Κεφάλαιο 2

Κίνηση

2.1 Γιατί μας ενδιαφέρει η μελέτη της κίνησης;

Φυσικά φαινόμενα και κίνηση.

Πάρα πολλά από τα φυσικά φαινόμενα που παρατηρούμε γύρω μας σχετίζονται με την κίνηση κάποιου σώματος. Π.χ. ο άνεμος και ο ήχος σχετίζονται με την κίνηση του αέρα, η εναλλαγή μέρας νύχτας με την περιστροφή της Γης, οι εποχές με την κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο, το ηλεκτρικό ρεύμα με την κίνηση φορτίων, κ.τ.λ. Άρα, για να καταλάβουμε κάποιο από αυτά τα φαινόμενα θα πρέπει να είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε γιατί και πως κινούνται τα σώματα. Δεν είναι λοιπόν τυχαίο ότι με την μελέτη της κίνησης έχουν ασχοληθεί κάποια από τα μεγαθήρια της ανθρώπινης διανόησης όπως ο Αριστοτέλης, ο Γαλιλαίος και ο Νεύτωνας.

Ποια σώματα κινούνται;

Κάθε σώμα γύρω μας έχει την ικανότητα να κινείται. Μάλιστα ακόμα και τα σώματα που αποκαλούμε ακίνητα κινούνται και μάλιστα με τεράστιες ταχύτητες! Για παράδειγμα, την ώρα που καθόμαστε στην καρέκλα μας και διαβάζουμε Φυσική κινούμαστε, λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονα της, με ταχύτητα περίπου $1.000\mathrm{km/h}$ ενώ λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο κινούμαστε με ταχύτητα περίπου $100.000\mathrm{km/h}$. Φυσικά και ο ήλιος γυρίζει γύρω από το κέντρο του γαλαξία με την σεβαστή ταχύτητα των περίπου $800.000\mathrm{km/h}$ ενώ και ο γαλαξίας κινείται στον χώρο[1] με ταχύτητα περίπου $2.000.000\mathrm{km/h}$. Μέχρι να ολοκληρώσετε το διάβασμα αυτής της παραγράφου έχετε μετακινηθεί τουλάχιστον $10.000.000\mathrm{m}$!!!!!!! Την ίδια στιγμή κάθε μόριο αέρα γύρω σας κινείται με περίπου $1.200\mathrm{km/h}$ και κάθε ηλεκτρόνιο των ατόμων από τα οποία αποτελείστε γυρίζει γύρω από τον πυρήνα με ταχύτητα περίπου $8.000.000\mathrm{km/h}$!!!!!

Μα αφού αυτά τα ξέρουμε!

Οι περισσότεροι άνθρωποι νομίζουν ότι καταλαβαίνουν πως και γιατί κινούνται τα σώματα γύρω τους. Η αλήθεια όμως είναι ότι, παρότι καθημερινά οι άνθρωποι παρατηρούν πλήθος αντικειμένων που κινούνται γύρω τους, οι περισσότεροι έχουν τελείως λανθασμένη εικόνα για τους νόμους της κίνησης. Αν δεν με πιστεύετε επιχειρήστε να απαντήσετε (ρωτήστε και τους γύρω σας) τις παρακάτω απλές ερωτήσεις:[2]

α) Ποια σώματα πέφτουν ποιο γρήγορα τα βαριά ή τα ελαφριά; . . . . . .
(Ελέγξτε την απάντησή σας με ένα πείραμα.)

[1] Ως προς την κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου.

[2] Αν απαντήσετε λάθος μην ανησυχείτε. Οι άνθρωποι χρειάστηκαν μερικές χιλιάδες χρόνια για να βρουν τις σωστές απαντήσεις.

β) Πόσα καύσιμα καταναλώνει σε μια ώρα ένα διαστημόπλοιο (π.χ. το Cassini–Huygens) μάζας $m = 2.500\text{kg}$ που ταξιδεύει στο διάστημα με σταθερή ταχύτητα $v \simeq 35.000\text{km/h}$. .....

