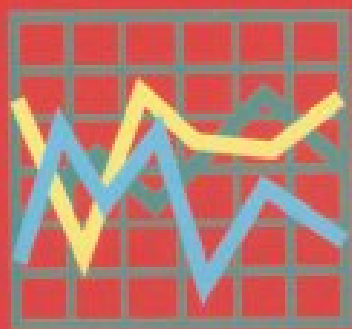


**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ  
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

# **ΦΥΣΙΚΗ**

**Νικόλαος Αντωνίου  
Παναγιώτης Δημητριάδης  
Κωνσταντίνος Καμπούρης  
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης  
Λαμπρινή Παπατσιμπα**

**Β΄ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**



**Τόμος 3ος**



**ΦΥΣΙΚΗ**  
**Β' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**  
**3ος τόμος**

**Γ' Κ.Π.Σ. / ΕΠΕΑΕΚ II / Ενέργεια 2.2.1 /  
Κατηγορία Πράξεων 2.2.1.α:**

**«Αναμόρφωση των προγραμμάτων  
σπουδών και συγγραφή νέων  
εκπαιδευτικών πακέτων»**

**ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

**Δημήτριος Γ. Βλάχος**

**Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ**

***Πρόεδρος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου***

**Πράξη με τίτλο: «Συγγραφή νέων  
βιβλίων και παραγωγή υποστηρικτικού  
εκπαιδευτικού υλικού με βάση το  
ΔΕΠΠΣ και τα ΑΠΣ για το Γυμνάσιο»**

**Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου**

**Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης**

***Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου***

**Αναπληρωτής Επιστημ. Υπεύθ. Έργου**

**Γεώργιος Κ. Παληός**

***Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου***

**Ιγνάτιος Ε. Χατζηευστρατίου**

***Μόνιμος Πάρεδρος του Παιδαγ. Ινστιτ.***

**Έργο συγχρηματοδοτούμενο 75% από  
το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και  
25% από εθνικούς πόρους.**

## ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Νικόλαος Αντωνίου, Καθηγητής  
Πανεπιστημίου Αθηνών  
Παναγιώτης Δημητριάδης, Φυσικός  
Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης  
Κων/νος Καμπούρης, Φυσικός  
Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης  
Κων/νος Παπαμιχάλης, Φυσικός  
Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης  
Λαμπρινή Παπασιμπα, Φυσικός  
Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης

## ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Αντώνιος Αντωνίου, Φυσικός  
Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης  
Κωνσταντίνος Στεφανίδης,  
Σχολικός Σύμβουλος  
Αικατερίνη Πομόνη - Μανατάκη,  
Αναπλ. καθηγήτρια Πανεπιστημίου  
Πατρών (Τμήμα Φυσικής)

**ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ**

**Θεόφιλος Χατζητσομπάνης,  
Μηχανικός ΕΜΠ, Εκπαιδευτικός**

**ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ**

**Μαρία Αλιφεροπούλου, Φιλολόγος**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ**

**ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΕΡΓΟΥ**

**ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΓΡΑΦΗ**

**Γεώργιος Κ. Παληός,  
Σύμβουλος του Π.Ι.**

**ΕΞΩΦΥΛΛΟ**

**Ιωάννης Γουρζής, Ζωγράφος**

**ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

**ΑΦΟΙ Ν. ΠΑΠΠΑ & ΣΙΑ Α.Ε.Β.Ε.,  
Ανώνυμος Εκδοτ. & Εκτυπ. Εταιρεία**

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

**Ομάδα Εργασίας  
Αποφ. 16158/6-11-06 και  
75142/Γ6/11-7-07 ΥΠΕΠΘ**

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ  
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

**Νικόλαος Αντωνίου  
Παναγιώτης Δημητριάδης  
Κωνσταντίνος Καμπούρης  
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης  
Λαμπρινή Παπατσιμπα**

**ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ:**

**Ελληνικά Γράμματα**

**ΦΥΣΙΚΗ**

**Β΄ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**

**Τόμος 3ος**





## 4.2 Υδροστατική Πίεση

### *Πού οφείλεται η υδροστατική πίεση;*

Η υδροστατική πίεση οφείλεται στη βαρύτητα.

Ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε δοχείο λόγω του βάρους του πιέζει τον πυθμένα του δοχείου. *Πόση είναι αυτή η υδροστατική πίεση;*

Εφόσον το υγρό ισορροπεί, η δύναμη που ασκεί στον πυθμένα του δοχείου ισούται με το βάρος του.

Επομένως, η πίεση σύμφωνα με τον ορισμό της (σχέση 4.1) είναι ίση με το πηλίκο του βάρους του υγρού προς το εμβαδόν του πυθμένα

$p = \frac{W}{A}$ . Αν είχαμε τη δυνατότητα να

μεταφέρουμε ένα κλειστό δοχείο γεμάτο με νερό από την επιφάνεια της γης στην επιφάνεια της σελή-

νης, θα διαπιστώναμε ότι η υδροστατική πίεση στον πυθμένα του έχει τιμή περίπου 6 φορές μικρότερη από την τιμή της στην επιφάνεια της γης. Αυτό συμβαίνει γιατί το βάρος του νερού στη σελήνη είναι 6 φορές μικρότερο από το βάρος του στη γη.

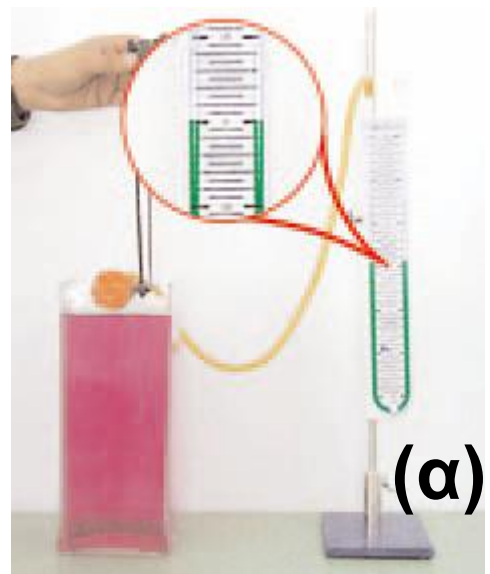
### ***Μέτρηση υδροστατικής πίεσης***

Τα όργανα με τα οποία μετράμε την υδροστατική πίεση ονομάζονται **μανόμετρα**. Ένας τύπος μανόμετρου, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο φυσικής, εικονίζεται στην εικόνα 4.7. Με το μανόμετρο μετράμε την πίεση που ασκείται στην επιφάνεια μιας ελαστικής μεμβράνης, την οποία βυθίζουμε μέσα στο υγρό. Ο σωλήνας τύπου U περιέχει υδράργυρο ή κάποιο άλλο υγρό, συνήθως λάδι.

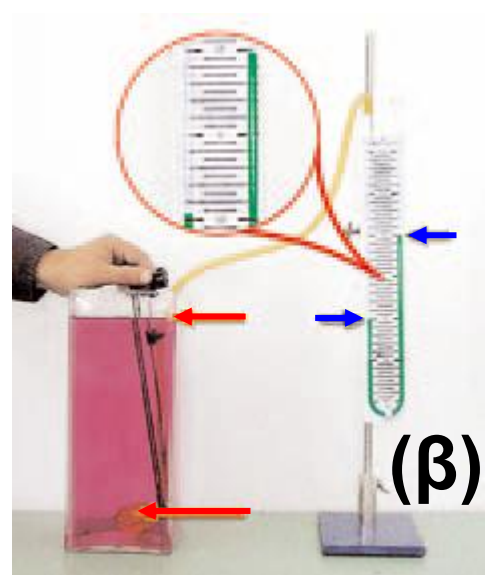
Η διαφορά ύψους του υγρού στα δύο σκέλη του σωλήνα είναι ανάλογη της υδροστατικής πίεσης.

***Εικόνα 4.7. Πώς μετράμε την υδροστατική πίεση.***

(α) Όταν η ελαστική μεμβράνη βρίσκεται εκτός του υγρού, τότε το υγρό στα δυο σκέλη του σωλήνα βρίσκεται στο ίδιο ύψος. Στη μεμβράνη δεν ασκείται πίεση.



(β) Όταν η μεμβράνη τοποθετηθεί στο υγρό, τότε το υγρό που βρίσκεται στο σκέλος που συνδέεται με τη μεμβράνη βρίσκεται σε μικρότερο ύψος. Στη μεμβράνη ασκείται πίεση. Η διαφορά



στάθμης του υγρού που βρίσκεται στο σωλήνα «**μετρά**» την υδροστατική πίεση στη μεμβράνη.

## ***Νόμος της υδροστατικής***

Είδαμε ότι η υδροστατική πίεση οφείλεται στη βαρύτητα. Στη φυσική όμως, εκτός από τις αιτίες των φαινομένων, μας ενδιαφέρουν και οι σχέσεις που συνδέουν τα φυσικά μεγέθη. ***Με ποια άλλα φυσικά μεγέθη σχετίζεται η υδροστατική πίεση και με ποιο τρόπο συνδέεται με αυτά;***

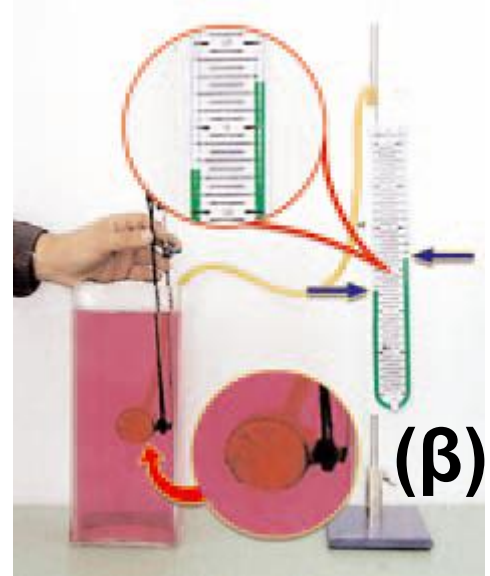
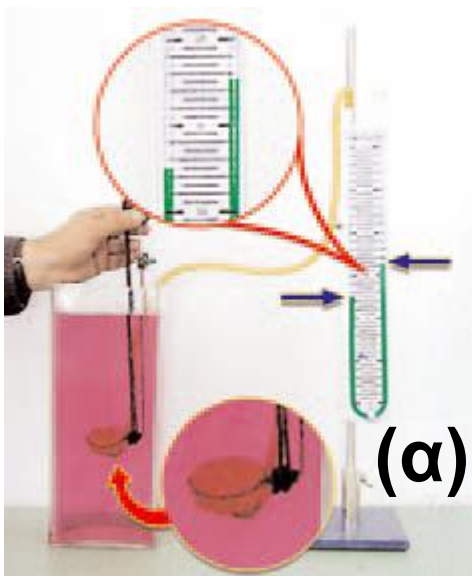
Για να απαντήσουμε στα παραπάνω ερωτήματα, θα χρησιμοποιήσουμε την εμπειρία μας και θα καταφύγουμε στο πείραμα.

## ***Υδροστατική πίεση και προσανατολισμός***

***Η υδροστατική πίεση εξαρτάται από τον προσανατολισμό της***

**επιφάνειας που είναι βυθισμένη στο υγρό;**

**Βυθίζουμε τη μεμβράνη σε ορισμένο βάθος και μεταβάλλουμε τον προσανατολισμό της, για παράδειγμα, από οριζόντια (εικόνα 4.8α) την περιστρέφουμε ώστε να γίνει κατακόρυφη (εικόνα 4.8β).**



***Εικόνα 4.8.***

**Η επιφάνεια βρίσκεται σε βάθος  $h$  και είναι: (α) οριζόντια, (β) κατακόρυφη.**

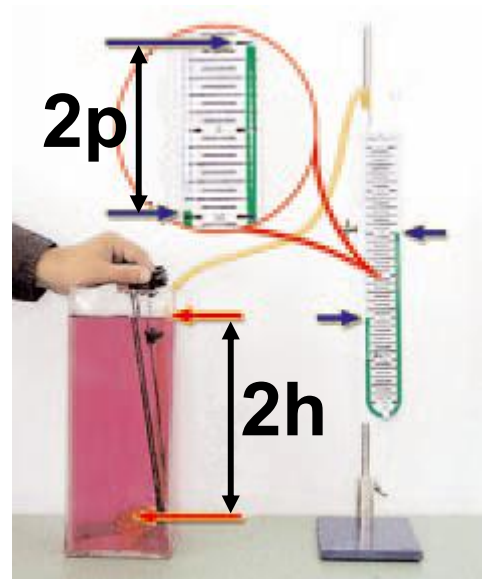
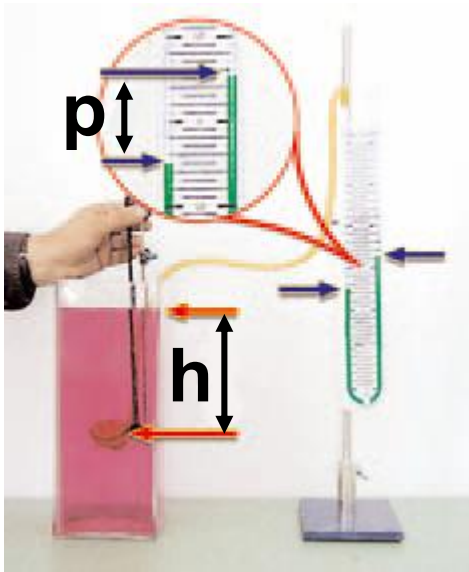
Παρατηρούμε ότι η ένδειξη του  
μανομέτρου δε μεταβάλλεται.  
Συμπεραίνουμε ότι η πίεση είναι  
ανεξάρτητη του προσανατολισμού  
της επιφάνειας της μεμβράνης. Τα  
υγρά ασκούν πίεση προς κάθε  
κατεύθυνση.

### ***Υδροστατική πίεση και βάθος***

Πολλές φορές, όταν κολυμπάς  
στην πισίνα του κολυμβητηρίου ή  
στην θάλασσα, σου αρέσει να κά-  
νεις βουτιές. Διαπιστώνεις ότι όσο  
πιο βαθιά βουτάς, τόσο μεγαλύτερη  
πίεση αισθάνεσαι στ' αυτιά σου.  
Υποθέτεις ότι η πίεση αυξάνεται με  
το βάθος του υγρού. *Πώς εξαρτάται  
η πίεση από το βάθος;* Για να ελέγ-  
ξεις την υπόθεσή σου και να απα-  
ντήσεις στο ερώτημά σου, κατα-  
φεύγεις στο πείραμα. Βυθίζεις στο  
υγρό τη μεμβράνη του μανομέτρου  
σε διάφορα βάθη και μετράς την

αντίστοιχη πίεση (εικόνα 4.9).

Διαπιστώνεις ότι η υδροστατική πίεση αυξάνεται ανάλογα με το βάθος.



***Εικόνα 4.9.***

Σε διπλάσιο βάθος έχουμε διπλάσια υδροστατική πίεση.

### **Δραστηριότητα**

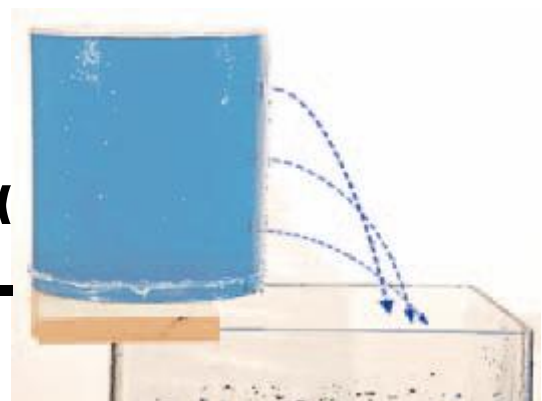
#### **Υδάτινες τροχιές**

- ▶ Γέμισε με νερό ένα πλαστικό δοχείο.
- ▶ Τοποθέτησε το δοχείο πάνω στο θρανίο σου, ώστε ο πυθμένας του

να βρίσκεται σε ύψος από την επιφάνειά του ίσο με το ύψος του δοχείου.

▶ Με μια καρφίτσα άνοιξε τρύπες σε διάφορα σημεία του δοχείου που βρίσκονται πάνω από το μισό του ύψους του.

Παρατήρησε την απόσταση στην οποία εκτοξεύονται οι πίδακες του νερού πάνω στην επιφάνεια του θρανίου.



*Τι διαπιστώνεις;*

*Προσπάθησε να ερμηνεύσεις τις διαπιστώσεις σου.*

## ***Υδροστατική πίεση και είδος υγρού***

Σε δυο διαφορετικά υγρά στο ίδιο βάθος η υδροστατική πίεση είναι η ίδια ή διαφορετική;



Παίρνουμε δυο δοχεία, ένα με καθαρό οινόπνευμα που έχει πυκνότητα  $\rho_{οιν} = 800 \frac{Kg}{m^3}$  και το άλλο με αλατόνερο πυκνότητας

$\rho_{αλατ} = 1.600 \frac{Kg}{m^3}$ . Μετράμε την

υδροστατική πίεση στο ίδιο βάθος και στα δύο υγρά. Διαπιστώνουμε ότι στο αλατόνερο η πίεση είναι διπλάσια. Από παρόμοια πειράματα, εξάγουμε το συμπέρασμα ότι η υδροστατική πίεση είναι ανάλογη με την πυκνότητα του υγρού.

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματά μας καταλήγουμε ότι η υδροστατική πίεση είναι ανάλογη:

1. του βάθους από την επιφάνεια του υγρού
2. της πυκνότητας του υγρού
3. της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Τα παραπάνω συμπεράσματα εκφράζονται στη γλώσσα των μαθηματικών από τη σχέση:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

(νόμος της υδροστατικής πίεσης)

όπου:  $p$  η υδροστατική πίεση σε

$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ,  $\rho$  η πυκνότητα του υγρού σε

$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ ,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας

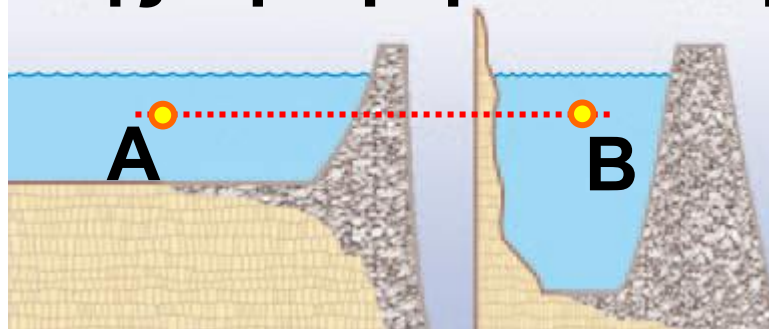
σε  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  και  $h$  το βάθος από την

επιφάνεια σε  $\text{m}$ .

Αξίζει να σημειωθεί ότι η υδροστατική πίεση δεν εξαρτάται από το σχήμα του δοχείου ή τον όγκο του υγρού. Στα σημεία A και B που φαίνονται στην εικόνα 4.10 η πίεση του νερού είναι ίδια, διότι βρίσκονται στο ίδιο βάθος, παρότι ο όγκος του νερού στην αβαθή λίμνη είναι πολύ μεγαλύτερος απ' ό,τι στη βαθιά

λίμνη. Αισθανόμαστε την ίδια πίεση όταν κάνουμε μια βουτιά και το κεφάλι μας βυθιστεί κατά ένα μέτρο είτε σε μια μικρή πισίνα με θαλασσινό νερό, είτε στη μέση του πελάγους.

Μεγάλη και αβαθής λίμνη      Μικρή και βαθιά λίμνη



***Εικόνα 4.10.***

Το φράγμα στο οποίο ασκείται μεγαλύτερη πίεση είναι εκείνο στο οποίο η λίμνη έχει μεγαλύτερο βάθος και όχι εκείνο που η λίμνη έχει μεγαλύτερο όγκο νερού. Άρα στη βάση αυτού του φράγματος ασκείται από το νερό μεγαλύτερη δύναμη. Συνεπώς το φράγμα αυτό κατασκευάζεται με μεγαλύτερο πάχος.

## Βαρύτητα και υδροστατική πίεση

▶ Τοποθέτησε σε βάθος  $h$  τη μεμβράνη του μανομέτρου, όπως στη διπλανή εικόνα.

▶ Θεώρησε έναν κύλινδρο πάνω από τη μεμβράνη ο οποίος να έχει ως βάση την επιφάνειά της.

▶ Υπόθεσε ότι η υδροστατική πίεση στη μεμβράνη οφείλεται στο βάρος του νερού που περιέχεται στον κύλινδρο.

▶ Με βάση τον ορισμό της πίεσης, υπολόγισε την υδροστατική πίεση  $p$  στη μεμβράνη.

▶ Να αποδείξεις ότι η έκφραση που βρίσκεις συμπίπτει με αυτή που προκύπτει από το νόμο της υδροστατικής.



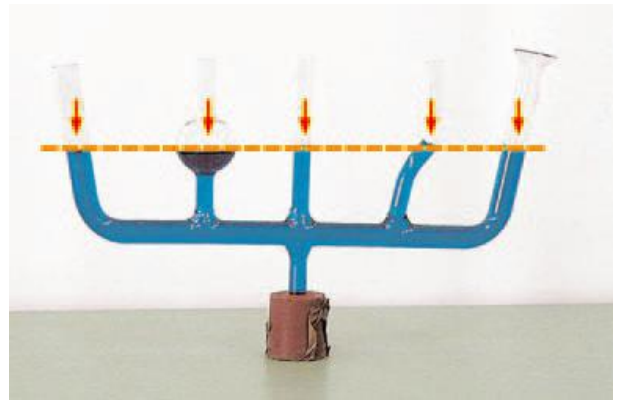
## ***Εφαρμογές της υδροστατικής πίεσης***

### ***Συγκοινωνούντα δοχεία***

Γεμίζουμε με υγρό μια σειρά από δοχεία διαφορετικού σχήματος τα οποία συγκοινωνούν μέσω ενός σωλήνα (εικόνα 4.11). Παρατηρούμε ότι σε όλα τα δοχεία η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού βρίσκεται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο.

#### ***Εικόνα 4.11.***

Στα συγκοινωνούντα δοχεία η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού που ισορροπεί βρίσκεται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο.

