



**Εικόνα 1.19**

Σε ίσους χρόνους οι μετατοπίσεις του αεροπλάνου είναι διαφορετικές. Η ταχύτητά του μεταβάλλεται.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4**

Χρόνος σε sec	Ταχύτητα σε $\frac{m}{s}$
0	0
1	+4
5	+20
10	+40
15	+60
20	+80



**Εικόνα 1.20**

Τη στιγμή  $t = 0s$  το αεροπλάνο αρχίζει να κινείται. Η ταχύτητά του είναι  $0\frac{m}{s}$  και η μετατόπιση από την αρχική του θέση είναι  $0m$ .

Τη στιγμή  $t = 15s$  η ταχύτητα του είναι  $60\frac{m}{s}$  και η μετατόπιση  $450m$ , κλπ.

## 1.4 Η ταχύτητα μεταβάλλεται. Επιτάχυνση

Παρακολουθείς έναν αγώνα δρόμου  $100m$ . Μετά το σήμα της εκκίνησης οι αθλητές ή οι αθλήτριες προσπαθούν να αυξήσουν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα την ταχύτητα τους μέχρι να φθάσουν τη μέγιστη δυνατή. Η ταχύτητά τους λοιπόν μεταβάλλεται. Στις περισσότερες κινήσεις η ταχύτητα δεν διατηρείται σταθερή. Μια **κίνηση στην οποία η ταχύτητα μεταβάλλεται ονομάζεται μεταβαλλόμενη**.

### Επιτάχυνση

Ένα αεριοθούμενο αεροπλάνο βρίσκεται ακίνητο στην αρχή του διαδρόμου. Έχει μηδενική ταχύτητα. Όταν ο πιλότος παίρνει την εντολή απογείωσης από τον πύργο ελέγχου θέτει σε λειτουργία τα όργανα του αεροσκάφους. Στον πίνακα 1.4 καταγράφονται οι τιμές της ταχύτητας του αεροπλάνου σε διάφορες χρονικές στιγμές.

Μετά από ένα δευτερόλεπτο το ταχύμετρο δείχνει  $+4\frac{m}{s}$ , ενώ μετά από δυο δευτερόλεπτα  $+8\frac{m}{s}$ . Μετά από 20 συνολικά δευτερόλεπτα η ταχύτητα φθάνει τα  $+80\frac{m}{s}$  και το αεροπλάνο απογειώνεται. Από τον πίνακα προκύπτει ότι η ταχύτητα του αεροπλάνου αυξάνεται κατά  $4\frac{m}{s}$  κάθε δευτερόλεπτο. Λέμε ότι το αεροπλάνο επιταχύνεται κατά μήκος του διαδρόμου απογείωσης.

Πόσο μεταβάλλεται η ταχύτητά του αεροπλάνου σε κάθε δευτερόλεπτο; ή γενικότερα, πόσο μεταβάλλεται η ταχύτητα ενός κινούμενου σώματος σε ορισμένο χρονικό διάστημα;

Έστω  $u_1$  και  $u_2$  οι τιμές της ταχύτητας ενός σώματος τις χρονικές στιγμές  $t_1$  και  $t_2$  αντίστοιχα. Στο χρονικό διάστημα:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

η μεταβολή της ταχύτητάς του είναι :

$$\Delta u = u_2 - u_1$$

Έτσι, για παράδειγμα, από τη στιγμή  $t_1 = 1s$  μέχρι τη στιγμή  $t_2 = 5s$  η μεταβολή της ταχύτητας του αεροπλάνου είναι:

$$\Delta u = u_2 - u_1 \quad \text{ή} \quad \Delta u = 20\frac{m}{s} - 4\frac{m}{s} \quad \text{ή}$$

$$\Delta u = 16\frac{m}{s}$$

Δηλαδή, στο χρονικό διάστημα:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \text{ή} \quad \Delta t = 5\text{s} - 1\text{s} \quad \text{ή} \quad \Delta t = 4\text{s}$$

που μεσολάβησε μεταξύ των δυο αυτών χρονικών στιγμών, η ταχύτητα του αεροπλάνου μεταβλήθηκε κατά:

$$\Delta u = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Πόσο μεταβάλλεται η ταχύτητα του αεροπλάνου κάθε δευτερόλεπτο;

Για να το βρούμε αρκεί να διαιρέσουμε τη μεταβολή της ταχύτητάς του με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα:

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{16 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4\text{s}} \quad \text{ή} \quad \frac{\Delta u}{\Delta t} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Δηλαδή, η ταχύτητα του αεροπλάνου κάθε δευτερόλεπτο μεταβάλλεται κατά  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Λέμε ότι ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας του είναι  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Γενικά, το **πηλίκο της μεταβολής της ταχύτητας ενός σώματος προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα** ονομάζεται (μέση) **επιτάχυνση** και συνήθως συμβολίζεται με **a** (από τα αρχικά της Αγγλικής λέξης acceleration):

$$\text{επιτάχυνση} = \frac{\text{μεταβολή ταχύτητας}}{\text{χρονικό διάστημα}} \quad \text{ή}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta t} \quad \text{ή μέτρο } a = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

Εφόσον η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος και η επιτάχυνση προκύπτει διανυσματικό μέγεθος.

Από τον παραπάνω ορισμό και το προηγούμενο παράδειγμα, βλέπουμε ότι η επιτάχυνση εκφράζει το πόσο γρήγορα μεταβάλλεται η ταχύτητα ενός σώματος. Δηλαδή το ρυθμό μεταβολής της ταχύτητάς του. Κατά τη σύγκριση των επιδόσεων των αυτοκινήτων η μεταβολή της ταχύτητας λαμβάνεται σταθερή, συνήθως από  $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  έως  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , και αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο επιτυγχάνεται π.χ. 8, 10 ή 12s. Όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα τόσο μεγαλύτερη είναι η επιτάχυνση του αυτοκινήτου. Αν η μονάδα ταχύτητας είναι  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  τότε η μονά-



### Ομαλή ή όχι



- Τοποθέτησε το ένα άκρο ενός σωλή- να σχήματος Π μήκους 1 m πάνω σε ένα βιβλίο. Έτσι σχηματίζεται ένα κεκλιμένο επίπεδο.
- Άφησε μια μικρή ατσάλινη σφαίρα να κυλήσει κατά μήκος του επιπέδου.
- Μέτρησε το χρόνο που χρειάζεται για να διανύσει 0,3m και 0,6m.
- Περίγραψε το είδος της κίνησης.
- Πρόβλεψε πόσος χρόνος χρειάζεται για να διανύσει 0,9m.
- Εξήγησε τη πρόβλεψη σου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ	
Αντικείμενο	Επιτάχυνση σε $\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$
Αυτοκίνητο	2 – 5
Αυτοκίνητο που φρενάρει	7 – 10
Ελεύθερη πτώση	9,8
Αθλητής δρόμου 100m	12
Φόρμουλα Ι	10 – 15

δα της επιτάχυνσης προκύπτει:  $\frac{m}{s} = \frac{m}{s^2}$  και διαβάζεται μέτρα ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο. Σε κάθε περίπτωση η επιτάχυνση δείχνει κατά πόσα  $\frac{m}{s}$  μεταβάλλεται η ταχύτητα (αυξάνεται ή μειώνεται), σε κάθε δευτερόλεπτο.

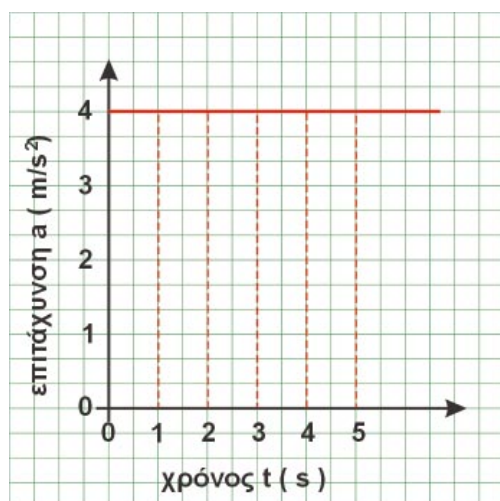
### Ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση

Ας επιστρέψουμε στο παράδειγμα του αεροπλάνου που απογειώνεται και ας υπολογίσουμε την επιτάχυνση για διάφορα χρονικά διαστήματα. Παρατηρούμε ότι σε κάθε χρονικό διάστημα, η επιτάχυνση που προκύπτει είναι ίση με  $+4\frac{m}{s^2}$ .

Αυτό σημαίνει ότι σε ίσα χρονικά διαστήματα η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά ίσες τιμές. Μια τέτοια κίνηση ονομάζεται **ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη**. Η επιτάχυνση διατηρείται σταθερή.

