

## Φυσική και Ιστορία

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

### Το υδροστατικό παράδοξο

Τον 17ο αιώνα ο **Πασκάλ (Pascal)** 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 στην πάνω επιφάνεια μια μικρή τρύπα. Στην τρύπα προσάρμοσε έναν 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 στον σωλήνα, η πίεση του νερού στο τοίχωμα ήταν:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} = 5.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ και η δύναμη σ' αυτό}$$

$$F = p \cdot A = 5.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,5 \text{ N} \quad \text{Όταν ο σωλήνας, μήκους } 9,5 \text{ m, γεμίσει με νερό, η πίεση γίνεται:}$$

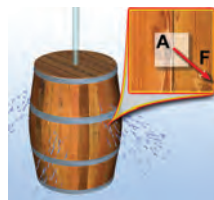
$$p' = \rho \cdot g \cdot h' = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 9,5 \text{ m} = 100.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ και η δύναμη } F' = p' \cdot A = 100.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 10 \text{ N} \text{ δηλαδή, } \underline{\text{είκοσι φορές}}$$

μεγαλύτερη.

Γι' αυτό άνοιξε το τοίχωμα.

### 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 υδροστατική πίεση; Θυμήσου και άλλα φυσικά μεγέθη που είναι ανάλογα.



Εικόνα 4.13.

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



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).

## 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);

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)**.

### Μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης

Η ατμοσφαιρική πίεση μετρήθηκε για πρώτη φορά το 1643

από τον μαθητή του Γαλιλαίου, τον φυσικό Εβανγκελίστα Τορικέλι (εικόνα 4.15).

Ο Τορικέλι χρησιμοποίησε έναν 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 Τορικέλι παρατήρησε ότι το ύψος της στήλης του υδραργύρου μέσα στον σωλήνα έφθασε περίπου στα 76 cm.

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

Το υγρό μέσα στον 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:

$$p_A = p_{\text{atm}} \quad (4.3)$$

Επομένως, η στήλη του υδραργύρου συγκρατείται από τη δύναμη που ασκείται, λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης, στην ελεύθερη επιφάνεια του υδραργύρου της λεκάνης (εικόνα 4.16). Μέσα στον 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 B 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 στήλης υδραργύρου ύψους h. Όταν  $h = 76 \text{ cm}$  ή  $760 \text{ mm}$ , λέμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με  $760 \text{ mmHg}$ . Την υδροστατική πίεση που ασκεί στήλη υδραργύρου ύψους  $1 \text{ mm}$  την ονομάζουμε  $1 \text{ Torr}$  προς τιμή του Τορικέλι. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι  $760 \text{ Torr}$ . Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης ονομάζονται **βαρόμετρα**. Το πρώτο βαρόμετρο κατασκευάστηκε από τον Τορικέλι.

#### Πώς υπολογίζουμε την ατμοσφαιρική πίεση;

Η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με την υδροστατική πίεση της στήλης του υδραργύρου. Έτσι, για να την υπολογίσουμε, εφαρμόζουμε τον 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

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

$$p_{\text{atm}} = 13.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,76 \text{ m} \quad \text{ή}$$

#### Φυσική και Ιστορία

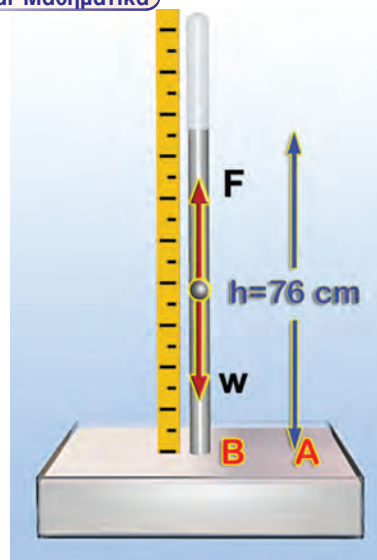


Εικόνα 4.15.

Εβανγκελίστα Τορικέλι (Evangelista Torricelli) (1608-1647).

Σχεδιάγραμμα της συσκευής που χρησιμοποίησε για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης.

#### Φυσική και Μαθηματικά



Εικόνα 4.16.

Το πείραμα του Τορικέλι ή ατμοσφαιρική πίεση και δυνάμεις. Ο υδράργυρος στον 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:

$$w = F \text{ ή } m \cdot g = p_{\text{atm}} \cdot A \text{ ή } \rho \cdot V \cdot g = p_{\text{atm}} \cdot A \text{ ή } \rho \cdot (A \cdot h) \cdot g = p_{\text{atm}} \cdot A \text{ ή } \rho \cdot h \cdot g = p_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{atm}} = 101.293 P_a$$

ή

περίπου  $100.000 P_a$ . Η πίεση αυτή ονομάζεται πίεση μιας ατμόσφαιρας (1 atm):  $1 \text{ atm} = 100.000 P_a$ .