Για να είμαστε όμως σε θέση να αναζητήσουμε τους νόμους της κίνησης που θα μας δώσουν απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα (αλλά και σε κάθε ερώτημα που αφορά την κίνηση), πρέπει να προηγηθεί ένας άλλος στόχος:

Ο σκοπός του κεφαλαίου.

▷ Να καταγράψουμε την κίνηση ενός σώματος χρησιμοποιώντας την μαθηματική γλώσσα.

Θα πρέπει λοιπόν να βρούμε τα φυσικά μεγέθη που θα μας λένε που βρίσκεται το σώμα κάθε χρονική στιγμή, πόσο γρήγορα κινείται, και πόσο γρήγορα αλλάζει η ταχύτητα του. Ο στόχος αυτός μπορεί να μη μοιάζει ιδιαίτερα σημαντικός αλλά είναι απαραίτητος για να πετύχουμε τον στόχο του επόμενου κεφαλαίου, ο οποίος είναι να βρούμε τους νόμους που μας λένε πώς και γιατί κινούνται τα σώματα.

2.2 Μαθηματική περιγραφή της κίνησης.

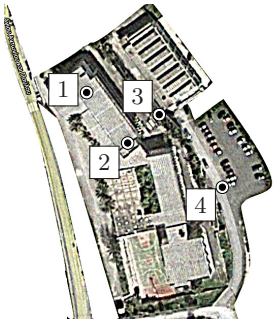
Τα φυσικά μεγέθη που θα χρειαστούμε για την περιγραφή της κίνησης ενός σώματος είναι ο χρόνος, η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Για να δούμε πως μπορούμε να μετρήσουμε κάθε ένα από αυτά, ας αρχίσουμε μελετώντας μια απλή ευθύγραμμη κίνηση.[3] Συγκεκριμένα, θα μελετήσουμε την κίνηση ενός αντιπαθητικού καθηγητή (π.χ. του Φυσικού σας), ο οποίος την ώρα του μαθήματος διαρκώς πηγαινοέρχεται πάνω σε μια ευθεία γραμμή παράλληλη με τον πίνακα.

Ασκήσεις:

1. Ένας καθηγητής του Πειραματικού γυμνασίου φεύγει από το B_3 και κατευθύνεται προς το αυτοκίνητο του περνώντας από τα σημεία 1 έως 4.

   α) Σχεδιάστε την τροχιά[α] του καθηγητή.

   β) Είναι η κίνηση του καθηγητή ευθύγραμμη;



[α] **Τροχιά** ονομάζουμε το σύνολο των διαδοχικών σημείων από τα οποία διέρχεται το σώμα κατά την κίνηση του.

2.2.1 Θέση – χρόνος.

Η βόλτα του Φυσικού.

Στην εικόνα 2.1 που ακολουθεί, φαίνεται αυτό που βλέπουν οι μαθητές που βρίσκονται στην αίθουσα σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στις $08:20:00$ ο καθηγητής ξεκινάει από το σημείο Α αριστερά της έδρας και περπατάει προς τα δεξιά οπότε φτάνει στο σημείο Β στις $08:20:10$. Για αρχή, θα μετρήσουμε την θέση του καθηγητή τις δύο αυτές χρονικές στιγμές, αλλά προφανώς με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να μετρήσουμε την θέση του και κάθε άλλη χρονική στιγμή και άρα να καταγράψουμε την κίνηση κάθε χρονική στιγμή.

Η μέθοδος.

Πως μπορούμε όμως να μετρήσουμε και να καταγράψουμε τη θέση του καθηγητή στα σημεία Α και Β του σχήματος 2.1; Για να το πετύχουμε εύκολα, ο Φυσικός σας προτείνει να ακολουθήσουμε τα εξής τρία βήματα:

[3] Όπως πιθανότατα μαντέψατε **ευθύγραμμη κίνηση** ονομάζεται μια κίνηση στην οποία το σύνολο των σημείων από τα οποία διέρχεται το σώμα σχηματίζει ευθεία γραμμή.