Το σώμα είναι αρχικά ακίνητο δηλαδή, τη χρονική στιγμή  $t_1 = 0s$  η ταχύτητά του είναι  $u_1 = 0\frac{m}{s}$  (λέμε ότι η αρχική ταχύτητα του σώματος είναι  $0\frac{m}{s}$ ). Τότε το χρονικό διάστημα  $\Delta t$  ταυτίζεται με την ένδειξη  $t$  του χρονομέτρου μας και η μεταβολή της ταχύτητας  $\Delta u$  με την ταχύτητα  $u$ , που έχει το σώμα, τη χρονική στιγμή  $t$ . Επομένως στη περίπτωση αυτή, η επιτάχυνση ( $a$ ), η ταχύτητα ( $u$ ) και ο αντίστοιχος χρόνος ( $t$ ) σχετίζονται με τη σχέση:

$$a = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad a = \frac{u_2 - u_1}{t_2 - t_1} = \frac{u - 0}{t - 0} \quad \text{ή} \\ a = \frac{u}{t}$$



**Εικόνα 1.21**

Η γραφική παράσταση της επιτάχυνσης σε συνάρτηση με το χρόνο στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση.

### Νόμοι της ευθύγραμμης ομαλά μεταβαλλόμενης κίνησης

#### α. Νόμος της επιτάχυνσης

Στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση η επιτάχυνση διατηρείται σταθερή. Αν παραστήσουμε γραφικά την επιτάχυνση του παραδείγματος του αεροπλάνου που απογειώνεται σε σχέση με το χρόνο, προκύπτει το διάγραμμα της εικόνας 1.21.

Γενικά, σε μια ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση η επιτάχυνση παριστάνεται με ευθεία παράλληλη με τον άξονα του χρόνου.

### β. Νόμος της ταχύτητας

Από τη σχέση που συνδέει επιτάχυνση, ταχύτητα και χρόνο στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του σώματος κάθε χρονική στιγμή:

$$a = \frac{u}{t} \text{ ή}$$

$$u = a \cdot t$$

Με δεδομένο ότι  $a = \text{σταθερό}$  συμπεραίνουμε ότι: σε μια επιταχυνόμενη κίνηση, χωρίς αρχική ταχύτητα, η ταχύτητα είναι ανάλογη με το χρόνο στον οποίο αποκτήθηκε (εικόνα 1.22).

Πράγματι, στο παράδειγμα μας το αεροπλάνο ήταν αρχικά ακίνητο. Δηλαδή η αρχική ταχύτητά του είναι μηδέν. Στο πέμπτο δευτερόλεπτο η ταχύτητά του είναι  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Σε διπλάσιο χρόνο (10s) η ταχύτητα του γίνεται  $40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , δηλαδή διπλασιάζεται. Σε τριπλάσιο χρόνο (15sec) η ταχύτητα του γίνεται  $60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , δηλαδή τριπλασιάζεται κ.ο.κ.

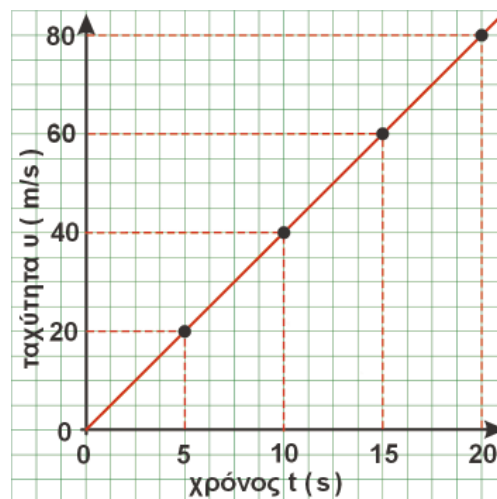
Στη συνέχεια ας κατασκευάσουμε το διάγραμμα της ταχύτητας του αεροπλάνου σε σχέση με το χρόνο χρησιμοποιώντας τις τιμές του πίνακα 1.4. Με ένα χάρακα διαπιστώνουμε ότι τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου – ταχύτητας του πίνακα βρίσκονται σε ευθεία γραμμή, που περνάει από την αρχή των αξόνων.

Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με την εξίσωση

$$u = a \cdot t$$

που δηλώνει ότι η ταχύτητα και ο χρόνος είναι μεγέθη ανάλογα.

**Σε μια ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση το διάγραμμα της ταχύτητας ως προς το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.**



Εικόνα 1.22

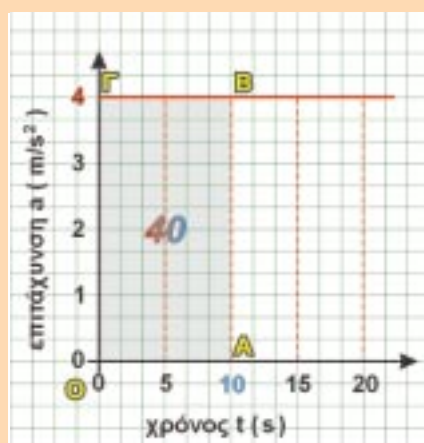
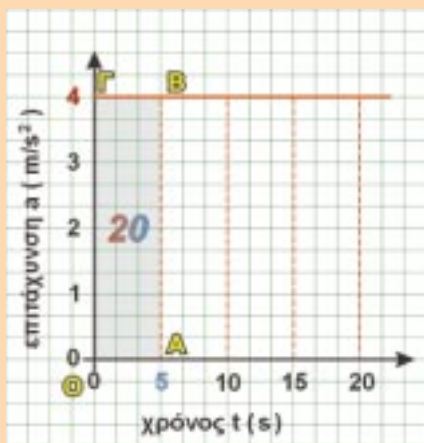
Το διάγραμμα παριστάνει την σχέση ταχύτητας - χρόνου στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση χωρίς αρχική ταχύτητα.



## Ταχύτητα και διάγραμμα επιτάχυνσης – χρόνου

Ας μελετήσουμε το διάγραμμα επιτάχυνσης – χρόνου του αεροπλάνου, που παριστάνει η εικόνα 1.23.

Συγκρίνουμε τα εμβαδά των σκιασμένων επιφανειών με την ταχύτητα του αεροπλάνου στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές. Διαπιστώνουμε ότι οι τιμές τους συμπίπτουν. Γενικά, σ' ένα διάγραμμα επιτάχυνσης χρόνου, το εμβαδόν της επιφάνειας μεταξύ της γραμμής που παριστάνει την επιτάχυνση και του άξονα του χρόνου είναι αριθμητικά ίσο με τη μεταβολή της ταχύτητας στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 1.23

$$\text{Εμβαδόν } \text{OAB}\Gamma = (\text{O}\Gamma) \cdot (\text{O}\text{A})$$

$$\text{Εμβαδόν}(\text{OAB}\Gamma) = \text{επιτάχυνση} \cdot \text{χρόνος}$$

$$\text{Εμβαδόν}(\text{OAB}\Gamma) = a \cdot t$$

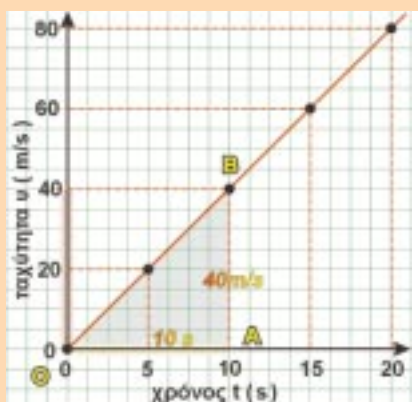
$$\text{Εμβαδόν}(\text{OAB}\Gamma) = \text{ταχύτητα}$$

Τη στιγμή  $t=5\text{ s}$  η ταχύτητα του αεροπλάνου είναι:

$$u = \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (5\text{s}) \quad \text{ή} \quad u = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \text{κλπ}$$

## Επιτάχυνση και διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου

Στο διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου, (εικόνα 1.24), παρατηρούμε ότι η κλίση της ευθείας ισούται με  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Δηλαδή είναι ίση με την επιτάχυνση της κίνησης του αεροπλάνου.