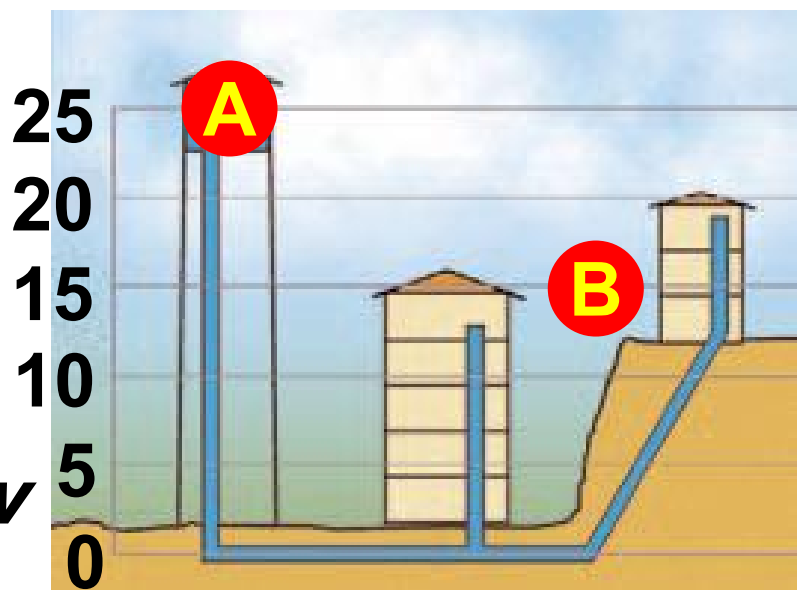


***Πώς μπορούμε να ερμηνεύσουμε την παραπάνω παρατήρηση; Το υγρό που βρίσκεται στον κοινό***

**οριζόντιο σωλήνα ισορροπεί. Για να συμβαίνει αυτό, θα πρέπει σε όλα τα σημεία του να επικρατεί η ίδια πίεση. Αν σε κάποιο σημείο η πίεση ήταν διαφορετική, τότε θα ασκούσαν επιπλέον δύναμη που θα προκαλούσε την κίνηση του υγρού. Από το νόμο της υδροστατικής προκύπτει ότι αν σε κάποιο από τα δοχεία η στάθμη του υγρού ήταν σε μεγαλύτερο ύψος, η πίεση στο αντίστοιχο σημείο του κοινού σωλήνα θα ήταν μεγαλύτερη. Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε ότι δύο σημεία ενός υγρού που ισορροπεί έχουν την ίδια πίεση όταν βρίσκονται στο ίδιο βάθος δηλ. στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Αυτό συμβαίνει ακόμη και όταν το υγρό βρίσκεται σε διαφορετικά, αλλά συγκοινωνούντα δοχεία. Η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων**

έχει πολλές εφαρμογές όπως στην κατασκευή των δεξαμενών ύδρευσης των πόλεων. Οι δεξαμενές κατασκευάζονται στα ψηλότερα σημεία έτσι ώστε το νερό να μπορεί να φθάσει και στους ψηλότερους ορόφους των σπιτιών χωρίς να χρειάζεται αντλία (εικόνα 4.12).

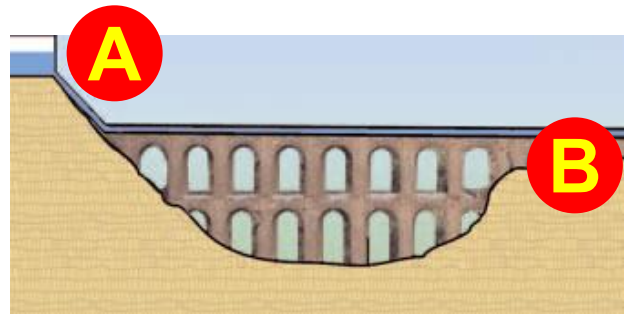
**Εικόνα 4.12.**  
**Υδραγωγεία:**  
**οι δρόμοι των νερών.**



Η δεξαμενή του νερού και οι σωλήνες του δικτύου αποτελούν συγκοινωνούντα δοχεία. Μπορείς να εξηγήσεις το λόγο για τον οποίο οι δεξαμενές νερού κατασκευάζονται στα ψηλότερα σημεία των πόλεων;

Στην εικόνα φαίνεται ένα Ρωμαϊκό υδραγωγείο<sup>1</sup>. Το υδραγωγείο κατά-

σκευάστηκε για να μεταφέρει νερό από την κορυφή Α σε μια πόλη σε χα-



μηλότερο υψόμετρο Β. Μπορείς να σκεφτείς μια βασική αρχή της φυσικής που δε λήφθηκε υπόψη στην κατασκευή του; Πώς κατασκεύαζαν οι Ρωμαίοι τα υδραγωγεία τους; Να το συγκρίνεις με ένα σύγχρονο.

1.

- Κατασκεύασε ένα φωτογραφικό άλμπουμ με τα ιστορικά υδραγωγεία που υπάρχουν στη χώρα μας. Κατάταξε τα με χρονολογική σειρά.

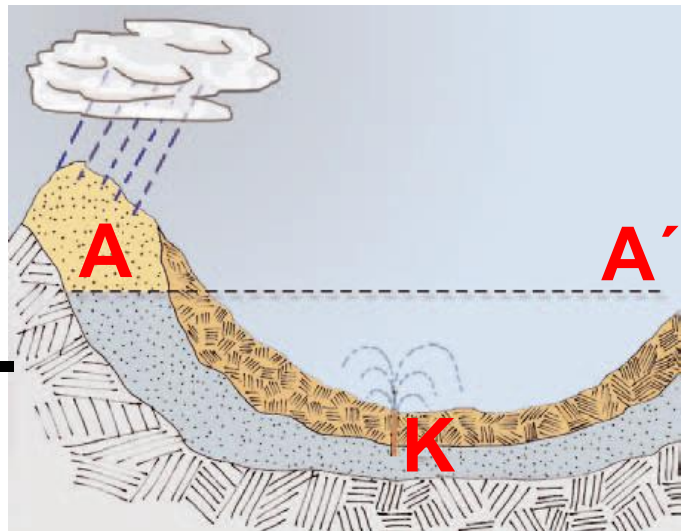
- Γράψε λίγα λόγια για την ιστορία καθενός από αυτά.



## Αρτεσιανά φρέατα (πηγάδια)

Σε αυτά τα πηγάδια το νερό αναβλύζει δημιουργώντας πίδακα. Γιατί συμβαίνει αυτό;

Πώς μπορούμε να το εξηγήσουμε; Όταν η μορφολογία του υπεδάφους είναι κατάλληλη, μεταξύ

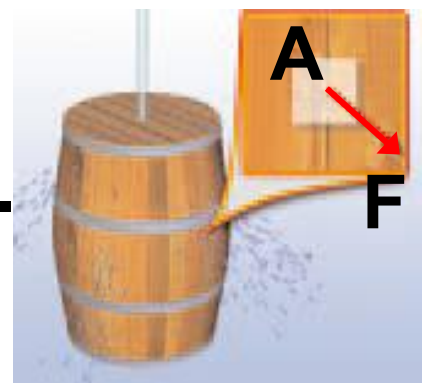


δύο υδατοστεγών πετρωμάτων είναι δυνατόν να δημιουργηθεί μια υπόγεια δεξαμενή νερού, όπως παριστάνεται στο διπλανό σχήμα. Αν ανοίξουμε στην περιοχή Κ ένα πηγάδι, που το βάθος του να φθάνει μέχρι την υπόγεια δεξαμενή, τότε η δεξαμενή και το πηγάδι αποτελούν συγκοινωνούντα δοχεία. Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού και στα δύο πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Σύμφωνα

με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων, το νερό αναπηδά στο πηγάδι για να φθάσει στην ελεύθερη επιφάνεια ΑΑ'. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται ένας πίδακας. Βέβαια, λόγω τριβών με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο πίδακας δε φθάνει μέχρι το ύψος της επιφάνειας ΑΑ'.

## Το υδροστατικό παράδοξο

Τον 17ο αιώνα ο **Πασκάλ (Pascal)**<sup>1</sup> πραγματοποίησε ένα πείραμα που έκανε μεγάλη εντύπωση και αναφέρεται συχνά ως παράδοξο της υδροστατικής. Πήρε ένα κλειστό βαρέλι που περιείχε 1000 kg νερού και άνοιξε



**1. Ποιος ήταν ο Πασκάλ; Πότε και πού έζησε; Ποιο ήταν το έργο του;**

στην πάνω επιφάνεια μια μικρή τρύπα. Στην τρύπα προσάρμοσε ένα λεπτό κατακόρυφο σωλήνα που είχε ύψος μερικά μέτρα. Προσθέτοντας μια μικρή ποσότητα νερού, ο σωλήνας γέμισε μέχρι την κορυφή. Τότε με μεγάλη έκπληξη είδε τα τοιχώματα του βαρελιού να ανοίγουν και το νερό να χύνεται έξω.

*Πώς συνέβη αυτό;*

Ας θεωρήσουμε μια μικρή επιφάνεια εμβαδού  $A = 1 \text{ cm}^2$  του πλευρικού τοιχώματος του βαρελιού που βρίσκεται σε απόσταση  $h = 0,5 \text{ m}$  από το πάνω μέρος του βαρελιού. Πριν από την τοποθέτηση του νερού στο σωλήνα, η πίεση του νερού στο τοίχωμα ήταν:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} =$$

$= 5.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  και η δύναμη  $\sigma'$  αυτό

$$F = p \cdot A = 5.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,5 \text{ N}.$$

Όταν ο σωλήνας, μήκους 9,5 m, γεμίσει με νερό, η πίεση γίνεται:

$$p' = \rho \cdot g \cdot h' = 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} = 100.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ και η δύναμη}$$

$$F' = p' \cdot A = 100.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 10 \text{ N δηλαδή,}$$

είκοσι φορές μεγαλύτερη.<sup>2</sup> Γι' αυτό άνοιξε το τοίχωμα.

**2.** Σύνδεση με τα μαθηματικά (ανάλογα ποσά)

Να υπολογίσεις τα πηλίκα:  $\frac{h}{h'}$ ,  $\frac{p}{p'}$

και να τα συγκρίνεις. Ποια ποσά ονομάζονται ανάλογα; Τι είδους ποσά είναι το βάθος και η υδρο-

στατική πίεση; Θυμήσου και άλλα φυσικά μεγέθη που είναι ανάλογα.

### 4.3 Ατμοσφαιρική Πίεση

Πίνεις το χυμό που περιέχεται στο χάρτινο κουτί. Όταν πίνεις την πορτοκαλάδα ή τραβάς τον αέρα από το κουτί, παρατηρείς ότι το κουτί τσαλακώνεται (εικόνα 4.13). Πού οφείλεται η δύναμη που συνθλίβει το κουτί; Πού οφείλεται η δύναμη που συγκρατεί μια βεντούζα κολλημένη στον τοίχο (εικόνα 4.13);

#### ***Εικόνα 4.13.***

Καθώς ρουφάς τον αέρα από το κουτί, αυτό συνθλίβεται. Η βεντούζα παραμένει κολλημένη στον τοίχο.



Η γη περιβάλλεται από ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από ένα μείγμα αερίων που ονομάζεται ατμοσφαιρικός αέρας. Ο αέρας είναι διαφανής. Έχει μάζα και από τη γη ασκείται σε αυτόν η δύναμη του βάρους. Επομένως, όπως συμβαίνει με όλα τα ρευστά σώματα, ασκεί πίεση σε κάθε επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σ' αυτόν. Η πίεση αυτή ονομάζεται ατμοσφαιρική πίεση. Όπως ακριβώς η υδροστατική πίεση μιας κατακόρυφης στήλης νερού οφείλεται στο βάρος της, έτσι και η ατμοσφαιρική πίεση οφείλεται στο βάρος του αέρα (εικόνα 4.14).

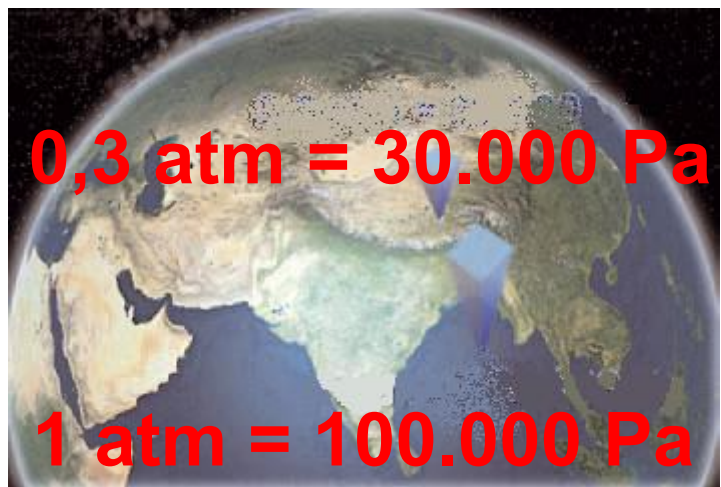
*Πόση είναι και από τι εξαρτάται η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης;*

Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης εξαρτάται από το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας (εικόνα

4.14). Τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας πιέζουν, λόγω του βάρους τους, τα κατώτερα με αποτέλεσμα η τιμή της πίεσης να είναι μεγαλύτερη στην επιφάνεια της θάλασσας. Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας ονομάζεται **πίεση μιας ατμόσφαιρας (1 atm)**.

***Εικόνα 4.14.***

Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος, οπότε στην κορυφή του Έβερεστ είναι πολύ μικρότερη (περίπου το 1/3) απ' ό,τι στην επιφάνεια της θάλασσας (Ινδικός).



## **Μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης**

Η ατμοσφαιρική πίεση μετρήθηκε για πρώτη φορά το 1643 από το μαθητή του Γαλιλαίου, το φυσικό Εβαγγελίστα Τορικέλι (εικόνα 4.15).

### **Εικόνα 4.15.**

Εβαγγελίστα Τορικέλι (Evangelista Torricelli) (1608-1647). Σχεδιάγραμμα της συσκευής που χρησιμοποίησε για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης.



Ο Τορικέλι χρησιμοποίησε ένα γυάλινο σωλήνα μήκους ενός μέτρου τον οποίο γέμισε με υδράργυρο. Στη συνέχεια τον αντέστρεψε μέσα σε μια μικρή λεκάνη, η οποία επίσης περιείχε υδράργυρο (εικόνα



4.15). Ο Τορικόλι παρατήρησε ότι το ύψος της στήλης του υδραργύρου μέσα στο σωλήνα έφθασε περίπου στα 76 cm.

*Πώς μπορούμε να εξηγήσουμε το γεγονός ότι στο σωλήνα παρέμεινε υδράργυρος ύψους 76 cm; Ποια δύναμη συγκρατεί τον υδράργυρο σε αυτό το ύψος;*

Το υγρό μέσα στο σωλήνα και τη λεκάνη ισορροπεί (εικόνα 4.16), άρα σύμφωνα με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων θα ισχύει:

$$p_A = p_B \quad (4.2)$$

διότι τα B, A είναι σημεία του ίδιου υγρού και βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Η πίεση στο A ισούται με την ατμοσφαιρική πίεση:

$$P_A = P_{atm} \quad (4.3)$$

Επομένως, η στήλη του υδραργύρου συγκρατείται από τη δύναμη που ασκείται, λόγω της ατμοσφαι-

ρικής πίεσης, στην ελεύθερη επιφάνεια του υδραργύρου της λεκάνης (εικόνα 4.16). Μέσα στο σωλήνα πάνω από τη στήλη του υδραργύρου δημιουργήθηκε κενό. Η πίεση στην επιφάνεια της στήλης είναι ίση με το μηδέν και συνεπώς η πίεση στο Β ισούται με την υδροστατική πίεση της στήλης του υδραργύρου:

$$P_B = P_{\text{υδρ}} \quad (4.4).$$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις (4.2), (4.3) και (4.4) συμπεραίνουμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι ίση με την πίεση που ασκεί στη βάση της στήλη υδραργύρου ύψους  $h$ . Όταν  $h=76 \text{ cm}$  ή  $760 \text{ mm}$ , λέμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με  $760 \text{ mm Hg}$ . Την υδροστατική πίεση που ασκεί στήλη υδραργύρου ύψους  $1 \text{ mm}$  την ονομάζουμε  $1 \text{ Torr}$  προς τιμή του Τορικέλι. Επομένως μπο-

### ***Εικόνα 4.16.***

Το πείραμα του Τορικέλι ή ατμοσφαιρική πίεση και δυνάμεις

Ο υδράργυρος στο σωλήνα ισορροπεί. Στον υδράργυρο ασκούνται δυο δυνάμεις:

- το βάρος του  $w$  και
- η δύναμη  $F$  από τον υδράργυρο του δοχείου:

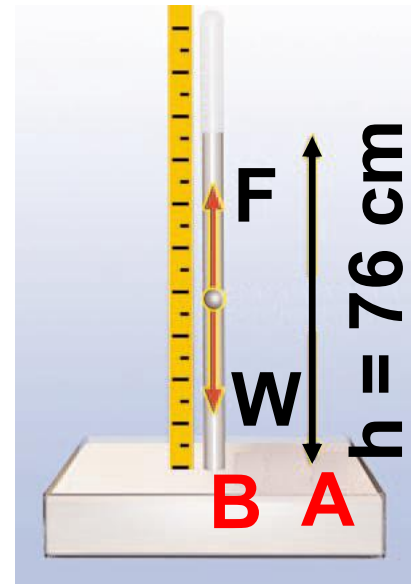
$F = p_B \cdot A$ , όπου  $p_B$  η υδροστατική πίεση στη βάση της στήλης του υδραργύρου και  $A$  το εμβαδόν της βάσης του σωλήνα. Εφαρμόζοντας τη συνθήκη ισορροπίας για τον υδράργυρο της στήλης έχουμε:

$$w = F \quad \text{ή} \quad m \cdot g = p_{\text{atm}} \cdot A \quad \text{ή}$$

$$\rho \cdot V \cdot g = p_{\text{atm}} \cdot A \quad \text{ή}$$

$$\rho \cdot (A \cdot h) \cdot g = p_{\text{atm}} \cdot A \quad \text{ή}$$

$$\rho \cdot h \cdot g = P_{\text{atm}}.$$



ρούμε να πούμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 760 Torr. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης ονομάζονται βαρόμετρα. Το πρώτο βαρόμετρο κατασκευάστηκε από τον Τορικόλι.

### *Πώς υπολογίζουμε την ατμοσφαιρική πίεση;*

Η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με την υδροστατική πίεση της στήλης του υδραργύρου. Έτσι, για να την υπολογίσουμε, εφαρμόζουμε το νόμο της υδροστατικής πίεσης. Γνωρίζοντας ότι ο υδράργυρος έχει πυκνότητα  $\rho = 13.600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$  και η επιτάχυνση της βαρύτητας (g) έχει τιμή  $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , μπορούμε να υπολογίσουμε την ατμοσφαιρική πίεση σε  $p_a$ .

**ΩΣΤΕ**

$$p_{\text{atm}} = p_{\text{υδρ}} = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{ή}$$

$$p_{\text{atm}} = 13.600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,76 \text{ m} \quad \text{ή}$$

$$p_{\text{atm}} = 101,293 \text{ Pa} \quad \text{ή}$$

περίπου 100.000 Pa. Η πίεση αυτή ονομάζεται πίεση μιας ατμόσφαιρας (1 atm): 1 atm = 100.000 Pa.

## ***Δυνάμεις λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης***

Όταν πίνεις το φρουτοχυμό σου με το καλαμάκι, έχεις αναρωτηθεί ποια δύναμη σπρώχνει το χυμό και τον ανεβάζει μέχρι το στόμα σου; Θυμήσου το πείραμα του Τορικέλι που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ποια δύναμη συγκρατούσε τη στήλη του υδραργύρου; Για να φθάσει η πορτοκαλάδα στο

στόμα σου, ρουφάς τον αέρα που υπάρχει μέσα στο καλαμάκι. Έτσι η πίεση πάνω από την επιφάνεια του χυμού μέσα στο καλαμάκι είναι μικρότερη από την πίεση που επικρατεί στη βάση του και η οποία είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Η δύναμη που ασκείται λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης ανεβάζει το χυμό στο στόμα σου. Στη σελήνη, όπου δεν υπάρχει αέρας, οι αστροναύτες δε θα μπορούσαν να πιουν με το καλαμάκι την πορτοκαλάδα τους.

## **Δραστηριότητα**

**Ο αέρας ασκεί δυνάμεις**

- ▶ Ρούφηξε νερό με ένα καλαμάκι και κλείσε το άλλο στόμιό του με το δάκτυλο σου.
- ▶ Κράτα το καλαμάκι κατακόρυφα, με το ανοικτό στόμιο προς τα κάτω.

**Πέφτει το νερό από το καλαμάκι;  
Ποια δύναμη το συγκρατεί;  
Μπορείς να εκτιμήσεις το με-  
τρο αυτής της δύναμης;  
Άφησε το στόμιο ελεύθερο.**



- ▶ **Τι παρατηρείς; Εξήγησε.**
- ▶ **Μπορείς τώρα να ερμη-  
νεύσεις πώς πίνεις την  
πορτοκαλάδα με το καλαμάκι;**
- ▶ **Μπορείς να βρεις τις ομοιότητες  
της παραπάνω δραστηριότητας με  
το πείραμα του Τορικέλι;**



**Πόσο μεγάλες είναι οι δυνάμεις  
που ασκούνται λόγω της ατμο-  
σφαιρικής πίεσης; Αν η επιφάνεια  
που έχει το στόμιο στο καλαμάκι  
είναι περίπου  $0,2 \text{ cm}^2$ , τότε η δύνα-  
μη που ασκείται λόγω της ατμο-  
σφαιρικής πίεσης είναι περίπου  
 $2 \text{ N}$ . Αντίστοιχα στη επιφάνεια του**

κουτιού της πορτοκαλάδας, η οποία έχει εμβαδόν περίπου  $50 \text{ cm}^2$ , είναι  $500 \text{ N}$ . Αυτές οι δυνάμεις συνθλίβουν το κουτί του χυμού και συγκρατούν τη βεντούζα στον τοίχο (εικόνα 4.13). Για παράδειγμα, η δύναμη που ασκείται σε μια επιφάνεια εμβαδού  $1 \text{ m}^2$  είναι  $100.000 \text{ N}$ . Αντίστοιχη δύναμη ασκείται και στο ανθρώπινο σώμα που έχει εμβαδόν μεταξύ ενός και δύο τετραγωνικών μέτρων. Η δύναμη αυτή θα μας συνέθλιβε, αν η πίεση στο εσωτερικό του σώματος μας δεν ήταν ίση με την ατμοσφαιρική. Έτσι, η ολική δύναμη που ασκείται στο σώμα μας λόγω της εσωτερικής και της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι μηδέν. Γι' αυτό το λόγο δεν αισθανόμαστε συνήθως την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Όταν όμως ανέ-



βουμε σε σχετικά μεγάλο ύψος, λόγω της μείωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης, αισθανόμαστε πόνο στα αυτιά μας.

## Τα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου

Το 1654 ο Όττο φον Γκέρικε (Otto von Guericke), δήμαρχος του Μαγδεμβούργου της Γερμανίας και εφευρέτης της αντλίας κενού, πραγματοποίησε ένα από τα πιο φημισμένα πειράματα με το οποίο απέδειξε την ύπαρξη της ατμοσφαιρικής πίεσης.



Τοποθέτησε δυο κοίλα ημισφαίρια από χαλκό έτσι ώστε να σχηματίζουν σφαίρα διαμέτρου 0.5 m. Με τη βοήθεια ενός δερμάτινου δακτυλίου ποτισμένου με λάδι και κερί έκανε την ένωσή τους αεροστεγή. Με μια

αντλία κενού αφαίρεσε τον αέρα από τη σφαίρα. Στη συνέχεια δύο ομάδες των 8 αλόγων η καθεμία δεν μπόρεσαν να αποχωρίσουν τα δύο ημισφαίρια.