Σχήμα 2.1: Η θέση του καθηγητή μέσα στην αίθουσα στις 08:20:00 και στις 08:20:10.

▷ **Βήμα 1ο:** Για να προσδιορίσουμε την θέση του καθηγητή, να κολλήσουμε στο πάτωμα δύο μεζούρες κατά μήκος της ευθείας πάνω στην οποία κινείται.

α) Ποιο σημείο θα επιλέξουμε, για να κολλήσουμε την αρχή των μεζούρων; .....

β) Το σημείο αυτό, ως προς το οποίο μετράμε την θέση, ονομάζεται ....

▷ **Βήμα 2ο:** Εφόσον μας ενδιαφέρει μόνο η θέση του καθηγητή, μας βολεύει αντί να τον σκεφτόμαστε με χέρια, πόδια, μαλλιά κ.τ.λ. να τον σκεφτούμε σαν ένα πολύ μικρό σε διαστάσεις σώμα ίδιας μάζας, το οποίο βρίσκεται εκεί που είναι το "κέντρο μάζας[4]" του καθηγητή δηλαδή: → ▨

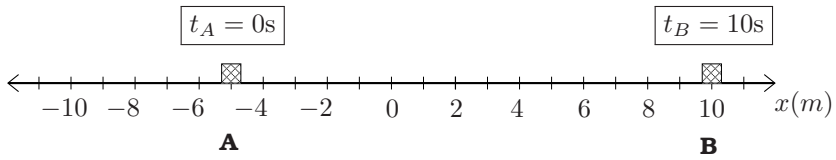
▷ **Βήμα 3ο:** Για την καταγραφή του χρόνου, αντί να κοιτάμε την ώρα στο ρολόι μας, να χρησιμοποιήσουμε ένα χρονόμετρο το οποίο μηδενίζουμε την στιγμή που αρχίζουμε την μελέτη της κίνησης. Στην περίπτωσή μας στις 08:20:00.

α) Ποια χρονική στιγμή t_A βρίσκεται ο καθηγητής στο σημείο Α σύμφωνα με την ένδειξη του χρονομέτρου; .....

β) Ποια χρονική στιγμή t_B βρίσκεται ο καθηγητής στο σημείο Β σύμφωνα με την ένδειξη του χρονομέτρου; .....

Πως βλέπει τον κόσμο ο Φυσικός.

Όπως καταλαβαίνετε από τα βήματα που προτείνει ο καθηγητής σας, ένας Φυσικός αντί της εικόνας 2.1 βλέπει την ακόλουθη εικόνα[5] 2.2 όπου αντί για μεζούρες βλέπει έναν άξονα, στην θέση του καθηγητή βλέπει ένα σχεδόν σημειακό σώμα, ενώ εγκατέλειψε το ρολόι και χρησιμοποιεί χρονόμετρο το οποίο μηδενίζει όταν αρχίζει να μελετάει την κίνηση.



Σχήμα 2.2: Η θέση του καθηγητή μέσα στην αίθουσα (εικόνα 2.1) όπως όμως την βλέπει ένας Φυσικός.

Η κίνηση σε αριθμούς.

Για να δούμε αν μετά τα τρία αυτά βήματα η καταγραφή της θέσης του καθηγητή στην μαθηματική γλώσσα έγινε ευκολότερη:

α) Ποια **χρονική στιγμή t_A** βρίσκεται στο σημείο Α; .....

[4]Το κέντρο μάζας του καθηγητή είναι το σημείο στο οποίο βρίσκεται κατά μέσο όρο η μάζα του.

[5]Μπορείτε να δείτε τι βλέπει ζωντανά στο `http://scratch.mit.edu/projects/gkara/2935220`

β) Ποια είναι η **θέση** του x_A εκείνη την στιγμή; .....

γ) Ποια **χρονική στιγμή** t_B βρίσκεται στο σημείο Β; .....