Εικόνα 1.24

$$\text{κλίση ευθείας} = \frac{(\text{AB})}{(\text{O}\text{A})} \quad \text{ή}$$

$$\text{κλίση ευθείας} = \frac{40 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10\text{s}} \quad \text{ή}$$

$$\text{κλίση ευθείας} = \text{επιτάχυνση} \quad \text{ή}$$

$$\text{κλίση ευθείας} = \frac{40\text{m/s}}{10\text{s}} \quad \text{ή}$$

$$\text{κλίση ευθείας} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{ή}$$

### γ. Νόμος της μετατόπισης

Είδαμε ότι η ταχύτητα ενός σώματος, που κάνει ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση, χωρίς αρχική ταχύτητα, είναι ανάλογη με το χρόνο κίνησης. Πώς όμως μεταβάλλεται η μετατόπιση του σώματος σε σχέση με το χρόνο;

Ας επανέλθουμε στο παράδειγμα του αεροπλάνου που κινείται στο διάδρομο απογείωσης (τροχοδρομεί) με σταθερή επιτάχυνση (εικόνα 1.25). Μετράμε κάθε δευτερόλεπτο τη μετατόπιση του αεροπλάνου από την αρχική του θέση, οπότε προκύπτει ο πίνακας 1.5. Η θέση του αεροπλάνου ταυτίζεται με την μετατόπιση από τη αρχική του θέση στην περίπτωση που η αρχική του θέση ταυτισθεί με το μηδέν.

Παρατήρησε ότι στα πρώτα πέντε δευτερόλεπτα η μετατόπιση του αεροπλάνου είναι 50 m. Στα δέκα πρώτα δευτερόλεπτα (σε διπλάσιο χρόνο) (2) η μετατόπιση του έχει γίνει 200 m, δηλαδή έχει τετραπλασιαστεί ( $2^2$ ). Με τη συμπλήρωση του δεκάτου πέμπτου δευτερολέπτου (σε τριπλάσιο χρόνο) (3) η μετατόπιση έχει γίνει 450 m, δηλαδή εννέα φορές μεγαλύτερη ( $3^2$ ) της μετατόπισης του κατά τα πρώτα πέντε δευτερόλεπτα κ.ο.κ..

Γενικεύοντας τις παρατηρήσεις μας, συμπεραίνουμε ότι **όταν ένα σώμα κάνει ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση, χωρίς αρχική ταχύτητα, η μετατόπιση του από την αρχική θέση είναι ανάλογη του τετραγώνου του χρόνου κίνησης.**

Σε κατάλληλο σύστημα ορθογωνίων αξόνων μετατόπισης - χρόνου και με βάση τις τιμές του πίνακα 1.5 σχεδιάζουμε το διάγραμμα θέσης - χρόνου του αεροπλάνου, (εικόνα 1.26).

Παρατηρούμε ότι τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη των τιμών χρόνου - μετατόπισης δεν βρίσκονται σε ευθεία γραμμή. Σχηματίζουν μια καμπύλη γραμμή, που ονομάζεται παραβολή.



Αξιοποιώντας το διάγραμμα της ταχύτητας - χρόνου μπορούμε να προσδιορίσουμε τη μετατόπιση σε μια ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση χωρίς αρχική ταχύτητα.

Έστω ένα τέτοιο διάγραμμα και  $u$  η ταχύτητα του κινούμενου σώματος τη χρονική στιγμή  $t$ . Γνωρίζουμε ότι η μετατόπιση του κινούμενου σώματος σε χρόνο  $t$  είναι αριθμητικά ίση με το εμβαδόν του τριγώνου



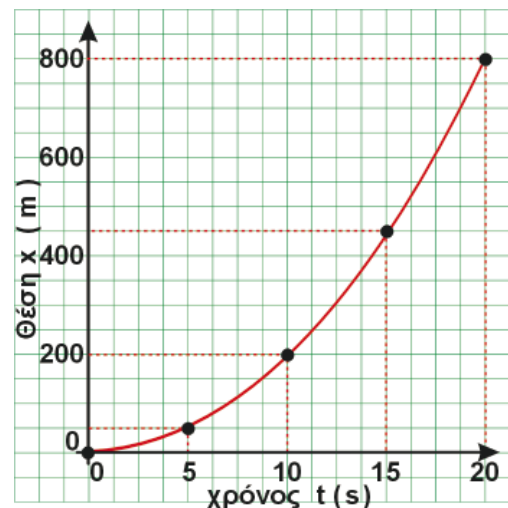
Εικόνα 1.25

Σε 5 s η μετατόπιση του αεροπλάνου είναι 50m.

Σε διπλάσιο χρόνο (10s) η μετατόπισή του είναι τετραπλάσια ( $200\text{m} = 4 \cdot 50\text{m}$ ). Σε τριπλάσιο χρόνο ( $15\text{s} = 3 \cdot 5\text{s}$ ) η μετατόπιση είναι εννιαιπλάσια ( $450\text{m} = 9 \cdot 50\text{m}$ ) κλπ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5

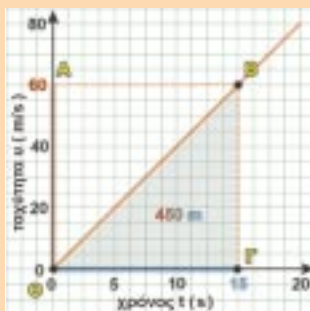
Χρόνος σε s	Θέση σε m
0	0
5	+50
10	+200
15	+450
20	+800



Εικόνα 1.26

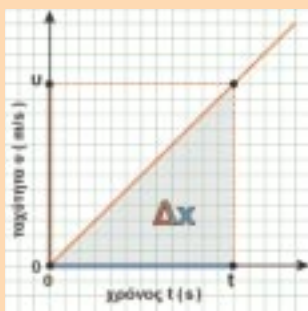
Στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση, η μετατόπιση δεν είναι ανάλογη του χρόνου.





Εικόνα 1.27

Το εμβαδόν του τριγώνου ΟΒΓ παριστάνει τη μετατόπιση του αεροπλάνου στον αντίστοιχο χρόνο.



ΟΒΓ, δηλαδή:

$$\text{εμβαδόν} = \frac{1}{2} (\text{ΟΓ}) (\text{ΓΒ}) \text{ ή}$$

$$\Delta x = \frac{1}{2} (\text{ΟΑ}) (\text{ΟΓ}) \text{ ή } \Delta x = \frac{1}{2} \text{ ταχύτητα χρόνου}$$

$$\Delta x = \frac{1}{2} u \cdot t$$

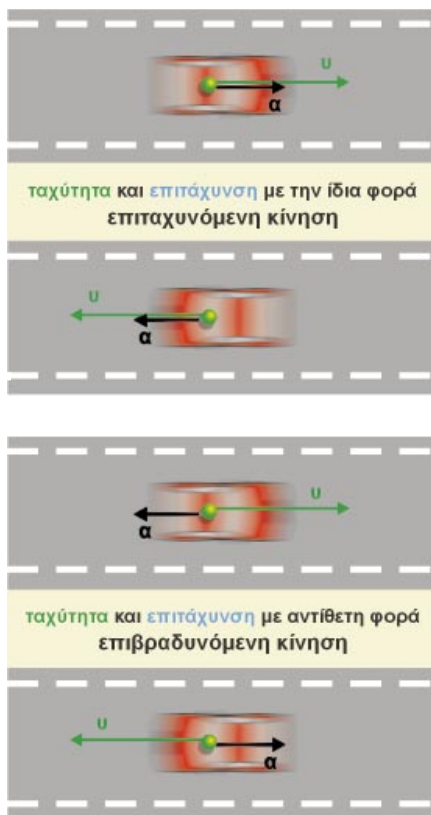
Αλλά από το νόμο της ταχύτητας έχουμε:

$$u = a \cdot t$$

$$\text{Άρα η μετατόπιση είναι: } \Delta x = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Βέβαια σε αυτή τη περίπτωση, η μετατόπιση συμπίπτει με τη θέση του κινητού τη χρονική στιγμή  $t$ , με σημείο αναφοράς τη θέση που έχει το σώμα τη χρονική στιγμή  $t = 0$ .

Εάν δυο μεγέθη είναι ανάλογα το διάγραμμα του ενός ως προς το άλλο είναι μια ευθεία γραμμή. Στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση όμως, η μετατόπιση είναι ανάλογη με το τετράγωνο του χρόνου. Άρα το διάγραμμα είναι μια καμπύλη.



Εικόνα 1.28

## Επιβραδυνόμενη κίνηση

Ένα αυτοκίνητο φρενάρει όταν ο οδηγός του βλέπει κόκκινο φανάρι. Τι συμβαίνει με την επιτάχυνση σ' αυτή και σε παρόμοιες περιπτώσεις;

Η θέση και η ταχύτητα είναι διανυσματικά μεγέθη, δηλαδή εκτός από το μέτρο τους χαρακτηρίζονται από την κατεύθυνση. Το ίδιο συμβαίνει και με την επιτάχυνση.