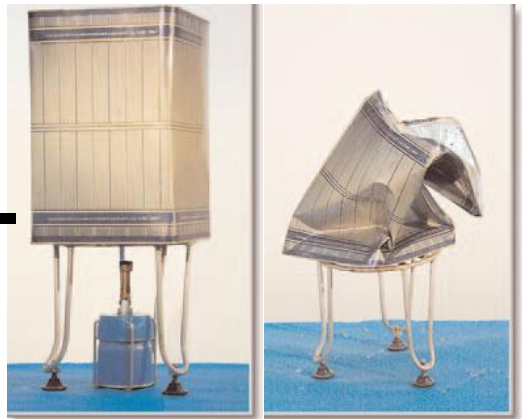
Αυτό οφειλόταν στην τεράστια δύναμη<sup>1</sup> που εξασκείται στην εξωτερική επιφάνεια των ημισφαιρίων εξ αιτίας της ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ στο εσωτερικό τους η πίεση ήταν πολύ πιο μικρή, αφού ο αέρας είχε σχεδόν αφαιρεθεί.

**1.** Αν η πίεση στο εσωτερικό των ημισφαιρίων είναι  $0,1 \text{ atm}$ , πόση δύναμη πρέπει να ασκηθεί στα ημισφαίρια για να αποχωριστούν; Να έχεις υπόψη σου ότι η συνολική δύναμη που ασκείται από τον αέρα στη σφαίρα αποδεικνύεται ότι ισούται με τη δύναμη που ασκείται σε μια κυκλική επιφάνεια ίδιας ακτίνας.

## Το μεταλλικό βαρόμετρο: Πόσο ψηλά πετάμε

**Η ατμοσφαιρική πίεση συνθλίβει το δοχείο.**

Πάρτε ένα δοχείο από ψευδάργυρο (τσίγκινο) και βάλτε στο εσωτερικό του λίγο νερό. Τοποθέτησέ το πάνω



σε μια εστία θέρμανσης, έχοντας το καπάκι του ανοικτό. Το νερό αρχίζει να βράζει και οι ατμοί που παράγονται, καθώς κινούνται προς τα πάνω, συμπαρασύρουν και ένα μέρος από τον ατμοσφαιρικό αέρα που υπήρχε στο εσωτερικό του. Μόλις εξαερωθεί όλη η ποσότητα του νερού, απομάκρυνε το δοχείο από την εστία θέρμανσης, αφού κλείσεις πολύ καλά το καπάκι του. Βάλτε το δοχείο κάτω από τη βρύση, οπότε

ψύχεται απότομα. Το δοχείο συνθλίβεται.

*Ποια δύναμη προκαλεί τη σύνθλιψη του δοχείου;*

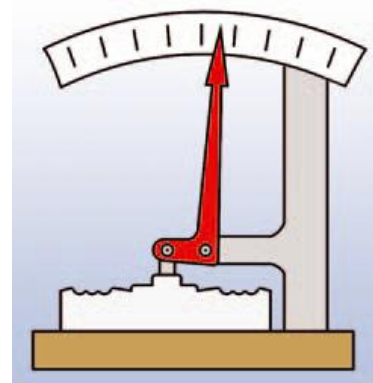
Η πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό του δοχείου είναι μικρότερη από αυτή στο εξωτερικό.

Αυτή η διαφορά της πίεσης προκαλεί και τη σύνθλιψή του. Το παραπάνω φαινόμενο μπορούμε να το αξιοποιήσουμε στη μέτρηση διαφορών της ατμοσφαιρικής πίεσης.

### **Το μεταλλικό βαρόμετρο**

Το μεταλλικό βαρόμετρο είναι όργανο με το οποίο μετράμε διαφορές της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στη διπλανή εικόνα φαίνεται ένα μεταλλικό βαρόμετρο και μια



σχηματική αναπαράσταση του εσωτερικού του.

*Μπορείς να βρεις τις αντιστοιχίες με το δοχείο και να σκεφτείς την αρχή λειτουργίας του;*

Μάθαμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος από την επιφάνεια της γης. Με κατάλληλα βαθμολογημένο λοιπόν μεταλλικό βαρόμετρο μπορούμε να μετράμε το ύψος. Τέτοια όργανα ονομάζονται **υψομετρικά βαρόμετρα** και υπάρχουν σε όλα τα αεροσκάφη.

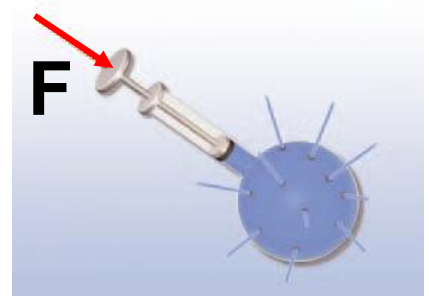
#### 4.4 Μετάδοση των Πίεσεων στα ρευστά - Αρχή του Πασκάλ

Όταν χρειάζεται να αντικαταστήσουμε το σκασμένο λάστιχο ενός αυτοκινήτου, πρέπει να το ανυψώσουμε. Θα έχεις ίσως παρατηρήσει

ότι για το κάνουμε χρησιμοποιούμε κατάλληλες αντλίες (εικόνα 4.18). Σε ποια αρχή της φυσικής στηρίζεται η λειτουργία μιας τέτοιας αντλίας;

### ***Εικόνα 4.17.***

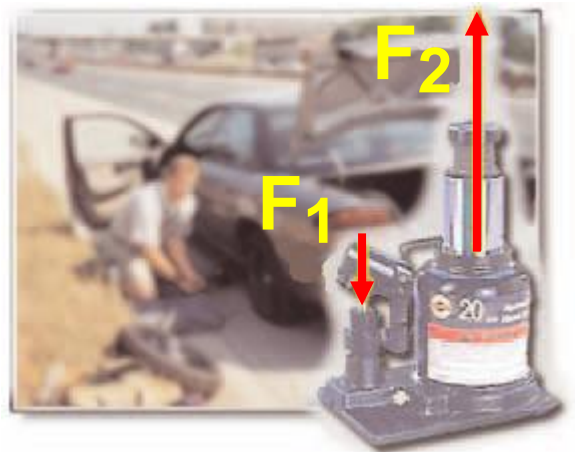
Η σύριγγα του Πασκάλ



### ***Εικόνα 4.18.***

Ασκώντας μικρή δύναμη στο ένα έμβολο της αντλίας κατά-

φέρνουμε να υπερνικήσουμε τη δύναμη του βάρους που ασκείται στο αυτοκίνητο και να το ανυψώσουμε με το άλλο έμβολο.



### ***Αρχή του Πασκάλ***

Αν με το έμβολο που κλείνει ερμητικά τη φιάλη (εικόνα 4.17) πιέσουμε την επιφάνεια του υγρού,

**παρατηρούμε ότι το υγρό εκτοξεύεται με την ίδια ταχύτητα από όλες τις τρύπες. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί μια ένδειξη ότι η πίεση που ασκήσαμε στο υγρό μεταδόθηκε σε όλα τα σημεία του αναλλοίωτη. Το ίδιο συμβαίνει με την αντλία του γρύλου που χρησιμοποιούμε για να ανυψώνουμε τα αυτοκίνητα: η πίεση που ασκούμε με το ένα έμβολο στο υγρό της αντλίας ( $p_1$ ) (εικόνα 4.18) μεταδίδεται αναλλοίωτη στο μεγάλο έμβολο, δηλαδή:**

$$p_2 = p_1$$

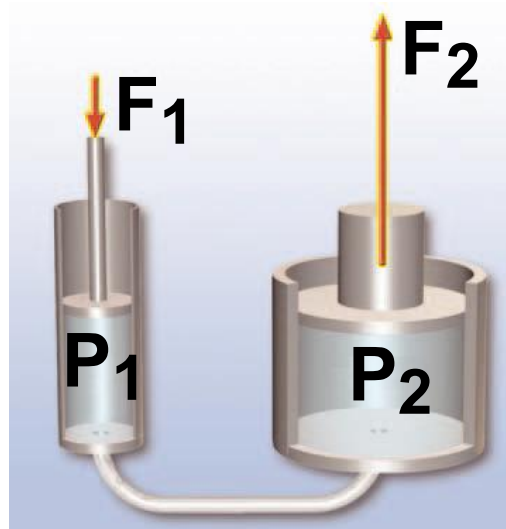
**Γενικά: κάθε μεταβολή της πίεσης σε οποιοδήποτε σημείο ενός περιορισμένου ρευστού που είναι ακίνητο, προκαλεί ίση μεταβολή της πίεσης σε όλα τα σημεία του.**

Αυτή η πρόταση είναι γνωστή ως αρχή του Πασκάλ, από το όνομα του Γάλλου φυσικού Μπλαιζ Πασκάλ (Blaise Pascal) (1623-1662), που τη διατύπωσε για πρώτη φορά.

**Εικόνα 4.19.**

**Αρχή του Pascal**

Αρχή λειτουργίας υδραυλικού πιεστηρίου.



Η εικόνα 4.19 δείχνει τον τρόπο λειτουργίας μιας υδραυλικής αντλίας. Η δύναμη  $F_1$  ασκείται στο έμβολο, που έχει εμβαδόν  $A_1$ . Έτσι στο υγρό της αντλίας (συνήθως λάδι) ασκείται, εκτός της ατμοσφαιρικής, πρόσθετη πίεση:  $p_1 = \frac{F_1}{A_1}$ .

Επομένως, σύμφωνα με την αρχή



του Πασκάλ, το υγρό ασκεί στο έμβολο που έχει εμβαδόν  $A_2$  πίεση  $p_2$  ίση με την  $p_1$ . Το υγρό ασκεί στο έμβολο δύναμη  $F_2$ :

$$p_2 = p_1, \quad \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1}, \quad F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1.$$

Αν το εμβαδόν του εμβόλου  $A_2$  είναι διπλάσιο από το εμβαδόν του  $A_1$ , η δύναμη που ασκείται στο αυτοκίνητο είναι διπλάσια της δύναμης που ασκούμε με το χέρι μας (εικόνα 4.18). Γενικά, η  $F_2$  είναι τόσες φορές μεγαλύτερη από την  $F_1$  όσες φορές είναι μεγαλύτερο το εμβαδόν του  $A_2$  από το  $A_1$ . Σημειώστε τη διαφορά μεταξύ πίεσης και δύναμης. Σε μια υδραυλική αντλία ή πιεστήριο η πίεση διατηρείται σταθερή, ενώ η δύναμη πολλαπλασιάζεται (εικόνα 4.19).

## Δραστηριότητα

### Μετάδοση πιέσεων

- Σύνδεσε μια μικρή και μια μεγάλη σύριγγα με έναν πλαστικό σωλήνα γεμάτο με νερό.

- Πίεσε με το ένα χέρι το έμβολο της μικρής σύριγγας και με το άλλο το έμβολο της μεγάλης. Προσπάθησε να ισοροπήσεις τα δύο έμβολα.



*Ασκείς ίδιες ή διαφορετικές δυνάμεις; Τι συμπεραίνεις;*

### ***Πίεση σε υγρό***

Στην επιφάνεια ενός υγρού ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση. Σύμφωνα με την αρχή του Πασκάλ, η πίεση αυτή μεταδίδεται σε όλα τα σημεία του υγρού. Εξ άλλου, σε κάθε σημείο του υγρού υπάρχει υδροστατική πίεση. Επομένως, η συνολική πίεση σε οποιοδήποτε σημείο

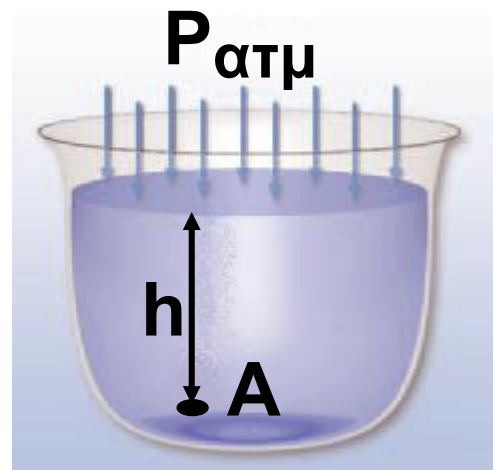
του υγρού, που βρίσκεται σε βάθος  $h$  από την ελεύθερη επιφάνειά του, είναι ίση με το άθροισμα της ατμοσφαιρικής και της υδροστατικής πίεσης (εικόνα 4.20). Συνεπώς θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_{ολική} = P_{ατμοσφαιρική} + \rho \cdot g \cdot h$$

### ***Εικόνα 4.20.***

Η πίεση στο A είναι:

$$P_A = P_{ατμοσφαιρική} + \rho \cdot g \cdot h$$



Τα αεροζόλ περιέχουν ένα αέριο σε υψηλή πίεση που ονομάζεται προωθητικό<sup>1</sup> (γκρι χρώμα στο σχήμα).

Ο σωλήνας μέσα από τον οποίο προωθείται το υγρό στο επάνω μέρος, μέσω μιας βαλβίδας,

επικοινωνεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα (σημείο A) και στο κάτω μέρος βρίσκεται σε επαφή με το υγρό (σημείο B).

Όταν η βαλβίδα είναι κλειστή, η πίεση στο A είναι πολύ μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής:

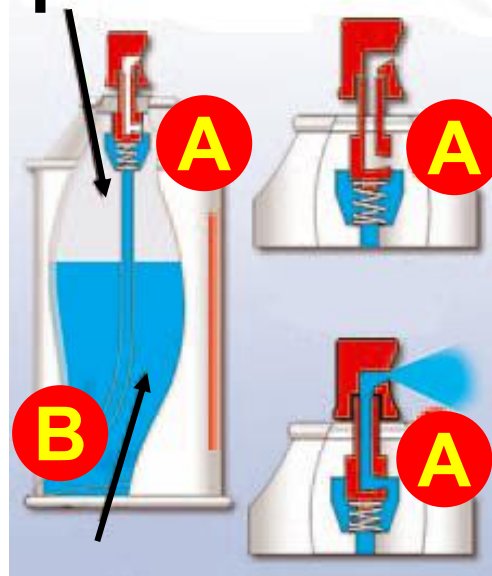
$$p_A = p_{\text{αερίου}}$$

Η πίεση στο B είναι:

$$p_B = p_{\text{αερίου}} + \rho \cdot g \cdot h.$$

Όταν η βαλβίδα ανοίγει, η πίεση στο A γίνεται ίση με την ατμοσφαιρική, ενώ στο B δε μεταβάλλεται. Η διαφορά πίεσης μεταξύ A και B εξαναγκάζει το υγρό να ανέβει στο σωλήνα και να εκτοξευθεί με τη μορφή σταγονιδίων στην ατμόσφαιρα.

προωθητικό βαλβίδα κλειστή



υγρό βαλβίδα ανοικτή

**1.**

**Ποια είναι η σύσταση του προωθητικού αερίου;**

**Ποιες είναι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση των αεροζόλ;**

**Τι γνωρίζεις για την τρύπα του όζοντος;**

**Μετρώντας την πίεση του αίματος Προσέξτε πώς φουσκώνουν οι φλέβες στους καρπούς των χεριών σας, όταν τα κρατάτε όσο πιο χαμηλά μπορείτε, για παράδειγμα, όταν κάνετε κάμψεις ή «κατακόρυφο». Αυτό το γεγονός είναι συνέπεια του νόμου της υδροστατικής. Το αίμα φεύγει από την καρδιά με ορισμένη πίεση. Στα χαμηλότερα σημεία του σώματος (μεγαλύτερο**



βάθος) η πίεση είναι μεγαλύτερη. Γι' αυτό μετριέται στο ανώτερο μέρος του χεριού μας, που βρίσκεται σχεδόν στο ίδιο ύψος με την καρδιά.

## 4.5 Άνωση - Αρχή του Αρχιμήδη

*Έχεις αναρωτηθεί ποια δύναμη διατηρεί το σώμα σου στην επιφάνεια της θάλασσας όταν κολυμπάς; Ποια δύναμη κρατά τα πλοία στη επιφάνεια της θάλασσας, της λίμνης ή των ποταμών όταν ταξιδεύουν; Ποια δύναμη σπρώχνει προς τα πάνω το μπαλόκι που κρατάει το κοριτσάκι που παριστάνεται στην εικόνα 4.21; Είναι η ίδια δύναμη που σε εμποδίζει να βυθίσεις ένα μπαλόκι στο νερό. Κάθε υγρό ασκεί δύναμη στα σώματα που βυθίζονται σε αυτό. Η δύναμη αυτή ονομάζεται*

**άνωση. Άνωση ασκείται και στα σώματα που βρίσκονται μέσα στον αέρα (εικόνα 4.21).**

***Εικόνα 4.21.***

**Η άνωση σπρώχνει το μπαλόνι προς τα επάνω.**

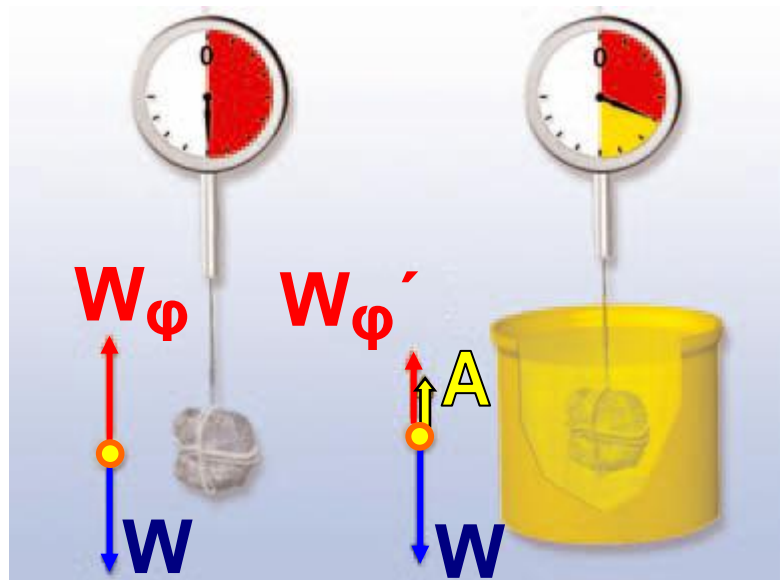


**Είναι πιο εύκολο να σηκώσεις μια πέτρα όταν αυτή είναι βυθισμένη μέσα στο νερό απ' ό,τι όταν βρίσκεται έξω από αυτό. Σχηματίζεις την εντύπωση ότι το βάρος της πέτρας ελαττώνεται όταν τη βυθίζεις στο νερό. Αν την κρεμάσεις από ένα δυναμόμετρο, η ένδειξη του δυναμομέτρου όταν η πέτρα είναι μέσα στο νερό είναι μικρότερη από την ένδειξη όταν η πέτρα είναι**

στον αέρα (εικόνα 4.22). Το βάρος της πέτρας, δηλαδή η βαρυτική δύναμη που η γη ασκεί στην πέτρα, είναι η ίδια είτε η πέτρα βρίσκεται μέσα στο νερό είτε βρίσκεται στον αέρα. *Γιατί το δυναμόμετρο δείχνει μικρότερη ένδειξη όταν η πέτρα είναι κρεμασμένη μέσα στο νερό;*

***Εικόνα 4.22.***

Η άνωση έχει κατακόρυφη διεύθυνση και φορά προς τα πάνω. Το μέτρο της είναι



ίσο με:  $A = W - W_{\varphi}$ , όπου  $W$  είναι το βάρος της πέτρας και  $W_{\varphi}$  η δύναμη που ασκεί το δυναμόμετρο στο σώμα (η ένδειξη του δυναμομέτρου), όταν η πέτρα είναι βυθισμένη στο νερό.



Το νερό ασκεί στην πέτρα μια δύναμη που την ονομάσαμε άνωση:  $A$ .

Η ένδειξη του δυναμομέτρου,  $W_{\varphi}$ , είναι ίση με το μέτρο της δύναμης που ασκεί το δυναμόμετρο στην πέτρα. Η πέτρα ισορροπεί. Έτσι, όταν βρίσκεται στον αέρα, ισχύει:

$$W_{\varphi} = W,$$

ενώ όταν είναι βυθισμένη στο νερό:

$$W_{\varphi} + A = W, \text{ δηλαδή } W_{\varphi} = W - A.$$

Επομένως, η δύναμη που ασκεί το δυναμόμετρο στην πέτρα προκύπτει ως η συνισταμένη του βάρους της πέτρας ( $W$ ), που έχει φορά προς τα κάτω και της άνωσης  $A$ , που έχει φορά προς τα επάνω (εικόνα 4.22).

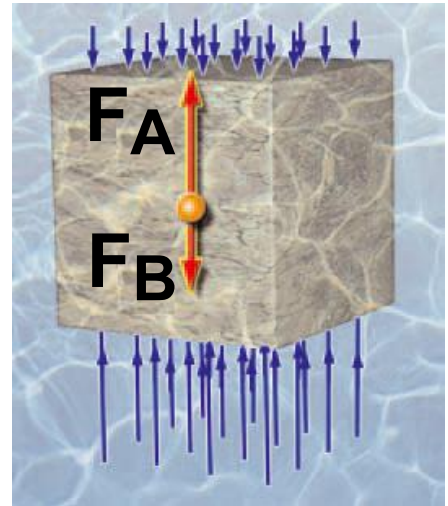
### ***Πού οφείλεται η άνωση;***

Για να απαντήσουμε στο ερώτημα, θεωρούμε έναν κύβο βυθισμένο

σε υγρό (εικόνα 4.23). Το υγρό ασκεί δύναμη στον κύβο η οποία οφείλεται στην υδροστατική πίεση.

### ***Εικόνα 4.23.***

Οι μεγαλύτερες πιέσεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της πέτρας προκαλούν την προς τα πάνω δύναμη της άνωσης.



Έτσι, στην κάτω επιφάνεια του κύβου εμβαδού  $A$  ασκείται δύναμη  $F_A = \rho_A \cdot A$  και στην επάνω  $F_B = \rho_B \cdot A$ . Σύμφωνα με το νόμο της υδροστατικής, στην κάτω επιφάνεια του κύβου επικρατεί μεγαλύτερη πίεση απ' ό,τι στην επάνω, δηλαδή  $\rho_A > \rho_B$  και επομένως  $F_A > F_B$ . Η συνισταμένη όλων των

δυνάμεων που ασκείται από το υγρό στον κύβο λόγω της υδροστατικής πίεσης έχει κατακόρυφη διεύθυνση και φορά προς τα πάνω. Η συνισταμένη αυτή δύναμη είναι η άνωση (εικόνα 4.23).

***Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η άνωση;***

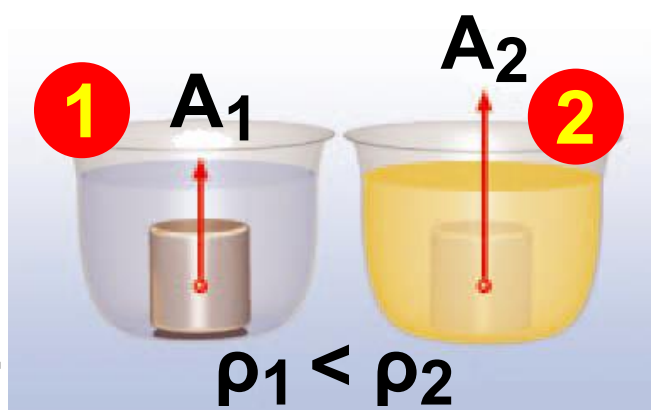
Παίρνουμε δύο κομμάτια πλαστελίνης ίδιου βάρους. Στο ένα δίνουμε το σχήμα κύβου και στο άλλο σφαίρας και τα βυθίζουμε πλήρως στο ίδιο υγρό στο ίδιο βάθος. Μετράμε την άνωση στα δυο σώματα. Παρατηρούμε ότι είναι ίδια. Αντικαθιστούμε τη σφαίρα από πλαστελίνη με μεταλλική ίδιας ακτίνας και μετράμε τις δύο ανώσεις. Παρατηρούμε ότι είναι ίδιες. Συμπεραίνουμε ότι η άνωση δεν εξαρτάται από το σχήμα και το βάρος του σώματος

που βυθίζεται. Βυθίζουμε το ένα από τα δύο σώματα σε μεγαλύτερο βάθος και παρατηρούμε ότι η άνωση δε μεταβάλλεται. Συμπεραίνουμε ότι, εφόσον το σώμα είναι ολόκληρο βυθισμένο στο υγρό, η άνωση είναι ανεξάρτητη του βάθους στο οποίο βρίσκεται.

Αν βυθίσουμε πλήρως τα δυο κομμάτια πλαστελίνης σε δύο υγρά με διαφορετικές πυκνότητες, διαπιστώνουμε ότι το υγρό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα ασκεί στην πλαστελίνη μεγαλύτερη άνωση (εικόνα 4.24).

### ***Εικόνα 4.24.***

Το υγρό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα ασκεί στο ίδιο σώμα μεγαλύτερη άνωση.



**Έχεις αναρωτηθεί γιατί επιπλέουμε πιο εύκολα στη θάλασσα απ' ό,τι σε μια λίμνη ή πισίνα (με «γλυκό» νερό); Μπορείς να απαντήσεις στο παραπάνω ερώτημα, αν γνωρίζεις ότι το αλατόνερο (νερό της θάλασσας) έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το καθαρό νερό (νερό της λίμνης).**

**Βυθίζουμε πλήρως στο ίδιο υγρό δύο κύβους, έναν αλουμινένιο και ένα σιδερένιο ίδιου βάρους. Ο κύβος από αλουμίνιο έχει μεγαλύτερο όγκο. Διαπιστώνουμε ότι η άνωση που ασκείται στο σιδερένιο κύβο είναι μικρότερη, από αυτή που ασκείται στον αλουμινένιο. Βυθίζουμε σταδιακά τον έναν από τους κύβους στο υγρό. Παρατηρούμε ότι όσο περισσότερο μέρος του όγκου ενός σώματος βυθίζουμε μέσα στο**

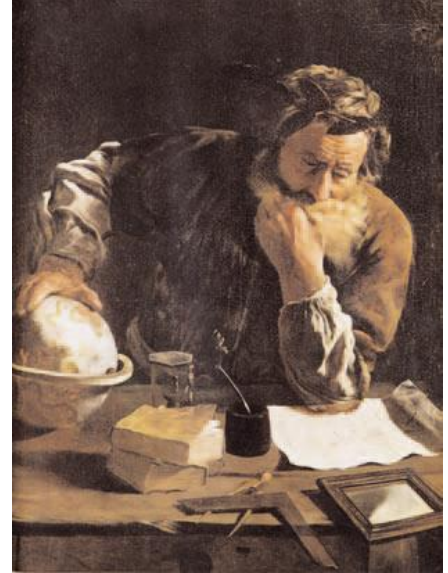
υγρό, τόσο αυξάνεται η άνωση που ασκείται στο σώμα.

***Εικόνα 4.25.***

**Αρχιμήδης<sup>1</sup>**

***(287-212 π.Χ.)***

Από τους επιφανέστερους σοφούς της αρχαιότητας. Μαθηματικός, αστρονόμος, φυσικός, μηχανικός. Θεωρείται ο μεγαλύτερος εφευρέτης της εποχής του.



**1.** Αναζήτησε από τη βιβλιογραφία ποιο πρόβλημα προσπαθούσε να επιλύσει ο **Αρχιμήδης** όταν διατύπωσε τον νόμο της άνωσης. Αναζήτησε ακόμα την προέλευση της φράσης «Εύρηκα» και γράψε μια μικρή ιστορία που να αναφέρεται σε αυτό το γεγονός.

**Πώς θα μπορούσαμε να γενικεύσουμε τις παραπάνω παρατηρήσεις και να τις συνοψίσουμε σε μια πρόταση; Πρώτος ο Έλληνας μαθηματικός και φυσικός Αρχιμήδης (3ος αιώνας π.Χ.) (εικόνα 4.25), παρατήρησε ότι όταν ένα σώμα βυθίζεται στο υγρό, καταλαμβάνει χώρο στον οποίο προηγουμένως υπήρχε υγρό. Δηλαδή το σώμα εκτοπίζει το υγρό, οπότε η στάθμη του υγρού ανεβαίνει. Ο όγκος του υγρού που εκτοπίζεται ισούται με τον όγκο του σώματος (ή του μέρους του σώματος) που είναι βυθισμένο σ' αυτό (εικόνα 4.26).**

**Συμπεραίνουμε ότι η άνωση αυξάνεται, όταν αυξάνεται ο όγκος του υγρού που εκτοπίζεται από το σώμα, που βυθίζουμε σ' αυτό. Ο Αρχιμήδης συγκέντρωσε όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις και**

διατύπωσε μια πρόταση που είναι γνωστή ως αρχή του Αρχιμήδη:

Τα υγρά ασκούν δύναμη σε κάθε σώμα που βυθίζεται μέσα σε αυτά. Η δύναμη αυτή ονομάζεται άνωση, είναι κατακόρυφη, με φορά προς τα πάνω και το μέτρο της ισούται με το βάρος του υγρού που εκτοπίζεται από το σώμα (εικόνα 4.26).

***Εικόνα 4.26.***

***Αρχή Αρχιμήδη***

Η άνωση που ασκείται στο σώμα είναι



ίση με το βάρος του υγρού που εκτοπίζεται απ' αυτό:  $W_{\text{σφαίρας}} = 90 \text{ N}$ ,

$W_{\varphi} = 50 \text{ N}$ , άρα  $A = 90 \text{ N} - 50 \text{ N}$ ,  $A = 40 \text{ N}$ .

$W_{\text{εκτόπισ}} = W_{\text{δοχ και υγρ.}} - W_{\delta}$ ,

$W_{\text{υγρού}} = 60 \text{ N} - 20 \text{ N}$ ,  $W_{\text{υγρού}} = 40 \text{ N}$ .



Η αρχή του Αρχιμήδη ισχύει και για σώματα που βρίσκονται σε αέρια και διατυπώνεται στη γλώσσα των μαθηματικών ως εξής:

Άνωση = Βάρος υγρού ή του αερίου που εκτοπίζεται ή

Άνωση = (Μάζα υγρού ή του αερίου που εκτοπίζεται) · g ή

Άνωση = (όγκος υγρού ή του αερίου που εκτοπίζεται) · (πυκνότητα υγρού) · g ή

$A = \rho_{\text{υγρού ή αερίου}} \cdot g \cdot V_{\text{βυθισμένο}}$   
όπου A η άνωση που ασκείται σε σώμα βυθισμένο σε υγρό (ή αέριο) πυκνότητας  $\rho$  και  $V_{\text{βυθισμένο}}$  ο όγκος (ή το μέρος του όγκου) του σώματος που είναι βυθισμένο στο υγρό (ή το αέριο).



### ***Εικόνα 4.27.***

Το αερόπλοιο δεν πέφτει, γιατί ο αέρας ασκεί σ' αυτό άνωση που εξουδετερώνει το βάρος του. Το πλοίο δε βυθίζεται, γιατί το νερό ασκεί σε αυτό άνωση που εξουδετερώνει το βάρος του.

### **Δραστηριότητα**

#### **Αγγίζοντας το νερό**

Τοποθέτησε ένα γυάλινο ποτήρι με νερό σε μια ζυγαριά και μηδένισε την ένδειξή της. Στη συνέχεια σπρώξε ελαφρά την επιφάνεια του νερού προς τα κάτω. Το άγγιγμά σου

μεταφέρεται  
στο ποτήρι  
και επομένως  
καταγράφε-  
ται από τη  
ζυγαριά;



Σκέψου. Συζήτησε και προσπάθησε  
να το ερμηνεύσεις.

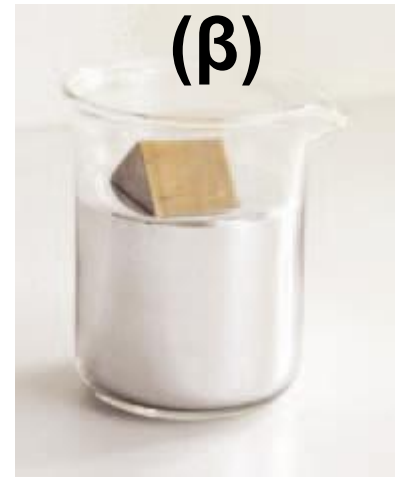
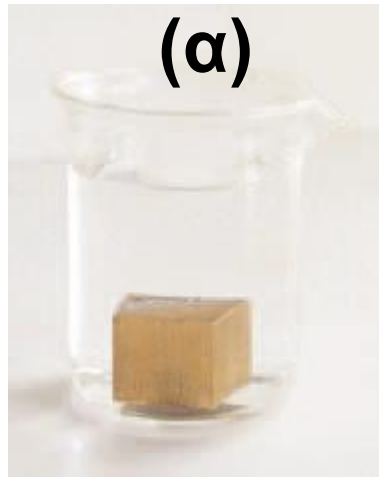
## 4.6 Πλεύση

Μια ξύλινη βάρκα ή ένα πλοίο κατασκευασμένο από σίδηρο επιπλέει στη θάλασσα, ενώ η σιδερένια άγκυρα βυθίζεται. Ένας σιδερένιος κύβος βυθίζεται στο νερό, αλλά επιπλέει στον υδράργυρο (εικόνα 4.28).

*Πώς μπορούμε να εξηγήσουμε τα παραπάνω φαινόμενα; Πότε ένα σώμα βυθίζεται και πότε επιπλέει;*

### **Εικόνα 4.28.**

(α) Το βάρος του κύβου είναι μεγαλύτερο από την



άνωση που του ασκεί το νερό. Ο κύβος βυθίζεται. (β) Το βάρος του κύβου είναι μικρότερο από την άνωση που του ασκεί ο υδράργυρος. Ο κύβος κινείται προς την επιφάνεια και αναδύεται. Όταν η άνωση γίνει ίση με το βάρος του, ο κύβος επιπλέει.

Ας θεωρήσουμε ένα σώμα το οποίο είναι ολόκληρο βυθισμένο σ' ένα υγρό. Στο σώμα ασκούνται δύο δυνάμεις. Το βάρος του και η μέγιστη άνωση. Το βάρος τείνει να κινήσει το σώμα προς τον πυθμένα, ενώ η άνωση προς την επιφάνεια. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις:

α) Το βάρος ( $w$ ) του σώματος να είναι μεγαλύτερο από την άνωση ( $A$ ) (εικόνες 4.28α και 4.29α).

Τότε η φορά της συνισταμένης δύναμης είναι προς τον πυθμένα. Το σώμα βυθίζεται. Αυτό συμβαίνει, όταν η πυκνότητα του σώματος είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα του υγρού:

$$W > A, \text{ ή } m \cdot g > \rho_{\text{υγρού}} \cdot V \cdot g, \text{ ή}$$
$$\rho_{\text{σώματος}} \cdot V \cdot g > \rho_{\text{υγρού}} \cdot V \cdot g \text{ ή}$$
$$\rho_{\text{σώματος}} > \rho_{\text{υγρού}}$$

β) Η άνωση ( $A$ ) είναι ακριβώς ίση με το βάρος του σώματος (εικόνα 4.29β).

Τότε το σώμα διατηρείται σε σταθερό βάθος, δηλαδή ούτε βυθίζεται, ούτε αναδύεται. Αυτό συμβαίνει όταν:

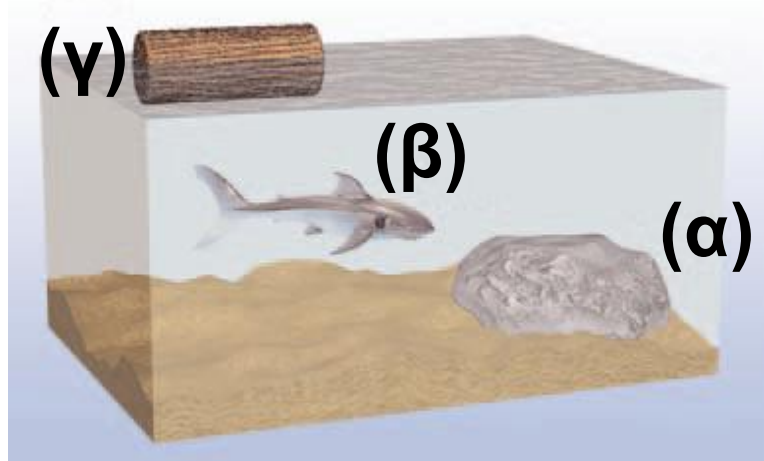
$$W = A, \text{ ή } m \cdot g = \rho_{\text{υγρού}} \cdot V \cdot g, \text{ ή}$$

$$\rho_{\text{σώματος}} \cdot V \cdot g = \rho_{\text{υγρού}} \cdot V \cdot g \text{ ή}$$

$$\rho_{\text{σώματος}} = \rho_{\text{υγρού}}$$

**Εικόνα 4.29.**

Η πυκνότητα (α) της πέτρας είναι μεγαλύτερη εκείνης



του θαλασσινού νερού, (β) του ψαριού που τη ρυθμίζει κατάλληλα και γίνεται ίση με την πυκνότητα του θαλασσινού νερού και (γ) του ξύλου είναι μικρότερη από την πυκνότητα του θαλασσινού νερού.

γ) Η μέγιστη άνωση (A) είναι μεγαλύτερη από το βάρος (W) του σώματος (εικόνες 4.28β, 4.29γ).

Τότε η φορά της συνισταμένης δύναμης είναι προς την επιφάνεια.

Το σώμα κινείται προς την επιφάνεια και ένα μέρος του αναδύεται. Αυτό συμβαίνει όταν:

$$W < A, \text{ ή } m \cdot g < \rho_{\text{υγρού}} \cdot V \cdot g, \text{ ή}$$
$$\rho_{\text{σώματος}} \cdot \cancel{V} \cdot \cancel{g} < \rho_{\text{υγρού}} \cdot \cancel{V} \cdot \cancel{g} \text{ ή}$$
$$\rho_{\text{σώματος}} < \rho_{\text{υγρού}}$$

Καθώς μειώνεται όγκος του σώματος που είναι βυθισμένο στο υγρό, η άνωση που δέχεται ελαττώνεται. Σε κάποια θέση του σώματος η άνωση ( $A'$ ) εξισώνεται με το βάρος του σώματος. Τότε, το σώμα επιπλέει:

$$A' = W, \quad \text{Συνθήκη πλεύσης}$$

Για να προβλέψουμε αν ένα σώμα επιπλέει ή βυθίζεται σ' ένα υγρό, συγκρίνουμε:

α) τη μέγιστη άνωση με το βάρος ή

β) τις πυκνότητες του σώματος και του υγρού (εικόνα 4.30). Ένα σώμα επιπλέει όταν:

$$\rho_{\text{σώματος}} < \rho_{\text{υγρού}}$$

### ***Εικόνα 4.30.***

Η ξύλινη και η σιδερένια σφαίρα έχουν την ίδια μάζα. α) Η ξύλινη σφαίρα έχει μικρότερη



πυκνότητα από το νερό. Επιπλέει. β) Η σιδερένια σφαίρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό. Βυθίζεται.

Σύμφωνα με τη συνθήκη πλεύσης, αν αυξηθεί το βάρος ενός σώματος που επιπλέει σε υγρό, θα πρέπει να αυξηθεί και η άνωση. Επομένως, το σώμα θα πρέπει να βυθιστεί περισσότερο στο υγρό (εικόνα 4.31).



### ***Εικόνα 4.31.***

Ίσαλος γραμμή ονομάζεται η γραμμή που χαράσσεται στο σκε-



λετό των περισσότερων πλοίων και δείχνει σε πόσο βάθος επιτρέπεται να βυθιστούν στο θαλασσινό νερό και επομένως πόσο είναι το μέγιστο βάρος του φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν.

**Αν θέλετε να επιπλέετε πιο εύκολα στο νερό, πρέπει να μειώσετε την πυκνότητά σας. Πώς; Αυξάνοντας τον όγκο ή μειώνοντας τη μάζα του σώματός σας. Επειδή είναι ιδιαίτερα δύσκολο να μειώσετε τη μάζα, χρησιμοποιείτε τα σωσίβια για να αυξήσετε τον όγκο σας. Τα σωσίβια έχουν μικρή μάζα και μεγάλο όγκο. Έτσι, όταν τα φοράμε, η «μέση» πυκνότητα\* του σώματος**

μας μειώνεται και επιπλέουμε ευκολότερα.

Ο σίδηρος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό. Έτσι, μια συμπαγής σιδερένια σφαίρα βυθίζεται στο νερό. Ωστόσο, μια κοίλη (κούφια) σιδερένια σφαίρα ίδιας μάζας μπορεί να επιπλέει (εικόνα 4.32). Η κοίλη σφαίρα με την ίδια μάζα έχει μεγαλύτερο όγκο κι επομένως μικρότερη «μέση» πυκνότητα. Για τον ίδιο λόγο τα πλοία που είναι κατασκευασμένα από λαμαρίνες επιπλέουν στη θάλασσα (εικόνα 4.32).

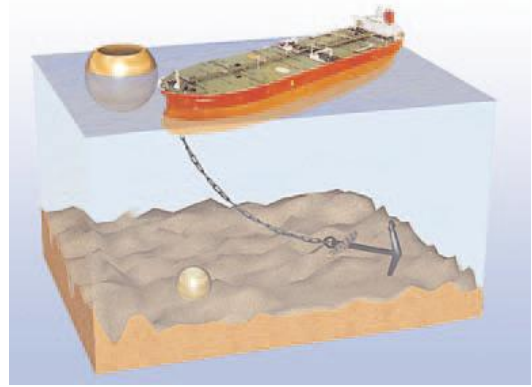
---

\* Η «μέση» πυκνότητα ενός σώματος είναι το πηλίκο της συνολικής μάζας του σώματος προς το συνολικό όγκο του:

$$\rho = \frac{m_{\text{ολική}}}{V_{\text{συνολικό}}}$$

### ***Εικόνα 4.32***

Η συμπαγής σφαίρα έχει το ίδιο βάρος με την κούφια. Η συμπαγής βυθίζεται, η κούφια επιπλέει.



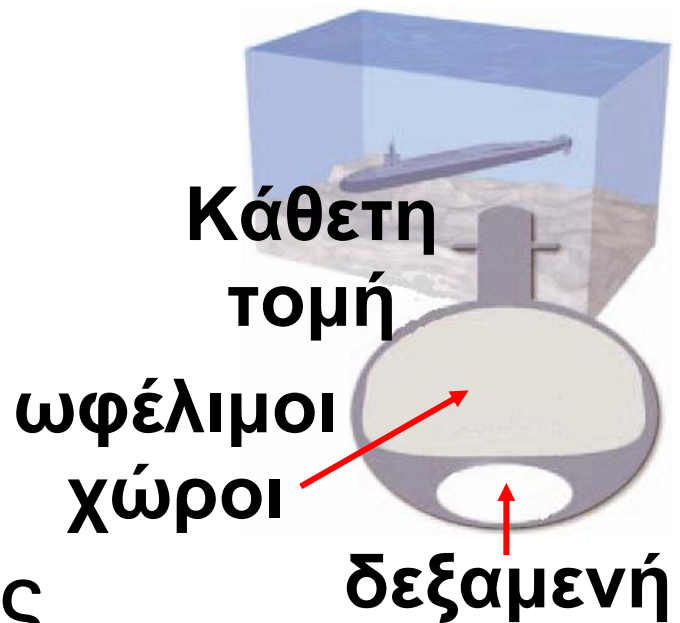
Το πλοίο έχει μεγαλύτερο βάρος από την άγκυρα. Το πλοίο επιπλέει, ενώ η άγκυρα βυθίζεται.

Η πυκνότητα ενός υποβρυχίου ρυθμίζεται με την είσοδο και έξοδο νερού στις δεξαμενές έρματος. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται ή μειώνεται το βάρος του υποβρυχίου και επιτυγχάνεται η κατάλληλη πυκνότητα ώστε το υποβρύχιο να βυθίζεται ή να αναδύεται.

Με τον ίδιο τρόπο τα ψάρια ρυθμίζουν την πυκνότητά τους αυξομειώνοντας τον όγκο ενός αερόσακου που υπάρχει στο εσωτερικό τους.

**Αυξάνοντας τον όγκο, μειώνεται η**

**ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΥΟΝΤΑΙ, ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΟΓΚΟ, ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΒΥΘΙΖΟΝΤΑΙ.<sup>1</sup>**



***Εικόνα 4.33.***

Όταν οι δεξαμενές έρματος είναι γεμάτες νερό, η μέση πυκνότητα του υποβρυχίου γίνεται μεγαλύτερη από του νερού και το υποβρύχιο βυθίζεται. Όταν είναι γεμάτες αέρα, τότε η πυκνότητά του είναι μικρότερη του νερού και το υποβρύχιο αναδύεται.

Ο κροκόδειλος αυξάνει την πυκνότητά του καταπίνοντας πέτρες. Έτσι, μπορεί να κολυμπά σε μεγα-

λύτερο βάθος ώστε να μη γίνεται αντιληπτός από τα υποψήφια θύματά του. Στο μπροστινό μέρος του στομάχου μεγάλου κροκοδείλου έχουν βρεθεί μέχρι και πέτρες μάζας 5 kg.

**1. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί συμβαίνει αυτό;**

**Ερωτήσεις**

**ερωτήσεις**

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

**Υδροστατική και Ατμοσφαιρική πίεση - Μετάδοση των πιέσεων στα ρευστά**

**1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:**

➤ Πίεση ονομάζουμε το ..... της δύναμης που ασκείται ..... σε μια επιφάνεια προς το ..... της επιφάνειας αυτής. Μονάδα της πίεσης στο SI είναι ..... και ονομάζεται .....

➤ Η πίεση που ασκεί ένα υγρό που ισορροπεί ονομάζεται ..... πίεση και οφείλεται στην ..... Η πίεση που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας ονομάζεται ..... πίεση και οφείλεται στο ..... του αέρα.