δ) Ποια είναι η **θέση** του x_B εκείνη την στιγμή; .....

ε) Πόσο **χρονικό διάστημα** $\Delta t = t_{\tau\epsilon\lambda} - t_{\alpha\rho\chi}$ χρειάστηκε ο καθηγητής για να πάει από το σημείο Α στο σημείο Β; .....

στ) Ποια είναι η **μετατόπιση** $\Delta x = x_{\tau\epsilon\lambda} - x_{\alpha\rho\chi}$ του καθηγητή κατά την κίνηση από το σημείο Α στο σημείο Β; .....

ζ) Ποιο είναι το **μήκος της διαδρομής** s που κάλυψε ο καθηγητής από το σημείο Α στο Β; .....

Ασκήσεις:

1. Ένας μαθητής προτείνει να επιλέξουμε ως σημείο αναφοράς το σημείο Α για να μελετήσουμε την παραπάνω κίνηση. Φτιάξτε το σχήμα και επαναλάβετε τα ερωτήματα α) έως ζ).

2. Ο παραπάνω ενοχλητικός καθηγητής Φυσικής βαρέθηκε να κάθεται στο σημείο Β, οπότε στις $08:21:00$ ξεκινάει από το σημείο Β του σχήματος 2.1 και στις $08:21:15$ φτάνει στο σημείο Α. Επιλέξτε το σημείο αναφοράς, την στιγμή μηδενισμού του χρονομέτρου, φτιάξτε το σχήμα για να μελετήσετε την κίνηση αυτή και απαντήστε τα ερωτήματα α) έως ζ).

3. Η διαδικασία που ακολουθήσατε για την καταγραφή της κίνησης του Φυσικού θα δούλευε αν η κίνηση δεν πραγματοποιούνταν πάνω σε ευθεία γραμμή; (Έχετε καμιά ιδέα τι θα έπρεπε να κάνουμε για να περιγράψουμε την κίνηση ενός καθηγητή που πηγαίνει παντού μέσα στην αίθουσα;)

Νενικήκαμεν! Καταφέραμε με ένα χρονόμετρο και ένα μέτρο να περιγράψουμε στην γλώσσα των μαθηματικών την θέση του Φυσικού. Μάλιστα προσδιορίσαμε και άλλα χρήσιμα μεγέθη όπως π.χ. το μήκος διαδρομής και το χρονικό διάστημα που διήρκεσε η κίνηση. Εκτός από αυτά όμως όλοι γνωρίζουμε και δύο άλλα φυσικά μεγέθη που σχετίζονται με την κίνηση: την **ταχύτητα** και την **επιτάχυνση**. Ας πάρουμε μια μικρή γεύση και από αυτά.

2.2.2 Ταχύτητα.

Την έννοια της ταχύτητας την έχουμε όλοι χρησιμοποιήσει πολλές φορές στην ζωή μας και την έχουμε σωστά συνδέσει με το πόσο γρήγορα κινείται ένα σώμα. Ας δούμε μερικά παραδείγματα για να την κατανοήσουμε καλύτερα.

Σχέση ταχύτητας, χρόνου.

α) Δύο μαθητές, ο Γιώργος και ο Μανόλης, πηγαίνουν από το θρανίο τους έως τον πίνακα οπότε διανύουν απόσταση $s = 4\text{m}$. Ο Γιώργος ολοκλήρωσε την κίνηση αυτή σε χρονικό διάστημα $\Delta t_A = 4\text{s}$ ενώ ο Μανόλης σε $\Delta t_B = 2\text{s}$. Ποιος από τους δύο πιστεύετε ότι κινήθηκε πιο γρήγορα; .....

Σχέση ταχύτητας, απόστασης.

β) Στην συνέχεια ο Γιώργος και ο Μανόλης περπάτησαν προς την πόρτα για χρονικό διάστημα $\Delta t = 2\text{s}$. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα ο Γιώργος διάνυσε απόσταση $s_A = 2\text{m}$ ενώ ο Μανόλης διάνυσε απόσταση $s_B = 4\text{m}$. Ποιος από τους δύο πιστεύετε ότι κινήθηκε πιο γρήγορα; .....