Όταν ένα σώμα κινείται κατά τη θετική κατεύθυνση πάνω σε μια ευθεία, η επιτάχυνσή του μπορεί να είναι θετική ή αρνητική: Όταν το μέτρο της ταχύτητας αυξάνεται η μεταβολή της είναι θετική το ίδιο και η επιτάχυνση. Τότε η κίνηση ονομάζεται επιταχυνόμενη. Όταν το μέτρο της ταχύτητας μειώνεται, όπως στο φρενάρισμα, η μεταβολή της είναι αρνητική το ίδιο και η επιτάχυνση. Τότε η κίνηση ονομάζεται επιβραδυνόμενη. Γενικά στην επιβραδυνόμενη κίνηση η επιτάχυνση έχει φορά αντίθετη της ταχύτητας. Στην επιβραδυνόμενη κίνηση η επιτάχυνση ονομάζεται και επιβράδυνση (εικόνα 1.28).

Η απόσταση που διανύει ένα αυτοκίνητο από τη στιγμή που οδηγός του πατάει το φρένο μέχρι να σταματήσει εί-

ναι κρίσιμη για την οδική ασφάλεια. Στον πίνακα 1.6 φαίνονται οι απαιτούμενες αποστάσεις για διαφορετικές αρχικές ταχύτητες όταν η επιβράδυνση κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος είναι περίπου  $10\text{m/s}^2$ .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.6**

Αρχική ταχύτητα σε $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	Απόσταση σε m
40	6
60	14
80	25
100	38
120	55



#### Κατεύθυνση της επιτάχυνσης

- Στερέωσε ένα μικρό αλφάδι στην κορυφή ενός εργαστηριακού αμαξιδίου.
- Ρύθμισε τη θέση του αλφαδιού ώστε η φυσαλίδα να βρίσκεται στο κέντρο.
- Σύρε το αμαξίδιο προς τα εμπρός. Παρατήρησε την κίνηση της φυσαλίδας και σημείωσε την κατεύθυνσή της.

**Η κατεύθυνση της κίνησης της φυσαλίδας δείχνει τη κατεύθυνση της επιτάχυνσης του αμαξιδίου.**



- Σημείωσε τη κατεύθυνση της επιτάχυνσης του αμαξιδίου καθώς αρχίζει να κινείται προς τα εμπρός.
- Προσπάθησε να κινήσεις το αμαξίδιο έτσι ώστε η φυσαλίδα να επανέλθει στην κεντρική της θέση. Ποια είναι τώρα η κατεύθυνση της επιτάχυνσης;
- Πως κινείται η φυσαλίδα όταν το αμαξίδιο τείνει να σταματήσει; Τι σημαίνει αυτό για την επιτάχυνσή του;
- Πρόβλεψε πως θα κινηθεί η φυσαλίδα εάν δέσεις ένα νήμα στο πίσω μέρος του αμαξιδίου. Χρησιμοποίησε βέλη για να συμβολίσεις την κατεύθυνση της επιτάχυνσης όταν το αμαξίδιο κινείται προς τα πίσω.



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

### Μέση επιτάχυνση

Τη χρονική στιγμή  $t = 1\text{s}$ , η ταχύτητα ενός αυτοκινήτου είναι  $2\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Ο οδηγός του αυτοκινήτου πατάει το γκάζι και η ταχύτητα του αυτοκινήτου αυξάνεται. Τη χρονική στιγμή  $t = 4,5$  η ταχύτητα του αυτοκινήτου είναι  $16\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Πόση είναι η μέση επιτάχυνση του αυτοκινήτου;

#### Δεδομένα:

Αρχική ταχύτητα:

$$u_1 = 2\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Χρονικές στιγμές:

$$t_1 = 1\text{s},$$

$$t_2 = 4,5\text{s}$$

Τελική ταχύτητα:

$$u_2 = 16\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### Ζητούμενα:

Μέση επιτάχυνση:

$$a$$

Βασική εξίσωση:

$$a = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

#### Λύση

Υπολογισμός της μεταβολής της ταχύτητας:

$$\Delta u = u_2 - u_1 \quad \text{ή} \quad \Delta u = 16\frac{\text{m}}{\text{s}} - 2\frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{ή} \quad \Delta u = 14\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Χρονικό διάστημα:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \text{ή} \quad \Delta t = 4,5\text{s} - 1\text{s} \quad \text{ή} \quad \Delta t = 3,5\text{s}$$

#### Μέση επιτάχυνση:

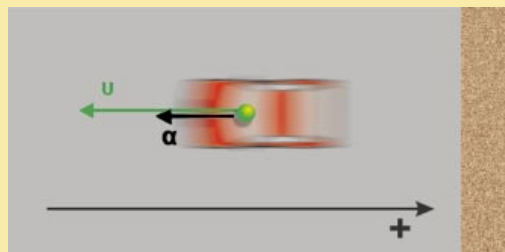
$$a = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad a = \frac{14\frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,5\text{s}} \quad \text{ή} \quad a = 4\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

### Κίνηση προς τα πίσω και επιτάχυνση

Ένα αυτοκίνητο καθώς κινείται σε στενό δρόμο βρίσκεται μπροστά σε αδιέξοδο. Ο οδηγός του σταματάει, βάζει την όπισθεν και αρχίζει να κινείται προς τα πίσω με ταχύτητα που το μέτρο της διαρκώς αυξάνεται. Θεώρησε θετική την κατεύθυνση προς τα εμπρός, τότε η ταχύτητα του αυτοκινήτου που κινείται προς τα πίσω είναι αρνητική.

Σε χρονικό διάστημα 2s η ταχύτητα του αυτοκινήτου μεταβάλλεται από  $-2$  σε  $-9\text{m/s}$ . Υπολόγισε την επιτάχυνση του αυτοκινήτου.



#### Δεδομένα:

Αρχική ταχύτητα:

$$u_1 = -2\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Χρονικό διάστημα:

$$\Delta t = 2\text{s}$$

Τελική ταχύτητα:

$$u_2 = -9\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### Ζητούμενα:

Μέση επιτάχυνση:

$$a$$

Βασική εξίσωση:

$$a = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

#### Λύση

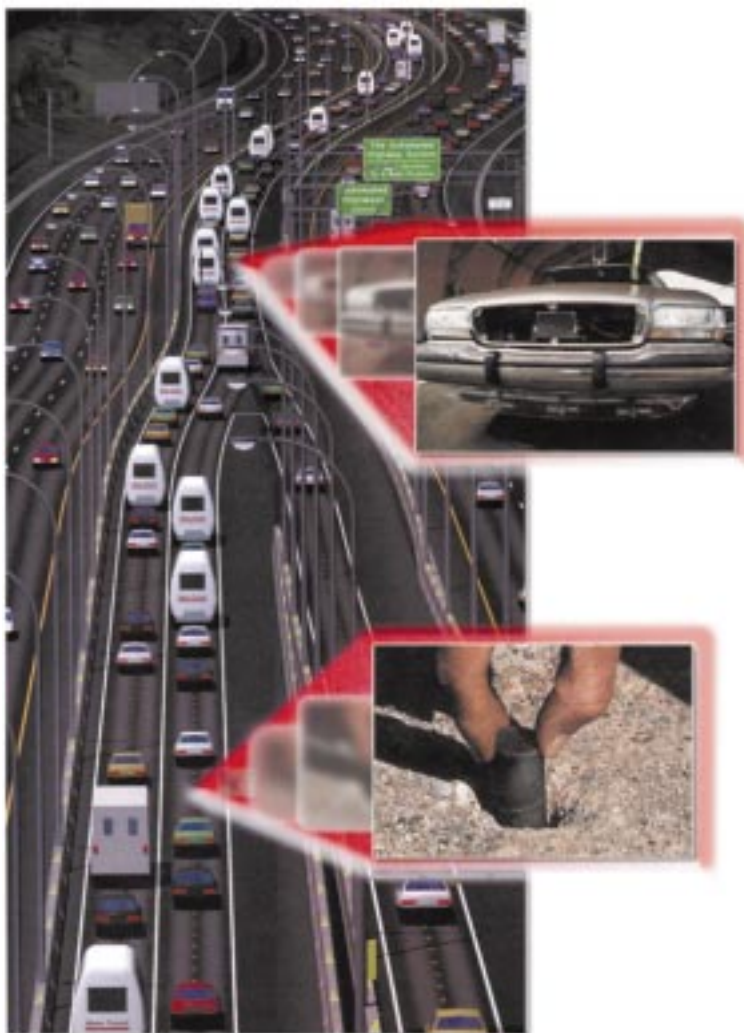
Υπολογισμός της μεταβολής της ταχύτητας:

$$\Delta u = u_2 - u_1 \quad \text{ή} \quad \Delta u = -9\frac{\text{m}}{\text{s}} - (-2\frac{\text{m}}{\text{s}}) \quad \text{ή}$$

$$\Delta u = -7\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### Μέση επιτάχυνση:

$$a = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad a = \frac{-7\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\text{s}} \quad \text{ή} \quad a = -3,5\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



### Κυκλοφορία σε αυτοκινητόδρομους

Οι σύγχρονοι αυτοκινητόδρομοι μπορούν να εξυπηρετήσουν σε ομαλή κυκλοφοριακή ροή με ταχύτητα  $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  περίπου 2250 αυτοκίνητα ανά ώρα και ανά λωρίδα κυκλοφορίας. Με περισσότερα οχήματα η κυκλοφοριακή ροή καθυστερεί σημαντικά, «μποτιλιάρισμα» και είναι ανασφαλής. Αν θεωρήσουμε ότι τα οχήματα έχουν μήκος 4,5 m σ' αυτή την κυκλοφοριακή συχνότητα η μέση απόσταση τους είναι 35,7 μέτρα.

Με τη χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων έλεγχου της κυκλοφορίας που λειτουργούν με εκπομπή σημάτων από τα αυτοκίνητα προς αισθητήρες που είναι κατάλληλα τοποθετημένοι στους δρόμους και αντίστροφα, η ροή αυτοκινήτων μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και να γίνει ασφαλέστερη. Όσα οχήματα κινδυνεύουν να συγκρουσθούν επιβραδύνονται ή επιταχύνονται αυτομάτως. Με μέση απόσταση 8,6 μέτρα (διπλάσια του μέσου μήκους) τα αυτοκίνητα που μπορούν να εξυπηρετηθούν είναι 7000 ανά ώρα και ανά λωρίδα κυκλοφορίας.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:

Η επιτάχυνση ορίζεται ως το πηλίκο της μεταβολής της ..... προς το αντίστοιχο ..... Μια κίνηση στην οποία η επιτάχυνση διατηρείται σταθερή ονομάζεται ευθύγραμμη..... Όταν το μέτρο της ταχύτητας ..... η κίνηση λέγεται επιβραδυνόμενη.

2. Διάλεξε τη σωστή απάντηση.

A. Η μονάδα της επιτάχυνσης είναι:

α)  $\frac{m}{s}$ ,    β)  $\frac{m^2}{s}$ ,    γ)  $\frac{m}{s^2}$ ,    δ)  $\frac{m^2}{s^2}$

B. Σε μια ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση η σχέση μεταξύ των μεγεθών ταχύτητα ( $u$ ), επιτάχυνση ( $a$ ) και χρόνος ( $t$ ) είναι:

α)  $u = a \cdot t$ ,    β)  $u = \frac{a}{t}$ ,    γ)  $u = \frac{t}{a}$ ,    δ)  $a = u \cdot t$ ,

3. Σε μια ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση να αντιστοιχίσεις τα διαγράμματα σε σχέση με το χρόνο των μεγεθών που δείχνονται στη αριστερή στήλη με τις γεωμετρικές μορφές της δεξιάς στήλης.

ΜΕΓΕΘΗ	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ
α) επιτάχυνση	α) Ευθεία που περνάει από την αρχή των αξόνων
β) ταχύτητα	β) Παραβολή
γ) θέση	γ) Ευθεία παράλληλη προς τον άξονα των χρόνων

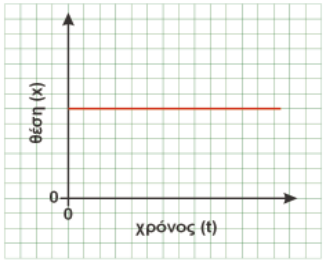
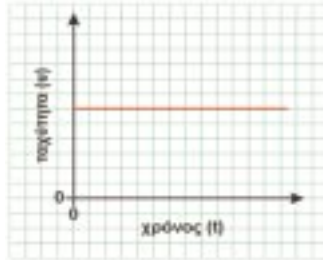
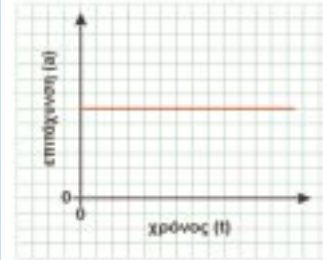
4. A) Εάν ένα αντικείμενο έχει μηδενική επιτάχυνση αυτό σημαίνει ότι έχει και μηδενική ταχύτητα; Να δώσεις ένα παράδειγμα.  
 B) Ένα αντικείμενο, που κινείται ευθύγραμμα, κάποια στιγμή έχει μηδενική ταχύτητα, αυτό σημαίνει ότι έχει και μηδενική επιτάχυνση; Να δώσεις ένα παράδειγμα.
5. Ένα σώμα κινείται ευθύγραμμα με σταθερή επιτάχυνση  $4\frac{m}{s^2}$ . Πόσο μεταβάλλεται η ταχύτητα του;  
 A) κάθε δευτερόλεπτο  
 B) σε δυο δευτερόλεπτα

6. Η διπλανή εικόνα δείχνει μια στροβοσκοπική φωτογραφία (στιγμιότυπα σε ίσα χρονικά διαστήματα) μιας μπάλας που κινείται οριζόντια. Ποιές πληροφορίες θα χρειαζόσουν και ποιες μετρήσεις θα έκανες για να εκτιμήσεις την επιτάχυνση της μπάλας;

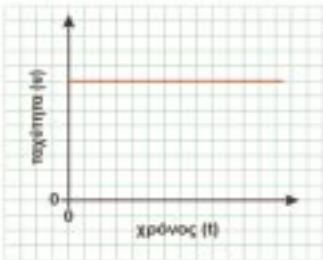
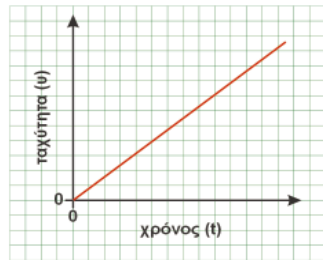
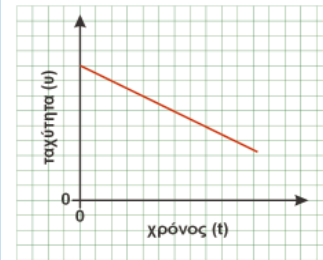


7. Στο ίδιο χρονικό διάστημα το μέτρο της ταχύτητα ενός αυτοκινήτου αυξάνεται από  $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  σε  $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  και μιας μοτοσικλέτας από 0 σε  $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , που κινούνται ευθύγραμμα. Να συγκρίνεις τις επιταχύνσεις τους.

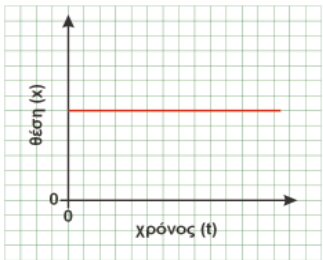
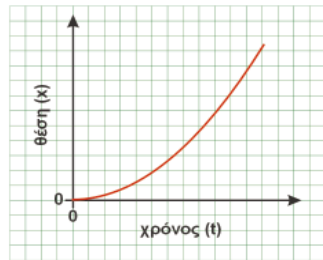
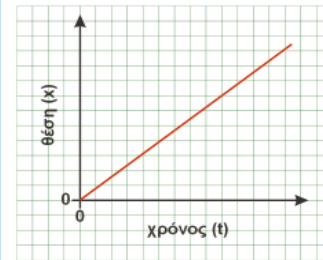
8. Να καθορίσεις το είδος της ευθύγραμμης κίνησης που παριστάνει καθένα από τα παρακάτω διαγράμματα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ			
ΕΙΔΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ			




9. Με τα παρακάτω διαγράμματα ταχύτητας χρόνου παριστάνονται τέσσερις διαφορετικές ευθύγραμμες κινήσεις. Ποια από αυτές είναι ομαλή; Ποια είναι ομαλά επιταχυνόμενη; Ποια κατά τη γνώμη σου πλησιάζει περισσότερο προς την πραγματική κίνηση που κάνει ένα αυτοκίνητο, ώσπου να αποκτήσει την τελική του ταχύτητα;


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ			
ΕΙΔΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ			

10. Από τα παρακάτω διαγράμματα θέσης – χρόνου ποιο παριστάνει ακινησία, ποιο ομαλή και ποιο ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση;


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ			
ΕΙΔΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ			