### Δυνάμεις λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης

#### Δραστηριότητα

Ακόνισε το μυαλό σου

#### Ο αέρας ασκεί δυνάμεις



► Ρούφηξε νερό με ένα καλαμάκι και κλείσε το άλλο στόμιό του με το δάκτυλό 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 μέτρο αυτής της δύναμης;

Άφησε το στόμιο ελεύθερο.

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

Όταν πίνεις τον φρουτοχυμό σου με το καλαμάκι, έχεις αναρωτηθεί ποια δύναμη σπρώχνει τον 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 τον χυμό στο στόμα σου. Στη σελήνη, όπου δεν υπάρχει αέρας, οι αστροναύτες δε θα μπορούσαν να πουν με το καλαμάκι την πορτοκαλάδα τους.

Πόσο μεγάλες είναι οι δυνάμεις που ασκούνται λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης; Αν η επιφάνεια που έχει το στόμιο στο καλαμάκι είναι περίπου  $0,2 \text{ cm}^2$ , τότε η δύναμη που ασκείται λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι περίπου 2 N. Αντίστοιχα στην επιφάνεια του κουτιού της πορτοκαλάδας, η οποία έχει εμβαδόν περίπου  $50 \text{ cm}^2$ , είναι 500 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 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 σώματός 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 τον λόγο δεν αισθανόμαστε συνήθως την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Όταν όμως ανέβουμε σε σχετικά μεγάλο ύψος, λόγω της μείωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης, αισθανόμαστε πόνο στα αυτιά μας.

#### Φυσική και Ιστορία



#### 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** 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.

Αν η πίεση στο εσωτερικό των ημισφαιρίων είναι 0,1 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.**

Πάρε ένα δοχείο από ψευδάργυρο (τσίγκινο) και βάλε 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. Βάλε 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.

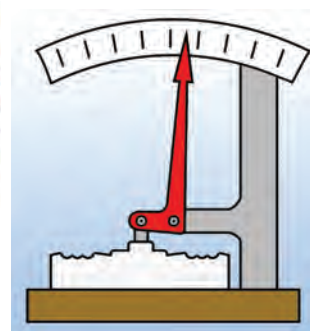
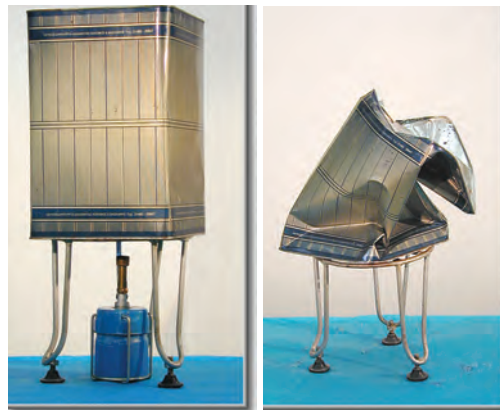
**Το μεταλλικό βαρόμετρο**

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.

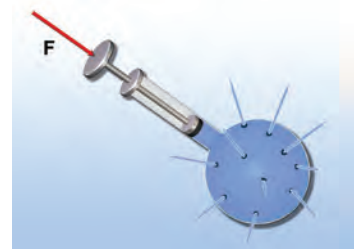
**4.4****Μετάδοση των πιέσεων στα ρευστά  
Αρχή του Πασκάλ**

Όταν χρειάζεται να αντικαταστήσουμε το σκασμένο λάστιχο ενός αυτοκινήτου, πρέπει να το ανυψώσουμε. Θα έχεις ίσως παρατηρήσει ότι για να το κάνουμε χρησιμοποιούμε κατάλληλες αντλίες (εικόνα 4.18). Σε ποια αρχή της φυσικής στηρίζεται η λειτουργία μιας τέτοιας αντλίας;

**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:

$$p_2 = p_1$$



Εικόνα 4.17.

Η σύριγγα του Πασκάλ



Εικόνα 4.18.

Ασκώντας μικρή δύναμη στο ένα έμβολο της αντλίας καταφέρνουμε να υπερνικήσουμε τη δύναμη του βάρους που ασκείται στο αυτοκίνητο και να το ανυψώσουμε με το άλλο έμβολο.