γ) Ποιο είναι το φυσικό μέγεθος που προσδιορίζει ποσοτικά πόσο γρήγορα κινείται ένα σώμα; .....

Ορισμός της ταχύτητας.

δ) Κρίνοντας από τα παραπάνω παραδείγματα, από ποια φυσικά μεγέθη πιστεύετε ότι εξαρτάται η ταχύτητα; 1) ....., 2) .....
Ποια πιστεύετε ότι είναι η σχέση που μας δίνει την **μέση ταχύτητα**;

$$\boldsymbol{v}_\mu = \text{———} \tag{2.1}$$

Μονάδες.

ε) Υπολογίστε τις ταχύτητες των μαθητών στις εφαρμογές α) και β). Σε τι μονάδες βρήκατε την ταχύτητα; ..... Γνωρίζετε άλλες μονάδες μέτρησης της ταχύτητας; .....

Πειραματική μέτρηση.

στ) Ένας μαθητής περπατάει σε ευθεία γραμμή μέσα στην τάξη από την έδρα μέχρι την πόρτα. Ποια όργανα θα χρειαστείτε για να μετρήσετε την μέση του ταχύτητα κατά την κίνηση του αυτή; .....
Περιγράψτε την πειραματική διαδικασία για τον υπολογισμό της ταχύτητας.
.....
.....
.....

Στιγμιαία ταχύτητα.

ζ) Η ταχύτητα που μετράει το ταχύμετρο ενός αυτοκινήτου είναι η μέση ταχύτητα για την οποία μιλήσαμε; ..... Πως ονομάζεται η ταχύτητα του ταχυμέτρου; ..... Πως συνδέεται η μέση ταχύτητα με την ταχύτητα του ταχύμετρου; .....

Η στιγμιαία ταχύτητα ως διάνυσμα.

η) Τα αυτοκίνητα Α και Β του σχήματος κινούνται στις κατευθύνσεις που δείχνουν τα βέλη ενώ τα κοντέρ τους έχουν ένδειξη $v_A = 50\text{km/h}$ και $v_B = 50\text{km/h}$ αντίστοιχα. Κατά την γνώμη σας έχουν την ίδια στιγμιαία ταχύτητα;
.....

θ) Για να προσδιορίσουμε πλήρως την στιγμιαία ταχύτητα ενός σώματος πρέπει να γνωρίζουμε

Α) Το **μέτρο** της: .....

Β) Την **διεύθυνσή** της: .....

Γ) Την **φορά** της: .....

Τα φυσικά μεγέθη που απαιτούν τις τρεις αυτές πληροφορίες για να προσδιοριστούν πλήρως τα ονομάζουμε[6] .....

Ασκήσεις:

1. Στην προηγούμενη παράγραφο μελετήσατε την κίνηση του Φυσικού σας μέσα στην αίθουσα.

   α) Ποια είναι η μέση ταχύτητα του κατά την κίνηση του αυτή;

[6] Περισσότερα για τα διανυσματικά μεγέθη στο επόμενο κεφάλαιο.

β) Αν περπατούσε με σταθερή ταχύτητα καθόλη την κίνηση του ποια ήταν η στιγμιαία του ταχύτητα κάθε στιγμή της κίνησης;

2. Ένα αυτοκίνητο ξεκινάει από το Ηράκλειο στις $18:00:00$ και φτάνει στο Ρέθυμνο στις $19:00:00$. Αν η απόσταση Ηράκλειο – Ρέθυμνο είναι $79\mathrm{km}$

   α) Ποια είναι η μέση ταχύτητα του αυτοκινήτου;

   β) Μπορείτε να υπολογίσετε τη μέγιστη και την ελάχιστη ταχύτητα του αυτοκινήτου στο ταξίδι αυτό;

   γ) Μετατρέψτε την ταχύτητα που βρήκατε σε $\mathrm{m/s}$.