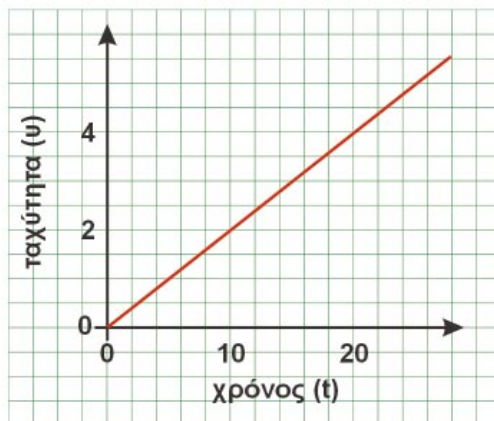
## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ένα αυτοκίνητο αγώνων, που τρέχει ευθύγραμμα με ταχύτητα μέτρου  $10\frac{m}{s}$  προς βορρά, αυξάνει την ταχύτητα του σε  $16\frac{m}{s}$  πάντα προς βορρά, μέσα σε χρόνο 3s. Ποια είναι η μέση επιτάχυνση του σ' αυτό το χρονικό διάστημα; Ποια είναι η κατεύθυνση της επιτάχυνσης;.
2. Μετά τον ήχο του πιστολιού του αφέτη ένας δρομέας των 100m χρειάζεται 0,8s για να αποκτήσει ταχύτητα  $10\frac{m}{s}$ . Να υπολογίσεις τη μέση επιτάχυνση του δρομέα.
3. Ένα αυτοκίνητο ξεκινάει από την ηρεμία και κινείται με σταθερή επιτάχυνση  $1\frac{m}{s^2}$ . Μετά από 5s από τη στιγμή που ξεκίνησε να βρεθούν:  
α) η ταχύτητα του τη χρονική στιγμή  $t = 5s$ .  
β)  η μετατόπισή του από την αφετηρία
4. Ένα αυτοκίνητο ξεκινάει από την ηρεμία και κινείται με σταθερή επιτάχυνση  $3\frac{m}{s^2}$  μέχρι να αποκτήσει ταχύτητα  $18\frac{m}{s}$ . Να υπολογίσεις το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να αποκτήσει την παραπάνω ταχύτητα;
5.  Ένα αμαξίδιο, που ήταν αρχικά ακίνητο, αρχίζει να κατεβαίνει κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου. Στο πρώτο δευτερόλεπτο της κίνησής του διανύει 3m. Πόση είναι η επιτάχυνσή του;
6.  Ένα αυτοκίνητο κινείται σε ευθύγραμμο δρόμο με ταχύτητα  $2\frac{m}{s}$ . Τη χρονική στιγμή  $t = 0s$  αρχίζει να επιταχύνεται με σταθερή επιτάχυνση  $4\frac{m}{s^2}$  μέχρι τη χρονική στιγμή 2,5s. Πόσο μεταβλήθηκε η ταχύτητά του στο παραπάνω χρονικό διάστημα; Υπολόγισε την ταχύτητα που έχει το αυτοκίνητο τη χρονική στιγμή  $t = 2,5s$ .
7. Ένα λεωφορείο κινείται ευθύγραμμα με ταχύτητα  $24\frac{m}{s}$ . Ο οδηγός φρενάρει και το λεωφορείο σταματάει σε 3s:  
α) Πόση είναι η μέση επιτάχυνση (που σε αυτή τη περίπτωση ονομάζεται και επιβράδυνση) κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος;  
β) Αν η επιβράδυνση ήταν η μισή της προηγούμενης σε πόσο θα χρόνο θα σταματούσε το αυτοκίνητο;
8. Ένα αυτοκίνητο κινείται ευθύγραμμη με σταθερή ταχύτητα  $22\frac{m}{s}$ . Κάποια στιγμή ο οδηγός του φρενάρει, οπότε το αυτοκίνητο κινείται με σταθερή επιτάχυνση (σε αυτή τη περίπτωση και επιβράδυνση)  $2\frac{m}{s^2}$ . Υπολόγισε το χρονικό που μεσολαβεί από τη στιγμή που άρχισε ο οδηγός να εφαρμόζει τα φρένα, μέχρις ότου η ταχύτητα του αυτοκινήτου να γίνει  $3\frac{m}{s}$ .


9.  Ένα αεροπλάνο τροχοδρομεί στον διάδρομο απογείωσης. Η κίνηση του είναι ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη χωρίς αρχική ταχύτητα. Το αεροπλάνο κινήθηκε για χρονικό διάστημα 12 s στον διάδρομο και απέκτησε ταχύτητα  $24\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Να υπολογίσεις την μετατόπιση του αεροπλάνου πάνω στο διάδρομο για το χρονικό διάστημα των 12s.

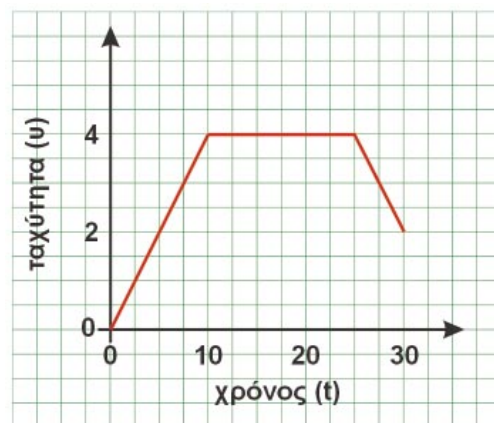
10. Το διπλανό διάγραμμα παριστάνει την ταχύτητα ενός τρένου σε σχέση με το χρόνο. Να βρεις:

- α) την επιτάχυνση του τρένου  
β)  Την μετατόπιση του σε χρόνο 20s;

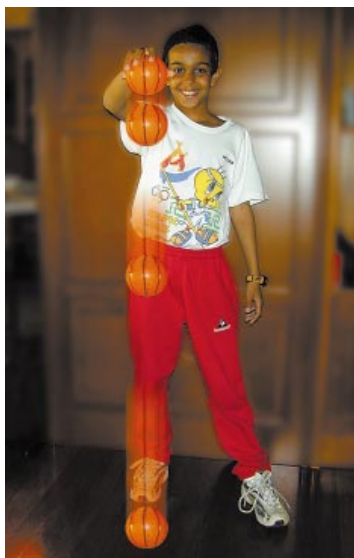


11. Στο διπλανό σχήμα παριστάνεται η ταχύτητα ενός σώματος που κινείται ευθύγραμμα σε συνάρτηση με το χρόνο κίνησης του.

- α) Να περιγράψεις το είδος της κίνησης που αντιστοιχεί σε κάθε τμήμα του διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου.  
β)  Να βρεις τη συνολική απόσταση που διάνυσε το κινητό μέχρι να σταματήσει.







**Εικόνα 1.30**

Η μετατόπιση της μπάλας σε χρονικό διάστημα  $\frac{1}{120}$  s είναι  $y$ , για  $\frac{2}{120}$  s είναι  $4y$ , για  $\frac{3}{120}$  είναι  $9y$ . Η κίνηση της μπάλας είναι ομαλά επιταχυνόμενη.



### Κούρσα από σφαίρες



Τοποθέτησε το ένα άκρο ενός σωλή-  
να σχήματος Π μήκους 1m πάνω σ' ένα  
βιβλίο. Έτσι προκύπτει ένα κεκλιμένο επί-  
πεδο.

- Σημείωσε δυο θέσεις σε απόσταση 40cm και 80cm από την κορυφή.
- Άφησε μια ατσάλινη σφαίρα στην κορυφή και μια ίδια στη θέση των 40 cm.
- Αν οι σφαίρες αφεθούν συγχρόνως, καθώς κυλούν στο επίπεδο πλησιάζουν ή απομακρύνονται μεταξύ τους;
- Ποια είναι η σχέση των ταχυτήτων των σφαιρών κάθε χρονική στιγμή;
- Να συγκρίνεις τις επιταχύνσεις τους.
- Να συγκρίνεις τις ταχύτητες των δυο σφαιρών στη θέση των 80 cm.

## 1.5 Ελεύθερη πτώση

Κράτησε στο ύψος του κεφαλιού σου μια μικρή μπάλα και άφησέ την να πέσει.

*Τι είδους κίνηση κάνει η μπάλα;*

Ο Αριστοτέλης υποστήριζε ότι η μπάλα πέφτει με σταθερή ταχύτητα που είναι ανάλογη του βάρους της.

*Είχε άραγε δίκιο;*

Στην εικόνα 1.30 φαίνονται οι θέσεις μιας μπάλας που πέφτει, όπως καταγράφονται από ειδική φωτογραφική μηχανή. Τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα στις διαδοχικές φωτογραφίες είναι  $\frac{1}{120}$  του δευτερολέπτου. Παρατηρούμε ότι η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών θέσεων που καταλαμβάνει η μπάλα αυξάνεται. Άρα η κίνηση είναι μεταβαλλόμενη.

*Πόση είναι η επιτάχυνση της μπάλας; Εξαρτάται άραγε από το βάρος της;*

Ο Γαλιλαίος αμφισβήτησε την άποψη του Αριστοτέλη. Άφησε μια μεγάλη και μια μικρή σιδερένια σφαίρα από τη κορυφή του πύργου της Πίζας. Οι μαθητές του παρατήρησαν ότι οι σφαίρες έφθασαν ταυτόχρονα στο έδαφος. Στη συνέχεια, εκτέλεσε μια σειρά από πειράματα με μικρές σφαίρες που κυλούσαν σε κεκλιμένα επίπεδα. Το κεκλιμένο επίπεδο «μειώνει» την επίδραση της βαρύτητας, μεγάλωνε τον χρόνο κίνησης οπότε μπορούσε να κάνει ευκολότερα μετρήσεις. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι **η επιτάχυνση που οφείλεται στην επίδραση της βαρύτητας** (βάρος των σωμάτων) **είναι η ίδια για όλα τα σώματα**.

*Πως εξηγούμε το γεγονός ότι ένα φτερό πέφτει πιο αργά από ένα νόμισμα αν αφεθούν από το ίδιο ύψος;*

Η διαφοροποίηση οφείλεται στην επίδραση της αντίστασης του αέρα (μεγαλύτερη στο φτερό). Από ακριβή πειράματα γνωρίζουμε ότι αν αφήσουμε να πέσουν σε χώρο όπου δεν υπάρχει αέρας, σώματα διαφορετικού βάρους και σχήματος, η πτώση τους είναι μια ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση (εφόσον το ύψος από το οποίο αφήνονται είναι σχετικά μικρό) εικόνα 1.30. Η επιτάχυνση της κίνησης είναι ίδια για όλα τα σώματα ανεξάρτητη από τη μάζα τους. **Αυτή η επιτάχυνση ονομάζεται επιτάχυνση της βαρύτητας και συμβολίζεται με το γράμμα  $g^*$** . Η κίνηση που οφείλεται μό-

\* Από το αρχικό γράμμα της αγγλικής λέξης *gravity* που σημαίνει βαρύτητα.

νο στην επίδραση της βαρύτητας ονομάζεται ελεύθερη πτώση.

Η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος. Στο γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας ισούται με  $9,80 \frac{m}{s^2}$ . Συνεπώς αν οποιοδήποτε σώμα αφεθεί από την κορυφή ενός κτιρίου η ταχύτητα του θα αυξάνεται περίπου κατά  $10 \frac{m}{s}$  σε κάθε δευτερόλεπτο. Πειραματικά προκύπτει ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας αυξάνεται από τον Ισημερινό προς τους πόλους (από  $9,78 \frac{m}{s^2}$  σε  $9,83 \frac{m}{s^2}$ ). Επίσης μειώνεται όσο αυξάνει το ύψος από την επιφάνεια της Γης.

### Νόμοι της ελεύθερης πτώσης

Η ελεύθερη πτώση είναι μια ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση με επιτάχυνση  $a = g$ . Επομένως οι νόμοι της ελεύθερης πτώσης είναι οι νόμοι της ευθύγραμμης ομαλά μεταβαλλόμενης κίνησης. Για ένα σώμα που αφήνεται από ορισμένο ύψος χωρίς αρχική ταχύτητα ισχύει:

**α. νόμος ταχύτητας**

$$v = g \cdot t$$

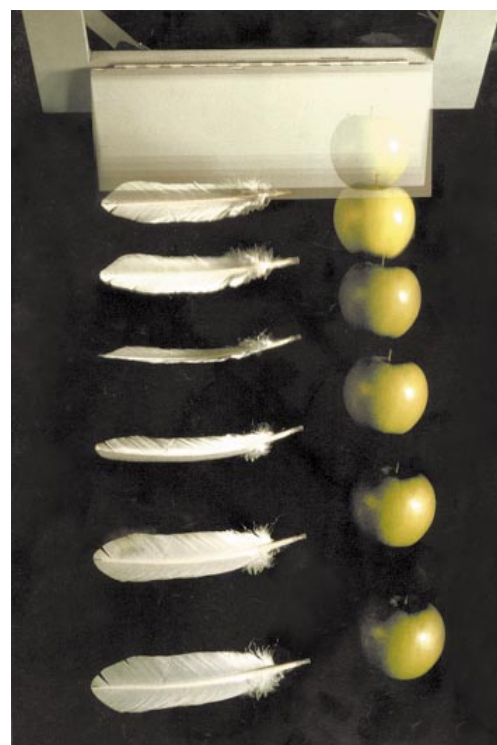
**β. Νόμος μετατόπισης**

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$



#### Πτώση στο κενό

Μια από τις σημαντικότερες συνεισφορές του Γαλιλαίου, ήταν ότι κατάφερε να διακρίνει ποιοι παράγοντες είναι κυρίαρχοι και ποιοι δευτερεύοντες στη μελέτη της κίνησης. Έτσι, αγνοώντας την αντίσταση του αέρα διέκρινε καθαρά το χαρακτήρα της ελεύθερης πτώσης που οφείλεται στην επίδραση της βαρύτητας. Τον δέκατο έβδομο αιώνα ο Άγγλος φυσικός Μπούλ κατόρθωσε να αφαιρέσει τον αέρα από ένα σωλήνα και να δημιουργήσει ένα χώρο κατά προσέγγιση κενό. Έτσι έκανε τη φημισμένη επίδειξη της σύγχρονης πτώσης ενός νομίσματος και ενός φτερού.



**Εικόνα 1.31**

Στο θάλαμο που βλέπεις στην εικόνα δημιουργούνται συνθήκες κενού. Αφήνονται ταυτόχρονα από το ίδιο ύψος ένα φτερό και ένα μήλο. Με ειδική φωτογραφική μηχανική λαμβάνονται διαδοχικά στιγμιότυπα της πτώσης. Παρατηρείς ότι το φτερό και το μήλο πέφτουν ταυτόχρονα.



Ο Αμερικάνος αστροναύτης Ντέιβιντ Σκότ επανέλαβε το πείραμα στη Σελήνη το 1971.

Όταν άφησε την ίδια στιγμή ένα σφυρί και ένα φτερό εκατομμύρια τηλεθεατές παρατήρησαν ότι έφθασαν στο έδαφος συγχρόνως.

Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις όπου η αντίσταση του αέρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

Ένα αλεξιπτωτι-

στής φθάνει στο έδαφος με ταχύτητα  $6\frac{m}{s}$  ενώ αν εκτελούσε ελεύθερη πτώση από ύψος 500m θα προσγειώνονταν με ταχύτητα  $100\frac{m}{s}$ .



### Επίδραση της επιτάχυνσης στον ανθρώπινο οργανισμό

Στα πρώτα χρόνια της χρήσης των μηχανοκίνητων μέσων μεταφοράς οι άνθρωποι φοβούνταν τις επιδράσεις της κίνησης με μεγάλες ταχύτητες στον ανθρώπινο οργανισμό. Ωστόσο ο ανθρώπινος οργανισμός δεν είναι ευαίσθητος στη ταχύτητα αλλά στη επιτάχυνση. Όταν ένας ανελκυστήρας επιταχύνεται προς τα πάνω αισθανόμαστε «βαρύτεροι». Ακόμη και μια μικρή προς τα κάτω επιτάχυνση μπορεί να μας προκαλέσει ναυτία. Ο τρόμος που αισθανόμαστε σ' ένα



Λούνα Παρκ όταν ανεκατεβαίνουμε τις σιδερένιες ράγες οφείλεται στη μεγάλη επιτάχυνση.

Οι πιλότοι των αεριοθούμενων αεροπλάνων, οι αστροναύτες και οι αλεξιπτωτιστές υφίστανται μεγάλες επιταχύνσεις.

Έτσι τα αποτελέσματα της επιτάχυνσης στον ανθρώπινο οργανισμό και ο προσδιορισμός των ορίων της αντοχής του αποτελούν αντικείμενο συστηματικής έρευνας. Η επίδραση της επιτάχυνσης στον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτάται από το μέτρο, την κατεύθυνση και τη χρονική διάρκεια της κίνησης. Το μέτρο της επιτάχυνσης το μετράμε σε  $g$ , όπου  $g = 9,8\frac{m}{sec^2}$

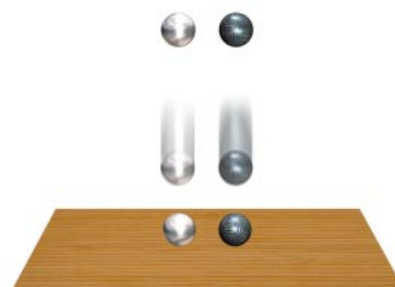
Η κατεύθυνση της επιτάχυνσης διακρίνεται σε διαμήκη  $a_L$  (άξονας κεφάλι - πόδια) και σε εγκάρσια  $a_T$  (άξονας πλάτη – στήθος). Οι διαμήκεις επιταχύνσεις επιδρούν πιο έντονα στον ανθρώπινο οργανισμό απ' ότι οι εγκάρσιες με κύριο αποτέλεσμα την κάθοδο του αίματος από το κεφάλι προς τα πόδια ή αντίστροφα. Έτσι, μια εγκάρσια επιτάχυνση  $6g$  προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή και πόνο στο στήθος. Αντίθετα μια διαμήκης επιτάχυνση  $6g$  προκαλεί ολική απώλεια όρασης και λιποθυμία σε 5 δευτερόλεπτα. Οι πιλότοι των αεριωθουμένων αεροπλάνων με κατάλληλη εκπαίδευση τείνοντας τους μυς τους, γρυλίζοντας και κυρίως φορώντας κατάλληλες φόρμες μπορούν να ανεβάσουν το όριο απώλειας των αισθήσεων σε  $7g$  για 15 δευτερόλεπτα.



Σε μια μετωπική σύγκρουση αυτοκινήτου η ζώνη ασφαλείας δίνει στον επιβάτη την ίδια περίπου επιβράδυνση με το όχημα, που είναι γύρω στα  $100g$  για χρονικό διάστημα  $0,03$  δευτερόλεπτα. Αν δεν υπήρχε η ζώνη, ο επιβάτης κατά την πρόσκρουσή του στο παρμπρίζ (αλεξήνεμον) του αυτοκινήτου θα υφίστατο πολύ μεγαλύτερη επιβράδυνση (περίπου  $500g$ ).

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Δυο σφαίρες του ίδιου μεγέθους, μια ατσάλινη και μια αλουμινένια αφήνονται συγχρόνως από το ίδιο ύψος. Εξήγησε γιατί οι σφαίρες φθάνουν συγχρόνως στο έδαφος.



2. Δώσε μερικά παραδείγματα αντικειμένων που πέφτουν για τα οποία η αντίσταση του αέρα:
  - α) είναι δυνατό να αγνοηθεί
  - β) δεν είναι δυνατό να αγνοηθεί
3. Μεταβολή της επιτάχυνσης της βαρύτητας
 

Η επιτάχυνση της βαρύτητας αυξάνεται από τον Ισημερινό προς τους πόλους (από  $9,78 \frac{m}{s^2}$  σε  $9,83 \frac{m}{s^2}$ ). Στον Ισημερινό και στην επιφάνεια της θάλασσας αφήνουμε μια ατσάλινη σφαίρα να πέσει από ύψος  $1m$ . Επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα στον Βόρειο Πόλο. Σε ποια περιοχή η σφαίρα θα φθάσει πιο γρήγορα στο έδαφος; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.
4. Στην επιφάνεια της Σελήνης η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας ( $g$ ) έχει το  $\frac{1}{6}$  της τιμής που έχει στην επιφάνεια της γης .
 

Ένας αστροναύτης αφήνει από ορισμένο ύψος μια μπάλα να πέσει στην επιφάνεια της Σελήνης. Η ίδια μπάλα και από το ίδιο ύψος αφήνεται να πέσει στην επιφάνεια της Γης.



- α) Ο χρόνος πτώσης της μπάλας θα είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος στη σελήνη από ότι στη Γη;
- β) 🏊 Η ταχύτητα με την οποία η μπάλα φθάνει στο έδαφος της Σελήνης είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την ταχύτητα που φθάνει στο έδαφος της Γης;
5. Ποια είναι η μέγιστη δυνατή επιτάχυνση για ένα σώμα που κινείται ελεύθερα (χωρίς τριβές) σε κεκλιμένο επίπεδο;

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ας υποθέσουμε ότι σε μια πέτρα που πέφτει ελεύθερα έχουμε συνδέσει ένα ταχύμετρο. Πόσο θα αυξάνεται η ένδειξη του ταχύμετρου σε κάθε δευτερόλεπτο στη διάρκεια της πτώσης; (θεωρείται ότι  $g = 10 \frac{m}{s^2}$ ).

Αν επιπλέον με μια ειδική φωτογραφική μηχανή λαμβάνουμε διαδοχικά στιγμιότυπα από την πτώση της πέτρας κάθε 1 δευτερόλεπτο, τότε οι μετατοπίσεις της πέτρας σε σχέση με την αρχική της θέση για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα είναι ίσες ή άνισες; Εξήγησέ το.



2. Ένα αντικείμενο πέφτει ελεύθερα. Τη χρονική στιγμή  $t = 5s$  από τη στιγμή που αφέθηκε ποια θα είναι η τιμή
- α) της επιτάχυνσής του;
  - β) της στιγμιαίας ταχύτητάς του;
  - γ) 🦘 της μετατόπισής του από την αρχή της κίνησης;
3. Μια μικρή ατσάλινη σφαίρα αφήνεται ελεύθερη από κάποιο σημείο Α. Ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει στο έδαφος είναι 2s. Αν η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι  $g = 10$  να βρεις
- α) την ταχύτητα της σφαίρας τη χρονική στιγμή  $t = 1s$  αφού αφέθηκε ελεύθερη.
  - β) 🦘 το ύψος που βρίσκεται το σημείο Α από το έδαφος.
4. 🦘 Σε μια πισίνα υπάρχουν βατήρες καταδύσεων σε ύψη 1m, 3m και 10m. Αγνοώντας την αντίσταση του αέρα και θεωρώντας ότι  $g = 10 \frac{m}{s^2}$  να βρεις
- α) τον χρόνο πτώσης ενός αθλητή μέχρι να φθάσει στην επιφάνεια του νερού.
  - β) την ταχύτητα του σώματος του αθλητή την στιγμή που αγγίζει την επιφάνεια του νερού.

## Περίληψη κεφαλαίου 1: Κινήσεις

- Η θέση ενός αντικειμένου καθορίζεται σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς.
- Ένα μονόμετρο μέγεθος περιγράφεται από το μέτρο του ενώ για ένα διανυσματικό εκτός από το μέτρο του απαιτείται και η κατεύθυνση.
- Η απόσταση είναι μονόμετρο μέγεθος ενώ η θέση είναι διανυσματικό.
- Η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος και ορίζεται ως το πηλίκο της μετατόπισης (μεταβολή της θέσης) προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.
- Ομαλή ονομάζεται η κίνηση στην οποία το μέτρο της ταχύτητας διατηρείται σταθερό.
- Σε μια ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της μετατόπισης (θέσης) σε σχέση με το χρόνο είναι μια ευθεία γραμμή.
- Η επιτάχυνση ορίζεται ως το πηλίκο της μεταβολής της ταχύτητας προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.
- Ομαλά μεταβαλλόμενη ονομάζεται η κίνηση στην οποία η επιτάχυνση διατηρείται σταθερή.
- Σε μια ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση η ταχύτητα είναι ανάλογη με το χρόνο: το διάγραμμα της ταχύτητας ως προς το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.
- Σε μια ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση χωρίς αρχική ταχύτητα η μετατόπιση είναι ανάλογη του τετραγώνου του χρόνου κίνησης: το διάγραμμα θέσης – χρόνου είναι τμήμα παραβολής.
- Στην επιβραδυνόμενη κίνηση το μέτρο της ταχύτητας μειώνεται και η επιτάχυνση είναι αρνητική.
- Σε χώρο όπου δεν υπάρχει αέρας όλα τα σώματα πέφτουν με σταθερή επιτάχυνση. Αυτή η επιτάχυνση ονομάζεται επιτάχυνση της βαρύτητας.

### Β Α Σ Ι Κ Ο Ι Ο Ρ Ο Ι

Σημείο αναφοράς	Στιγμιαία ταχύτητα
Μονόμετρο	Διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου
Διανυσματικό	Διάγραμμα θέσης – χρόνου
θέση	Ομαλή κίνηση
Απόσταση	Επιτάχυνση
Μετατόπιση	Ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση
Χρονικό διάστημα	Επιτάχυνση της βαρύτητας
Μέση ταχύτητα	Ελεύθερη πτώση