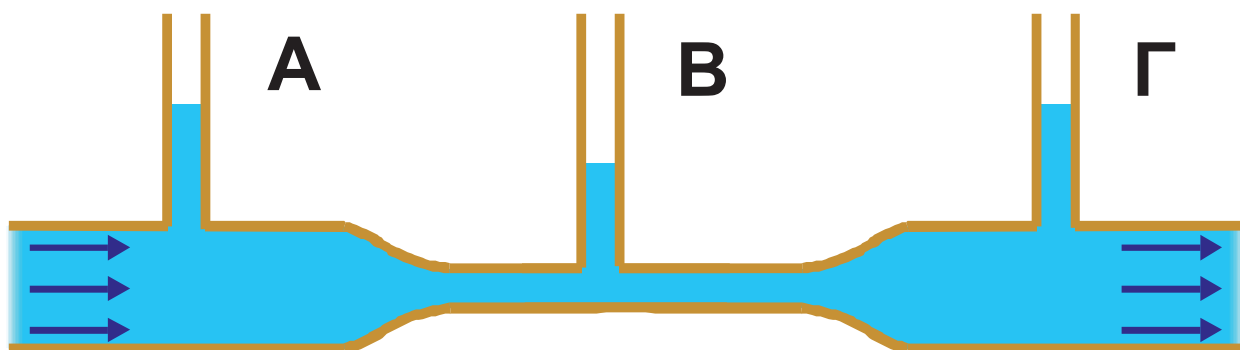
το άθροισμα της πίεσης (p), της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου ($\frac{1}{2} \rho v^2$) και της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου ($\rho g y$) έχει την ίδια σταθερή τιμή σε οποιοδήποτε σημείο της ρευματικής γραμμής.

Η εξίσωση του Bernoulli αποτελεί έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη ροή των ρευστών.

Αν ο σωλήνας είναι οριζόντιος η εξίσωση του Bernoulli παίρνει τη μορφή

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{σταθερό}$$

από όπου φαίνεται ότι σε περιοχές όπου πυκνώνουν οι ρευματικές γραμμές (μικρή διατομή του σωλήνα) και η ταχύτητα ροής αυξάνεται, η πίεση ελαττώνεται.



Στο στενό μέρος του σωλήνα η ταχύτητα του υγρού είναι μεγαλύτερη. Το ύψος της στάθμης του υγρού πάνω από την περιοχή αυτή δείχνει ότι η πίεση στο σωλήνα είναι μικρότερη.

Σχήμα 3-11.

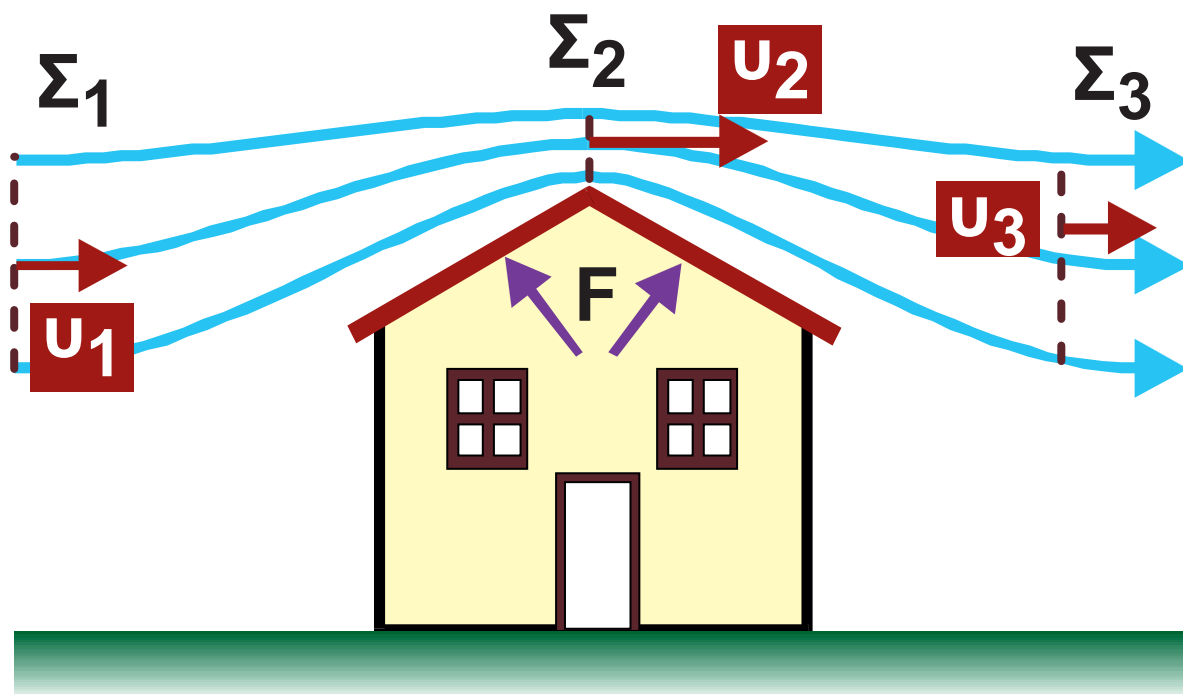
Εφαρμογή 3-1

Γιατί ο δυνατός άνεμος παρασέρνει τις στέγες των σπιτιών;

Ο δυνατός άνεμος όταν συναντά το σπίτι (σχ. 3.12) περνά πάνω από αυτό, με αποτέλεσμα η φλέβα του αέρα να στενεύει στη θέση Σ_2 πάνω από τη στέγη, άρα η ταχύτητά του u_2 να είναι μεγαλύτερη από τις ταχύτητες u_1 και u_3 που έχει στις θέσεις Σ_1 και Σ_3 , αντίστοιχα, πριν και μετά απ' αυτήν (εξίσωση συνέχειας).

Επειδή στη θέση Σ_2 η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα στις θέσεις Σ_1 και Σ_3 , σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli η πίεση στο Σ_2 θα είναι μικρότερη από αυτήν στις θέσεις Σ_1 και Σ_3 . Η πίεση πάνω από τη στέγη θα είναι ακόμη μικρότερη από αυτήν που επικρατεί

στο εσωτερικό του σπιτιού όπου ο αέρας είναι ακίνητος. Η ισορροπία δυνάμεων που διατηρεί τη στέγη στη θέση της διαταράσσεται, με αποτέλεσμα η στέγη να τείνει να ανυψωθεί.

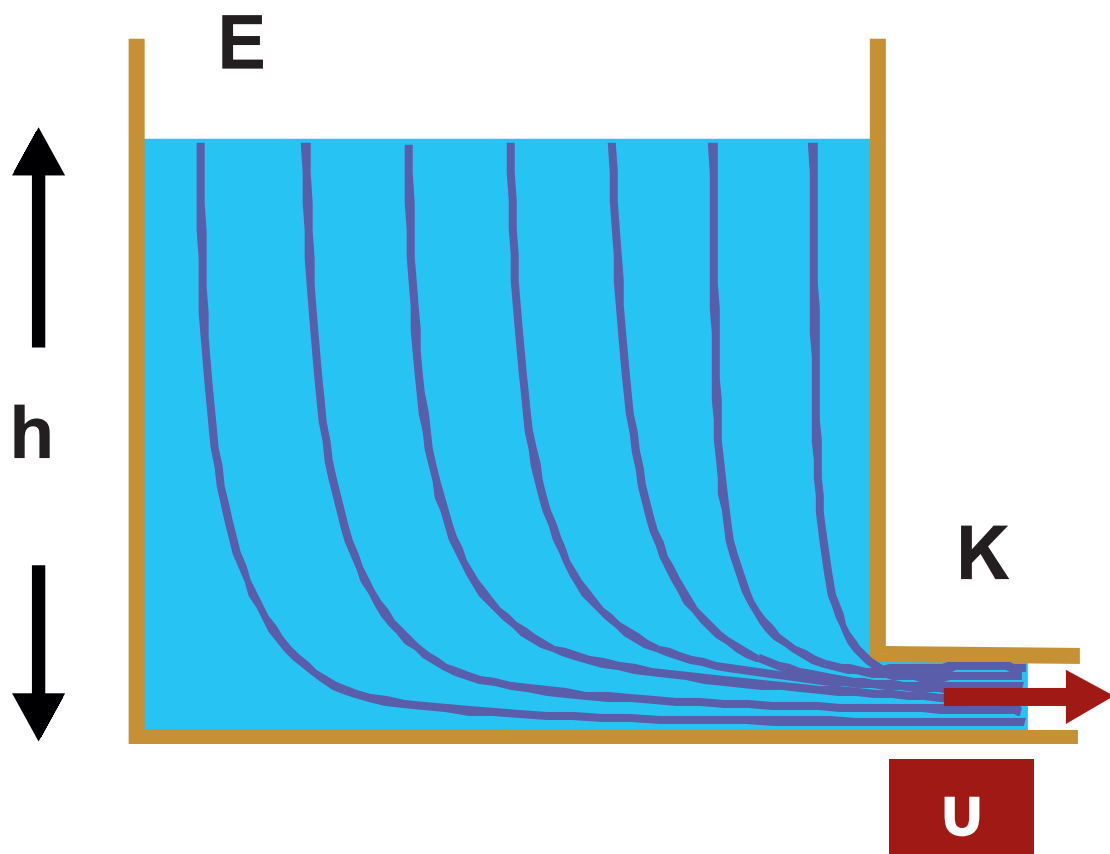


Σχήμα 3-12.

Εφαρμογή 3-2

Θεώρημα Torricelli (Υπολογισμός ταχύτητας εκροής υγρού από ανοικτό δοχείο)

Έστω ότι έχουμε το δοχείο του **σχήματος 3.13** στη βάση του οποίου υπάρχει στόμιο εκροής.



Σχήμα 3-13.

Εφαρμόζουμε το νόμο του Bernoulli για τις θέσεις **E** (ελεύθερη επιφάνεια) και **K** (στόμιο εκροής):

$$p_E + \frac{1}{2} \rho v_E^2 + \rho g h = p_K + \frac{1}{2} \rho v_K^2 + 0 \quad (3.14)$$

Η πίεση τόσο στην ελεύθερη επιφάνεια όσο και στο σημείο εξόδου είναι η ατμοσφαιρική, δηλαδή:

$$p_E = p_K = p_{at} \quad (3.15)$$

Η ταχύτητα με την οποία κατεβαίνει η στάθμη του υγρού μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα συγκριτικά με την ταχύτητα με την οποία ρέει το νερό στο **K**

$$v_E = 0 \quad (3.16)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις (3.15) και (3.16) και επιλύοντας την (3.14) ως προς u_K βρίσκουμε

$$u_K = \sqrt{2gh}$$

που αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του **θεωρήματος του Torricelli** (Τορικέλι).

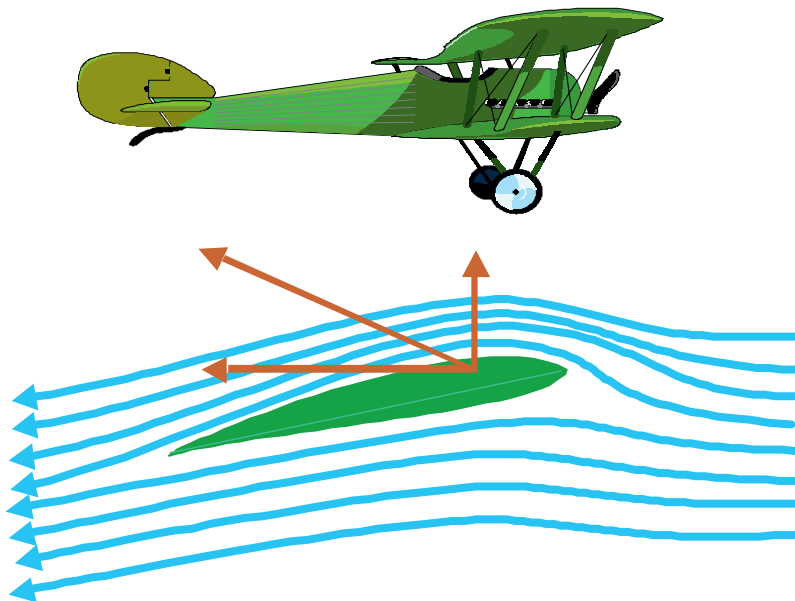
Η ταχύτητα εκροής υγρού από στόμιο που βρίσκεται σε βάθος h από την ελεύθερη επιφάνειά του είναι ίση με την ταχύτητα που θα είχε το υγρό αν έπεφτε ελεύθερα από ύψος h .

Εφαρμογή 3.3

Ποια δύναμη ανυψώνει τα αεροπλάνα;

Οι πτέρυγες των αεροπλάνων είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε, όταν κινούνται, οι ρευματικές γραμμές του αέρα

να παρουσιάζουν πύκνωση στο επάνω μέρος τους και αραίωση στο κάτω (σχ. 3.14).



Σχήμα 3-14.

Η πίεση στο άνω μέρος των πτερυγίων είναι μικρότερη από αυτήν στο κάτω μέρος. Η δύναμη που δέχονται οι πτέρυγες λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης λέγεται **αεροδύναμη** ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα της λέγεται **δυναμική άνωση**.

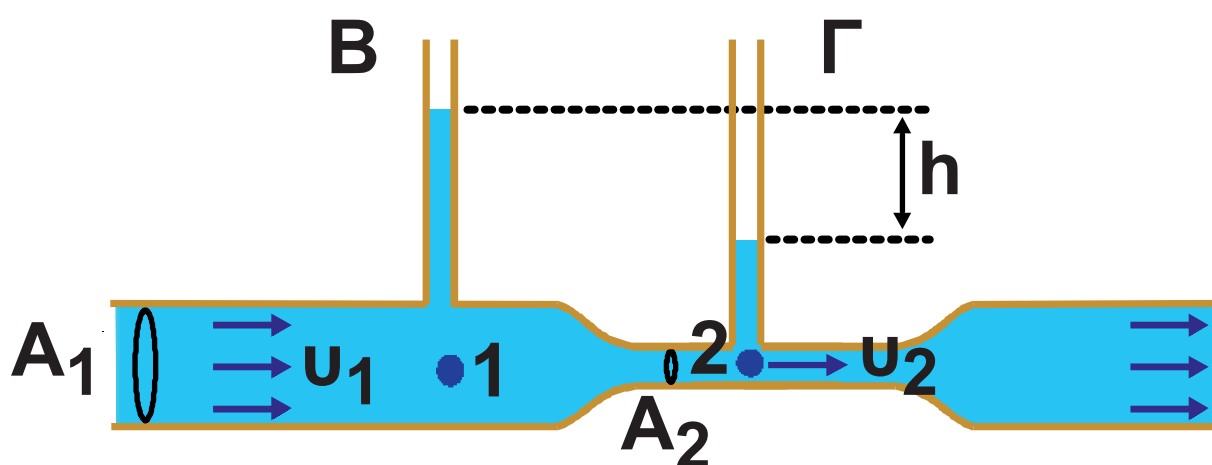
Οι πιέσεις που αναπτύσσονται είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ρευστού, στην περίπτωση μας του αέρα, ή, αν το δούμε αντίστροφα, της ταχύτητας του αεροπλάνου ως προς τον αέρα.

Αν η ταχύτητα του αεροπλάνου είναι τέτοια ώστε η δυναμική άνωση που προκύπτει να είναι μεγαλύτερη από το βάρος του αεροπλάνου, το αεροπλάνο ανυψώνεται.

Στην πραγματικότητα το φαινόμενο είναι πολυπλοκότερο. Η ροή του αέρα πάνω και κάτω από τις πτέρυγες είναι τυρβώδης και για να υπολογισθεί ακριβέστερα η δυναμική άνωση απαιτούνται πολύπλοκοι υπολογισμοί.

Παράδειγμα 3.3

Το ροόμετρο του Ventouri. Το σχήμα 3.15 δείχνει μία διάταξη που χρησιμεύει για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής σε ένα σωλήνα. Αν είναι γνωστές οι διατομές A_1 και A_2 , του σωλήνα και η υψομετρική διαφορά h στη στάθμη των δύο κατακόρυφων ανοιχτών σωληνίων B και Γ , να βρεθεί η ταχύτητα ροής στην περιοχή του σωλήνα που έχει διατομή A_1 .



Σχήμα 3-15.

Απάντηση:

Εφαρμόζοντας την εξίσωση του Bernoulli στα σημεία 1 και 2 που βρίσκονται στο ίδιο ύψος έχουμε

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 \quad (3.17)$$

Από την εξίσωση της συνέχειας έχουμε ότι

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 \quad \text{ή} \quad u_2 = \frac{A_1}{A_2} u_1 \quad (3.18)$$

Αντικαθιστώντας την (3.18) στην (3.17) έχουμε

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \frac{A_1^2}{A_2^2} u_1^2$$
$$\text{ή} \quad p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho u_1^2 \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right) \quad (3.19)$$

Όμως $p_1 = p_{at} + \rho g h_1$

και $p_2 = p_{at} + \rho g h_2$ **(3.20)**

όπου h_1 το ύψος της στήλης του νερού πάνω από το σωλήνα μετρημένο από το σημείο 1 και h_2 το ύψος της στήλης του νερού μετρημένο από το σημείο 2.

Αφαιρώντας κατά μέλη τις **(3.20)** παίρνουμε

$$p_1 - p_2 = \rho g (h_1 - h_2) = \rho g h \quad \textbf{(3.21)}$$

Αντικαθιστώντας στην **(3.19)** την **(3.21)**

$$\text{βρίσκουμε } \rho g h = \frac{1}{2} \rho u_1^2 \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)$$

$$\text{και τελικά } u_1 = \sqrt{\frac{2gh}{(A_1/A_2)^2 - 1}}$$

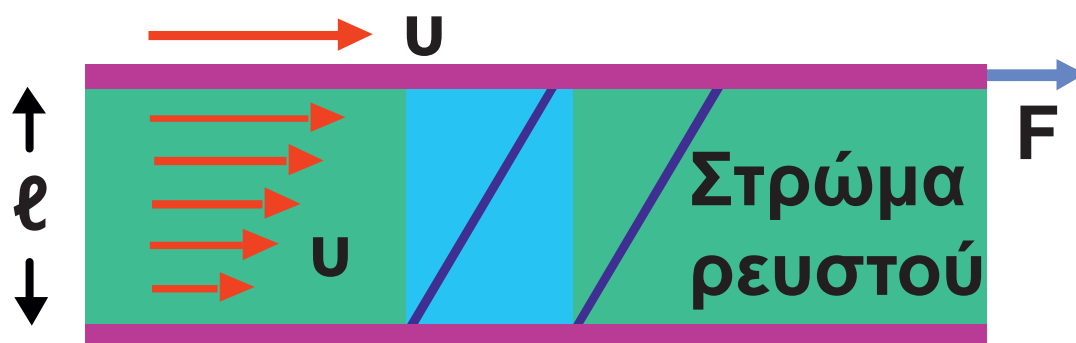
(3.6.) Η Τριβή στα Ρευστά

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε ότι τα ρευστά ρέουν χωρίς να αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής στο εσωτερικό τους, δηλαδή δυνάμεις που να αντιτίθενται στην κίνηση ενός τμήματος του ρευστού ως προς ένα άλλο τμήμα του. Στα πραγματικά ρευστά οι δυνάμεις αυτές υπάρχουν κι έχουν πολύ σημαντικές πρακτικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη λίπανση των τμημάτων μιας μηχανής που θα ήταν αδύνατη αν το λιπαντικό δεν παρουσίαζε κατά τη ροή του τέτοιες δυνάμεις.

Η εσωτερική τριβή μέσα σ' ένα ρευστό ονομάζεται ιξώδες.

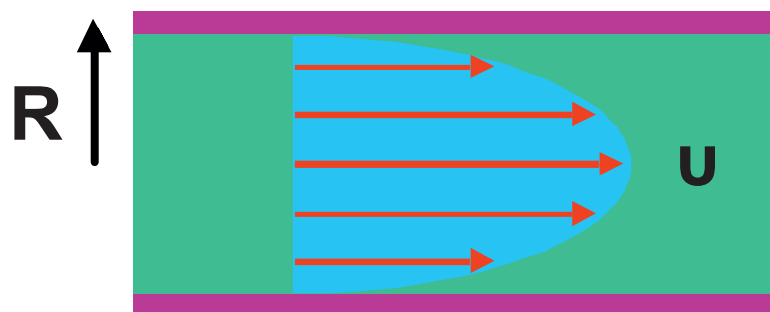
Ας θεωρήσουμε δύο γυάλινες οριζόντιες πλάκες εμβαδού **A** όπως στο **σχήμα 3.16**. Σταθεροποιούμε την κάτω πλάκα και απλώνουμε πάνω της

ένα στρώμα από μέλι πάχους l . Στη συνέχεια τοποθετούμε τη δεύτερη πλάκα πάνω στο μέλι και τη μετακινούμε με σταθερή ταχύτητα u σε σχέση με την κάτω ακίνητη πλάκα. Διαπιστώνουμε ότι για να συνεχιστεί η κίνηση απαιτείται να ασκηθεί κάποια δύναμη F . Η δύναμη αυτή απαιτείται για να αντισταθμίσει τις τριβές (ιξώδεις), που αναπτύσσονται μεταξύ των στρωμάτων του μελιού που κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο.



Στρώμα υγρού που περιέχεται μεταξύ δύο γυάλινων οριζόντιων πλακών, από τις οποίες η κάτω είναι ακίνητη ενώ η επάνω κινείται με ταχύτητα u .
Σχήμα 3-16.

Βλέπουμε ότι το ανώτερο στρώμα έχει προσκολληθεί στην πάνω πλάκα και κινείται με ταχύτητα u ενώ το κατώτερο έχει προσκολληθεί στην κάτω πλάκα και παραμένει ακίνητο. Όλα τα ενδιάμεσα στρώματα έχουν ταχύτητες διαφορετικές μεταξύ τους, που αυξάνουν σταδιακά από 0 έως u καθώς πηγαίνουμε από την κάτω πλάκα προς την πάνω.



Διάγραμμα ταχυτήτων για ένα ρευστό σε κυλινδρικό σωλήνα ακτίνας R .
Σχήμα 3-17.

Εάν αντικαταστήσουμε το μέλι με ένα άλλο ρευστό που ρέει ευκολότερα, για παράδειγμα το λάδι, διαπιστώνουμε ότι η δύναμη που πρέπει να ασκούμε στην πάνω πλάκα για να διατηρείται η ταχύτητά της σταθερή είναι μικρότερη. Επίσης η δύναμη είναι μικρότερη εάν, για το ίδιο ρευστό, μεταξύ των πλακών αυξήσουμε το πάχος του l . Αντίθετα η δύναμη γίνεται μεγαλύτερη αν οι επιφάνειες των πλακών είναι μεγαλύτερες ή αν επιχειρήσουμε να μετακινήσουμε την πάνω πλάκα με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Αποδεικνύεται ότι το μέτρο της δύναμης F δίνεται από τη σχέση

$$F = \eta A \frac{u}{\ell} \quad (3.22)$$

Ο συντελεστής η είναι χαρακτη-
ριστικός κάθε ρευστού ονομάζεται **συ-
ντελεστής ιξώδους** και όπως φαίνε-
ται και από την (3.22), στο S.I., με-
τρίεται σε $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$. Στην πράξη ο συ-
ντελεστής ιξώδους μετρίεται σε
poise (πουάζ) ($1\text{P} = 1\text{dyn}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$).

Παρακάτω παραθέτουμε έναν πί-
νακα με το συντελεστή ιξώδους δια-
φόρων ρευστών.

Ρευστό	$\theta (^{\circ}\text{C})$	Συντελεστής Ιξώ- δους $\eta (\text{Ns}/\text{m}^2)$
Νερό	20	$1,0 \times 10^{-3}$
Νερό	100	$0,3 \times 10^{-3}$
Αίμα	37	$2,7 \times 10^{-3}$
Γλυκερίνη	20	830×10^{-3}
Μηχανέλαιο (δεκάρι)	30	250×10^{-3}

Πρέπει να πούμε ότι δεν υπακούουν όλα τα ρευστά στην εξίσωση (3.22). Δεν υπάρχει σε όλα τα ρευστά γραμμική αναλογία ανάμεσα στην εσωτερική τριβή που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους και την ταχύτητα ροής. Τα ρευστά που υπακούουν στην (3.22) τα ονομάζουμε **νευτώνεια ρευστά**.

Το αίμα παρουσιάζει κάποια ενδιαφέρουσα ιδιαιτερότητα. Το αίμα είναι ένα αιώρημα στερεών σωματιδίων μέσα σε υγρό. Καθώς αυξάνει η ταχύτητα ροής, για να μην αυξηθούν υπέρμετρα οι εσωτερικές τριβές, τα σωματίδια παραμορφώνονται και προσανατολίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνουν τη ροή.

Σύνοψη

Τα υγρά και τα αέρια τα ονομάζουμε με έναν όρο ρευστά.

Συμπιεστά λέγονται τα ρευστά των οποίων η πυκνότητα μεταβάλλεται αν μεταβληθεί η πίεσή τους για δεδομένη θερμοκρασία.

Ασυμπίεστα λέγονται τα ρευστά των οποίων η πυκνότητα δε μεταβάλλεται αν μεταβληθεί η πίεσή τους πάλι για μια δεδομένη θερμοκρασία.

Η πίεση που δημιουργεί ένα εξωτερικό αίτιο σε κάποιο σημείο του υγρού μεταφέρεται αναλλοίωτη σε όλα τα σημεία του. (**Νόμος του Pascal**).

Η πίεση στο εσωτερικό ενός ακίνητου ρευστού σε σχέση με το βάθος από την ελεύθερη επιφάνειά του δίνεται από την εξίσωση

$$p = p_{at} + \rho gh$$

Ένα ρευστό θα θεωρείται **ιδανικό**

1. Αν κινείται χωρίς εσωτερικές τριβές και τριβές με τα τοιχώματα του σωλήνα που το περιορίζει.

2. Αν το ρευστό είναι ασυμπίεστο.

Για όλα τα σημεία μιας φλέβας ρευστού η παροχή είναι σταθερή.

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 \text{ (εξίσωση συνέχειας)}$$

Η εξίσωση συνέχειας εκφράζει την αρχή διατήρησης της ύλης στο ρευστό.

Το άθροισμα της πίεσης, της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου και της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου έχει την ίδια σταθερή τιμή σε οποιοδήποτε σημείο της ρευματικής γραμμής.

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{σταθερό}$$

(εξίσωση του Bernoulli)

Η εξίσωση του Bernoulli αποτελεί έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη ροή των ρευστών.

Η εσωτερική τριβή ενός ρευστού ονομάζεται **ιξώδες**.

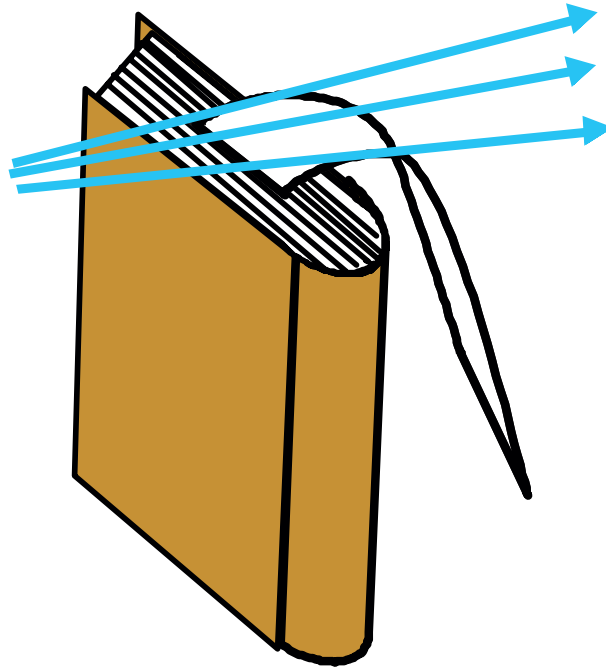
Το μέτρο της συνισταμένης των εσωτερικών τριβών που αναπτύσσονται στο ρευστό κατά τη ροή του δίνεται από τη σχέση

$$F = \eta A \frac{v}{\ell}$$

όπου η συντελεστής ιξώδους.

Δραστηριότητες

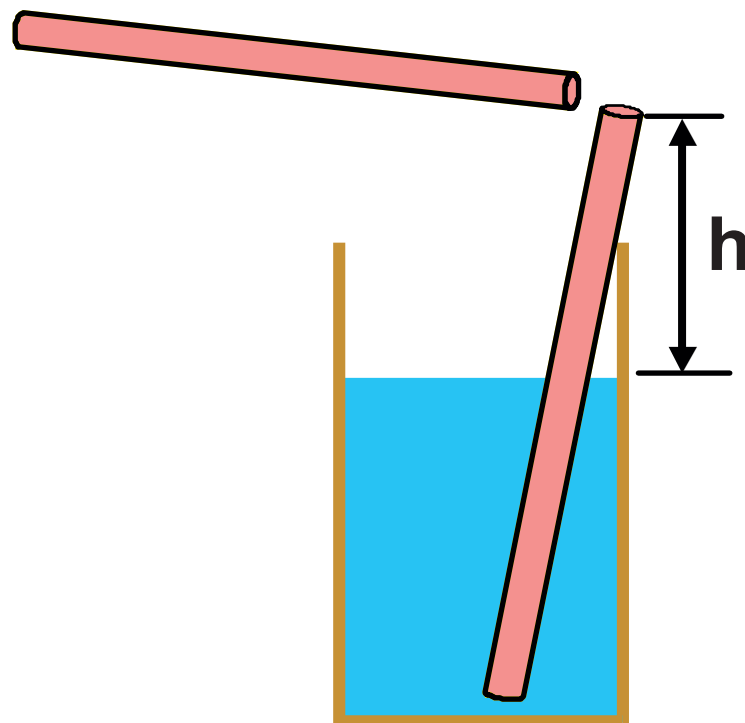
1. Κρατήστε στα χέρια σας δύο φύλλα χαρτιού ώστε να κρέμονται κατακόρυφα, με τις επιφάνειές τους παράλληλες. Φυσήξτε ανάμεσά τους. Θα τα δείτε να πλησιάζουν. Πώς εξηγείται το φαινόμενο;
2. Τοποθετήστε την άκρη μίας χάρτινης λουρίδας ανάμεσα στις σελίδες ενός βιβλίου. Κρατήστε το βιβλίο όπως στο **σχήμα 3.18** και φυσήξτε με δύναμη πάνω από τη χάρτινη λουρίδα. Η λουρίδα ανυψώνεται και μάλιστα περισσότερο όταν φυσάμε πιο δυνατά. Τι εξήγηση δίνετε;



Σχήμα 3-18.

3. Στην άκρη ενός νήματος στερεώστε ένα μπαλάκι του πινγκ-πονγκ. Κρατώντας την άλλη άκρη του σχοινιού πλησιάστε το μπαλάκι κοντά στο νερό μιας βρύσης. Το μπαλάκι κινείται προς τη μεριά της φλέβας του νερού; Πώς εξηγείται αυτό;

4. Τοποθετήστε ένα καλαμάκι μέσα σε ένα ποτήρι με νερό (σχ. 3.19). Με ένα άλλο καλαμάκι φουσήξτε στη πάνω άκρη του πρώτου. Θα προκληθεί ψεκασμός. Πώς εξηγείται το φαινόμενο; Είναι το ίδιο εύκολος ο ψεκασμός όποια και αν είναι η απόσταση h ; Ελέγξτε το πειραματικά. Πώς το αιτιολογείτε;



Σχήμα 3-19.

Ερωτήσεις

Υδροστατική πίεση - αρχή του Pascal

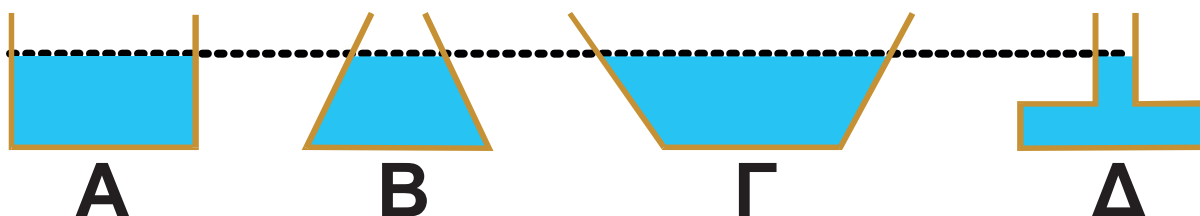
3.1 Συμπληρώστε τα κενά:
Ασυμπίεστο χαρακτηρίζεται
ένα ρευστό στο οποίο
η
του δε μεταβάλλεται όταν
μεταβάλλεται
η ΤΟΥ.
Στην πράξη ασυμπίεστα
ρευστά θεωρούμε
τα

3.2 Για ποιο λόγο τα φράγματα στις τεχνητές λίμνες κατασκευάζονται σχετικά λεπτά στην κορυφή τους και πολύ φαρδιά στη βάση τους;

3.3 Στο **σχήμα 3.20** φαίνονται τέσσερα δοχεία διαφορετικού σχήματος που οι βάσεις τους έχουν το ίδιο εμβαδόν.

α) Ποιο δοχείο περιέχει περισσότερο υγρό;

β) Συγκρίνατε τις πιέσεις στον πυθμένα των δοχείων.



Σχήμα 3-20.

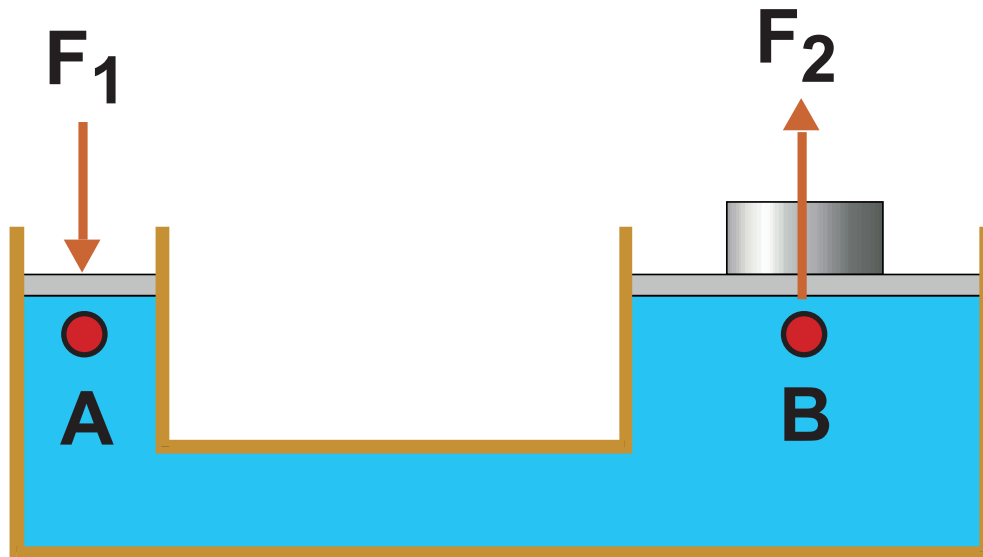
3.4 Στο **σχήμα 3.21** φαίνεται ένα υδραυλικό πιεστήριο (αρχή). Ασκούμε στο μικρό έμβολο δύναμη μέτρου F_1 .

1) Η πίεση στα σημεία **A** και **B** του υγρού θα αυξηθεί α) κατά το ίδιο ποσό β) περισσότερο στο **A** γ) περισσότερο στο **B**.

2) Το μέτρο της δύναμης F_2 που θα ασκήσει το υγρό στο μεγάλο έμβολο θα είναι α) ίσο με F_1 β) μεγαλύτερο από F_1 γ) μικρότερο από F_1 .

3) Το έργο της F_2 θα είναι α) ίσο με το έργο της F_1 β) μεγαλύτερο από το έργο της F_1 γ) μικρότερο από το έργο της F_1 .

Επιλέξτε τις σωστές προτάσεις.



Σχήμα 3-21.

Η εξίσωση της συνέχειας

3.5 Συμπληρώστε τις λέξεις που λείπουν:

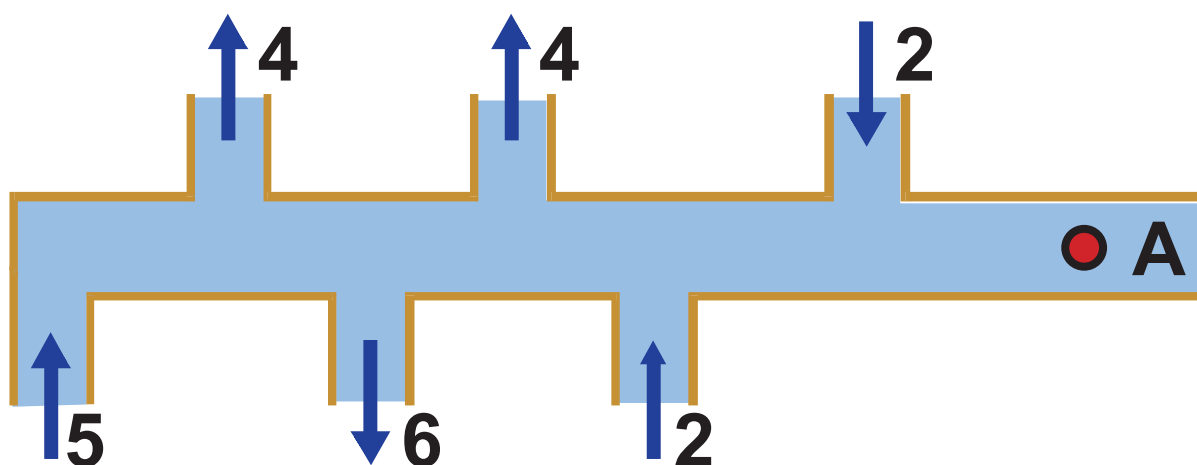
Ένα ρευστό χαρακτηρίζεται ιδανικό αν δεν εμφανίζει

.....

τριβές και

με τα τοιχώματα του σωλήνα που το περιέχει. Επίσης πρέπει να είναι

- 3.6 Η φλέβα του νερού της βρύσης γίνεται στενότερη καθώς πέφτει. Εξηγήστε γιατί συμβαίνει αυτό.
- 3.7 Στο **σχήμα 3.22** δίνονται οι παροχές (σε m^3/s) και οι κατευθύνσεις στις οποίες κινείται το υγρό σε ορισμένες περιοχές του σωλήνα. Ποια είναι η παροχή του σωλήνα και η κατεύθυνση στην οποία κινείται το υγρό στην περιοχή του σημείου **A**;



Σχήμα 3-22.

3.8 Ένα ποτάμι έχει σταθερό πλάτος. Εξηγήστε γιατί όπου το ποτάμι είναι ρηχό το νερό κινείται πιο γρήγορα. Η παροχή του ποταμού σε μια τέτοια περιοχή είναι μεγαλύτερη από την παροχή του σε περιοχές που το βάθος είναι μεγαλύτερο;

3.9 Η διατομή του σωλήνα στην περιοχή **A είναι τετραπλάσια της διατομής του στην περιοχή **B**.**

1) Σε ένα δευτερόλεπτο από τη διατομή **A διέρχονται **8 cm^3** .**

Στον ίδιο χρόνο από τη διατομή **B διέρχονται**

α) 8 cm^3 β) 16 cm^3

γ) 32 cm^3 δ) 4 cm^3

ε) 2 cm^3 .

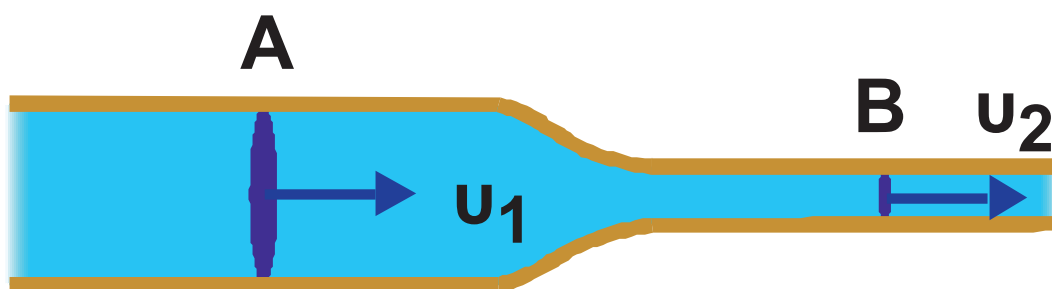
2) Η ταχύτητα u_1 του υγρού στην περιοχή **A** είναι 10 cm/s . Η ταχύτητα στην περιοχή **B** είναι

α) $2,5 \text{ cm/s}$ β) 5 cm/s

γ) 10 cm/s δ) 20 cm/s

ε) 40 cm/s .

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση σε κάθε περίπτωση.



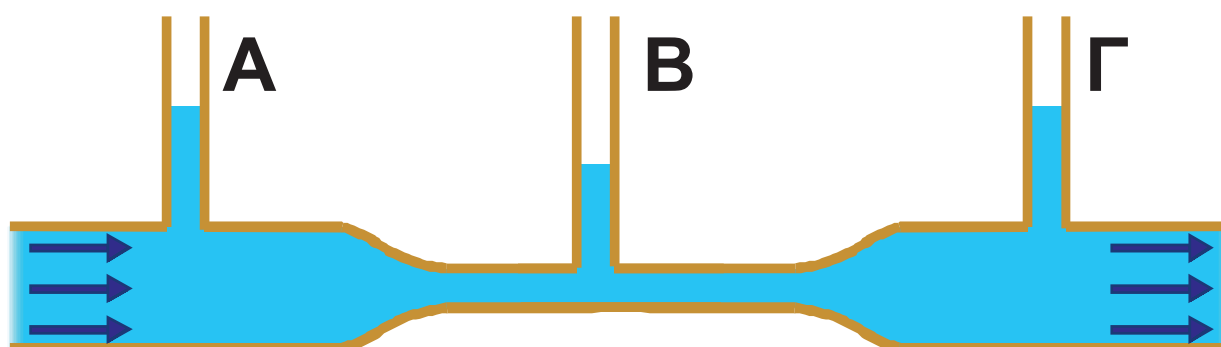
Σχήμα 3-23.

3.10 Όταν θέλουμε να φτάσει μακριά το νερό που βγαίνει από το λάστιχο του ποτίσματος κλείνουμε με το δάχτυλό μας ένα μέρος της διατομής του ή πιέζουμε την άκρη του. Πώς εξηγείται αυτό;

Η εξίσωση του Bernoulli

3.11 Τα πλοία δεν επιτρέπεται να κινούνται παράλληλα, σε μικρή μεταξύ τους απόσταση, γιατί «το ρεύμα τα σπρώχνει να πλησιάσουν πιο πολύ και υπάρχει κίνδυνος να συγκρουστούν». Πώς δικαιολογείται αυτή η πρόταση;

3.12 Εξηγήστε γιατί η στάθμη του νερού στο σωλήνα **B** είναι πιο χαμηλά από ό,τι στους σωλήνες **A** και **Γ**.



Σχήμα 3-24.

3.13 Γιατί οι πιλότοι προτιμούν να απογειώνουν τα αεροπλάνα αντίθετα στον άνεμο;

3.14 Ένα αεροπλάνο που πετάει με σταθερή οριζόντια ταχύτητα σε ύψος h δέχεται δυναμική άνωση A_1 . Το ίδιο αεροπλάνο όταν πετάει με την ίδια ταχύτητα σε ύψος $2h$ δέχεται δυναμική άνωση A_2 για την οποία ισχύει:

α) $A_1 < A_2$ β) $A_1 = A_2$ γ) $A_1 > A_2$.

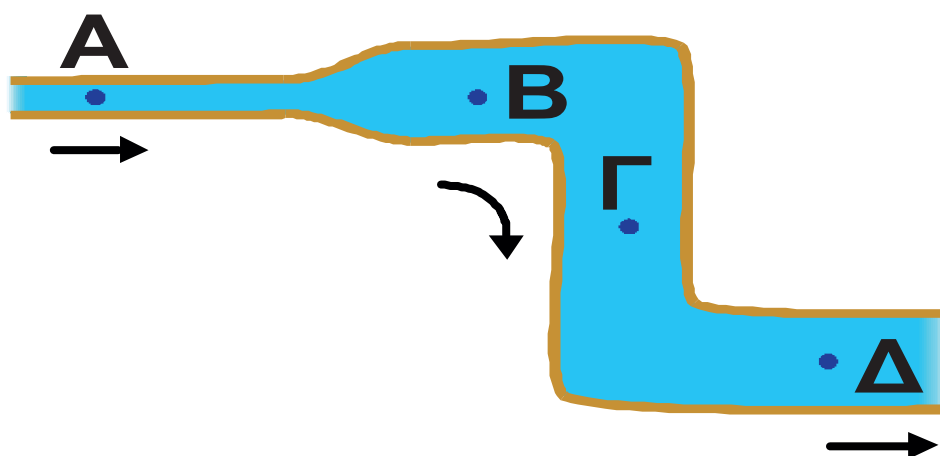
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση

3.15 Το σχήμα παριστάνει ένα σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει νερό.

Ταξινομήστε τα σημεία A , B , Γ και Δ κατά τη σειρά με την οποία

α) αυξάνεται η ταχύτητα ροής του νερού.

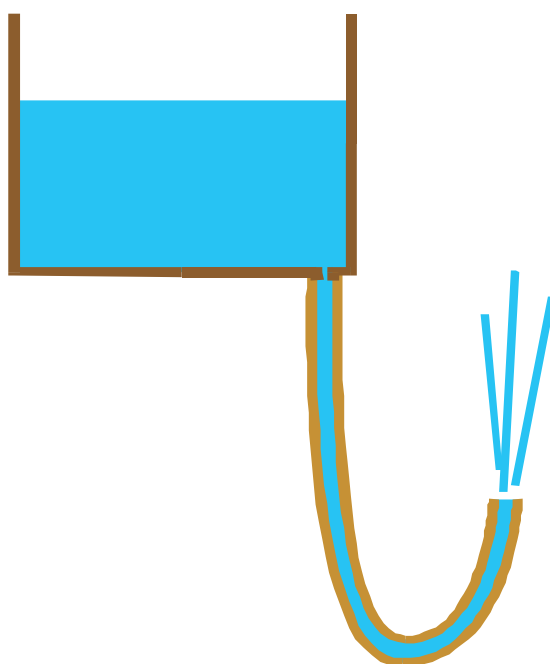
β) αυξάνεται η πίεση.



Σχήμα 3-25.

3.16 Συμπληρώστε τις προτάσεις:
Σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli το άθροισμα της πίε-
σης, της
ενέργειας και
ενέργειας ανά μονάδα όγκου
έχει την ίδια τιμή σε κάθε σημείο
κατά μήκος μιας ρευματικής
γραμμής. Ο νόμος του Bernoulli
είναι έκφραση της αρχής
.....στα ρευστά.

3.17 Μέχρι ποιο ύψος θα φτάσει ο πίδακας του νερού; Θεωρήστε ότι η επιφάνεια του νερού στο δοχείο είναι πολύ μεγάλη και ότι η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.



Σχήμα 3-26.

Ασκήσεις

Νόμος του Pascal - Υδροστατική πίεση

3.18 Το μικρό έμβολο υδραυλικού ανυψωτήρα που χρησιμοποιείται για την ανύψωση αυτοκινήτων έχει διατομή εμβαδού 3 cm^2 ενώ το μεγάλο έχει διατομή εμβαδού 200 cm^2 . Πόση δύναμη πρέπει να ασκηθεί στο μικρό έμβολο ώστε το μεγάλο να ανυψώσει ένα αυτοκίνητο βάρους 10000 N ;

[Απ: 150 N]

Εξίσωση συνέχειας

3.19 Η ταχύτητα με την οποία ρέουν τα νερά ενός ποταμού σταθερού πλάτους σε ένα σημείο όπου

75 / 104-105

το μέσο βάθος είναι $h_1 = 1,5 \text{ m}$,
είναι $u_1 = 1,3 \text{ m/s}$. Πόσο είναι το
μέσο βάθος σ' ένα άλλο σημείο
όπου τα νερά τρέχουν με ταχύ-
τητα $u_2 = 0,3 \text{ m/s}$;

[Απ: $6,5 \text{ m}$]

3.20 Η παροχή ενός πυροσβεστικού
κρουνού είναι $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$. Το λά-
στιχο της πυροσβεστικής κατα-
λήγει στο ελεύθερό του άκρο
σ' ένα στένωμα εσωτερικής δια-
μέτρου $2,2 \text{ cm}$. Με τι ταχύτητα
εκτοξεύεται το νερό από το στέ-
νωμα;

[Απ: $31,6 \text{ m/s}$]

Εξίσωση του Bernoulli

3.21 Από το πλευρικό άνοιγμα μιας
ανοιχτής δεξαμενής βγαίνει
νερό με ταχύτητα $8,86 \text{ m/s}$. Με

πόση ταχύτητα θα βγαίνει αν η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια γίνει 2 atm ; Δίνεται η πυκνότητα του νερού $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ και ότι $1 \text{ atm} = 1,033 \times 10^5 \text{ Pa}$.

[Απ: $16,76 \text{ m/s}$]

3.22 Κατά τη διάρκεια καταιγίδας ο αέρας κινείται πάνω από τη στέγη ενός σπιτιού με ταχύτητα 108 km/h . Ποια η διαφορά στην πίεση κάτω και πάνω από τη στέγη; Υπολογίστε την ανυψωτική δύναμη που δέχεται η στέγη. Η στέγη είναι επίπεδη και έχει εμβαδόν $A = 100 \text{ m}^2$. Θεωρήστε την πυκνότητα του αέρα σταθερή και ίση με $1,2 \text{ kg/m}^3$.

[Απ: 540 Pa , $54 \times 10^3 \text{ N}$]

Προβλήματα

3.23 Η φλέβα του νερού της βρύσης γίνεται στενότερη καθώς το νερό πέφτει. Η διατομή της φλέβας είναι $A_1 = 1,2 \text{ cm}^2$ κοντά στο στόμιο της βρύσης και $A_2 = 0,4 \text{ cm}^2$ σε απόσταση $h = 4 \text{ cm}$ από αυτό. Υπολογίστε την παροχή της βρύσης. Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

[Απ: $1,2 \sqrt{10} \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$]

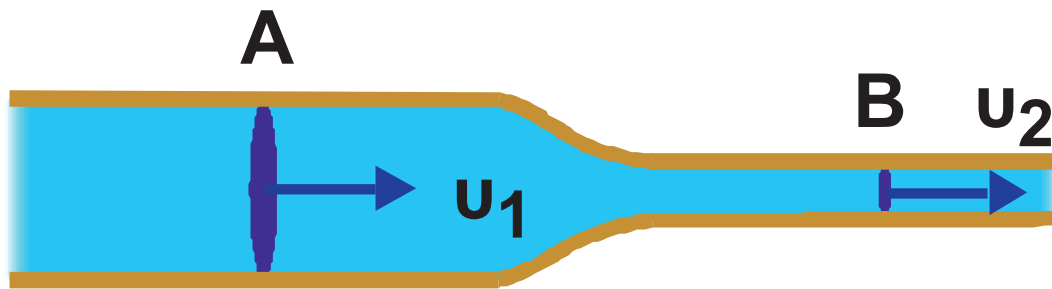
3.24 Ανοικτή δεξαμενή που περιέχει νερό έχει στο πλευρικό τοίχωμά της, σε βάθος $h = 1,8 \text{ m}$ κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, βρύση διατομής $A = 0,5 \text{ cm}^2$.

Πόση ώρα χρειάζεται για να γε-
μίσουμε ένα δοχείο όγκου 1 L
από τη βρύση;
Δίνεται $g = 10\text{ m/s}^2$.

[Απ: $3,33\text{ s}$]

3.25 Νερό ρέει σε οριζόντιο σωλήνα
(σχ. 3.27). Η διατομή του σωλή-
να στη θέση A είναι $A_1 = 10^{-2}\text{ m}^2$
και στη θέση B γίνεται $A_2 = \frac{A_1}{2}$.
Η παροχή του σωλήνα είναι
 $\Pi = 2 \times 10^{-2}\text{ m}^3/\text{s}$. Να βρείτε τη
διαφορά της πίεσης του νερού
ανάμεσα στα σημεία A και B .
Δίνεται η πυκνότητα του νερού
 $\rho = 10^3\text{ kg/m}^3$.

[Απ: 6000 Pa]



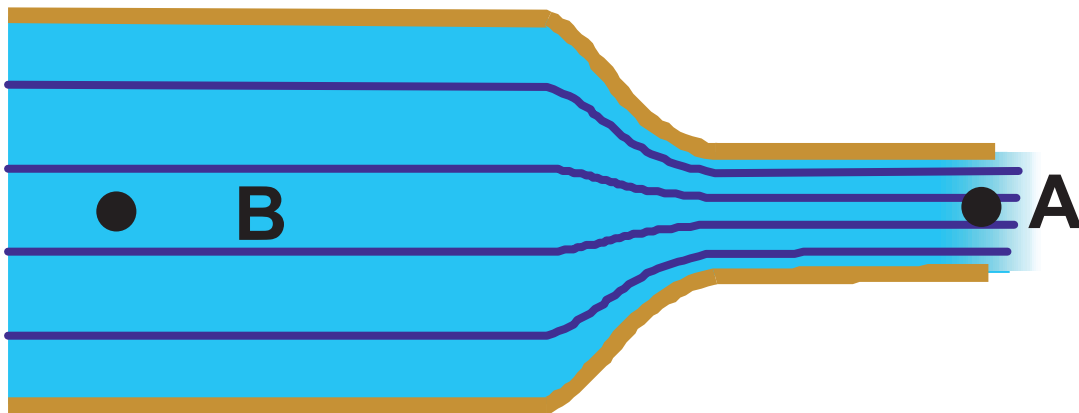
Σχήμα 3-27.

3.26 Νερό που κινείται μέσα σε οριζόντιο σωλήνα (σχ. 3.28) βγαίνει από το άκρο **A** με ταχύτητα $u_2 = 10 \text{ m/s}$. Το εμβαδόν διατομής του σωλήνα στα σημεία **A** και **B** είναι 16 cm^2 και 20 cm^2 , αντίστοιχα.

α) Πόσα m^3 νερού δίνει ο σωλήνας σε μία ώρα;

β) Ποια η πίεση στο σημείο **B**; Η πυκνότητα του νερού είναι $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$. Θεωρήστε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 10^5 Pa .

[Απ: $57,6 \text{ m}^3$, 118 kPa]



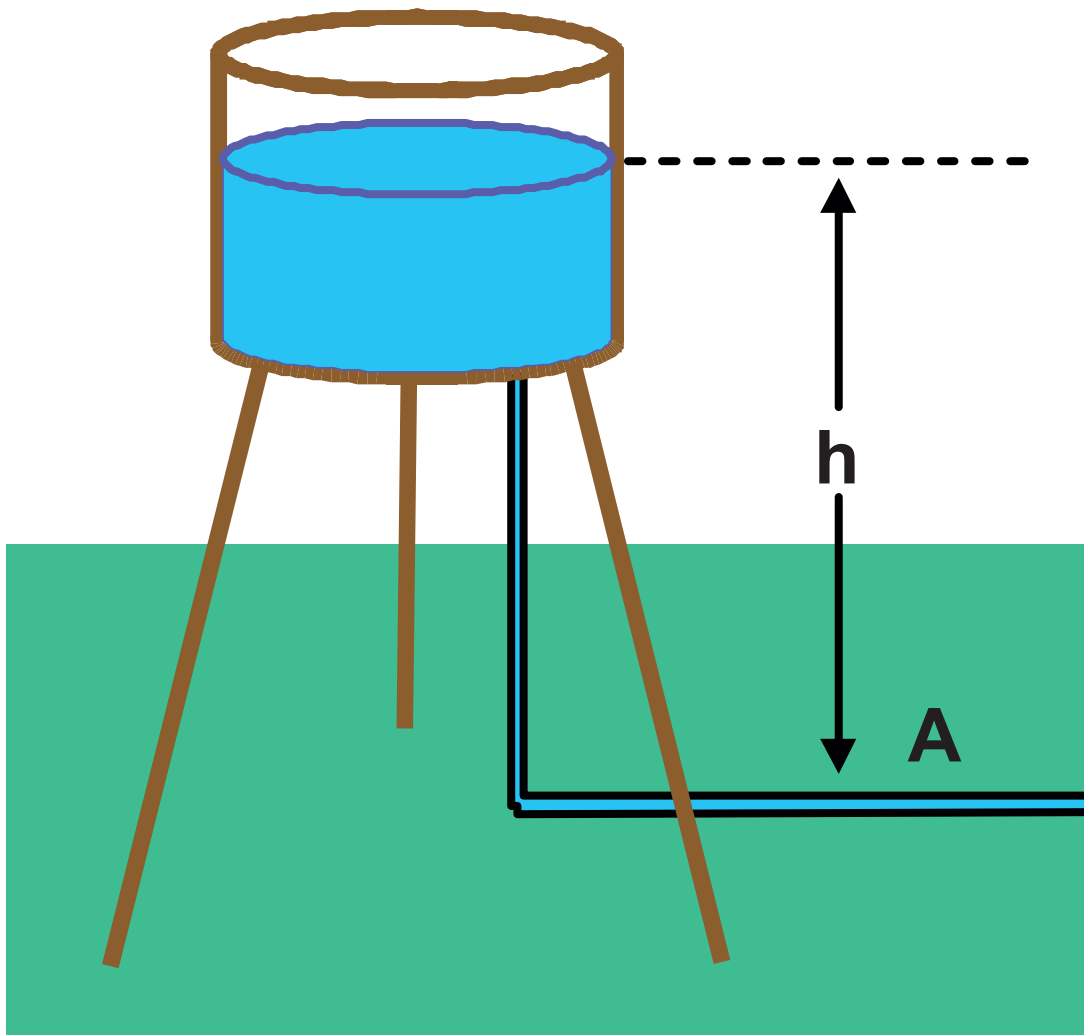
Σχήμα 3-28.

3.27 Μια αντλία χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από πηγάδι βάθους 5 m . Το νερό βγαίνει από την αντλία με σωλήνα διατομής 10 cm^2 και με ταχύτητα $u = 20\text{ m/s}$. Υπολογίστε την ισχύ της αντλίας. Δίνεται η πυκνότητα του νερού $\rho = 10^3\text{ kg/m}^3$ και $g = 10\text{ m/s}^2$.

[Απ: 5 kW]

3.28 Μια ανοιχτή δεξαμενή νερού, μεγάλου όγκου, βρίσκεται ψηλά πάνω από το έδαφος (σχ. 3.29). Όταν χρησιμοποιούμε το νερό της δεξαμενής η ταχύτητα του νερού, σε κάποιο σημείο A, στο σωλήνα που βρίσκεται στο έδαφος είναι $u = 12 \text{ m/s}$. Υπολογίστε την πίεση στο σημείο A. Δίνεται ότι η στάθμη του νερού βρίσκεται σε ύψος $h = 10 \text{ m}$ πάνω από το έδαφος. Η πυκνότητα του νερού είναι $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$, η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 10 \text{ m/s}^2$ και η ατμοσφαιρική πίεση 10^5 Pa .

[Απ: $128 \times 10^3 \text{ Pa}$]

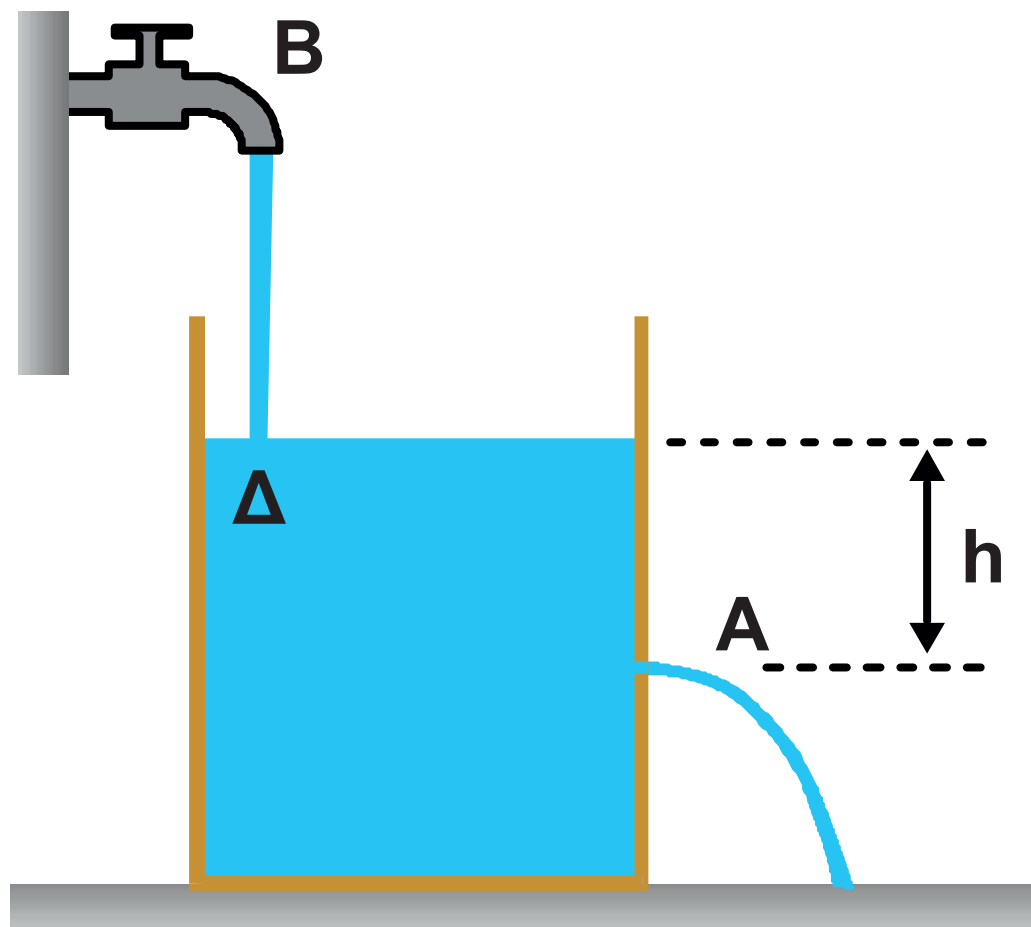


Σχήμα 3-29.

3.29 Στο δοχείο Δ πέφτει συνέχεια νερό από τη βρύση B (σχ. 3.30). Το δοχείο δε μπορεί να γεμίσει επειδή χύνεται νερό από το πλευρικό άνοιγμα A . Αν η παροχή της βρύσης είναι $22\text{ cm}^3/\text{s}$ και το

εμβαδόν του ανοίγματος 1 cm^2 ,
να βρείτε σε ποιο ύψος h πάνω
από το σημείο A θα σταθερο-
ποιηθεί η ελεύθερη επιφάνεια.
Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

[Απ: $24,2 \text{ cm}$]



Σχήμα 3-30.

3.30 Ένα δοχείο με κατακόρυφα τοιχώματα (σχ. 3.31) περιέχει νερό μέχρι ύψος h . Σε ποιο ύψος (x) από τον πυθμένα πρέπει να τρυπήσουμε το δοχείο, ώστε η φλέβα που θα δημιουργηθεί να συναντά το έδαφος στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από τη βάση του δοχείου;

[Απ: $x = \frac{h}{2}$]

3.31 Ποσότητα νερού είναι αποθηκευμένη σε ανοικτό κυλινδρικό δοχείο. Το ύψος του νερού στο δοχείο είναι $h = 1\text{m}$. Το δοχείο έχει μικρή τρύπα στο πλευρικό του τοίχωμα και σε απόσταση 20cm κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Να υπολογίσετε:

α) Την ταχύτητα με την οποία βγαίνει το νερό από την τρύπα.

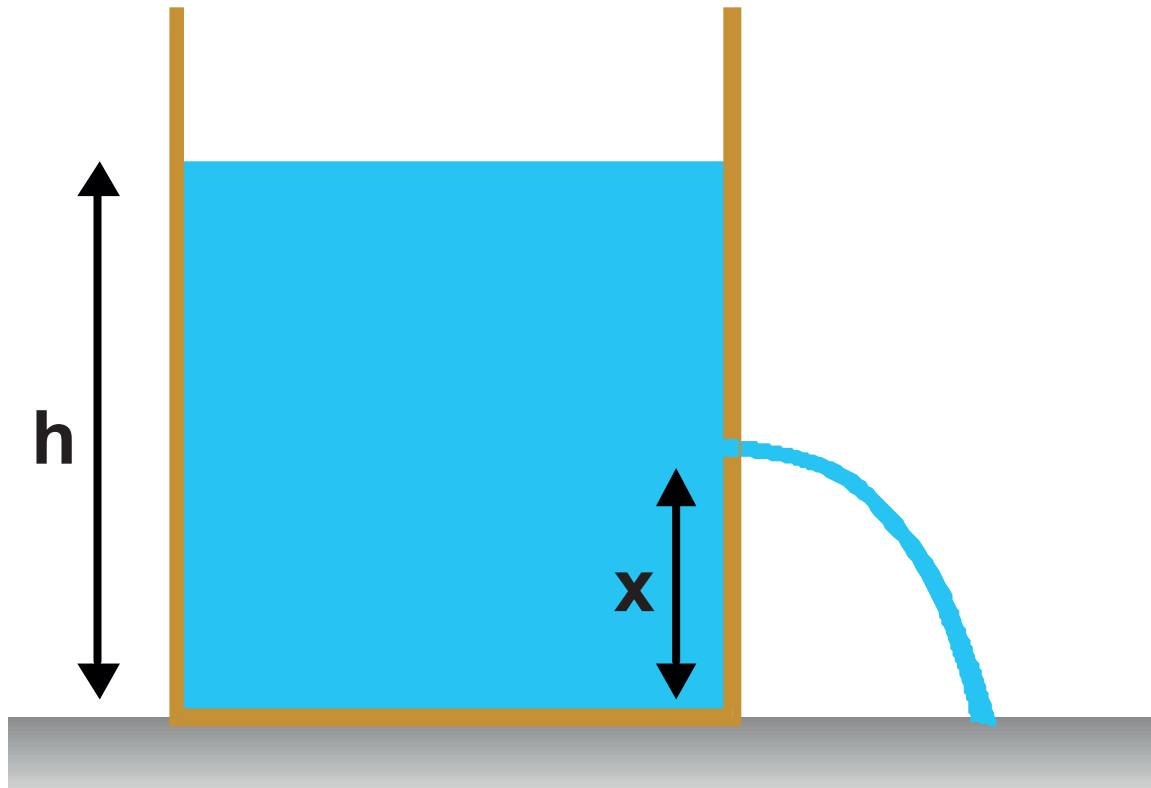
β) Πόσο απέχει από το δοχείο το σημείο του δαπέδου στο οποίο φτάνει η φλέβα του νερού.

γ) Σε ποιο ύψος από τη βάση του δοχείου πρέπει να ανοιχτεί δεύτερη τρύπα στο πλευρικό τοίχωμα ώστε η φλέβα του νερού που θα βγαίνει από αυτή να πέφτει στο ίδιο σημείο με την προηγούμενη.

δ) Σε ποιο ύψος από τη βάση του κυλίνδρου πρέπει να ανοίξουμε τρύπα ώστε η φλέβα του νερού να φτάνει στο δάπεδο στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από το δοχείο.

Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

[Απ: 2 m/s , $0,8 \text{ m}$, $0,2 \text{ m}$, $0,5 \text{ m}$]



Σχήμα 3-31.

Πίνακες Σταθερών - Χρήσιμα Μεγέθη

Θεμελιώδεις Φυσικές Σταθερές

88 / 259

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Ταχύτητα του φωτός	c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)	e	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Βαρυτική σταθερά (σταθερά της παγκόσμιας έλξης)	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$
Σταθερά Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Σταθερά Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Σταθερά Avogadro	N_A	$6,023 \times 10^{23} \text{ μόρια/mol}$
Σταθερά των αερίων	R	$8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$
Μάζα ηλεκτρονίου	m_e	$9,1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Μάζα νετρονίου	m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ Kg}$
Μάζα πρωτονίου	m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ Kg}$
Διηλεκτρική σταθερά του κενού	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$
Σταθερά Coulomb	K_C	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
Μαγνητική διαπερατότητα του κενού	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A} \cdot \text{m}$

Άλλες Χρήσιμες Σταθερές

Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας

4,186 J/cal

Κανονική ατμοσφαιρική πίεση

1 atm $1,013 \times 10^5$ Pa(N/m²)

Απόλυτο μηδέν

0 K -273 °C

Ηλεκτρονιοβόλτ

1 eV $1,6 \times 10^{-19}$ J

Ενέργεια ηρεμίας ηλεκτρονίου

mc² 0,511 MeV

Γραμμομοριακός όγκος ιδανικού αερίου (0°C, 1 atm)

V_{mol} 22,4 L/mol

Λεξιλόγιο Όρων

A

αδρανειακό σύστημα: σύστημα αναφοράς στο οποίο ισχύει η αρχή της αδράνειας του Newton.

αεροδύναμη: η δύναμη που δέχεται από τον αέρα η πτέρυγα του αεροπλάνου κατά τη διάρκεια της πτήσης του.

αιθέρας: υποθετικό αβαρές ελαστικό μέσο, η παρουσία του οποίου θεωρήθηκε απαραίτητη για τη διάδοση του φωτός.

ακτίνες Röntgen: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10^{-8} και 10^{-13}m . Είναι αποτέλεσμα της επιβράδυνσης των ηλεκτρονίων

που προσπίπτουν σε μεταλλικές επιφάνειες με μεγάλη ταχύτητα ή της αποδιέγερσης των ατόμων του μετάλλου.

ακτίνες γ : ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10^{-10} και 10^{-14} m. Εκπέμπονται από πυρήνες ραδιενεργών στοιχείων.

ακτίνες X: οι ακτίνες Roentgen.

ακτινοβολία: ενέργεια που εκπέμπεται με μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

αμορτισέρ: μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την απόσβεση των ταλαντώσεων των αυτοκινήτων.

ανάκλαση κύματος: το φαινόμενο κατά το οποίο όταν το κύμα συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια δυο μέσων επιστρέφει στο πρώτο μέσο ακολουθώντας ορισμένο δρόμο.

άξονας περιστροφής (στερεού σώματος): η ευθεία που ενώνει τα σημεία τα οποία παραμένουν ακίνητα κατά την περιστροφή του σώματος.

απεριοδική ταλάντωση: η κίνηση ενός ταλαντωτή ο οποίος δεν υπερβαίνει τη θέση ισορροπίας, λόγω ισχυρών αποσβέσεων.

απομάκρυνση: η απόσταση σώματος που ταλαντώνεται, από τη θέση ισορροπίας.

αρμονική ταλάντωση: η ταλάντωση στην οποία η απομάκρυνση του ταλαντωτή είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου.

αρχική φάση: η τιμή που έχει τη χρονική στιγμή μηδέν η φάση ενός μεγέθους που μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο.

Γ

γενική θεωρία της σχετικότητας: η θεωρία της σχετικότητας που συμπεριλαμβάνει και μη αδρανειακά συστήματα - θεωρία για τη βαρύτητα.

γωνία εκτροπής: η γωνία που σχηματίζει με την αρχική της διεύθυνση η μονοχρωματική δέσμη που βγαίνει από μια οπτική διάταξη.

γωνιακή συχνότητα: μέγεθος που χαρακτηρίζει τα περιοδικά φαινόμενα, ανάλογο προς τη συχνότητα. Στην ομαλή κυκλική κίνηση συμπίπτει με το μέτρο της γωνιακής ταχύτητας.

Δ

δείκτης διάθλασης (υλικού): ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητά του στο υλικό αυτό.

δεσμός στάσιμου κύματος: ένα σημείο που παραμένει ακίνητο όταν στο ελαστικό μέσο στο οποίο ανήκει δημιουργείται στάσιμο κύμα.

δευτέριο: ισότοπο του υδρογόνου με μαζικό αριθμό δύο.

διάθλαση κύματος: η αλλαγή πορείας ενός κύματος κατά τη μετάβασή του από ένα μέσο σε ένα άλλο στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα.

διακρότημα: η αυξομείωση του πλάτους της ταλάντωσης που εκτελεί ένα σώμα όταν μετέχει σε δυο ταλαντώσεις της ίδιας διεύθυνσης, που έχουν το ίδιο πλάτος και συχνότητες που παρουσιάζουν μικρή διαφορά.

διάμηκες κύμα: το κύμα στο οποίο τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται στη διεύθυνση της διάδοσής του.

διαμόρφωση πλάτους (AM): η τροποποίηση του πλάτους του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει ο σταθμός, από το μικροφωνικό ρεύμα.

διαμόρφωση συχνότητας (FM): η τροποποίηση της συχνότητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει ο σταθμός, από το μικροφωνικό ρεύμα.

διασκεδασμός (του φωτός): η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης ενός υλικού από το μήκος κύματος.

διαστολή του χρόνου: Η φαινομενική επιβράδυνση του χρόνου

(αύξηση του χρονικού διαστήματος)
σε σώμα που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα.

δίδυμη γένεση: η μετατροπή ενός φωτονίου σε ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου.

διέγερση (ατόμου): η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου σε στιβάδα με ενέργεια μεγαλύτερη από την αρχική.

διεγέρτης: το σώμα που προκαλεί εξαναγκασμένη ταλάντωση ενός ταλαντωτή- που προσφέρει περιοδικά ενέργεια σε ένα σώμα που ταλαντώνεται.

δύναμη επαναφοράς: η δύναμη που αναγκάζει ένα σώμα να ταλαντώνεται- που τείνει να επαναφέρει το σώμα στη θέση ισορροπίας.

δυναμική άνωση: η συνισταμένη της αεροδύναμης η κάθετη στην ταχύτητα.

Ε

εγκάρσιο κύμα: το κύμα στο οποίο τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση της διάδοσής του.

ειδική θεωρία της σχετικότητας: θεωρία που διατύπωσε ο Einstein για αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Βασικές της παραδοχές είναι: α) η ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη από τη ταχύτητα του παρατηρητή, β) οι νόμοι της φυσικής είναι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα.

έκκεντρη κρούση: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται σε παράλληλες ευθείες.

ελαστική κρούση: η κρούση κατά την οποία διατηρείται η μηχανική ενέργεια του συστήματος των σωμάτων.

ελεύθερη ταλάντωση: η ταλάντωση ενός σώματος το οποίο εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας και αφήνεται ελεύθερο.

έλλειμμα μάζας: η διαφορά της μάζας ενός πυρήνα από τη μάζα των συστατικών του.

ενέργεια σύνδεσης (πυρήνα): το ποσό της ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί στον πυρήνα για να διασπαστεί στα συστατικά του.

ενέργεια ηρεμίας: το ποσό της ενέργειας (mc^2) που έχει ένα σώμα όταν ηρεμεί.

ένταση ακτινοβολίας: η ενέργεια που περνάει από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου.

εξαναγκασμένη ταλάντωση: η ταλάντωση που γίνεται με την περιοδική προσφορά ενέργειας στο ταλαντούμενο σύστημα.

εξίσωση κύματος: η σχέση που δίνει την απομάκρυνση των σημείων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα κάθε χρονική στιγμή.

εξίσωση συνέχειας: η σχέση μεταξύ της ταχύτητας ενός ασυμπίεστου ρευστού και της διατομής του σωλήνα στον οποίο κινείται.

εσωτερική τριβή ρευστού: η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των μορίων του ρευστού λόγω της κίνησής του.

έργο εξαγωγής: η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να πάρει ένα ηλεκτρόνιο για να εγκαταλείψει την επιφάνεια ενός μετάλλου.

H

ηλεκτρική ταλάντωση: εναλλασσόμενο ρεύμα μεγάλης συχνότητας που παίρνουμε από κύκλωμα LC όταν φορτίσουμε τον πυκνωτή.

ηλεκτρομαγνητικό κύμα: η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου στο χώρο.

I

ιδιομήκος (αντικειμένου): βλ. «μήκος ηρεμίας».

ιδιόχρονος (αδρανειακού συστήματος): ο χρόνος που μετράει ένα ρολόι ακίνητο σε ένα αδρανειακό σύστημα.

ιξώδες: η εσωτερική τριβή μεταξύ των μορίων ενός ρευστού- συντελεστής που δείχνει πόσο παχύρρευστο είναι ένα υγρό.

Κ

κβαντισμένο μέγεθος: κάθε μέγεθος που παίρνει διακριτές τιμές που είναι πολλαπλάσια μιας ελάχιστης.

κέντρο μάζας (σώματος): το σημείο στο οποίο μπορεί να θεωρηθεί συγκεντρωμένη όλη η μάζα ενός σώματος.

κοιλία στάσιμου κύματος: ένα σημείο που ταλαντώνεται με το μέγιστο πλάτος, όταν στο ελαστικό μέσο στο οποίο ανήκει σχηματίζεται στάσιμο κύμα.

κρίσιμη γωνία: η μέγιστη τιμή της γωνίας πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφανών υλικών για την οποία το φως περνάει από το πρώτο υλικό στο δεύτερο στο οποίο το φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

κρούση κεντρική: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

κύμα μηχανικό: μια διαταραχή που μεταδίδεται σε ένα ελαστικό μέσο.

κυματοπακέτο: κύμα περιορισμένο στο χώρο.

M

μάζα ηρεμίας: η μάζα που έχει ένα σώμα όταν ηρεμεί.

μέλαν σώμα: σώμα που απορροφά όλες τις ακτινοβολίες που πέφτουν πάνω του.

μετασχηματισμοί Lorentz: οι σχέσεις που συνδέουν τις συντεταγμένες της θέσης και χρόνου ενός σώματος σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς που βρίσκονται σε σχετική κίνηση.

μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου: οι σχέσεις που συνδέουν τις συντεταγμένες της θέσης ενός σώματος σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς που κινούνται με ταχύτητα πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός.

μεταφορική κίνηση (στερεού σώματος): η κίνηση στην οποία όλα τα σημεία του σώματος έχουν την ίδια ταχύτητα.

μήκος ηρεμίας (αντικειμένου): το μήκος ενός αντικειμένου, όπως μετριέται στο σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο ηρεμεί.

μήκος κύματος De Broglie: το μήκος του κύματος που αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο.

μήκος κύματος: η απόσταση στην οποία φτάνει το κύμα σε χρόνο μιας

περιόδου- η μικρότερη απόσταση δύο σημείων, στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, που βρίσκονται σε φάση.

μικροκύματα: ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκη κύματος μεταξύ **1mm** και **30cm**. Χρησιμοποιούνται στα ραντάρ.

μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας: όργανο που επιτρέπει να απεικονίσουμε αγώγιμες επιφάνειες σε ατομική κλίμακα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο σήραγγας.

N

νευτώνεια ρευστά: τα ρευστά στα οποία η εσωτερική τριβή είναι γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας ροής.

Ο

ολική εσωτερική ανάκλαση: η ανάκλαση μιας φωτεινής δέσμης που δε συνοδεύεται από διάθλαση. Γίνεται στην επιφάνεια που διαχωρίζει ένα διαφανές μέσον από ένα άλλο με μικρότερο δείκτη διάθλασης, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία.

ορμή (υλικού σημείου): το διάνυσμα που έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας και μέτρο ίσο με το γινόμενο της μάζας του υλικού σημείου επί το μέτρο της ταχύτητάς του.

ουράνιο τόξο: το φωτεινό τόξο που εμφανίζεται στον ουρανό, ως αποτέλεσμα της ανάκλασης και του διασκεδασμού του ηλιακού φωτός στα σταγονίδια της βροχής.

Π

poise (πουάζ): μονάδα μέτρησης του ιξώδους ενός ρευστού, ισοδύναμη με 10^{-1} Nsm^{-2} .

παροχή (σωλήνα ή ρευματικής φλέβας): το πηλίκο του όγκου dV του ρευστού που περνάει από μια διατομή του σωλήνα (ή της φλέβας) σε χρόνο dt προς το χρόνο αυτό.

περίοδος (φαινομένου): το πηλίκο του χρόνου μέσα στον οποίο ολοκληρώνονται N εναλλαγές του φαινομένου με τον αριθμό N - ο χρόνος ανάμεσα σε δυο διαδοχικές όμοιες φάσεις του φαινομένου.

πλάγια κρούση: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται σε τυχαία διεύθυνση.

πλαστική κρούση: η κρούση που οδηγεί στη συγκόλληση των σωμάτων.

ποζιτρόνιο: το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου - σωματίδιο με μάζα ίση με τη μάζα του ηλεκτρονίου και φορτίο $+e$.

πυρηνική σύντηξη: πυρηνική αντίδραση στη διάρκεια της οποίας πυρήνες μικρού ατομικού αριθμού συντήκονται και δίνουν βαρύτερους πυρήνες, με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

πυρηνική σχάση: πυρηνική αντίδραση στη διάρκεια της οποίας ένας πυρήνας μεγάλου ατομικού αριθμού χωρίζεται σε δυο πυρήνες μικρότερου ατομικού αριθμού με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

πυρηνικός αντιδραστήρας: η διάταξη στην οποία πραγματοποιούνται ελεγχόμενες πυρηνικές αντιδράσεις.

P

ραδιοκύματα: ηλεκτρομαγνητικά κύματα που προκύπτουν από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα και χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες.

ρευματική γραμμή: η γραμμή που συνδέει τις διαδοχικές θέσεις ενός μορίου του ρευστού.

ρευστά: σώματα που δεν έχουν δικό τους σχήμα- τα υγρά και τα αέρια.

ροπή αδράνειας (ως προς άξονα): το μέτρο της αδράνειας των σωμάτων στη στρωφική κίνηση- ορίζεται ως το άθροισμα $\sum m_i \cdot r_i^2$, όπου m_i μια στοιχειώδης μάζα του σώματος και r_i η απόστασή της από τον άξονα.

ροπή δύναμης (ως προς άξονα):
διάνυσμα που έχει τη διεύθυνση του άξονα και μέτρο το γινόμενο του μέτρου της συνιστώσας της δύναμης που βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα επί την απόστασή της από τον άξονα.

ροπή δύναμης (ως προς σημείο):
διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο που ορίζει το σημείο και ο φορέας της δύναμης και μέτρο το γινόμενο του μέτρου της δύναμης επί την απόσταση του σημείου από τον φορέα της δύναμης.

Σ

σταθερά απόσβεσης: η σταθερά αναλογίας στη σχέση που συνδέει τη δύναμη η οποία προκαλεί την απόσβεση μιας ταλάντωσης με την ταχύτητα του ταλαντωτή.

στάσιμο κύμα: η κίνηση που κάνει ένα μέσο στο οποίο διαδίδονται ταυτόχρονα, με αντίθετη φορά, δυο κύματα της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους.

στιγμιότυπο κύματος: η εικόνα που παρουσιάζει μια χρονική στιγμή το ελαστικού μέσο στο οποίο διαδίδεται ένα κύμα - η γραφική παράσταση της συνάρτησης $y = f(x, t)$ για ορισμένη τιμή του t .

στρόβιλοι: περιοχές στις οποίες το ρευστό κάνει περιστροφική κίνηση.

στροφική κίνηση: η κίνηση ενός στερεού γύρω από άξονα- η κίνηση στην οποία όλα τα σημεία του στερεού έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα.

στροφορμή στερεού σώματος: το άθροισμα των στροφορμών των στοιχειωδών τμημάτων που απαρτίζουν το στερεό.

στροφορμή συστήματος σωμάτων: το άθροισμα των στροφορμών των σωμάτων που απαρτίζουν το σύστημα.

στροφορμή υλικού σημείου (που κάνει κυκλική κίνηση): διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο της τροχιάς με μέτρο το γινόμενο του μέτρου της ορμής του υλικού σημείου επί την ακτίνα της τροχιάς του.

στρωτή ροή: η κίνηση ενός ρευστού, όταν δε σχηματίζονται στρόβιλοι.

συμβολή κυμάτων: η ταυτόχρονη διάδοση δυο ή περισσότερων κυμάτων στην ίδια περιοχή του χώρου.

συμβολόμετρο: όργανο που μας επιτρέπει να προσδιορίζουμε με μεγάλη ακρίβεια τη θέση των κροσσών συμβολής του φωτός.

σύνθεση ταλαντώσεων: η μελέτη της κίνησης ενός σώματος που μετέχει σε περισσότερες από μια ταλαντώσεις.

συντονισμός: το φαινόμενο κατά το οποίο ένα σώμα κάνει εξαναγκασμένη ταλάντωση με το μέγιστο πλάτος.

συστολή του μήκους: Η φαινομενική σμίκρυνση ενός σώματος που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα.

συχνότητα κατωφλίου: η ελάχιστη συχνότητα που πρέπει να έχει μια φωτεινή δέσμη για να προκαλέσει εκπομπή φωτοηλεκτρονίων από ένα μέταλλο.

συχνότητα (φαινομένου): ο αριθμός των επαναλήψεων του φαινομένου στη μονάδα του χρόνου.

Τ

ταλάντωση (μηχανική): Παλινδρομική κίνηση γύρω από μια θέση ισορροπίας.

πλάτος ταλάντωσης: η μεγαλύτερη τιμή της απομάκρυνσης του ταλαντωτή.

τάση αποκοπής: η τιμή της τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων ενός φωτοκύτταρου για την οποία διακόπτεται το ρεύμα.

τυρβώδης ροή: η ροή ενός ρευστού όταν σχηματίζονται στρόβιλοι.

Υ

υδροστατική πίεση: η πίεση των υγρών που οφείλεται στο βάρος τους.

υπεριώδης ακτινοβολία: αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από **60 nm** μέχρι **380 nm**.

Φ

φαινόμενο Compton: ο σκεδασμός της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα σωματίδια της ύλης. Συνοδεύεται από αύξηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.

φαινόμενο Doppler: η εμφάνιση διαφοράς ανάμεσα στη συχνότητα του εκπεμπόμενου κύματος και της συχνότητας που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής όταν μεταβάλλεται η απόστασή του από την πηγή του κύματος.

φαινόμενο σήραγγας: η διέλευση σωματιδίων μέσα από ένα φράγμα δυναμικού χωρίς να έχουν την απαραίτητη ενέργεια, όπως απαιτεί η κλασική θεωρία.

φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: η απόσπαση ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο όταν στην επιφάνειά του

προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατάλληλης συχνότητας.

φλέβα: το σχήμα που ορίζεται από τις ρευματικές γραμμές που αντιστοιχούν στα σημεία του περιγράμματος μιας επιφάνειας που βρίσκεται στη ροή του ρευστού.

φώραση: η διαδικασία με την οποία διαχωρίζεται το μικροφωνικό ρεύμα από το φέρον κύμα.

φωτοκύτταρο: διάταξη με την οποία οι αυξομειώσεις στην ένταση μιας φωτεινής δέσμης, κατάλληλης συχνότητας, μετατρέπονται σε αυξομειώσεις ηλεκτρικού ρεύματος.

φωτόνιο: το κβάντο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σωματίο μηδενικής μάζας ηρεμίας.

Αλφαβητικό Ευρετήριο

A

αδρανειακό σύστημα	Z' 34
ακτίνες Röntgen	B' 102, Θ' 37
ακτίνες γ	B' 102
ακτίνες X	B' 102, Θ' 37
ακτινοβολία μέλανος σώματος	Θ' 7
ανάκλαση του φωτός	B' 104
ανάλυση του φωτός	Γ' 18
αξιώματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας	H' 22
απεριοδική ταλάντωση	A' 71
απομάκρυνση	A' 24
αρμονική ταλάντωση	A' 24
αρχή διατήρησης της στροφορμής	E' 92

αρχή της αβεβαιότητας	Θ' 57
αρχή του Pascal	Δ' 12
αρχική φάση	Α' 30

Γ

γενική θεωρία της σχετικότητας	Η' 104
γωνία εκτροπής	Γ' 20
γωνιακή επιτάχυνση	Ε' 14
γωνιακή συχνότητα	Α' 21

Δ

δείκτης διάθλασης (υλικού)	Β' 112
δεσμός στάσιμου κύματος	Β' 56
διάθλαση του φωτός	Β' 110
διακρότημα	Α' 114, Α' 116
διάμηκες κύμα	Β' 14
διαμόρφωση κατά πλάτος	Β' 83
διασκεδασμός (του φωτός)	Γ' 18

διαστολή του χρόνου
διαφορικό
δίδυμη γένεση
διεγέρτης
δύναμη επαναφοράς

H' 30
ΣΤ' 103
H' 79
A' 82
A' 35

Ε

εγκάρσιο κύμα
έκκεντρη κρούση
ελαστική κρούση
ελεύθερη ταλάντωση
έλλειμμα μάζας
ενέργεια σύνδεσης
ενέργεια ηρεμίας
εξαναγκασμένη ταλάντωση
(ηλεκτρ.)
εξαναγκασμένη ταλάντωση
(μηχαν.)

B' 12
Z' 14
Z' 18, Z' 24
A' 80
H' 78
H' 85
H' 77
A' 94
A' 82

εξίσωση Schrödinger	Θ' 69
εξίσωση Bernoulli	Δ' 39
εξίσωση κύματος	Β' 23
εξίσωση στάσιμου κύματος	Β' 53
εξίσωση συνέχειας	Δ' 27
εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων	ΣΤ' 84
επαλληλία κυμάτων	Β' 28
έργο εξαγωγής	Θ' 28
εσωτερική τριβή	Δ' 52

Η

ηλεκτρική ταλάντωση	Α' 51
ηλεκτρομαγνητικό κύμα	Β' 65
ηχοκαρδιογράφημα Doppler	Ζ' 139

Θ

θεμελιώδης νόμος στροφικής κίνησης	Ε' 63
---------------------------------------	-------

θεώρημα Steiner

Ε' 56

θεώρημα Torricelli

Δ' 44

I

ιδανικά υγρά

Δ' 19

ιδιομήκος

Η' 44

ιδιοσυχνότητα

Α' 80

ιδιόχρονος

Η' 30

ιξώδες

Δ' 52

K

καμπύλωση του χωροχρόνου

Η' 115

κβαντικός αριθμός

Θ' 17

κέντρο μάζας (συστήματος)

Z' 55

κέντρο μάζας (σώματος)

Ε' 20

κιβώτιο ταχυτήτων

ΣΤ' 93

κίνηση του κέντρου μάζας

Z' 58

κινητική ενέργεια:

- στην αρμονική ταλάντωση	A' 45
- στη στροφική κίνηση	E' 101
κοιλία στάσιμου κύματος	B' 56
κρίσιμη γωνία	Γ' 8
κρούση κεντρική	Z' 13
κύλιση τροχού	E' 17
κύμα ελαστικότητας	B' 8
κυματοπακέτο	Θ' 60
κυματοσυνάρτηση	Θ' 69

M

μάζα ηρεμίας	H' 77
μέλαν σώμα	Θ' 12
μετασχηματισμοί Lorentz	H' 48, H' 60
μετασχηματισμοί έντασης ηλεκτρικού - μαγνητικού πεδίου	H' 91
μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου	Z' 49

μεταφορική κίνηση	Ε' 8
μήκος ηρεμίας	Η' 44
μήκος κύματος	Β' 18
μήκος κύματος De Broglie	Θ' 52
μηχανικά κύματα	Β' 8
μικροκύματα	Β' 95
μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας	Θ' 131
μιόνιο	Η' 35

N

νευτώνεια ρευστά	Δ' 57
νόμος μετατόπισης του Wien	Θ' 14
νόμος του Snell	Β' 113

O

ολική εσωτερική ανάκλαση	Γ' 7
ουράνιο τόξο	Γ' 23

Π

poise (πουάζ)	Δ' 56
παράδοξο των διδύμων	Η' 164
παροχή	Δ' 23, Δ' 24
πείραμα Michelson- Morley	Η' 11
περίοδος	Α' 19
περίοδος ηλεκτρικής ταλάντωσης	Α' 58
πηγάδι δυναμικού	
- με άπειρο βάθος	Θ' 80
- με ορισμένο βάθος	Θ' 86
πλάγια κρούση	Ζ' 14, Ζ' 25
πλαστική κρούση	Ζ' 19, Ζ' 31
πλάτος ταλάντωσης	Α' 25
ποζιτρόνιο	Η' 81
προώθηση πυραύλου	Ζ' 67

Ρ

ραδιοκύματα	Β' 94
ρευματική γραμμή	Δ' 20

ρευστά	Δ' 19
ροπή αδράνειας (ως προς άξονα)	Ε' 51
ροπή δύναμης (ως προς άξονα)	Ε' 28
ροπή δύναμης (ως προς σημείο)	Ε' 33

Σ

σταθερά απόσβεσης	Α' 68
σταθερά επαναφοράς	Α' 35
στάσιμο κύμα	Β' 48
στιγμιότυπο κύματος	Β' 31
στροφική κίνηση	Ε' 12
στροφορμή στερεού σώματος	Ε' 81
στροφορμή συστήματος	Ε' 86
στροφορμή υλικού σημείου	Ε' 78
στρωτή ροή	Δ' 20
συμβολή κυμάτων	Β' 34

συμβολόμετρο	H' 14
σύνθεση ταλαντώσεων	A' 104
σύνθετη κίνηση στερεού	E' 14
συνθήκη ισορροπίας στερεού	E' 44
συνθήκη κανονικοποίησης	Θ' 72
συντονισμός	A' 85
συντονισμού εφαρμογές	A' 97
σύστημα αναφοράς κέντρου μάζας	Z' 55
συστολή του μήκους	H' 44
συχνότητα	A' 20
συχνότητα κατωφλίου	Θ' 34
σχετικιστική ορμή	H' 70
σχετικιστική ενέργεια	H' 77
σωλήνας	Δ' 22

T

ταλάντωση (μηχανική)	A' 23
τάση αποκοπής	Θ' 27

Υ

υδροστατική πίεση	Δ' 10
υπέρθεση κυμάτων	Β' 28
υπεριώδης ακτινοβολία	Β' 100

Φ

φαινόμενο Compton	Θ' 37
φαινόμενο Doppler	Ζ' 72
φαινόμενο σήραγγας	Θ' 93
φάση ταλάντωσης	Α' 30
φέρουσα συχνότητα	Β' 82
φθίνουσα ηλεκτρική ταλάντωση	Α' 78
φθίνουσα ταλάντωση	Α' 64
φλέβα ρευματική	Δ' 22
φώραση	Β' 90
φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	Θ' 22
φωτοκύτταρο	Θ' 23
φωτόνιο	Θ' 29

Χ

χωροχρόνος	Η' 24
------------	-------

Βιβλιογραφία

1. Πανεπιστημιακή Φυσική Hugh D. Young Εκδόσεις Παπαζήση.
2. Physics for scientists & engineers Serway.
3. Φυσική Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
4. Halliday - Resnick - Walker Fundamentals of Physics Extended (fifth edition).
5. F.J.Keller - W.E.Gettys - M.J.Skove Physics (second edition).
6. Κεφάλαια σύγχρονης Φυσικής Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
7. Οι έννοιες της Φυσικής Paul G. Hewitt Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

- 8. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική David J. Griffiths
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**
- 9. Μαθήματα Φυσικής (Ηλεκτρισμός - Μαγνητισμός) πανεπιστήμιο Berkley Edward Purcell
μετάφραση και έκδοση ομάδα καθηγητών ΕΜΠ.**
- 10. Κλασσική και σύγχρονη Φυσική Kenneth W. Ford Εκδόσεις Πνευματικός.**
- 11. Κβαντομηχανική Ι. Στέφανος Τραχανάς Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**
- 12. Η Φυσική σήμερα Ε.Ν. Οικονόμου Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**

- 13. Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική
Einstein - Infeld Εκδόσεις Δω-
δώνη.**
- 14. Η ελαφρότητα της Βαρύτητας
Jayant Narlikar Εκδόσεις
Τροχαλία.**
- 15. Ιστορία της Φυσικής Emilio Segre
Εκδόσεις Δίαυλος.**
- 16. Φυσική Β΄ Ενιαίου Λυκείου (ειδί-
κευση) Υπουργείο Παιδείας Κύ-
προς.**
- 17. Κ.Δ. Αλεξόπουλος - Δ.Ι. Μαρίνος
Γενική Φυσική. Εκδόσεις ΟΛΥ-
ΜΠΙΑ.**
- 18. Κβαντικό σύμπαν Tony Hey &
Patrick Walters, εκδόσεις Κάτο-
πτρο.**

**19. 3000 solved problems in physics
Alvin Halpern, Ph.D Schaum's
Mc Graw Hill.**

**20. Echocardiography Harvey
Feigenbaum fourth edition Lea
& Febigep.**

**21. String and sticky tape
experiments by R.D.Edge.**

**22. Turning the World Inside Out by
Robert Ehrlich.**



Περιεχόμενα

3	Ρευστά σε κίνηση	—————
	Εισαγωγή	6
	Υγρά σε ισορροπία	8
	Ρευστά σε κίνηση	19
	Διατήρηση ύλης και εξίσωση συνέχειας	27
	Διατήρηση ενέργειας και εξίσωση Bernoulli	32
	Η τριβή στα ρευστά	52
	Σύνοψη	58
	Δραστηριότητες	61
	Ερωτήσεις	64
	Ασκήσεις	75
	Προβλήματα	78

Παραρτήματα ---

Πίνακες σταθερών 88

Λεξιλόγιο Όρων 92

Αλφαβητικό ευρετήριο 118

Βιβλιογραφία 129

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.