Η υδροστατική πίεση είναι ανάλογη  
α) του ..... από την επιφάνεια του υγρού, β) της ..... του υγρού και γ) της ..... της

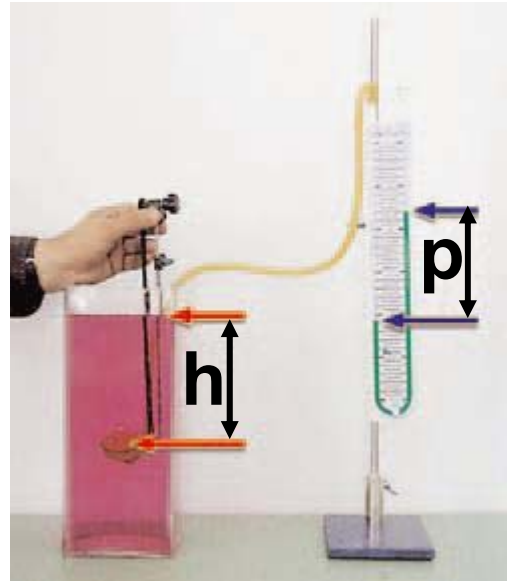
**2.** Μαζί με το μεγαλύτερο αδελφό σου θέλετε να βαδίσετε πάνω σε μια λασπώδη επιφάνεια. Να χαρακτηρίσεις με  $\Sigma$  τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επι-

στημονικά ορθό και με  $\Lambda$  αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

- Ο αδελφός σου επιμένει να τοποθετήσετε φαρδιές σανίδες πάνω στις οποίες να βαδίζετε. Η άποψή του: (α) Είναι σωστή, διότι έτσι δε θα γεμίσουν λάσπες τα παπούτσια σας. (β) Είναι λάθος, διότι οι σανίδες έχουν μεγάλο βάρος και έτσι θα βουλιάξετε ευκολότερα στη λάσπη. (γ) Είναι σωστή, διότι με αυτό τον τρόπο μειώνετε την πίεση στο έδαφος και έτσι δε θα βουλιάξετε σε αυτό. (δ) Είναι λάθος, διότι με αυτό τον τρόπο αυξάνετε την πίεση στο έδαφος και έτσι θα βουλιάξετε σε αυτό. (ε) Τίποτε από όλα αυτά.

**3.** Στη εικόνα της επόμενης σελίδας παριστάνεται ένα μανόμετρο, όργανο με το οποίο μετράμε την υδρο-

στατική πίεση (το  $p$  στο σχήμα είναι η ένδειξη της υδροστατικής πίεσης). Στις προτάσεις που ακολουθούν κύκλωσε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.



α. Αν αλλάξουμε τον προσανατολισμό της επιφάνειας της μεμβράνης από οριζόντια σε κατακόρυφη διατηρώντας τη στο ίδιο βάθος, τότε η ένδειξη  $p$  θα: (α) αυξηθεί, (β) μειωθεί, (γ) παραμείνει ίδια, (δ) μηδενιστεί, (ε) τίποτε από τα παραπάνω.

β. Αν διπλασιάσουμε το βάθος στο οποίο τοποθετούμε τη μεμβράνη: τότε η ένδειξη  $p$  θα: (α) παραμείνει ίδια, (β) διπλασιαστεί, (γ) γίνει η μισή, (δ) μηδενιστεί, (ε) τίποτε από τα παραπάνω.



γ. Αν αλλάξουμε το υγρό που περιέχεται στο μανόμετρο και τοποθετήσουμε ένα άλλο του οποίου η πυκνότητα είναι το  $\frac{1}{2}$  της πυκνότητας του αρχικού υγρού διατηρώντας τη μεμβράνη στο ίδιο βάθος: τότε η ένδειξη  $p$  θα: (α) παραμείνει ίδια, (β) διπλασιαστεί, (γ) γίνει η μισή, (δ) μηδενιστεί, (ε) τίποτε από τα παραπάνω.

δ. Αν μεταφέρουμε το δοχείο στην κορυφή του Έβερεστ: τότε η ένδειξη  $p$  θα: (α) παραμείνει ίδια, (β) αυξηθεί, (γ) μειωθεί, (δ) μηδενιστεί, (ε) τίποτε από τα παραπάνω.

ε. Αν τοποθετήσουμε το υγρό σε ένα άλλο δοχείο διαφορετικού σχήματος και προσθέσουμε υγρό έτσι ώστε να βυθίσουμε την επιφάνεια στο ίδιο βάθος: τότε η ένδειξη  $p$  θα: (α) παραμείνει ίδια, (β)

αυξηθεί, (γ) μειωθεί, (δ) μηδενιστεί, (ε) τίποτε από τα παραπάνω.

## **Άνωση - Αρχή του Αρχιμήδη - Πλεύση**

- 4.** Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
- Σε κάθε σώμα που βυθίζεται μέσα σε υγρό ή αέριο, ασκείται δύναμη της οποίας η διεύθυνση είναι ..... και η φορά προς .....
  - ..... Η δύναμη αυτή ονομάζεται .....
  - ..... Το μέτρο της άνωσης ισούται με το ..... του ..... που εκτοπίζεται από το σώμα.
  - Όταν ένα σώμα επιπλέει στο υγρό, τότε η ..... είναι ίση με το ..... του σώματος.

- 5.** Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο

**είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.**

**α. Όταν ένα σώμα βυθιστεί σε ρευστό, η βαρυτική δύναμη που η γη ασκεί σε αυτό μειώνεται.**

**β. Η άνωση οφείλεται στη διαφορά πιέσεων του ρευστού στην κάτω και την επάνω επιφάνεια ενός σώματος.**

**γ. Η άνωση είναι ανεξάρτητη από το σχήμα και το βάρος του σώματος που βυθίζεται σε ρευστό.**

**δ. Όταν το ίδιο σώμα βυθίζεται ολόκληρο σε διαφορετικά ρευστά, η δύναμη της άνωσης που του ασκούν είναι ίδια.**

**ε. Όταν η πυκνότητα ενός σώματος είναι μικρότερη ή ίση με την πυκνότητα του υγρού μέσα στο οποίο**

είναι βυθισμένο, τότε το σώμα επιπλέει στο υγρό.

**6.** Ένα μπαλόνι γεμάτο με αέριο ήλιο ανυψώνεται στον αέρα γιατί: Στις προτάσεις που ακολουθούν κύκλωσε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

i. Η πυκνότητα του αέριου ηλίου είναι μικρότερη από την πυκνότητα του αέρα.

ii. Εξαιτίας της πίεσης από το ήλιο το οποίο βρίσκεται μέσα στο μπαλόνι, ασκούνται δυνάμεις που η συνισταμένη τους έχει φορά προς τα επάνω και μέτρο μεγαλύτερο από το βάρος του μπαλονιού.

iii. Εξαιτίας της πίεσης του αέρα ο οποίος περιβάλλει το μπαλόνι, ασκούνται δυνάμεις που η συνισταμένη τους έχει φορά προς τα επά-

νω και μέτρο μεγαλύτερο από το βάρος του μπαλονιού.

iv. Υπάρχει κενό αέρα πάνω από την ατμόσφαιρα.

**7.** Στο σχήμα παριστάνονται τρεις θέσεις ενός σιδερένιου κύβου καθώς βυθίζεται μέσα σε δοχείο με νερό.



i. Στη θέση Α να σχεδιαστούν όλες οι δυνάμεις που ασκούνται από το νερό στον κύβο.

ii. Να σχεδιαστούν οι ανώσεις και στις τρεις θέσεις και να συγκριθούν μεταξύ τους.

iii. Στις προτάσεις που ακολουθούν να επιλέξεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

**A.** Όταν αυξάνεται το βάθος του υγρού, η πίεση του υγρού είναι: (α) μεγαλύτερη, (β) μικρότερη, (γ) ίδια.

**B.** Όταν αυξάνεται το βάθος του υγρού, η άνωση που ασκεί είναι: (α) μεγαλύτερη, (β) μικρότερη, (γ) ίδια.

► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις για τις ερωτήσεις που ακολουθούν**

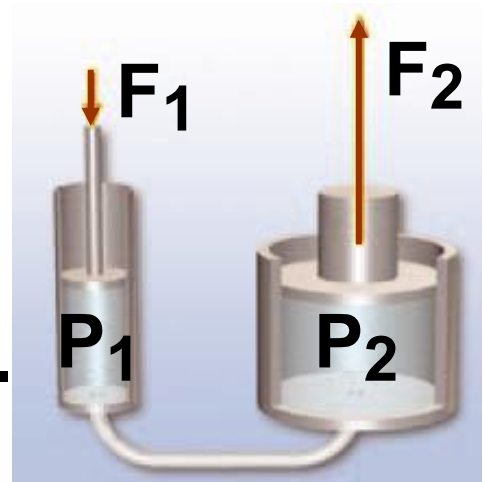
## **Υδροστατική και Ατμοσφαιρική πίεση - Μετάδοση των πιέσεων στα ρευστά**

**1.** Σε μια επιφάνεια που έχει καλυφθεί από πλαστελίνη τοποθετούμε ένα ορθογώνιο σιδερένιο κουτί ώστε να ακουμπά στην πλαστελίνη με δυο τρόπους: (α) με τη μεγάλη επιφάνεια και (β) με τη μικρή επιφάνεια. Σε ποια περίπτωση το κουτί θα βουλιάξει περισσότερο στην πλαστελίνη; Να εξηγήσεις την επιλογή σου.

**2.** Στη εικόνα της επόμενης σελίδας παριστάνεται μια υδραυλική αντλία

η οποία περιέχει λάδι. Στο έμβολο 1 ασκούμε δύναμη  $F_1$ .

Αν γνωρίζουμε ότι το εμβαδόν του εμβόλου 2 είναι πενταπλάσιο του εμβαδού του εμβόλου 1, να συγκρίνεις



τη δύναμη  $F_2$  που ασκεί το έμβολο 2 με την  $F_1$ . Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

**3.** Μπορείς να ερμηνεύσεις γιατί: (α) Οι καμήλες έχουν μεγάλα επίπεδα πέλματα; (β) Οι σκιέρ φορούν χιονοπέδιλα; (γ) Τα τρακτέρ έχουν φαρδιά λάστιχα; (δ) «Κόβονται» τα δάχτυλά μας όταν σηκώσουμε ένα βαρύ δέμα από το νήμα που είναι δεμένο; (ε) Τα παπούτσια των αθλητών έχουν πέλματα με καρφιά; (στ) Ένα ακονισμένο μαχαίρι κόβει καλύτερα;

**4.** Να συγκρίνεις την πίεση του νερού στον πυθμένα ενός στενού σωλήνα ύψους 10 m με την πίεση που επικρατεί σε μια λίμνη σε βάθος 10 m, αν γνωρίζεις ότι ο σωλήνας είναι γεμάτος με νερό από την παραπάνω λίμνη.

**5.** Το υδροστατικό παράδοξο. Στη διπλανή εικόνα παριστάνονται τρία δοχεία διαφορετικού σχήμα-



τος τα οποία περιέχουν υγρό στο ίδιο ύψος. (α) Να συγκρίνεις τις πιέσεις στους πυθμένες των δοχείων. (β) Να συγκρίνεις τις δυνάμεις που ασκούνται από το υγρό στους πυθμένες των δοχείων. (γ) Να συγκρίνεις τις δυνάμεις που ασκούν τα δοχεία στο τραπέζι πάνω στο οποίο ισορροπούν.



**6.** Το αλεύρι που φαίνεται στη διπλανή εικόνα συσκευάζεται σε «κενό» αέρος, δηλαδή από τη σακούλα αφαιρείται ο ατμοσφαιρικός αέρας και στη συνέχεια σφραγίζεται.

**ΝΕΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ  
ΣΕ ΚΕΝΟ ΑΕΡΟΣ**



(α) Μπορείς να εξηγήσεις για ποιο λόγο το περιτύλιγμα κολλάει στο αλεύρι; (β) Μπορείς να προβλέψεις τι θα συμβεί εάν με μια καρφίτσα δημιουργήσεις μια μικρή οπή στο περιτύλιγμα;

**7.** Γέμισε ένα ποτήρι μέχρι το χείλος του με νερό. Βάλε ένα φύλλο χαρτιού στα χείλη του ποτηριού. Πίεσε με την παλάμη σου το χαρτί στα χείλη του ποτηριού και αναποδογύρισε το ποτήρι πάνω από μια λεκά-

νη. Το νερό δε χύνεται. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί συμβαίνει αυτό;

## **Άνωση - Αρχή του Αρχιμήδη - Πλεύση**

**8.** Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

α. Κολυμπάς πιο εύκολα στη θάλασσα από ό,τι στην πισίνα.

β. Μια μικρή σιδερένια σφαίρα βυθίζεται στο νερό, ενώ μια μεγάλη ξύλινη επιπλέει.

γ. Τα υποβρύχια μπορούν να αναδύονται και να καταδύονται στη θάλασσα.

Να αιτιολογήσεις την επιλογή σου σε κάθε περίπτωση.

**9.** Γέμισε ένα μικρό πλαστικό μπουκάλι με νερό της βρύσης και άφησέ

το σ' ένα δοχείο γεμάτο με το ίδιο νερό. Τότε θα παρατηρήσεις ότι το μπουκάλι πλέει, ενώ είναι ολόκληρο βυθισμένο ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού.

α. Να σχεδιάσεις τις δυνάμεις που ασκούνται στο μπουκάλι. Να υπολογίσεις τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε αυτό.

β. Βυθίζουμε ολόκληρο το μπουκάλι μέσα σε οινόπνευμα και το αφήνουμε. Προς τα πού θα κινηθεί; Εξήγησε.

γ. Βυθίζουμε ολόκληρο το μπουκάλι μέσα σε αλατόνερο και το αφήνουμε. Προς τα πού θα κινηθεί; Εξήγησε.

Δίνονται οι πυκνότητες:

$$\rho_{\text{νερού}} = 1.000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_{\text{οινοπνεύματος}} = 800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_{\text{ραλατόνερου}} = 1.200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

**10.** Ένα πλοίο φορτωμένο με εμπορεύματα διαπλέει τον Ατλαντικό ωκεανό και μέσω του ποταμού του Αγίου Λαυρεντίου φθάνει στη λίμνη Μίτσιγκαν στην οποία βρίσκεται το λιμάνι του Σικάγου όπου και ξεφορτώνει.

i. Να συγκρίνεις τις ανώσεις που δέχεται το πλοίο: α) στον ωκεανό β) στο λιμάνι πριν ξεφορτώσει γ) στο λιμάνι αφού ξεφορτώσει.

ii. Από τις παρακάτω προτάσεις να επιλέξεις αυτή που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση: Το πλοίο βυθίζεται περισσότερο στο νερό ενώ είναι φορτωμένο (α) και πλέει στον ωκεανό (β) και πλέει στη λίμνη.

iii. Το πλοίο φθάνει στο λιμάνι και ξεφορτώνει το φορτίο του. (α) Πότε

ασκείται μεγαλύτερη άνωση στο πλοίο; Όταν είναι φορτωμένο ή όταν είναι άδειο; (β) Σε ποια από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις βυθίζεται περισσότερο στη θάλασσα; Να δικαιολογήσεις τις επιλογές σου.

Δίνονται οι πυκνότητες: του θαλασσινού νερού:  $\rho_{\text{θαλ.νερού}} = 1.030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ , του νερού της λίμνης:

$\rho_{\text{νερού λίμνης}} = 1.000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

**11.** Ένα ποτήρι είναι γεμάτο με νερό. Στην επιφάνεια του επιπλέει ένα παγάκι.

α. Το παγάκι θα επέπλεε στο οινόπνευμα;

β. Το παγάκι λειώνει. Θα χυθεί νερό από το ποτήρι;

γ. Σε μια εφημερίδα διατυπώνεται η άποψη: «Μια αύξηση της θερμοκρασίας της γης θα είχε ως αποτέλεσμα να λιώσουν τα παγόβουνα των πολικών περιοχών, οπότε θα ανέβει η στάθμη των ωκεανών». Συμφωνείς με την παραπάνω άποψη; Υπενθυμίζουμε ότι τα παγόβουνα προέρχονται από τους παγετώνες της ξηράς.

Δίνονται οι πυκνότητες:

$$\rho_{\text{νερού}} = 1.000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_{\text{ροιοπνεύματος}} = 800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_{\text{πάγου}} = 900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_{\text{θαλασσινού νερού}} = 1.020 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}.$$

**12.** Σε μια ζυγαριά μπάνιου τοποθετείται ένα δοχείο με νερό. Η ζυγαριά δείχνει 195 N.

α. Στο δοχείο τοποθετείται μια πέτρα βάρους 8 N. Η πέτρα βυθίζεται στον πυθμένα του δοχείου. Ποια νομίζεις ότι θα είναι η ένδειξη της ζυγαριάς;

β. Αφαιρούμε την πέτρα και τοποθετούμε στο δοχείο ένα ψάρι βάρους 2 N. Ποια θα είναι η ένδειξη της ζυγαριάς, όταν το ψάρι κολυμπάει στο νερό του δοχείου;

**13.** Πλεύση σε υγρά που δεν αναμειγνύονται. Όταν σε ένα δοχείο τοποθετηθούν υγρά που δεν αναμειγνύονται, όπως νερό και λάδι, τότε αυτά ισορροπούν έτσι ώστε το πυκνότερο υγρό να βρίσκεται στον πυθμένα του δοχείου και το λιγότερο πυκνό στην επιφάνεια. Σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο τοποθετούνται τρία υγρά και τρία στερεά από διαφορετικά υλικά. Με βάση τον

παρακάτω πίνακα 4.3 να καθορίσεις τη διαδοχική σειρά με την οποία θα ισορροπήσουν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.		
Υλικό	Πυκνότητα σε $\frac{g}{m^3}$	Σειρά
Λάδι	0,9	
Νερό	1,0	
Υδράργυρος	13	
Ξύλο	0,5	
Πάγος	0,9	
Χάλυβας	8	

## Ασκήσεις

## ασκήσεις

Σ' αυτές τις ασκήσεις η πυκνότητα του νερού να λαμβάνεται ίση με

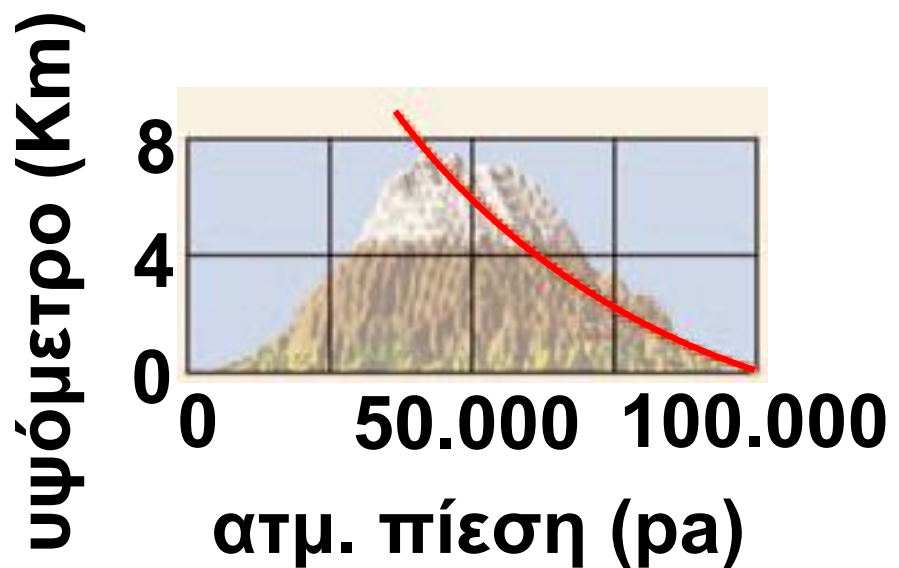
$\rho_{\text{νερού}} = 1.000 \frac{Kg}{m^3}$  και η επιτάχυνση της βαρύτητας  $g = 10 \frac{m}{s^2}$ ,



$$\rho_{\text{θαλασσινού νερού}} = 1.020 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_{\text{χρυσού}} = 19300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}.$$

## Υδροστατική και Ατμοσφαιρική πίεση - Μετάδοση των πιέσεων στα ρευστά



**1.** Στο παραπάνω διάγραμμα δίνεται η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε συνάρτηση με το ύψος από την επιφάνεια της γης. Να υπολογίσεις τη μεταβολή της πίεσης στον πυθμένα ενός δοχείου που περιέχει νερό σε βάθος 50 cm, καθώς αυτό μεταφέρεται από την επιφάνεια της θάλασσας

(ύψος 0 km) στην κορυφή του Έβερεστ (ύψος 8 km).

**Υπόδειξη:** Θεωρήστε ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας στην κορυφή του Έβερεστ είναι ίση με αυτή στην επιφάνεια της γης.

**2.** Ένας μαθητής σπρώχνει με το δάκτυλο του το μολύβι του στη σελίδα του τετραδίου του ασκώντας δύναμη 10 N. Εάν το εμβαδόν της επιφάνειας της μύτης του μολυβιού είναι  $0,08 \text{ mm}^2$ , να βρεθεί η πίεση που ασκεί η μύτη του μολυβιού στη σελίδα του τετραδίου σε  $P_a$ .

**3.** Σ' ένα πλοίο δημιουργείται λόγω μιας σύγκρουσης ένα ρήγμα που έχει εμβαδόν  $100 \text{ cm}^2$  σε βάθος 3 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Για να εμποδίσουμε την εισροή του

νερού στο πλοίο, τοποθετούμε ένα ξύλινο πώμα στο ρήγμα. Ποιο είναι το μέτρο της ελάχιστης δύναμης που πρέπει να ασκήσουμε στο πώμα ώστε να εμποδίσουμε την εισροή του νερού;

**4.** Ένας δύτες βρίσκεται σε βάθος 50 m. (α) Να υπολογίσεις την πίεση στα τύμπανα των αυτιών του καθώς και το μέτρο της δύναμης που ασκείται από τη θάλασσα σε αυτά, αν γνωρίζεις ότι το εμβαδόν της επιφάνειας των τυμπάνων ενός αυτιού είναι περίπου  $1 \text{ cm}^2$ . β) Αν ο δύτες αντέχει σε συνολική πίεση 5 ατμοσφαιρών (πενταπλάσια της ατμοσφαιρικής), πόσο είναι το μέγιστο βάθος που μπορεί να κατεβεί;

**5.** Το εμβαδόν του μεγάλου και του μικρού εμβόλου μιας υδραυλικής

αντλίας είναι  $1500 \text{ cm}^2$  και  $300 \text{ cm}^2$  αντίστοιχα. Μια μηχανή βάρους  $800 \text{ N}$  βρίσκεται στο μεγάλο έμβολο. Πόση δύναμη πρέπει να ασκηθεί στο μικρό έμβολο, ώστε να ανυψωθεί η μηχανή;

## Άνωση - Αρχή του Αρχιμήδη - Πλεύση

**6.** Μια χήνα επιπλέει στο νερό μιας λίμνης έχοντας το  $25\%$  του όγκου του σώματος της στο νερό. Ποια είναι η μέση πυκνότητα της χήνας;

**7.** Ένα κιβώτιο έχει σχήμα κύβου με ακμή  $0,5 \text{ m}$ . Το κιβώτιο ζυγίζει  $250 \text{ kg}$ . Αν το αφήσουμε στο νερό, θα επιπλεύσει ή θα βυθιστεί; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

**8.** Από ένα ναυάγιο του 5ου π.Χ. αιώνα ανασύρεται με τη βοήθεια

ενός καλωδίου από βάθος 500 m ένα χρυσό αγαλματίδιο μάζας 10 kg. Να υπολογίσεις (α) τη δύναμη της άνωσης που ασκείται στο αγαλματίδιο, (β) τη δύναμη που ασκεί το καλώδιο στο αγαλματίδιο, αν θεωρήσουμε ότι ανασύρεται με σταθερή ταχύτητα. (γ) τη δύναμη που ασκεί το καλώδιο στο αγαλματίδιο όταν αυτό βρίσκεται ολόκληρο έξω από το νερό.

**9.** Τα παγόβουνα είναι κομμάτια παγετώνων της ξηράς που αποκόπτονται και επιπλέουν στη θάλασσα. Με βάση τις πυκνότητες πάγου και θαλάσσιου νερού μπορείς να βρεις πόσο μέρος του όγκου του παγόβουνου είναι βυθισμένο στο νερό;



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Πίεση ονομάζεται το πηλίκιο της κάθετης δύναμης που ασκείται σε μια επιφάνεια προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής.
- Υδροστατική πίεση ονομάζεται η πίεση που ασκούν τα υγρά που ισορροπούν.
- Η υδροστατική πίεση είναι ανάλογη της πυκνότητας του υγρού, του βάθους και της επιτάχυνσης της βαρύτητας.
- Κάθε μεταβολή της πίεσης σε οποιοδήποτε σημείο ενός περιορισμένου ρευστού προκαλεί ίση μεταβολή της πίεσης σε όλα τα σημεία του.
- Ατμοσφαιρική πίεση ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα.
- Η υδροστατική και η ατμοσφαιρική πίεση οφείλονται στη βαρύτητα.

- Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης μειώνεται όσο αυξάνει το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Άνωση ονομάζεται η δύναμη που ασκούν τα ρευστά σε κάθε σώμα που βυθίζεται σε αυτά. Η διεύθυνσή της είναι κατακόρυφη, η φορά της αντίθετη του βάρους και το μέτρο της ίσο με το βάρος του υγρού που εκτοπίζει το σώμα.
- Ένα σώμα επιπλέει όταν η άνωση ισούται με το βάρος του. Τα σώματα που επιπλέουν έχουν πυκνότητα μικρότερη από την πυκνότητα του υγρού μέσα στο οποίο είναι βυθισμένα.

## **ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

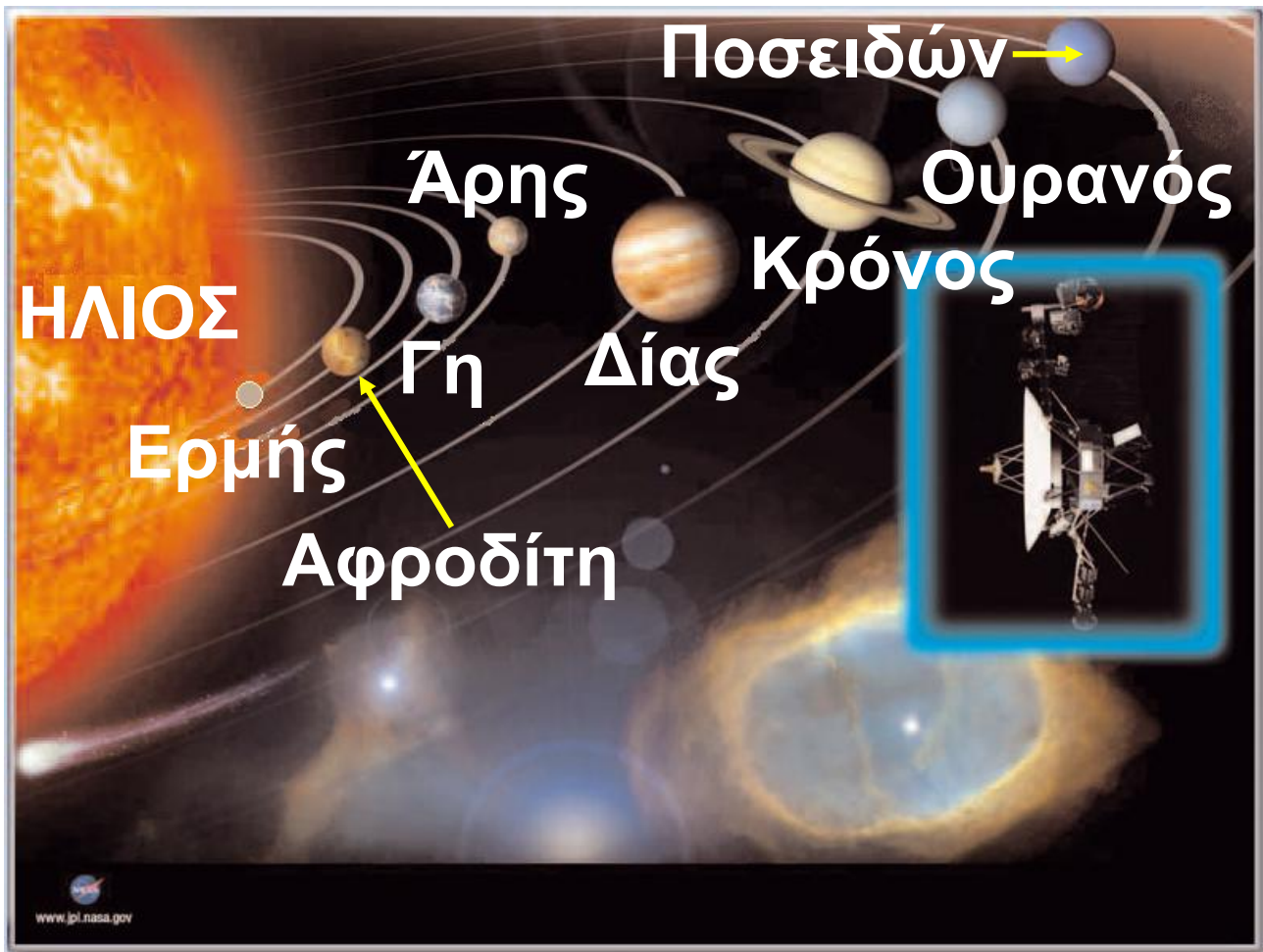
**Πίεση | Ατμοσφαιρική Πίεση | Αρχή του Αρχιμήδη | Υδροστατική Πίεση | Άνωση | Πλεύση | Αρχή του Πασκάλ**

## **μια μικρή ιστορία ...**

### ***Βόγιατζερ, οι μικροί ταξιδιώτες του διαστήματος***

**Το 1977 εκτοξεύθηκαν από τις Η.Π.Α. δύο διαστημόπλοια με το όνομα Βόγιατζερ (Voyager) με σκοπό να συγκεντρώσουν πληροφορίες για τους εξωτερικούς πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος. Σήμερα και τα δυο Βόγιατζερ συνεχίζουν το ταξίδι τους έξω από το ηλιακό μας σύστημα και μας στέλνουν πληροφορίες για τον κόσμο έξω από αυτό. Στα διαστημόπλοια υπάρχει ηχογραφημένο μήνυμα σε 55 διαφορετικές γλώσσες μεταξύ των οποίων και τα αρχαία Ελληνικά, καθώς και διάφοροι ήχοι από τη γη προκειμένου να αξιοποιηθούν για την αναγνώρισή μας από τυχόν εξωγήινα, νοήμονα όντα. Η πραγ-**





ματοποίηση ενός τέτοιου ταξιδιού απαιτούσε τεράστια ποσά ενέργειας. Κάθε διαστημόπλοιο, που ζύγιζε 815 kg, χρειάστηκε στην εκτόξευσή του 700.000 kg καύσιμα. Η χημική ενέργεια αυτών των καυσίμων μετατράπηκε σε θερμική. Η ενέργεια για τη λειτουργία των οργάνων προήλθε από τη διαδοχική μετατροπή πυρηνικής σε θερμική

**και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια.  
Συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκε  
και η ενέργεια ακτινοβολίας από  
τον ήλιο.**

**Σε αυτό το κεφάλαιο θα μάθουμε  
για τις διάφορες μορφές ενέργειας,  
τη μετατροπή της ενέργειας από  
μια μορφή σε άλλη καθώς και για τη  
διατήρηση της ενέργειας.**

## ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΜΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

#### *Εικόνα 5.1.*

«Πυρ το αείζων» Φωτιά  
η αιώνια: Αιτία διαρκούς  
αλλαγής. ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ



Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι αναζήτησαν τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο κόσμος και προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τις μεταβολές που συμβαίνουν στη φύση. Ο Αριστοτέλης πίστευε ότι ο κόσμος συγκροτείται από τέσσερα στοιχεία, τη φωτιά, το νερό, τη γη και τον αέρα. Από αυτά το «πυρ», δηλαδή η φωτιά, συμβόλιζε τις

συνεχείς αλλαγές που βλέπουμε γύρω μας. Ο Ηράκλειτος θεωρούσε ότι μόνο το πυρ είναι το πρωταρχικό στοιχείο από το οποίο γεννιούνται όλα τα όντα και σε αυτό επανέρχονται. Το πυρ δε χάνεται, αλλά παίρνει κάθε τόσο διαφορετικές μορφές και περνάει από διάφορες καταστάσεις. Όλα τα υπόλοιπα αλλάζουν: «τα πάντα ρει». Έτσι, για πρώτη φορά στην ιστορία εμφανίζεται η αντίληψη της διατήρησης ενός μεγέθους (πυρ) το οποίο μπορεί να αλλάζει μορφές, αλλά τελικά διατηρείται (εικόνα 5.1).

Η παραπάνω άποψη του Ηράκλειτου επανήλθε στο προσκήνιο τον 17ο αιώνα με την εισαγωγή μιας καινούργιας για την εποχή αυτή έννοιας: της ενέργειας. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Γαλιλαίο, χωρίς όμως επιστημο-

**νικό ορισμό. Η ρίζα της λέξης είναι αρχαιοελληνική από το εν (μέσα) και έργο, δηλαδή σημαίνει την εσωτερική ικανότητα κάποιου να παράγει έργο. Μόλις όμως πριν από 200 περίπου χρόνια η έννοια απέκτησε επιστημονικό περιεχόμενο. Οι φυσικοί αξιοποιώντας την έννοια της ενέργειας κατάφεραν να περιγράψουν με ενιαίο τρόπο φαινόμενα, όπως τα κινητικά, τα θερμικά, τα ηλεκτρικά, τα φωτεινά, τα ηχητικά και τα χημικά, τα οποία ως τότε αντιμετωπίζονταν ως ανεξάρτητα μεταξύ τους.**

**Στις αρχές του εικοστού αιώνα, η έννοια της ενέργειας αποτέλεσε τη βάση για να διατυπωθούν δύο από τις σύγχρονες φυσικές θεωρίες: η θεωρία της σχετικότητας και η κβαντική θεωρία και εξελίχθηκε σε κεντρική ενοποιητική έννοια της**

γλώσσας που χρησιμοποιούν οι φυσικοί για να περιγράψουν τα φαινόμενα που μελετά η επιστήμη της φυσικής. Επιπλέον, η ενέργεια είναι η έννοια που συνδέει τη φυσική με τις άλλες φυσικές επιστήμες και την Τεχνολογία.

### ***Εικόνα 5.2. Κουβέιτ.***

Πετρελαϊκός σταθμός που καίγεται κατά τη διάρκεια του πολέμου του Περσικού Κόλπου.



Η χρησιμοποίηση ενέργειας είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της ανθρώπινης κοινωνίας. Όμως σε πολλές περιπτώσεις, μπορεί να προκαλέσει οικολογικές καταστροφές.

Σήμερα όλοι είμαστε εξοικειωμένοι με την έννοια της ενέργειας (εικόνα 5.2). Ενέργεια με τη μορφή

της ακτινοβολίας έρχεται στη γη από τον ήλιο, περιέχεται στις τροφές που τρώμε και διατηρεί τη ζωή. Παρόλο που η ενέργεια είναι η πιο διαδεδομένη έννοια στις φυσικές επιστήμες, ο ορισμός της είναι ιδιαίτερα δύσκολος. *Πώς θα προσεγγίσουμε την έννοια της ενέργειας;*

Ο δρομέας όταν τρέχει, έχει ενέργεια. Ο άλτης όταν πηδά, έχει επίσης ενέργεια. Μια γλάστρα που πέφτει από ένα μπαλκόνι έχει αρκετή ενέργεια και βουλιάζει την οροφή ενός αυτοκινήτου. Οι άνθρωποι, τα ζώα, τα φυτά, τα διάφορα αντικείμενα έχουν ενέργεια. Ωστόσο, παρατηρούμε τα αποτελέσματα της ενέργειας μόνο όταν εκδηλώνεται ένα φαινόμενο, μια μεταβολή. Λέμε ότι όταν η ενέργεια μεταφέρεται από ένα σώμα σε άλλο ή μετατρέπεται

από μια μορφή σε άλλη, προκαλεί μεταβολές (εικόνα 5.3).

### ***Εικόνα 5.3.***

Διαφορετικά στιγμιότυπα από την κίνηση ενός βλήματος καθώς διαπερνά ένα μήλο. Αρχικά κινείται με ταχύτητα 800 m/s. Έχει ενέργεια. Προκαλεί μεταβολές.



Γενικότερα, η ενέργεια εμφανίζεται με διάφορες μορφές, μετατρέπεται από μια μορφή σε άλλη, αλλά κατά τις μετατροπές της η συνολική ενέργεια διατηρείται. Ο υπολογισμός της ενέργειας που μετατρέπεται από μια μορφή σε άλλη ή μεταφέρεται από ένα σώμα σε άλλο διευκολύνεται σε μερικές περιπτώσεις με την εισαγωγή ενός νέου φυσικού μεγέθους: του έργου.



## 5.1 Έργο και ενέργεια

Η λέξη έργο χρησιμοποιείται στην καθημερινή ζωή με διαφορετική σημασία από αυτήν με την οποία τη χρησιμοποιούμε στη φυσική. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι λένε ότι η κατασκευή της γέφυρας Ρίου-Αντιρίου ήταν ένα δύσκολο έργο.

### *Εικόνα 5.4.*

Το κοριτσάκι της εικόνας ανυψώνει εύκολα τον πατέρα του. Όσο



πιο κοντά βρίσκεται ο πατέρας στον άξονα περιστροφής, τόσο μικρότερη είναι δύναμη που ασκεί το κοριτσάκι. Η ιδέα να συνδεθεί η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα με τη μετατόπιση αποδίδεται στον Αρχιμήδη (3ος

π.Χ. αιώνας) και στον Ήρωνα τον Αλεξανδρέα (1ος μ.Χ. αιώνας).

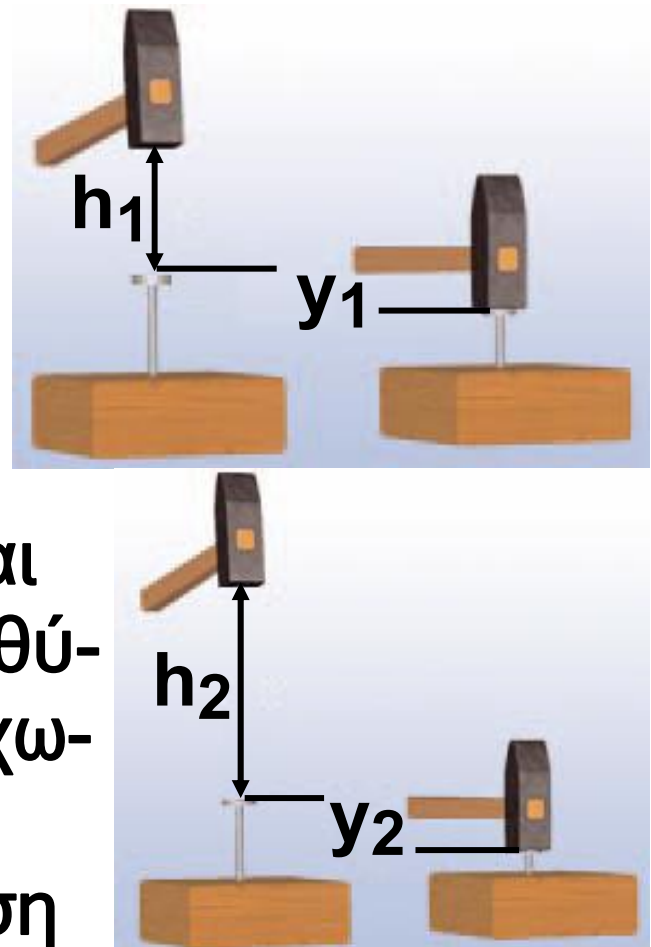
Η πρώτη αντίληψη για την έννοια του έργου φαίνεται ότι προέρχεται από τους αρχαίους Έλληνες. Δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα της προσπάθειάς τους να ερμηνεύσουν πώς είναι δυνατόν να ανυψωθεί ένα βαρύ αντικείμενο ασκώντας μικρή δύναμη με τη βοήθεια ενός μοχλού (εικόνα 5.4). Στις αρχές του 17ου αιώνα ο Γαλιλαίος συνέλαβε τον ουσιαστικό χαρακτήρα της έννοιας. Παρατηρώντας τον τρόπο που τοποθετούσαν πασσάλους στο έδαφος, διαπίστωσε ότι το αποτέλεσμα ήταν συνδυασμός του βάρους του σφυριού που χρησιμοποιούσαν και του ύψους από το οποίο έπεφτε (εικόνα 5.5). Η δύναμη (βάρος) και η μετατόπιση (ύψος) φαίνεται να συν-

δέονται με κάποιο τρόπο. Το 1829 ο Γάλλος φυσικός Κοριόλις αποκάλεσε το γινόμενο της δύναμης με τη μετατόπιση, έργο.

***Εικόνα 5.5.***

Όσο ψηλότερα σηκώνει το χέρι του ο εργάτης και όσο βαρύτερο είναι το σφυρί, τόσο βαθύτερα το καρφί εισχωρεί στο πάτωμα.

Αυτή η παρατήρηση οδήγησε τον Γαλιλαίο να συνδέσει τη δύναμη με τη μετατόπιση.



Σήμερα, με την έννοια του έργου περιγράφουμε τη μεταφορά ή τη μετατροπή της ενέργειας κατά τη

δράση μιας δύναμης. Για παράδειγμα, όταν τακτοποιείς τη βιβλιοθήκη σου και ανεβάζεις τα βιβλία από το χαμηλότερο ράφι της στο υψηλότερο, θα κουραστείς. Τα βιβλία, μέσω της δύναμης που τους ασκείς, αποκτούν ενέργεια. Από τον οργανισμό σου μεταφέρεται ενέργεια στα βιβλία και για να την αναπληρώσεις, θα χρειαστεί να φας. Χρησιμοποιούμε το φυσικό μέγεθος έργο για να εκφράσουμε την ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από εσένα στα βιβλία.

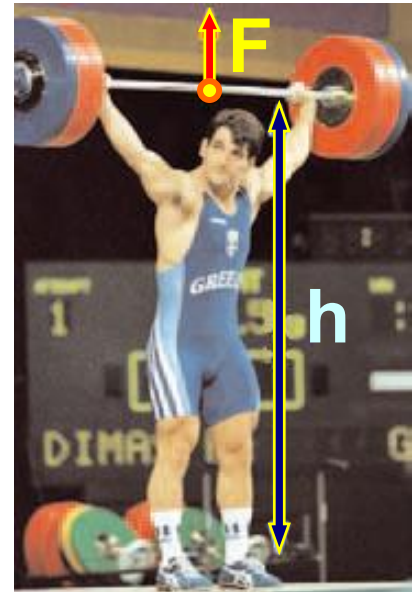
### ***Έργο δύναμης***

Όταν ανυψώνεται οποιοδήποτε σώμα, ασκείται σ' αυτό μια δύναμη τουλάχιστον ίση με το βάρος του. Λέμε ότι η δύναμη παράγει έργο πάνω στο σώμα. Στην εικόνα 5.6 ο αθλητής ανυψώνει την μπάρα ασκώντας σ' αυτή δύναμη. Όσο η

μπάρα ανεβαίνει, η δύναμη παράγει έργο πάνω της. Όταν ο αθλητής κρατάει ακίνητη την μπάρα, η δύναμη δεν παράγει έργο.

### ***Εικόνα 5.6.***

Ο αθλητής ασκεί δύναμη ( $F$ ) στην μπάρα που προκαλεί την ανύψωσή της σε ύψος  $h$ . Λέμε ότι η  $F$  παράγει έργο στην μπάρα. Ενέργεια μεταφέρεται από τον αθλητή στην μπάρα. Ο αθλητής κουράζεται.



### ***Από τι εξαρτάται το έργο μιας δύναμης;***

Όσο βαρύτερο είναι ένα σώμα το οποίο ανυψώνεις, τόσο περισσότερο κουράζεσαι, διότι παράγεις μεγαλύτερο έργο. Δηλαδή, το έργο εξαρτάται από τη δύναμη που

ασκείται στο σώμα. Επιπλέον, η δραστηριότητα γίνεται πιο κουραστική, αν το σώμα πρέπει να ανυψωθεί σε μεγαλύτερο ύψος. Άρα, το έργο εξαρτάται και από τη μετατόπιση του σώματος.

Γενικά, μια δύναμη που ασκείται σ' ένα σώμα μπορεί να παράγει έργο ( $W$ ) πάνω σ' αυτό όταν το σώμα μετακινείται. Στην απλούστερη περίπτωση, όπου η δύναμη είναι σταθερή και το σώμα μετακινείται κατά τη διεύθυνσή της, το έργο ορίζεται ως το γινόμενο της δύναμης επί τη μετατόπιση του σώματος. Δηλαδή:

**Έργο = Δύναμη x Μετατόπιση**

ή συμβολικά:

$$W = F \cdot \Delta x \quad (5.1)$$

### **Εικόνα 5.7.**

Το έργο μιας δύναμης μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό. (α)

Το άλογο ασκεί δύναμη στο κάρο. Το κάρο μετατοπίζεται. Η δύναμη και η μετατόπιση έχουν την ίδια κατεύθυνση. Η δύναμη παράγει θετικό έργο. (β)



Η τσουλήθρα ασκεί δύναμη στο παιδί, την τριβή, που αντιστέκεται στην κίνησή του. Η τριβή και η μετατόπιση είναι αντίθετες. Το έργο της τριβής είναι αρνητικό.

## ***Μονάδες έργου***

Το έργο είναι παράγωγο μέγεθος και επομένως η μονάδα του προκύπτει από τον ορισμό του. Από τη σχέση 5.1 βλέπουμε ότι η μονάδα του έργου είναι η μονάδα της δύναμης επί τη μονάδα του μήκους. Στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.), η δύναμη μετριέται σε N (Newton) και η μετατόπιση σε μέτρα (m), οπότε το έργο μετριέται σε N.m. Η μονάδα αυτή ονομάζεται Joule (Τζάουλ) ή συντετμημένα J προς τιμή του Άγγλου φυσικού Τζέιμς Πρέσκοτ Τζάουλ ( $J = \text{Joule}$ ).

Είναι λοιπόν:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

και τα πολλαπλάσιά του,  $1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$  και  $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$ .

Άρα: Έργο 1 Joule παράγει δύναμη 1 N που ασκείται σε σώμα το



**οποίο μετατοπίζεται κατά  $1\text{ m}$ , κατά την κατεύθυνση της δύναμης.**

**Για ένα μήλο που πέφτει από ύψος  $1\text{ m}$ , το έργο του βάρους του είναι μερικά  $\text{J}$ , ο αρσιβαρίστας παράγει έργο μερικά  $\text{kJ}$ , ενώ το έργο για το σταμάτημα ενός φορτωμένου φορτηγού που κινείται με  $100\text{ km/h}$  είναι μερικά  $\text{MJ}$ .**

### ***Περιπτώσεις έργου***

**Το έργο μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή μηδέν. Είναι θετικό όταν η δύναμη έχει την ίδια κατεύθυνση με τη μετατόπιση του σώματος. Δηλαδή, όταν η δύναμη προκαλεί την κίνηση, όπως συμβαίνει με τη δύναμη που ασκεί το άλογο στην εικόνα 5.7.α.**

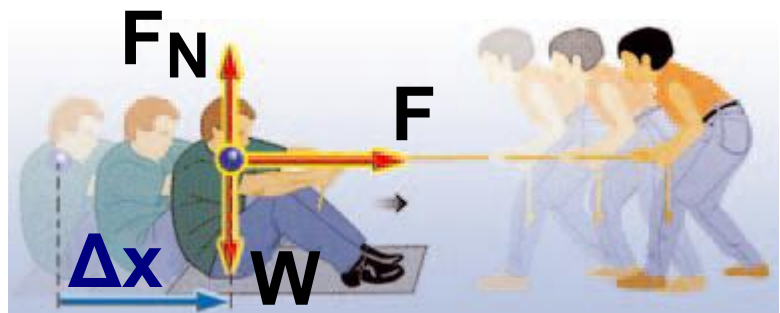
**Είναι αρνητικό όταν η δύναμη έχει αντίθετη κατεύθυνση από τη μετατόπιση του σώματος. Δηλαδή, όταν η δύναμη αντιτίθεται στην**

κίνηση, όπως συμβαίνει με τη δύναμη της τριβής στην εικόνα 5.7.β.

Είναι μηδέν όταν η διεύθυνση της δύναμης είναι κάθετη στη διεύθυνση της μετατόπισης. Για παράδειγμα, για μια οριζόντια κίνηση το έργο του βάρους  $w$  ή της δύναμης στήριξης  $F_N$  ισούται με το μηδέν (εικόνα 5.8). Η δύναμη  $F$  παράγει έργο, ενώ οι  $F_N$  και  $w$ , όχι.

### ***Εικόνα 5.8.***

Το αγόρι που κάθεται στο μεταξωτό χα-



λάκι μετατοπίζεται πάνω στο πάτωμα κατά  $\Delta x$  από μια οριζόντια δύναμη  $F$  που ασκείται από το κορίτσι. Η δύναμη του βάρους  $w$  και η  $F_N$  είναι κατακόρυφες και επομένως κάθετες στη μετατόπιση. Δεν παράγουν έργο

ή το έργο τους είναι ίσο με το 0. Η δύναμη  $F$  που ασκεί το κορίτσι είναι παράλληλη στη μετατόπιση και παράγει έργο.

## ***Υπολογισμός έργου σταθερής δύναμης***

### ***A. Δύναμη παράλληλη με τη μετατόπιση***

Ένα μήλο πέφτει στο έδαφος από ύψος  $h$ . Πόσο έργο παράγει το βάρος πάνω στο μήλο;

Επειδή το μήλο κινείται σε κατακόρυφη διεύθυνση, δύναμη και μετατόπιση έχουν την ίδια κατεύθυνση, οπότε προκύπτει:

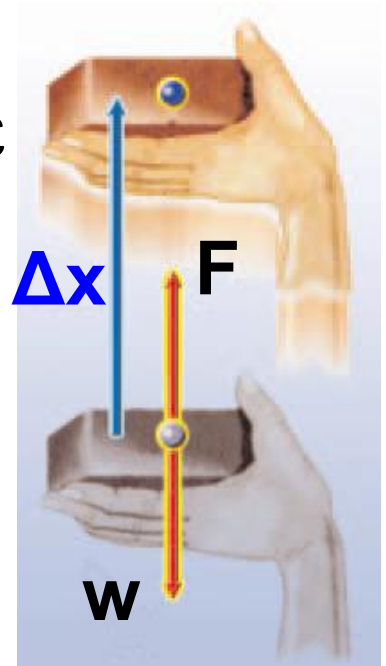
$$W_w = w \cdot \Delta x, \quad W_w = w \cdot h$$

Όταν ένας αρσιβαρίστας ανυψώνει μια μπάρα βάρους  $w$  σε ύψος  $h$ , ασκεί συνολική δύναμη ( $F$ ) σε αυτή αντίθετη με το βάρος της ( $F = w$ ).

**Πόσο είναι το έργο του βάρους της μπάρας κατά την ανύψωσή της και πόσο το έργο της δύναμης  $F$  που ασκεί ο αθλητής στην μπάρα;**

***Εικόνα 5.9.***

Ανεβάζουμε πολύ αργά με το χέρι μας το τούβλο κατά ύψος  $h$ . Η δύναμη  $F$  είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από το βάρος και έχει την ίδια κατεύθυνση με τη μετατόπιση. Το έργο της είναι θετικό:  $W = F \cdot \Delta x = F \cdot h$ . Η φορά του βάρους και της μετατόπισης είναι αντίθετες. Το έργο του βάρους είναι αρνητικό:  $W_F = -w \cdot \Delta x = -w \cdot h$ .



το έργο του βάρους της μπάρας είναι αρνητικό:

$$W_w = - w \cdot h$$

Αντίθετα, η δύναμη  $F$  που ασκεί ο αρσιβαρίστας στην μπάρα και η μετατόπισή της έχουν την ίδια κατεύθυνση (εικόνα 5.9). Επομένως, το έργο της  $F$  είναι θετικό:

$$W_F = F \cdot h$$

### ***B. Δύναμη πλάγια σε σχέση με τη μετατόπιση***

Σύρουμε μια βαλίτσα πάνω σε οριζόντιο έδαφος (εικόνα 5.10). Πόσο έργο παράγει η δύναμη που ασκούμε στη βαλίτσα;

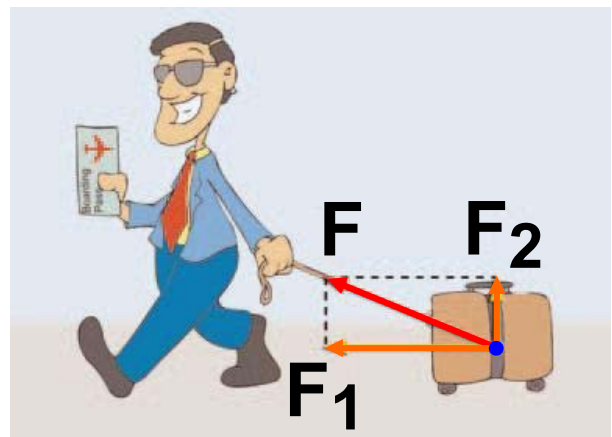
Αναλύουμε τη δύναμη σε δύο συνιστώσες ( $F_1$  και  $F_2$ ): Η  $F_1$  είναι παράλληλη και η  $F_2$  κάθετη προς τη μετατόπιση. Το έργο της συνιστώσας που είναι κάθετη στη μετατόπιση είναι πάντοτε ίσο με μηδέν:

Επομένως, το έργο της δύναμης ( $F$ ) ισούται με το γινόμενο της παράλληλης συνιστώσας ( $F_1$ ) επί τη μετατόπιση:

$$W_F = W_{F_1} = F_1 \cdot \Delta x$$

***Εικόνα 5.10.***

Η δύναμη  $F$  αναλύεται στην  $F_1$  και την  $F_2$ . Η  $F_2$  δεν παράγει έργο, γιατί είναι κάθετη στη μετατόπιση. Η  $F_1$  είναι παράλληλη στη μετατόπιση και παράγει έργο.



***Πόσο έργο παράγεται από το βάρος του παιδιού, όταν αυτό κατεβαίνει την τσουλήθρα (εικόνα 5.7);***

Η τσουλήθρα είναι ένα επίπεδο πλάγιο ως προς το οριζόντιο έδα-

φος. Κάθε τέτοιο επίπεδο ονομάζεται κεκλιμένο ή πλάγιο επίπεδο.

***Εικόνα 5.11.***

Το βάρος αναλύεται σε δύο συνιστώσες, την  $w_1$  και  $w_2$ .

Η  $w_1$  είναι κάθετη στη μετατόπιση και δεν παράγει έργο. Η  $w_2$  είναι παράλληλη και παράγει έργο.



Το βάρος του παιδιού που κινείται στο κεκλιμένο επίπεδο έχει κατεύθυνση πλάγια σε σχέση με τη μετατόπιση του παιδιού (εικόνα 5.11). Έτσι, για να υπολογίσουμε το έργο του βάρους του, πρέπει να το αναλύσουμε σε δύο συνιστώσες: μια κάθετη στο κεκλιμένο επίπεδο ( $w_1$ ) και μια παράλληλη σε αυτό

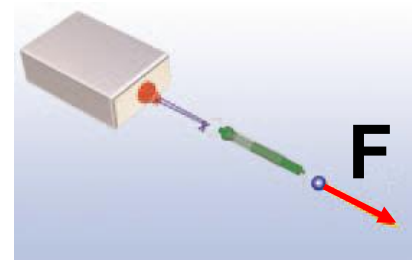
( $w_2$ ). Οπότε, σύμφωνα με τα προηγούμενα, το έργο ( $W_w$ ) του βάρους του παιδιού προκύπτει:

$$W_w = W_{w_2} = w_2 \cdot \Delta x$$

## Δραστηριότητα

### Έργο δύναμης

- ▶ Να συνδέσεις με τη βοήθεια ενός νήματος ένα δυναμόμετρο με κιβώτιο μάζας 1 kg.
- ▶ Τράβηξε το κιβώτιο ώστε να κινείται με σταθερή ταχύτητα πάνω στο θρανίο σου, κρατώντας το νήμα παράλληλο προς το θρανίο.
- ▶ Ποια είναι η ένδειξη του δυναμομέτρου;
- ▶ Γιατί πρέπει να ασκείς δύναμη στο κιβώτιο ώστε να κινείται με σταθερή ταχύτητα;





► Υπολόγισε το έργο αυτής της δύναμης, όταν μετατοπίζεις το κιβώτιο από τη μία άκρη του θρανίου σου στην άλλη.

### **Παράδειγμα 3.2**

Ένας αθλητής της άρσης βαρών ανυψώνει την μπάρα που έχει βάρος 2.000 N από το έδαφος σε ύψος 2 m. Πόσο έργο παρήγαγε ο αθλητής;

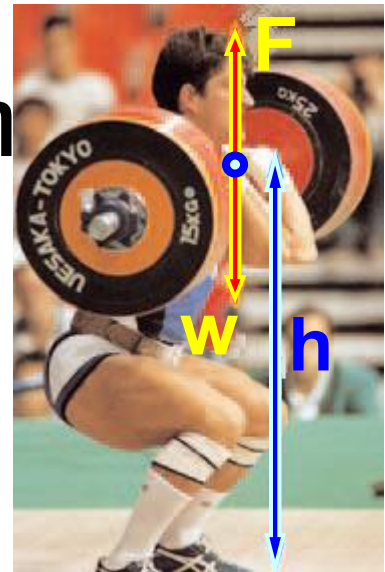
Δεδομένα	Ζητούμενα	Βασική εξίσωση
$W = 2.000 \text{ N}$ $\Delta x = 2 \text{ m}$	$W_w$ (έργο)	$W = F \cdot \Delta x$

### **Λύση**

**Βήμα 1:** Σχεδιάζουμε τις δυνάμεις που ασκούνται στη μπάρα: α) Από απόσταση το βάρος  $w$ , β) από

επαφή η δύναμη  $F$  που ασκεί ο αθλητής.

**Βήμα 2:** Υπολογίζουμε τη δύναμη που ασκεί ο αθλητής στην μπάρα. Για να ανυψώσει την μπάρα, ο αθλητής θα πρέπει να ασκήσει δύναμη  $F$  τουλάχιστον ίση με το βάρος τους.



**Βήμα 3:** Εφαρμόζουμε τη βασική εξίσωση: Η δύναμη  $F$  και η μετατόπιση  $\Delta x$  έχουν ίδιες κατευθύνσεις.

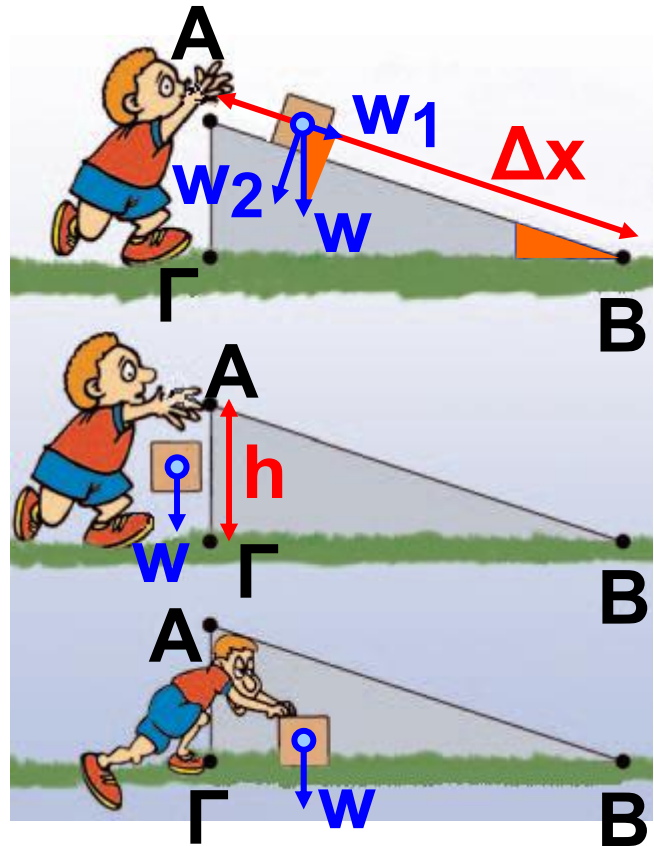
Άρα  $W = F \cdot \Delta x$ , ή  $W = 2.000 \text{ N} \cdot 2 \text{ m}$ ,  
ή  $W = 4.000 \text{ J}$

Το έργο του βάρους δεν εξαρτάται από τη μετατόπιση παρά μόνο από τη διαφορά ύψους μεταξύ αρχικής και τελικής θέσης.

Άφησε ένα σώμα να πέσει κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου

(ΑΒ). Υπολόγισε το έργο του βάρους.

Άφησε το σώμα να πέσει κατακόρυφα από το Α στο Γ και στη συνέχεια σπρώξε το πάνω στο οριζόντιο επίπεδο από το Γ έως το Β. Υπολόγισε τώρα το έργο του βάρους.



**Απόδειξε ότι<sup>1</sup>**:  $w_1 / A\Gamma = w / AB$  ή

$w_1 \cdot \Delta x = w \cdot h$ , ή  $W_{w_1} = W_w$  δηλαδή ότι το έργο του βάρους είναι το ίδιο είτε το σώμα ακολουθεί το δρόμο ΑΒ είτε κινείται κατακόρυφα από το Α στο Γ, οπότε το έργο είναι  $W_w = w \cdot h$  και στη συνέχεια κινείται οριζόντια μέχρι το Β, οπότε το έργο του βάρους είναι μηδέν.

**1.**

Παρατήρησε τα δυο γραμμοσκιασμένα τρίγωνα του σχήματος. Παρατήρησε ότι έχουν ίσες γωνίες. Θυμήσου από τα μαθηματικά σου τον ορισμό του ημίτονου γωνίας.

## **5.2 Δυναμική - κινητική ενέργεια**

### **Δύο βασικές μορφές ενέργειας**

Η ενέργεια εμφανίζεται με πολλές μορφές. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τις δύο από τις συνηθέστερες μορφές της ενέργειας, τη δυναμική και την κινητική.

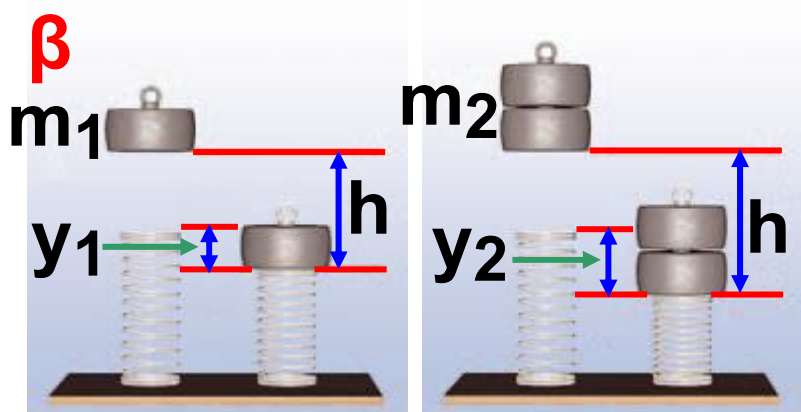
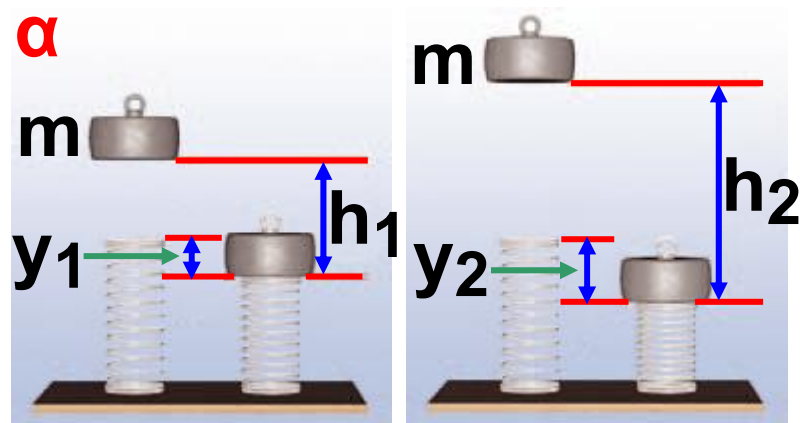
### ***Δυναμική ενέργεια***

Ανυψώνεις τον κύλινδρο που παριστάνεται στην εικόνα 5.12 με σταθερή ταχύτητα ασκώντας σ' αυτό δύναμη αντίθετη του βάρους του. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος

του κυλίνδρου και όσο μεγαλύτερο το ύψος στο οποίο τον ανυψώνεις, τόσο περισσότερο θα συσπειρώσει το ελατήριο κατά την πτώση του. Αυτό σημαίνει ότι τόσο περισσότερη ενέργεια έχει μεταφερθεί στον κύλινδρο (εικόνα 5.12).

**Εικόνα 5.12.**

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βαρυτική δυναμική ενέργεια σώματος. (α) Το



σώμα μάζας  $m$ , όταν βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος, προκαλεί μεγαλύτερη παραμόρφωση. (β) Σώμα

διπλάσιας μάζας προκαλεί στο ελατήριο μεγαλύτερη παραμόρφωση.

### ***Δυναμική ενέργεια και βάρος***

Πόσο είναι το έργο της δύναμης που ανυψώνει τον κύλινδρο; Η δύναμη με την οποία ανυψώνεις τον κύλινδρο είναι ακριβώς ίση με το βάρος του ( $w$ ), οπότε το έργο της ( $W$ ) είναι ίσο με το γινόμενο της δύναμης, δηλαδή του βάρους του κυλίνδρου, επί το ύψος ( $h$ ), στο οποίο ανυψώνεται (εικόνα 5.13). Λέμε ότι το σώμα που ανυψώθηκε έχει αποκτήσει βαρυτική δυναμική ενέργεια ( $U_{\text{δυναμική}}$ ). Η βαρυτική δυναμική ενέργεια του σώματος είναι ίση με το έργο της δύναμης που το ανύψωσε. Δηλαδή:

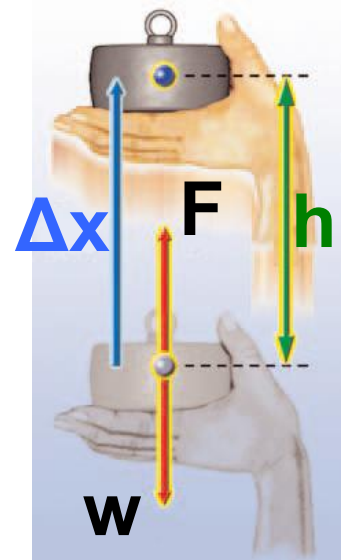
$$U = W = w \cdot h$$

Γενικά, ένα σώμα που έχει βάρος  $w$  και βρίσκεται σε ύψος  $h$  από κάποιο οριζόντιο επίπεδο έχει βαρυτική δυναμική ενέργεια (εικόνες 5.12, 5.13):

$$U_{\text{δυναμική}} = w \cdot h = m \cdot g \cdot h \quad (5.2)$$

### ***Εικόνα 5.13.***

Η δύναμη  $F$  που ασκεί το χέρι στον κύλινδρο είναι ίση με το βάρος του κυλίνδρου  $w$ :  $F=w$ . Το έργο της δύναμης  $F$  είναι ίσο με



$$W_F = F \cdot \Delta x \quad \text{ή} \quad W_F = F \cdot \Delta x \quad \text{ή} \quad W_F = w \cdot h.$$

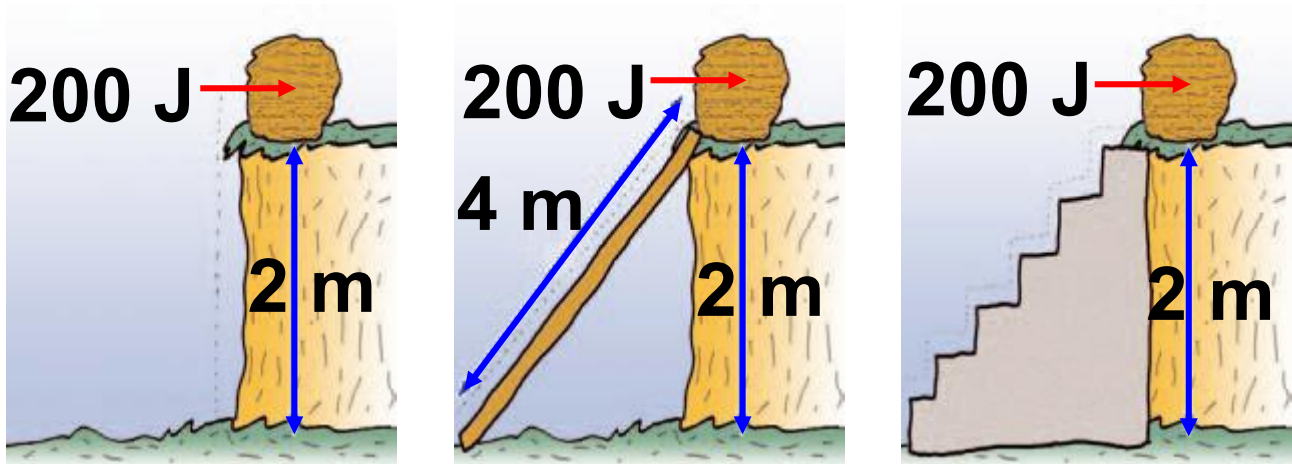
Στην παραπάνω έκφραση η βαρυτική δυναμική ενέργεια είναι ανάλογη του ύψους. *Από πού μετράμε όμως το ύψος; Συνήθως μετράμε το ύψος από μια οριζόντια επιφάνεια, όπως της θάλασσας, του δρόμου ή*

**του δαπέδου, που κάθε φορά δια-  
λέγουμε εμείς. Η βαρυτική δυναμική  
ενέργεια αναφέρεται σε μια επιφά-  
νεια από την οποία μετράμε το  
ύψος και στην οποία θεωρούμε ότι  
έχει την τιμή μηδέν.**

**Επίσης, μπορούμε να παρατη-  
ρήσουμε ότι η βαρυτική δυναμική  
ενέργεια που έχει ένα σώμα σε  
κάποιο ύψος είναι ανεξάρτητη  
από το δρόμο που ακολούθησε για  
να βρεθεί σ' αυτό το ύψος (εικόνα  
5.14) .**

**Ένα μήλο με μάζα 0,1 kg έχει  
βάρος περίπου 1 N. Όταν βρίσκεται  
σε ύψος 1 m από την επιφάνεια της  
γης, έχει βαρυτική δυναμική ενέρ-  
γεια ίση με  $1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$ . Το ίδιο  
μήλο, αν βρεθεί στο ίδιο ύψος πά-  
νω από την επιφάνεια της σελήνης,  
έχει μικρότερη δυναμική ενέργεια  
γιατί έχει μικρότερο βάρος.**





### ***Εικόνα 5.14.***

Ανεβάζουμε μια πέτρα βάρους 100 N σε ύψος 2 m με τρεις τρόπους:

(α) ασκώντας κατακόρυφη δύναμη 100 N,

β) σπρώχνοντάς τη με δύναμη 50 N σε ένα κεκλιμένο επίπεδο μήκους 4 m και

(γ) ανεβάζοντάς τη διαδοχικά σε 4 σκαλοπάτια ύψους 0,5 m το καθένα.

Και στις τρεις περιπτώσεις το έργο του βάρους είναι το ίδιο. Η πέτρα απέκτησε βαρυτική δυναμική ενέργεια σε σχέση με το έδαφος 200 J.

## ***Δυναμική ενέργεια και δυνάμεις***

Ένας πλανήτης που περιφέρεται γύρω από τον ήλιο έχει βαρυτική δυναμική ενέργεια λόγω της βαρυτικής ελκτικής δύναμης που ασκεί ο ήλιος στον πλανήτη. Αλλά και ένα ηλεκτρόνιο που περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα ενός ατόμου έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια λόγω της ελκτικής ηλεκτρικής δύναμης που του ασκεί ο πυρήνας.

### ***Εικόνα 5.15.***

Το έργο της δύναμης που τεντώνει τα λάστιχα της σφεντόνας ισούται με τη δυναμική ενέργεια που αυτά αποκτούν.



Δυναμική ενέργεια έχει επίσης μια τεντωμένη χορδή, ένα συμπιεσμένο ελατήριο ή μια παραμορφω-

μένη μπάλα. Σ' όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, η παραμόρφωση είναι ελαστική, δηλαδή τα σώματα επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση όταν πάψει να ασκείται η δύναμη που τα παραμόρφωσε. Κάθε σώμα που έχει υποστεί ελαστική παραμόρφωση, έχει δυναμική ενέργεια, που εξαρτάται από το μέγεθος της παραμόρφωσης του. Η δυναμική ενέργεια καθενός από τα σώματα αυτά ισούται με το έργο της δύναμης που τους ασκήθηκε για να τα παραμορφώσει (εικόνες 5.15, 5.16).

### ***Από τι εξαρτάται η δυναμική ενέργεια***

Η δυναμική ενέργεια που έχει ένα σώμα μπορεί να μετασχηματιστεί σε άλλη μορφή ενέργειας ή να μετα-

φερθεί σε κάποιο άλλο σώμα με άλλη μορφή.

Γενικά, αν σ' ένα σώμα ασκείται δύναμη, το σώμα έχει δυναμική ενέργεια που εξαρτάται από το μέγεθος της δύναμης, τη θέση ή την κατάσταση (παραμόρφωση) του σώματος και δεν εξαρτάται από τη διαδρομή (τροχιά) που ακολούθησε το σώμα για να φθάσει σε αυτή τη θέση ή την κατάσταση (εικόνα 5.16).

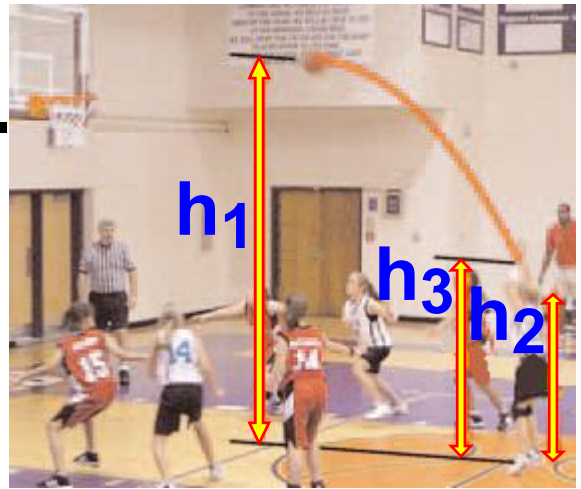
### ***Εικόνα 5.16.***

Η αθλήτρια έχει δυναμική ενέργεια, επειδή βρίσκεται σε κάποιο ύψος από το έδαφος. Το κοντάρι έχει δυναμική ενέργεια, επειδή είναι παραμορφωμένο.



## **Παράδειγμα 5.2**

Κατά την πραγματοποίηση μιας ελεύθερης βολής στην καλαθοσφαίριση, η μπάλα ανεβαίνει σε ύψος 3 m από το έδαφος του γηπέδου. Αν γνωρίζεις ότι η μάζα της μπάλας είναι 0,8 kg, να υπολογίσεις:



ζεις ότι η μάζα της μπάλας είναι 0,8 kg, να υπολογίσεις:

i. Τη βαρυτική δυναμική ενέργεια που αποκτά σε σχέση (α) με το έδαφος και (β) με το κεφάλι της παίκτριας της οποίας το ύψος είναι 1,90 m.

ii. Τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας της μπάλας, αν γνωρίζεις ότι όταν η μπάλα φεύγει από τα χέρια της παίκτριας, βρίσκεται σε ύψος 2.5 m από το έδαφος (α) σε σχέση με το έδαφος και (β) σε σχέση με το κεφάλι της παίκτριας.

Δίνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας  $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

<b>Δεδομένα</b>	$m = 0,8 \text{ Kgr}$ Ύψη: $h_1 = 3 \text{ m}, h_2 = 3 \text{ m},$ $h_3 = 2,5 \text{ m}$
<b>Ζητούμενα</b>	i. Βαρυτική δυναμική ενέργεια ii. Μεταβολή της δυναμικής ενέργειας
<b>Βασική εξίσωση</b>	$U_\delta = w \cdot h$

## **Λύση**

i. **Βήμα 1:** Υπολογισμός των υψών από τα επίπεδα αναφοράς:

(α)  $h_\alpha = h_1 = 3 \text{ m}$  (β)  $h_\beta = h_1 - h_2$  ή

$h_\beta = 1,1 \text{ m}$

**Βήμα 2:** Εφαρμογή της βασικής σχέσης

## Επίπεδο αναφοράς το έδαφος

$$U_{\delta\alpha} = m \cdot g \cdot h_{\alpha} \quad \text{ή}$$

$$U_{\delta\alpha} = (0,8 \text{ kg}) \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (3 \text{ m}) \quad \text{ή}$$

$$U_{\delta\alpha} = (8 \text{ N}) \cdot (3 \text{ m}) \quad \text{ή} \quad U_{\delta\alpha} = 24 \text{ J}$$

## Επίπεδο αναφοράς το κεφάλι της παίκτριας

$$U_{\delta\beta} = m \cdot g \cdot h_{\beta} \quad \text{ή}$$

$$U_{\delta\beta} = (0,8 \text{ kg}) \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (1,1 \text{ m}) \quad \text{ή}$$

$$U_{\delta\beta} = (8 \text{ N}) \cdot (1,1 \text{ m}) \quad \text{ή} \quad U_{\delta\beta} = 8,8 \text{ J}$$

ii. Μεταβολή της δυναμικής ενέργειας σε σχέση με το έδαφος:

$$\Delta U = U_T - U_A$$

$$U_A = m \cdot g \cdot h_3 = 0,8 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,5 \text{ m} =$$

$$= 20 \text{ J}, \quad \Delta U = 24 \text{ J} - 20 \text{ J} \quad \text{ή} \quad \Delta U = 4 \text{ J}$$

β. Μεταβολή της δυναμικής ενέργειας σε σχέση με το κεφάλι της παίκτριας:

$$\Delta U' = U_T - U_A$$

$$U'_A = m \cdot g \cdot (h_3 - h_2) = \\ = 0,8 \text{ Kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,6 \text{ m} = 4,8 \text{ J},$$

$$\Delta U' = 8,8 \text{ J} - 4,8 \text{ J} \text{ ή } \Delta U' = 4 \text{ J}$$

**Μια σημαντική παρατήρηση:** Η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας δεν εξαρτάται από την επιφάνεια σε σχέση με την οποία μετράς τη δυναμική ενέργεια.

### ***Κινητική ενέργεια***

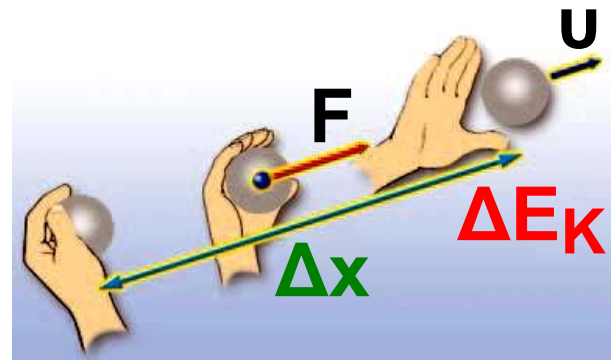
Παρακολουθώντας έναν αγώνα σφαιροβολίας παρατηρείς ότι το χέρι του αθλητή κρατώντας τη σφαίρα διαγράφει μια τροχιά (εικόνα 5.17). Κατά τη ρίψη το χέρι του αθλητή ασκεί δύναμη, η οποία παράγει έργο



πάνω στη σφαίρα. Όταν η σφαίρα αποκτήσει κάποια ταχύτητα, ο αθλητής ανοίγει το χέρι του και η σφαίρα εκτοξεύεται. Στη συνέχεια, διαγράφει μια καμπύλη τροχιά και προσγειώνεται στο έδαφος. Στο σημείο προσγείωσης προκαλεί παραμόρφωση στο έδαφος. Η κινούμενη σφαίρα έχει ενέργεια. Γενικά, κάθε σώμα το οποίο κινείται έχει μια μορφή ενέργειας η οποία ονομάζεται κινητική ενέργεια.

### ***Εικόνα 5.17.***

Ο σφαιροβόλος ασκεί δύναμη στη σφαίρα. Η δύναμη αυτή παράγει έργο. Η σφαίρα που κινείται έχει κινητική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια της σφαίρας είναι ίση με το έργο της δύναμης που άσκησε ο σφαιροβόλος.



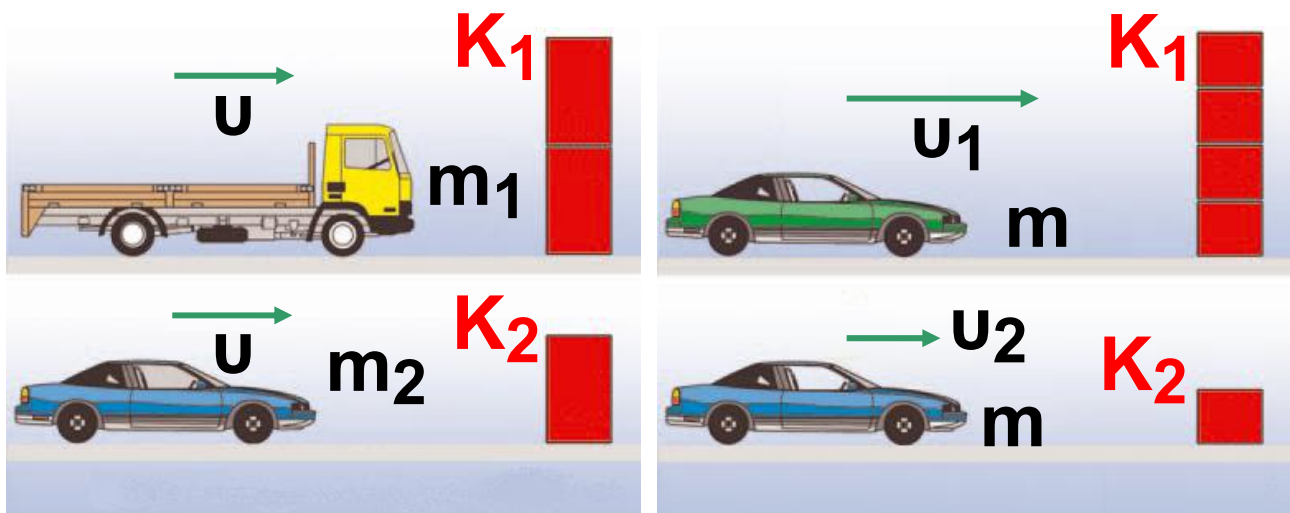
## ***Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η κινητική ενέργεια;***

Στο προηγούμενο παράδειγμα, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα της σφαίρας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η λακκούβα που ανοίγει στο έδαφος. Ας μελετήσουμε άλλο ένα παράδειγμα μεταβολής που προκαλείται εξ αιτίας της κινητικής ενέργειας. Με ένα σφυρί κτυπάς ένα καρφί. Όταν το σφυρί συναντά το καρφί, έχει κάποια ταχύτητα. Το σφυρί σταματά και το καρφί διεισδύει στον ξύλινο τοίχο.

***Από τι εξαρτάται το πόσο θα διεισδύσει το καρφί στον τοίχο;***

- Από την ταχύτητα του σφυριού. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του σφυριού, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διείσδυση του καρφιού.
- Από τη μάζα του σφυριού. Ένα σφυρί μεγαλύτερης μάζας, που

κινείται με την ίδια ταχύτητα, θα προκαλέσει μεγαλύτερη διείδσδυση του καρφιοφύ στον ξύλινο τοίχο.



$$m_1 = 2 \cdot m_2 \Rightarrow$$

$$K_1 = 2 \cdot K_2$$

$$u_1 = 2 \cdot u_2 \Rightarrow$$

$$K_1 = 4 \cdot K_2$$

### ***Εικόνα 5.18.***

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η κινητική ενέργεια.

Όταν η ταχύτητα είναι σταθερή, σε διπλάσια μάζα αντιστοιχεί διπλάσια κινητική ενέργεια.

Όταν η μάζα είναι σταθερή, σε διπλάσια ταχύτητα αντιστοιχεί τετραπλάσια κινητική ενέργεια.

**Η κινητική ενέργεια εξαρτάται από τη μάζα και την ταχύτητα του κινούμενου σώματος.**

**Κάθε σώμα αποκτά κινητική ενέργεια ( $E_K$ ) μέσω του έργου που παράγεται από τη δράση της δύναμης που το θέτει σε κίνηση από την ηρεμία (εικόνα 5.17). Το έργο αυτό ισούται με το γινόμενο της δύναμης επί τη μετατόπιση του σώματος στο χρονικό διάστημα που ασκείται η δύναμη:**

$$E_K = F \cdot \Delta x$$

**Μπορεί να αποδειχθεί ότι σε κάθε περίπτωση η κινητική ενέργεια που αποκτά το σώμα είναι:**

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot u^2$$

**όπου  $m$  η μάζα του σώματος και  $u$  η ταχύτητά του.**

Η κινητική ενέργεια ενός σώματος είναι ανάλογη της μάζας του (εικόνα 5.18). Έτσι, μια σφαίρα σφαιροβολίας που έχει μάζα 7,26 kg, έχει περισσότερη κινητική ενέργεια από μια μπάλα ποδοσφαίρου, που έχει μάζα 1 kg και κινείται με την ίδια ταχύτητα.

Επίσης, η κινητική ενέργεια είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας. Ένα αυτοκίνητο που κινείται με 100 km/h, έχει τετραπλάσια κινητική ενέργεια συγκριτικά με εκείνη που έχει, όταν κινείται με 50 km/h (εικόνα 5.18). Συνεπώς, το έργο της δύναμης τριβής που σταματά το αυτοκίνητο κατά το φρενάρισμα είναι τετραπλάσιο. Άρα, απαιτείται τετραπλάσια μετατόπιση (απόσταση) μέχρι να σταματήσει το αυτοκίνητο.

Μονάδα κινητικής ενέργειας, όπως και κάθε μορφής ενέργειας, είναι το joule.

### **Παράδειγμα 5.3**

Να υπολογίσεις την κινητική ενέργεια ενός δρομέα όταν (α) τρέχει με ταχύτητα  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  και (β) βαδίζει με ταχύτητα  $4,32 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ . Δίνεται ότι η μάζα του δρομέα είναι 70 kg.

<b>Δεδομένα</b>	$m = 70 \text{ Kgr}$ Ταχύτητα: $u_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , $u_2 = 4,32 \frac{\text{Km}}{\text{h}} =$ $= \frac{4.320}{3.600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
<b>Ζητούμενα</b>	Κινητική ενέργεια $E_K$
<b>Βασική εξίσωση</b>	$E_K = \frac{1}{2} m \cdot u^2$

## Λύση

$$E_{K_1} = \frac{1}{2} \cdot 70 \text{ Kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \text{ ή}$$

$$E_{K_1} = 3.500 \text{ J}$$

$$E_{K_2} = \frac{1}{2} \cdot 70 \text{ Kg} \cdot \left(1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \text{ ή}$$

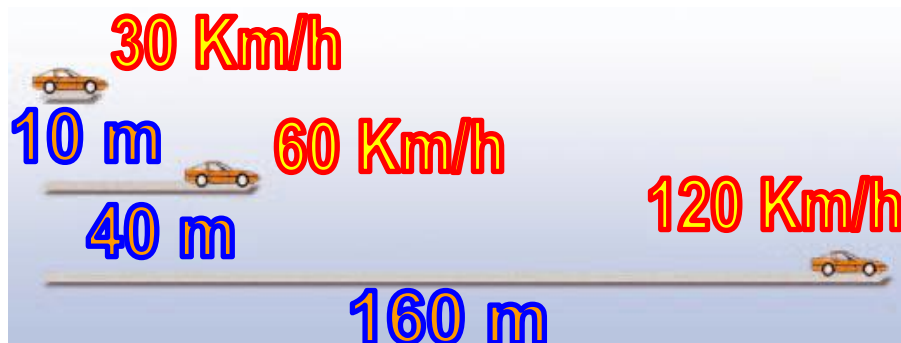
$$E_{K_2} = 50,4 \text{ J}$$

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.</b> <b>ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> <b>ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ</b>			
Αντικείμενο	Χαρακτηριστικά		Τιμές κινητικής ενέργειας σε J
	Μάζα	Ταχύτητα / μετάδοση	
Πλοίο	91.000 ton,	30 κόμβοι	$9,4 \cdot 10^9$
Δορυφόρος	100 kg,	$7,8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$	$3 \cdot 10^9$
Νταλίκα	5.700 kg,	$100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$2,2 \cdot 10^6$
Ιδιωτικό αυτοκίνητο	750 kg,	$100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$2,9 \cdot 10^5$



Αντικείμενο	Χαρακτηριστικά		Τιμές κινητικής ενέργειας σε J
	Μάζα	Ταχύτητα/μετατόπιση	
Μικρό νόμισμα	2 g,	από ύψος 5 m	0,1
Αγριομέλισσα	2 g ,	$2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Σαλιγκάρι	5 g ,	$0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$

Τυπική απόσταση που απαιτείται για το σταμάτημα αυτοκινήτων που κινούνται με διάφορες ταχύτητες. Σημειώστε ότι οι αποστάσεις θα είναι ακόμα μεγαλύτερες, αν ληφθεί υπόψη ο **χρόνος αντίδρασης<sup>1</sup>** του οδηγού. Οι οδηγοί και μελλοντικοί οδηγοί θα πρέπει να είναι ενημερωμένοι ώστε να αποφύγουν δυσάρεστες εκπλήξεις.



1.

Τι ονομάζουμε χρόνο αντίδρασης;  
Με ποιο τρόπο μεταφέρονται τα  
εξωτερικά ερεθίσματα στον  
ανθρώπινο εγκέφαλο; Πώς τα

**ερεθίσματα που φθάνουν στον εγκέφαλο γίνονται αντιληπτά από αυτόν;**

**Μπορείς να αιτιολογήσεις γιατί μεσολαβεί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα από τη στιγμή που ένας άνθρωπος αντιλαμβάνεται ένα ερέθισμα μέχρι να απαντήσει σ' αυτό;**

**Αναζήτησε πληροφορίες για το χρόνο αντίδρασης ενός φυσιολογικού ανθρώπου και για τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται αυτός.**

**Μπορείς να αιτιολογήσεις τώρα γιατί οι οδηγοί δεν πρέπει να καταναλώνουν έστω και ελάχιστη ποσότητα αλκοολούχων ποτών;**



# Περιεχόμενα 3ου τόμου

## ΕΝΟΤΗΤΑ 1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ

### Κεφάλαιο 4. Πίεση (συνέχεια από το 2ο τόμο)

4.2. Υδροστατική πίεση .....	7
4.3. Ατμοσφαιρική πίεση .....	27
4.4. Μετάδοση των πιέσεων στα ρευστά - Αρχή του Πασκάλ .....	43
4.5. Άνωση - Αρχή του Αρχιμήδη .....	52
4.6. Πλεύση .....	65

### Κεφάλαιο 5. Ενέργεια

5.1. Έργο και ενέργεια .....	111
5.2. Δυναμική - κινητική ενέργεια Δύο βασικές μορφές ενέργειας .....	130

**Με απόφαση της Ελληνικής Κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν βιβλιόσημο προς απόδειξη της γνησιότητάς τους. Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δε φέρει βιβλιόσημο, 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 Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.***