3. Ένας άνθρωπος καλύπτει απόσταση $200\mathrm{m}$ μέσα σε 100 δευτερόλεπτα.

   α) Ποια είναι η μέση ταχύτητα με την οποία κινήθηκε;

   β) Μετατρέψτε την ταχύτητα του ανθρώπου σε $\mathrm{km/h}$.

4. Ένα αυτοκίνητο κινείται στην εθνική με σταθερή ταχύτητα για 10 λεπτά. Αν η ένδειξη του ταχύμετρου τα 10 αυτά λεπτά ήταν $100\mathrm{km/h}$

   α) Ποια ήταν η μέση ταχύτητα που είχε το αυτοκίνητο κατά την διάρκεια αυτών των 10 λεπτών;

5. Ένα αεροπλάνο κάνει μια πτήση διάρκειας μισής ώρας με μέση ταχύτητα $v_\mu = 800\mathrm{km/h}$. Πόσο μήκος διαδρομής καλύπτει το αεροπλάνο στην πτήση αυτή;

6. Το διαστημόπλοιο Cassini–Huygens κινείται για ένα εικοσιτετράωρο με μέση ταχύτητα $v \simeq 50.000\mathrm{km/h}$.

   α) Πόση απόσταση κάλυψε μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα το διαστημόπλοιο.

   β) Αν το διαστημόπλοιο κινείται συνέχεια με την ταχύτητα αυτή πόσες ώρες θα χρειαστεί το διαστημόπλοιο για να καλύψει την απόσταση των περίπου $650.000.000\mathrm{km}$ μέχρι τον Δία;

7. Η μεγαλύτερη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα σώμα είναι η ταχύτητα του φωτός $v = 3 \cdot 10^8\mathrm{m/s}$.

   α) Ποια απόσταση διανύει το φως μέσα σε 10 λεπτά;

   β) Αν το φως για να φτάσει από τον Ήλιο στην Γη χρειάζεται περίπου $8{,}5$ λεπτά ποια είναι η απόσταση Ήλιου – Γης.

2.2.3 Επιτάχυνση.

Η επιτάχυνση είναι άλλο ένα φυσικό μέγεθος που όλοι έχουμε ακούσει στην καθημερινή μας ζωή. Η σημασία του φυσικού μεγέθους της επιτάχυνσης για την μελέτη της κίνησης είναι πολύ μεγάλη και θα εμβαθύνουμε σε αυτήν στο Λύκειο. Εδώ θα αρκεστούμε σε μια σύντομη περιγραφή με μερικά παραδείγματα.

α) Ένα αυτοκίνητο κινείται σε ευθεία πορεία με το κοντέρ να δείχνει σταθερά $100\mathrm{km/h}$. Το αυτοκίνητο επιταχύνεται; .....

β) Ο οδηγός του παραπάνω αυτοκίνητου πατάει περισσότερο γκάζι οπότε η ένδειξη του κοντέρ αρχίζει να αυξάνεται. Το αυτοκίνητο επιταχύνεται; .....

γ) Ο οδηγός του παραπάνω αυτοκίνητου πατάει το φρένο οπότε η ένδειξη του κοντέρ αρχίζει να μειώνεται. Το αυτοκίνητο επιταχύνεται; .....

δ) Το αυτοκίνητο κινείται τώρα με ταχύτητα σταθερού μέτρου $v = 80\mathrm{km/h}$ όταν φτάνει στην πρώτη στροφή. Κατά την διάρκεια της στροφής, και ενώ η ένδειξη του κοντέρ παραμένει σταθερή, το αυτοκίνητο επιταχύνεται; .....
Γιατί; .....

Μετά τα παραπάνω νομίζω ότι μπορούμε να δώσουμε ένα πρόχειρο ορισμό της επιτάχυνσης

► Επιτάχυνση ονομάζουμε το φυσικό μέγεθος που ισούται με τον ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας.