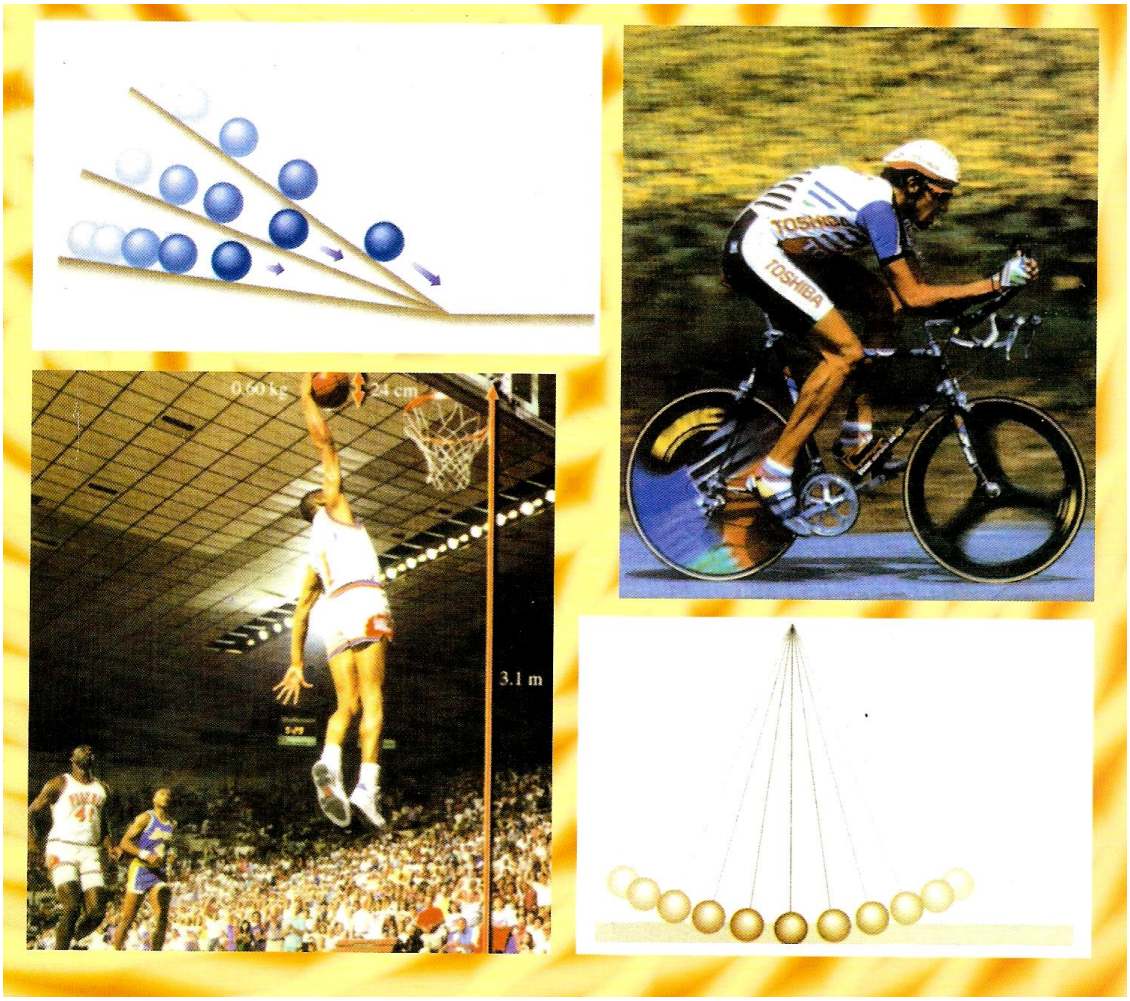
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ



ΦΥΣΙΚΗ

ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
Α΄ ΤΑΞΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Τόμος 4ος

ΦΥΣΙΚΗ

ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
Α΄ ΤΑΞΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

4ος τόμος

ΥΠΕΥΘ. ΤΗΣ ΣΥΓΓΡΑΦ. ΟΜΑΔΑΣ

Παναγιώτης Β. Κόκκοτας, ***Καθηγ. της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Παν/μίου Αθηνών.***

ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

Ιωάννης Α. Βλάχος, ***Διδάκτορας, Σχολ. Σύμβουλος του κλάδου ΠΕ4.***

Ιωάννης Γ. Γραμματικάκης, ***Επίκουρος Καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Αθηνών.***

Βασίλης Α. Καραπαναγιώτης, ***Φυσικός, Καθηγητής Πειραματικού Σχολείου Πανεπιστημίου Αθηνών.***

Παναγιώτης Β. Κόκκοτας, ***Καθηγ. της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Παν/μίου Αθηνών.***

Περικλής Εμ. Περιστερόπουλος, ***Φυσικός, Υποψήφιος Διδάκτορας, Καθηγητής στο 3ο Λύκειο Βύρωνα.***

Γιώργος Β. Τιμοθέου, ***Φυσικός, Λυκειάρχης στο 2ο Λύκειο Αγ. Παρασκευής.***

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον Ιωάννη Βαγιωνάκη, Φυσικό, για τη συμβολή του στη συγγραφή ασκήσεων και ερωτήσεων, για τις παρατηρήσεις και υποδείξεις του, καθώς και για τη βοήθειά του στην επιμέλεια έκδοσης.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

Φλυτζάνης Νικ. (Πρόεδρος), ***Καθηγ. Τμ. Φυσικής του Παν/μίου Κρήτης.***
Καλοψικάκης Εμμανουήλ,
Φυσικός, τ. Σχολικός Σύμβουλος.
Ξενάκης Χρήστος, Δρ. Φυσικός,
Σχολικός Σύμβουλος Φθιώτιδος.
Πάλλας Δήμος, Φυσικός,
Υποδιευθυντής 1ου Λυκείου Λαμίας.
Στεφανίδης Κωνσταντίνος, ***Δρ. Φυσικός, Σχ. Σύμβουλος Πειραιά.***

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους Καθηγητές της Φυσικής που μας

βοήθησαν στο έργο μας:
1. Την Σωτηρία Θεοδωρίδου για τη συμβολή της στις Λύσεις των Ασκήσεων, στις Περιλήψεις, στο Ευρετήριο και στο Γλωσσάρι.
2. Την Σοφία Ιωαννίδου για τη συμβολή της στη Λύση των ασκήσεων Α΄ και Β΄ Λυκείου.
3. Τον Κώστα Ζαχαριάδη και την Ταρσώ Μπουγά για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους στο βιβλίο της Γ΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας.
4. Την Γεωργία Αγγελοπούλου για τις Ασκήσεις που πρότεινε να συμπεριληφθούν στα βιβλία.
5. Την Μαρία Σωτηράκου για τη συμβολή της στο Ευρετήριο.

Οι συγγραφείς

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ

Ομάδα Εργασίας ΥΠΔΒΜΘ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΙΩΑΝΝΗΣ Α. ΒΛΑΧΟΣ
ΙΩΑΝΝΗΣ Γ. ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΑΚΗΣ
ΒΑΣΙΛΗΣ Α. ΚΑΡΑΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Β. ΚΟΚΚΟΤΑΣ
ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΕΜ.
ΠΕΡΙΣΤΕΡΟΠΟΥΛΟΣ
ΓΙΩΡΓΟΣ Β. ΤΙΜΟΘΕΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ

ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
Α΄ ΤΑΞΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

4ος τόμος

1.3.11 Κεντρομόλος δύναμη

Οι κυκλικές και γενικά οι καμπυλόγραμμες κινήσεις είναι μια μεγάλη κατηγορία κινήσεων. Έχετε αναρωτηθεί ποιο είναι το αίτιό τους; Ποια είναι παραδείγματος χάρη η αιτία που κρατά σε τροχιά ένα τεχνητό δορυφόρο γύρω από την Γη; (Εικ. 1.3.28). Για ποιο λόγο η Τροχαία βάζει όριο ταχύτητας στις στροφές; Αυτά είναι μερικά από τα ερωτήματα στα οποία θα προσπαθήσουμε να δώσουμε απάντηση στην παράγραφο αυτή.

Οι δύο πρώτοι νόμοι του Νεύτωνα τους οποίους μελετήσαμε, μας επιτρέπουν να περιγράψουμε την κίνηση που κάνει ένα σώμα όταν γνωρίζουμε τη συνισταμένη των δυνάμεων που ενεργούν σ' αυτό, την αρχική θέση του καθώς και την

αρχική του ταχύτητα. Έτσι αν σε ένα σώμα δεν ασκούνται δυνάμεις, ή αν ασκούνται και έχουν συνισταμένη μηδέν, τότε σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα αυτό θα ηρεμεί ή θα κινείται με κίνηση ευθύγραμμη ομαλή.

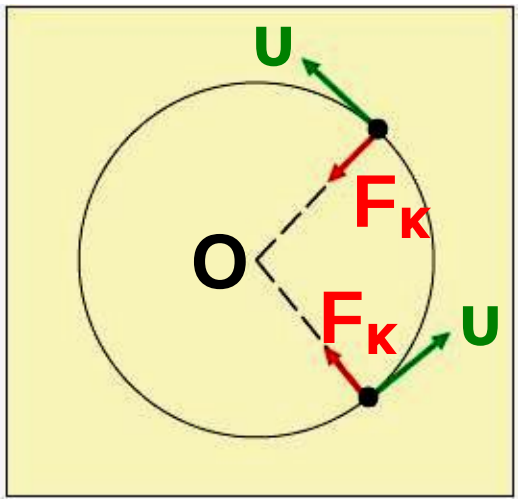


Εικόνα 1.3.28
Τεχνητός δορυφόρος σε τροχιά γύρω από τη Γη

Αν η συνισταμένη $\vec{F}$ των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα

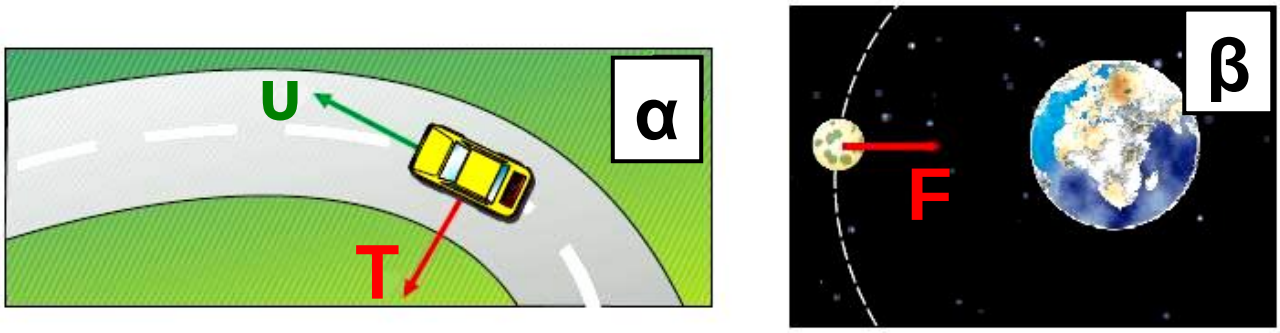
δεν είναι μηδέν, τότε σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα αυτό έχει επιτάχυνση $\vec{\alpha}$ ομόρροπη της δύναμης, που προσδιορίζεται από τη σχέση $\vec{F} = m\,\vec{\alpha}$, όπου m είναι η μάζα του σώματος.

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση που ένα σώμα εκτελεί κυκλική κίνηση με ταχύτητα σταθερής τιμής. Επειδή η κατεύθυνση της ταχύτητας συνεχώς μεταβάλλεται, άρα υπάρχει επιτάχυνση (κεντρομόλος) και σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα στο σώμα ασκείται δύναμη. Η δύναμη αυτή έχει κατεύθυνση προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς και γι' αυτό λέγεται **κεντρομόλος δύναμη** (Εικ. 1.3.29).



Εικόνα 1.3.29

Η κεντρομόλος δύναμη είναι γενικά η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα κατά τη διεύθυνση της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς με φορά προς το κέντρο του κύκλου. Δεν πρόκειται για μια ακόμα δύναμη πάνω στο σώμα. Λέμε συνήθως ότι η συνισταμένη των δυνάμεων (κατά τη διεύθυνση της ακτίνας) παίζει ρόλο κεντρομόλου δύναμης.



Εικόνα 1.3.30
Δυνάμεις που δρουν ως κεντρομόλες: α) η τριβή β) η βαρυτική έλξη F

Την έννοια της κεντρομόλου δύναμης συναντάμε σε κάθε φαινόμενο που υπάρχει κυκλική κίνηση.

Παραδείγματος χάρη, όταν ένα αυτοκίνητο εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση σε ένα επίπεδο δρόμο, η κεντρομόλος δύναμη είναι η δύναμη τριβής (Εικ. 1.3.30α). Η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη λόγω της ελκτικής δύναμης που δέχεται από αυτή. Η δύναμη αυτή παίζει τότε το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης (Εικ. 1.3.30β). Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου λόγω της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb, που παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης.

Γενικά κάθε δύναμη που αναγκάζει ένα σώμα να εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση λέγεται κεντρομόλος δύναμη.

Η κεντρομόλος επιτάχυνση έχει την ίδια κατεύθυνση με την κεντρομόλο δύναμη. Όπως είδαμε, η τιμή

της κεντρομόλου επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha_{\kappa} = \frac{\upsilon^2}{R}$$

όπου υ είναι το μέτρο της ταχύτητας και R η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς. Έτσι η τιμή της κεντρομόλου δύναμης δίνεται από τη σχέση:

$$F_{\kappa} = \frac{m\upsilon^2}{R} \qquad (1.3.17)$$

Δραστηριότητα

Αντικαταστήστε στη σχέση (1.3.17), τις σχέσεις:

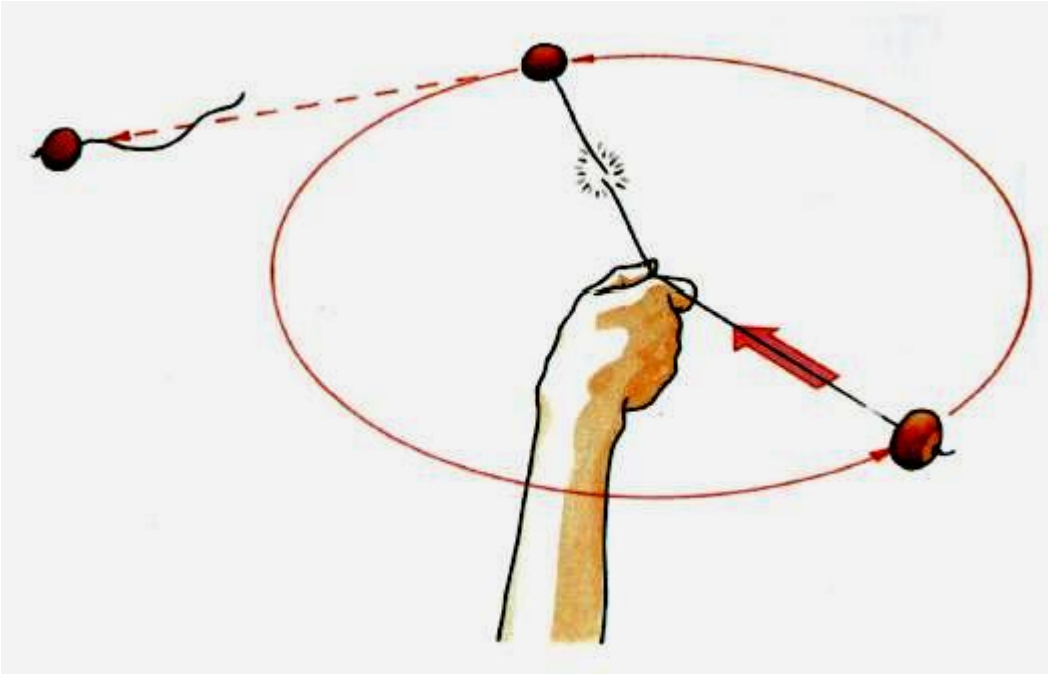
$$\upsilon = \omega R \quad \text{και} \quad \omega = 2\pi f$$

$$\text{ή } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Σε ποιες σχέσεις για την τιμή της κεντρομόλου δύναμης καταλήξατε;

1.3.12 Μερικές περιπτώσεις κεντρομόλου δύναμης

Α) Αν στο άκρο ενός νήματος (Εικ. 1.3.31) προσδέσουμε μια μικρή σφαίρα και τη θέσουμε με το χέρι μας σε ομαλή κυκλική κίνηση πάνω σε οριζόντιο επίπεδο, τότε η κεντρομόλος δύναμη που αναγκάζει τη σφαίρα να κινηθεί σε κυκλική τροχιά είναι η τάση του νήματος. Αν η σφαίρα περιφέρεται με ολοένα αυξανόμενη ταχύτητα, τότε σύμφωνα με τη σχέση (1.3.17) απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη, για να τη συγκρατήσει σε κυκλική τροχιά. Αν η δύναμη αυτή υπερβεί την τάση θραύσης του νήματος, τότε αυτό κόβεται και η σφαίρα κινείται ευθύγραμμα κατά την εφαπτομένη της τροχιάς στη θέση που κόπηκε το νήμα.

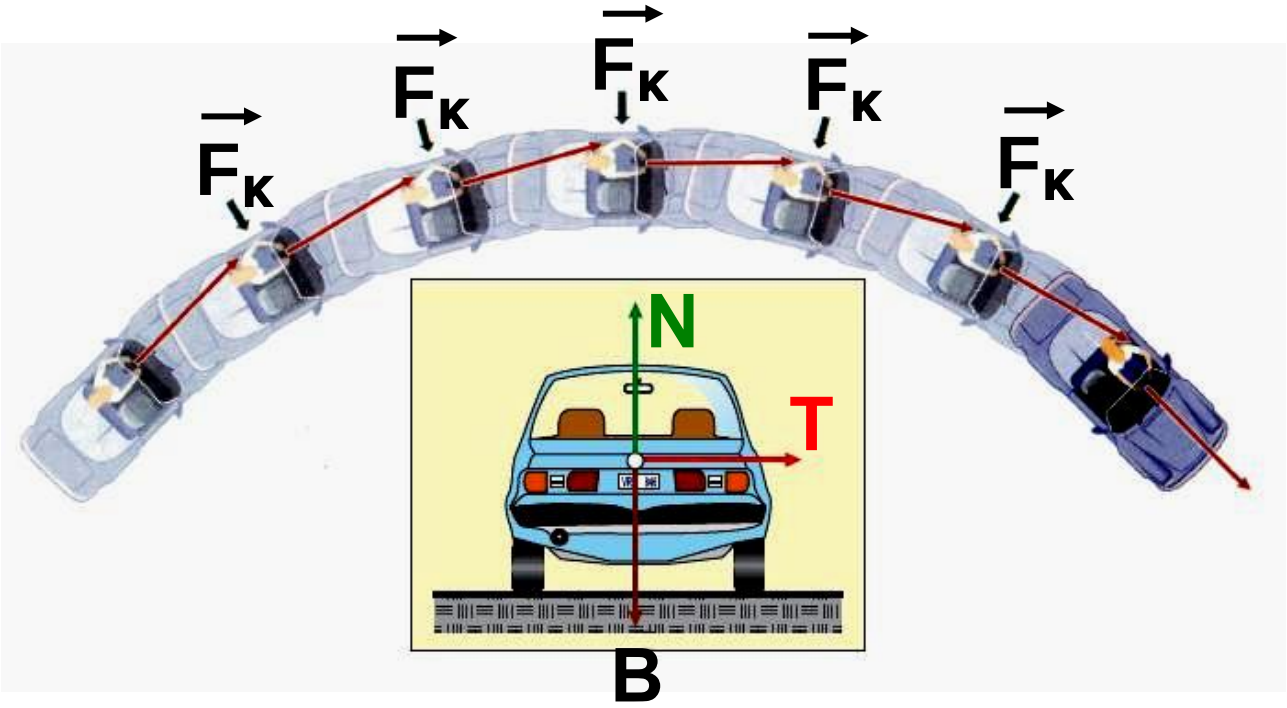


Εικόνα 1.3.31

Β) Όταν ένα αυτοκίνητο κινείται σε κυκλική οριζόντια τροχιά κάνοντας ομαλή κυκλική κίνηση (Εικ. 1.3.32), η συνισταμένη των δυνάμεων που ενεργούν επάνω του πρέπει να έχει φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς. Δηλαδή να είναι κεντρομόλος.

Στο αυτοκίνητο ενεργούν οι εξής δυνάμεις (Εικ. 1.3.32): Το βάρος του $\vec{B}$, η κάθετη δύναμη $\vec{N}$ του εδάφους

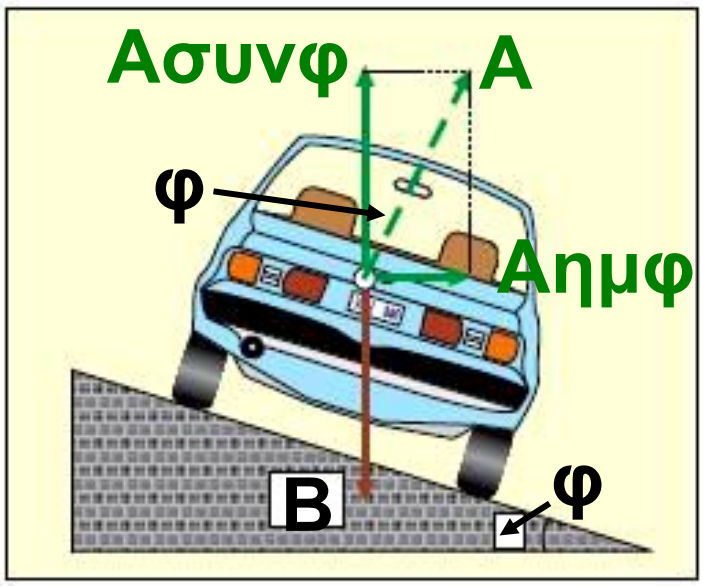
και η τριβή $\vec{T}$ (Η αντίσταση του αέρα παραλείπεται).



Εικόνα 1.3.32

Οι δύο πρώτες δυνάμεις έχουν συνισταμένη μηδέν. Άρα η τριβή (στατική) που ασκείται από το έδαφος στους τροχούς πρέπει να έχει φορά προς το κέντρο της τροχιάς και να είναι οριζόντια, γιατί το αυτοκίνητο κινείται σε οριζόντιο επίπεδο.





Εικόνα 1.3.33

Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του αυτοκινήτου τόσο μεγαλύτερη κεντρομόλος δύναμη απαιτείται για να περάσει με ασφάλεια τη στροφή. Αν λοιπόν είναι φθαρμένα τα λάστιχα ή είναι βρεγμένος ο δρόμος, η τριβή που αναπτύσσεται δεν είναι μεγάλη και δεν μπορεί να παίξει τον αναγκαίο ρόλο της κεντρομόλου με αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να εκτραπεί.

Γ) Θεωρούμε ένα αυτοκίνητο, όπως στην εικόνα 1.3.33, που παίρ-

νει στροφή πάνω σε κεκλιμένο ως προς το οριζόντιο επίπεδο δρόμο, όπως παραδείγματος χάρη σ' ένα αυτοκινητόδρομο μεγάλης ταχύτητας.

Τίθεται το ερώτημα: πώς θα υπολογίσουμε την κλίση του δρόμου, ώστε να αναπτύσσεται η απαραίτητη κεντρομόλος δύναμη για την ασφαλή διέλευση των οχημάτων;

Αν, για ευκολία στους υπολογισμούς, θεωρήσουμε αμελητέα την τριβή, στο όχημα ασκούνται δύο δυνάμεις: το βάρος του Β και η κάθετη δύναμη (Α) από το οδόστρωμα.

Από το σχήμα προκύπτει:

$A\sigma\upsilon\nu\varphi - B = 0$ ή $A\sigma\upsilon\nu\varphi = B$ (1)

γιατί στον κατακόρυφο άξονα δεν υπάρχει κίνηση.

Η οριζόντια δύναμη Αημφ αναγκάζει το όχημα να κινηθεί κυκλικά

στη στροφή, δηλαδή είναι η απαραίτητη κεντρομόλος δύναμη.

Άρα μπορούμε να γράψουμε:

$$\text{Αημφ} = \frac{mu^2}{R} \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) αν τις διαιρέσουμε κατά μέλη, προκύπτει:

$$\frac{\text{Αημφ}}{\text{Ασυνφ}} = \frac{\frac{mu^2}{R}}{mg} \quad \text{ή} \quad \text{εφφ} = \frac{u^2}{Rg}$$

Από την τελευταία σχέση φαίνεται ότι για δοσμένη ακτίνα στροφής και ορισμένη κλίση του οδοστρώματος, η διέλευση είναι ασφαλής μόνο για ορισμένη τιμή της ταχύτητας. Αν ένα όχημα δοκιμάσει να περάσει από τη στροφή αυτή, με μεγαλύτερη ταχύτητα από την ορισμένη, τότε θα ξεφύγει από το δρόμο, γιατί η κεντρομόλος δύναμη που

απαιτείται είναι μεγαλύτερη της συνιστώσας Αημφ.



Το αυτοκίνητο κινείται στους δύο τροχούς, έχοντας εξασφαλίσει την απαραίτητη κεντρομόλο δύναμη.

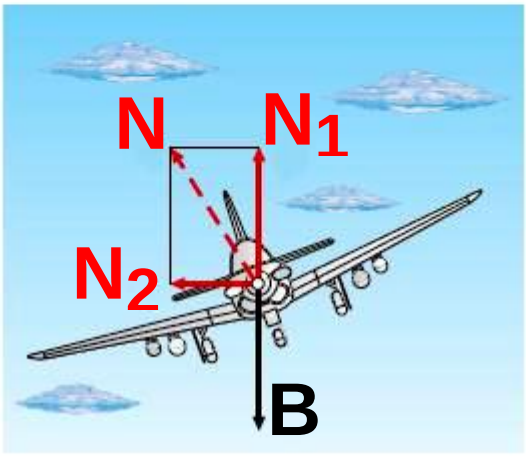
Σε ειδικούς δρόμους που γίνονται αγώνες αυτοκινήτων η κλίση του δρόμου αυξάνει προοδευτικά. Έτσι ο οδηγός μπορεί να διαλέξει το μέρος του δρόμου από το οποίο θα περάσει ανάλογα με την ταχύτητα του αυτοκινήτου του.

Οι γραμμές του τρένου στις στροφές έχουν την εξωτερική σιδηροτροχιά υπερυψωμένη ώστε η αντί-

δραση να δίνει οριζόντια συνιστώσα προς το μέσα μέρος της στροφής, η οποία αποτελεί την κεντρομόλο δύναμη.



Δ) Όταν ένα αεροπλάνο πετάει σε οριζόντιο επίπεδο η ανυψωτική δύναμη Ν αντισταθμίζει το βάρος του Β. Για να κάνει στροφή με την βοήθεια ειδικών πηδαλίων παίρνει ορισμένη κλίση (Εικ. 1.3.34) ώστε η ανυψωτική δύναμη Ν να αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μια κατακόρυφη (N_1) και μια οριζόντια (N_2), από τις οποίες η συνιστώσα N_2 αποτελεί την κεντρομόλο που θα του επιτρέψει να κάνει τη στροφή.



Εικόνα 1.3.34

Τριβή και αυτοκινητιστικά δυστυχήματα





Είναι βέβαιο πως, αν οι οδηγοί γνώριζαν τους νόμους της Δυναμικής και τους εφάρμοζαν, τότε τα δυστυχήματα θα περιορίζονταν σημαντικά.
Ποιες όμως είναι οι αιτίες των δυστυχημάτων;
Γιατί τόσοι άνθρωποι, κυρίως νέοι, αφήνουν την τελευταία τους πνοή στην άσφαλτο;

Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι οι αιτίες των δυστυχημάτων είναι η υπερβολική ταχύτητα, το βρεγμένο οδόστρωμα, η μεγάλη ταχύτητα στις στροφές, το αντικανονικό προσπέρασμα, η κατάσταση των φρένων, τα φθαρμένα λάστιχα, η

κατάσταση του οδηγού (αλκοόλ, αϋπνία κ.λπ.).

Θα προσπαθήσουμε μέσα από παραδείγματα, να δείξουμε την επίδραση του κάθε παράγοντα στα ατυχήματα.

Παράδειγμα 1

Ένα Ι.Χ. αυτοκίνητο που μαζί με το φορτίο του έχει μάζα 1.800kg κινείται στην εθνική οδό. Ξαφνικά ο οδηγός αντιλαμβάνεται ότι ο δρόμος έχει κλείσει από σταματημένα αυτοκίνητα και εφαρμόζει τα φρένα, με αποτέλεσμα οι τροχοί να μην περιστρέφονται. Τη στιγμή που ενεργοποιούνται, η απόσταση του αυτοκινήτου από το εμπόδιο είναι 150m. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ των τροχών και του εδάφους είναι 0,2. Αν τη στιγμή που ο οδηγός εφαρ-

μόζει τα φρένα η ταχύτητα του οχήματος είναι α) 144 km/h β) 108 km/h γ) 72 km/h, να βρεθεί σε κάθε περίπτωση αν το όχημα θα πέσει επάνω στα σταματημένα αυτοκίνητα.

Απάντηση

Κατά τον κατακόρυφο άξονα ασκείται η αντίδραση Ν που είναι δύναμη από επαφή. Στο αυτοκίνητο ασκείται και το βάρος Β που είναι δύναμη από απόσταση.

Η μόνη δύναμη που ασκείται στη διεύθυνση της κίνησης και επιβραδύνει το όχημα είναι η τριβή Τ.

Σύμφωνα με το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής έχουμε:

$$T = m\,\alpha$$

Επειδή $T = \mu N$ και $N = B$ προκύπτει ότι:

$$\mu\, m\, g = m\,\alpha \quad \text{ή} \quad \alpha = g\,\mu$$

Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι η επιβράδυνση είναι σταθερή επειδή ο συντελεστής τριβής είναι σταθερός. Θα ισχύουν οι σχέσεις της ομαλά επιβραδυνόμενης κίνησης, δηλαδή:

$$x = \upsilon_o t - \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad (1)$$

$$\upsilon = \upsilon_o - \alpha t \quad (2)$$

Όταν το όχημα σταματήσει ($\upsilon = 0$) τότε από τη σχέση (2) έχουμε:

$$\upsilon_o = \alpha t \quad \text{ή} \quad t = \frac{\upsilon_o}{\alpha}.$$

Με αντικατάσταση του χρόνου αυτού στη σχέση (1) προκύπτει το μέγιστο διάστημα x_{max}.

$$x_{max} = \frac{\upsilon_o^2}{2g\mu}$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι η ζητούμενη απόσταση είναι

ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας τη στιγμή που ο οδηγός εφαρμόζει τα φρένα και αντιστρόφως ανάλογη του συντελεστή τριβής ολίσθησης.

Περίπτωση α) Για $\upsilon_o = 144km/h =$

$= \frac{144.000m}{3.600s} = 40\ m/s.$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$x_{max} = (40^2/2)\cdot 10\cdot 0{,}2m \quad \text{ή}$$

$$x_{max} = 400m.$$

Επειδή τα σταματημένα οχήματα είναι σε απόσταση 150 m το Ι.Χ. αυτοκίνητο θα προσπέσει επάνω τους, και δεν μπορεί να αποφύγει τη σύγκρουση.

Περίπτωση β) Για $\upsilon_o = 108km/h =$ $= 30m/s$ το απαιτούμενο διάστημα για να σταματήσει το Ι.Χ. αυτοκίνητο είναι

X_{max} = 225m.

Άρα και στην περίπτωση αυτή δε θα αποφευχθεί η σύγκρουση.

Περίπτωση γ) υ_o = 72km/h = = 20m/s. Με αντικατάσταση προκύπτει: x_{max} = (400/2)•10•0,2 = 100m.

Στην περίπτωση αυτή το Ι.Χ. αυτοκίνητο θα σταματήσει 50m από τα σταματημένα οχήματα.

Από τις περιπτώσεις α και γ προκύπτει ότι, όταν η ταχύτητα είναι διπλάσια (από 72 km/h έγινε 144 km/h) το αντίστοιχο διάστημα που απαιτείται για να σταματήσει το όχημα είναι τετραπλάσιο.

Παράδειγμα 2

Ένα Ι.Χ. αυτοκίνητο μάζας 1.800 kg, πρόκειται να πάρει στροφή ακτίνας 100m σε οριζόντιο δρόμο.

Πόση πρέπει να είναι η μέγιστη ταχύτητά του για να περάσει τη στροφή με ασφάλεια; Δίνεται ο συντελεστής τριβής ολίσθησης μ = 0,2.

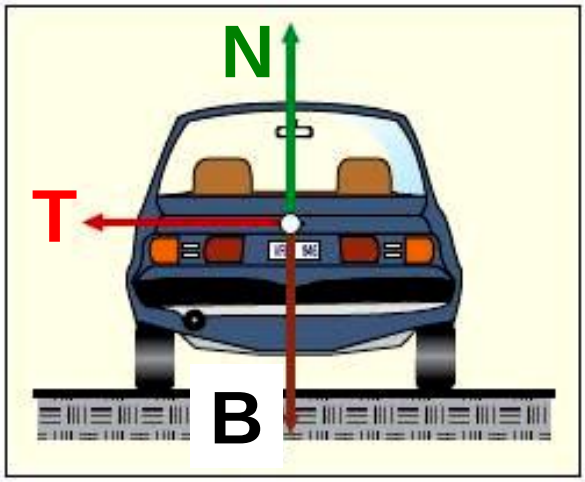
Στην προκειμένη περίπτωση, αν το όχημα γλιστρήσει θα φύγει προς τα έξω. Συνεπώς η τριβή ως δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση θα έχει φορά προς το μέσα μέρος της στροφής. Άρα θα ενεργεί ως κεντρομόλος δύναμη και θα ισχύει:

$$T = F_{\kappa} \text{ ή}$$

$$\mu m g = \frac{m\upsilon^2}{R} \text{ ή}$$

$$\upsilon^2 = \mu g R \text{ ή}$$

$$\upsilon = \sqrt{\mu g R}$$



Αντικαθιστώντας τις τιμές των μ, g, R έχουμε:

$$\upsilon = \sqrt{0,2 \cdot 10 \cdot 100} \text{ m/s} \text{ ή}$$

$$\upsilon = 10\sqrt{2}\ \text{m/s} \quad \text{ή}$$

$$\upsilon = 14{,}1\ \text{m/s} \quad \text{ή}$$

$$\upsilon = 50{,}8\ \text{Km/h}.$$

Τι θα συμβεί αν ο οδηγός θελήσει να περάσει τη στροφή με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ευρεθείσα;

Είναι προφανές, ότι η απαιτούμενη κεντρομόλος δύναμη για να πάρει τη στροφή το όχημα θα είναι μεγαλύτερη. Συνεπώς θα απαιτηθεί μεγαλύτερη τριβή από την $T = \mu\, m\, g$. Επειδή αυτό δεν συμβαίνει, το αυτοκίνητο θα φύγει προς τα έξω στη στροφή.

Δραστηριότητα

Εργαζόμενοι ανά δύο μπορείτε να ερευνήσετε την επίδραση που έχει:
α) το βρεγμένο οδόστρωμα και

β) τα φθαρμένα λάστιχα, όταν το Ι.Χ. αυτοκίνητο κινείται όπως περιγράφεται στα Παραδείγματα 1 και 2;

Να χρησιμοποιήσετε τις σχέσεις των Παραδειγμάτων 1 και 2. Τεκμηριώστε την άποψή σας σε γραπτό κείμενο 10-15 γραμμών.



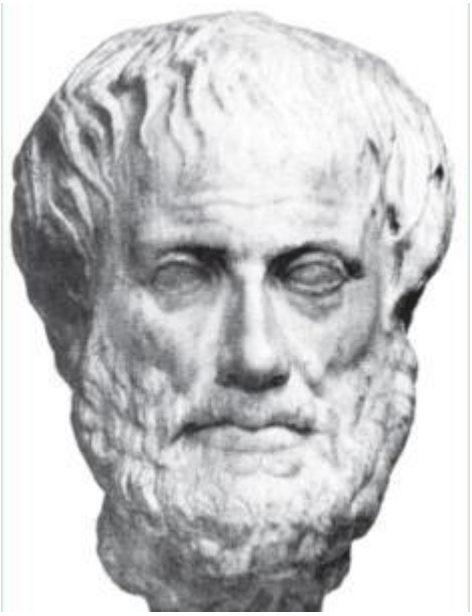
α) Ελαστικά σε καλή κατάσταση.
β) Φθαρμένα ελαστικά.

Από τον Αριστοτέλη στο Νεύτωνα



Η κίνηση των σωμάτων απασχόλησε τους αρχαίους Έλληνες Φυσικούς Φιλοσόφους οι οποίοι πρότειναν διάφορες θεωρίες για

την ερμηνεία τόσο της έναρξης μιας κίνησης όσο και της παύσης της. Από τις διάφορες αυτές θεωρίες σημαντικότερη είναι αυτή του Αριστοτέλη (389 -322 π.Χ.) διότι επηρέασε τη σκέψη των επόμενων γενεών ως την περίοδο του Νεύτωνα (1642-1727 μ.Χ.) ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία που δεχόμαστε σήμερα. Αξίζει να γνωρίσουμε λοιπόν τη θεωρία του Αριστοτέλη, η οποία ήταν πειστική για 20 αιώνες και την οποία αποδέχθηκαν επιστήμονες όπως οι da Vinci, J. Buridan, R. Descartes, G. Gallileo που έζησαν πριν από το Νεύτωνα.



Αριστοτέλης (389-322 π.Χ.).

Ο Αριστοτέλης στο έργο του "περί ουρανού" θεωρεί ότι όλος ο

κόσμος είναι φτιαγμένος από τέσσερα στοιχεία: "γη" - "νερό" - "αέρας" - "φωτιά", τα οποία έχουν σε διαφορετικό βαθμό τις ιδιότητες "βαρύ", "ελαφρύ", "ζεστό" και "κρύο". Τα στοιχεία "γη" και "νερό" έχουν την ιδιότητα να είναι βαριά ενώ ο αέρας και η φωτιά να είναι ελαφρά. Ο Αριστοτέλης πίστευε ότι τα στοιχεία "γη" και "νερό" έχουν τη φυσική τάση να κινούνται προς το κέντρο του κόσμου το οποίο σύμφωνα με τον ίδιο ήταν η Γη. Έτσι αν τα στοιχεία αυτά αφεθούν ελεύθερα και τίποτα δεν διακόψει την κίνησή τους θα κατευθυνθούν προς την επιφάνεια της γης. Αντίθετα τα στοιχεία "φωτιά" και "αέρας" έχουν τη φυσική τάση να κινούνται προς την περιφέρεια του κόσμου, να απομακρύνονται δηλαδή από την επιφάνεια της Γης. Συ-

νεπώς εφόσον όλα τα σώματα πάνω στη γη αποτελούνται από τα τέσσερα αυτά στοιχεία θα έχουν ανάλογα με το συνδυασμό των στοιχείων που τα αποτελούν τη φυσική τάση να κινούνται προς την επιφάνεια της Γης ή να απομακρύνονται από αυτήν. Για παράδειγμα, ένα ξύλο το οποίο αποτελείται κυρίως από το στοιχείο "γη" θα πέφτει προς την επιφάνεια της γης ενώ ο καπνός αποτελούμενος περισσότερο από το στοιχείο "αέρας" θα ανεβαίνει προς τον ουρανό. Η "φυσική", δηλαδή η ανεμπόδιστη κίνηση των σωμάτων, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη καθορίζεται από το συνδυασμό των στοιχείων από τα οποία αυτά αποτελούνται.

Υπάρχουν, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη και οι άλλες κινήσεις, αυτές που προκαλούνται από κάποια

αιτία, και τις οποίες τις αποκαλεί "βίαιες". Τέτοιου είδους κίνηση κάνει μια πέτρα όταν την πετάμε, ένα βέλος όταν εκτοξεύεται από το τόξο, κ.α.

Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη "ο,τιδήποτε κινείται, κινείται από κάτι άλλο", άποψη που σημαίνει ότι η κίνηση ενός σώματος, αν κάποιος το εκτοξεύει, πρέπει να αποδοθεί σε κάποια αιτία. Η αιτία που έθεσε αρχικά σε κίνηση το σώμα, έθεσε ταυτόχρονα σε βίαιη κίνηση (παλινδρομική) τον αέρα ο οποίος το περιβάλλει. Καθώς ο αέρας δονείται ασκεί δύναμη πάνω στο σώμα και έτσι αυτό συνεχίζει να κινείται. Η παλινδρομική αυτή βίαιη κίνηση μεταδίδεται από το ένα στρώμα του αέρα στο άλλο συντηρώντας την κίνηση του σώματος. Η διάδοση της παλμικής αυτής κίνησης δεν γίνεται

χωρίς απώλειες και έτσι μειώνεται βαθμιαία η ικανότητα του αέρα να κινεί το σώμα που εκτοξεύτηκε. Για το λόγο αυτό το σώμα σταδιακά πλησιάζει στη Γη στης οποίας την επιφάνεια τελικά θα πέσει. Εκτός από τη διάκριση σε "φυσικές" και "βίαιες" κινήσεις ο Αριστοτέλης διαχώρισε τις κινήσεις σε αυτές που γίνονται κοντά στην επιφάνεια της Γης και σε αυτές που κάνουν τα ουράνια σώματα, όπως η Σελήνη, οι πλανήτες και τα άστρα. Τα ουράνια σώματα, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, κινούνται ακατάπαυστα πάνω σε κυκλικές τροχιές γύρω από το κέντρο του κόσμου, τη Γη, σύμφωνα με τις απόψεις του. Η αιτία για αυτές τις κινήσεις ήταν το "πρώτο κινούν", η πρωταρχική δηλαδή αιτία της δημιουργίας του κόσμου.

Η διάκριση σε φυσικές και βίαιες κινήσεις εξακολούθησε να κυριαρχεί έως την περίοδο του Γαλιλαίου, ο οποίος διατύπωσε το νόμο της αδράνειας σύμφωνα με τον οποίον "εφόσον ένα σώμα κινείται χωρίς την επίδραση κάποιας δύναμης, θα συνεχίσει να κινείται ασταμάτητα με σταθερή ταχύτητα". Σύμφωνα με τη θεώρηση του Γαλιλαίου, ένα σώμα που εκτοξεύτηκε στον αέρα θα συνεχίσει να κινείται λόγω αδράνειας ενώ η δύναμη του βάρους θα προκαλέσει την καμπύλωση της τροχιάς και τελικά την πτώση του στο έδαφος. Με το νόμο της αδράνειας γίνεται ένα μεγάλο βήμα προς τη διαμόρφωση της έννοιας τη δύναμης όπως θα



Galileo Galilei (1564-1642).

την καθορίσει ο Νεύτωνας. Παρά την πρόοδο που απετέλεσε η εισαγωγή της έννοιας της αδράνειας, η έννοια της δύναμης εξακολούθησε να είναι ασαφής και να συγχέεται με τη μυϊκή δύναμη, τη δύναμη της έκρηξης, την ικανότητα του τόξου να εκτοξεύει το βέλος, την προσπάθεια του εργάτη να ανυψώσει ένα βαρύ σώμα, κ.α.



Isaac Newton (1642-1727).

Το έργο του Νεύτωνα δίνει στη δύναμη το νόημα που και σήμερα δεχόμαστε. Έτσι η δύναμη είναι η αιτία που αλλάζει την κινητική κατάσταση ενός σώματος ενώ η αδράνεια είναι η εγγενής φυσική δυσκολία για αυτήν την αλλαγή. Σύμφωνα με τον 1^{ο} νόμο, αν ένα

σώμα κινείται και δεν ασκηθεί σε αυτό δύναμη, τότε θα συνεχίζει να κινείται με την ίδια ταχύτητα. Σύμφωνα με το 2^{ο} νόμο η αλλαγή της κινητικής κατάστασης, (ακινησία, κίνηση με συγκεκριμένη ταχύτητα) θα προκληθεί από μια δύναμη ή τη συνισταμένη πολλών δυνάμεων. Η δυσκολία να αλλάξει η κινητική κατάσταση ενός σώματος εξαρτάται τόσο από την αδράνεια (τη μάζα) του σώματος, όσο και από την αλλαγή που επιχειρούμε να προκαλέσουμε (το Δυ). Στο έργο του Νεύτωνα η αδράνεια υπεισέρχεται εκτός από τα φαινόμενα της κίνησης χωρίς την άσκηση δύναμης, και στα φαινόμενα της αλλαγής της κινητικής κατάστασης.

Ο 3^{ος} νόμος του Νεύτωνα, προκάλεσε σημαντική αλλαγή στην

ιδιότητα "βαρύ" με την οποία είχε προικίσει τα στοιχεία ο Αριστοτέλης. Το βάρος δεν αποτελεί μια ιδιότητα των σωμάτων αλλά είναι εκδήλωση της αμοιβαίας έλξης μεταξύ του οποιουδήποτε σώματος και της γης. Δεν είναι ένα ξεχωριστό είδος δύναμης αλλά μια δύναμη όπως οι άλλες, η οποία προκαλεί αλλαγή στην κινητική κατάσταση των σωμάτων. Καταργώντας ο Νεύτωνας την ιδιαιτερότητα του βάρους κατάργησε και τη διάκριση των κινήσεων σε "φυσικές" και "βίαιες". Έτσι η μελέτη της κίνησης των σωμάτων γίνεται με ενιαίο τρόπο σύμφωνα με τους τρεις νόμους που αυτός πρότεινε. Επιπλέον, ο νόμος της παγκόσμιας έλξης μας επιτρέπει να έχουμε μια ενιαία περιγραφή της κίνησης των σωμάτων

είτε αυτά κινούνται στη Γη είτε στο διάστημα.

Η σύγκριση των απόψεων του Αριστοτέλη και του Νεύτωνα για την κίνηση και τη δύναμη δείχνει ότι μεταξύ τους υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Η μετάβαση από τις απόψεις του Αριστοτέλη στις απόψεις του Νεύτωνα δεν ήταν ούτε απλή ούτε εύκολη. Για να γίνει έπρεπε να αλλάξουν ριζικά οι αντιλήψεις για το Σύμπαν, τα στοιχεία που το αποτελούν, τη μέθοδο με την οποία πρέπει να ερευνάται η φύση, οι απόψεις για το ποια ερωτήματα πρέπει να απασχολούν τους ερευνητές, το νόημα των λέξεων: δύναμη, κίνηση, βάρος, κ.α.

Ντετερμινισμός ή χάος

Η θεαματική άνοδος της επιστήμης οδήγησε πολλούς σκεπτόμενους ανθρώπους να πιστέψουν στην παγκόσμια ισχύ που εκείνη αξίωνε. Η όψη αυτή της πραγματικότητας οδήγησε τελικά στο συμπέρασμα, πως το κάθετι που συμβαίνει στο Σύμπαν είναι συνέπεια των κινήσεων κι αλληλεπιδράσεων των ατόμων.



Στη Νευτώνεια Φυσική, η κίνηση καθορίζεται πλήρως με ντετερμινιστικούς νόμους. Ήδη στις αρχές του 19ου αιώνα, ο Μαθηματικός-Φυσικός Πιέρ Σιμόν ντε Λαπλάς (Laplace) υπέθεσε πως, αν κάποιος μπορούσε να παρατηρήσει κάποια χρονική στιγμή όλα

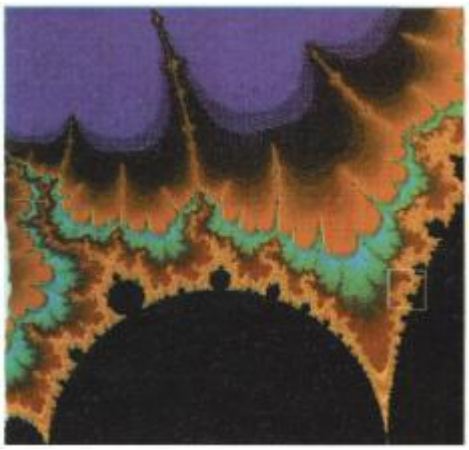
τα άτομα στο Σύμπαν και να καταγράψει τις κινήσεις τους, το μέλλον και το παρελθόν θα αποκαλύπτονταν. Αν το θέσουμε διαφορετικά, ολόκληρη η Ιστορία καθορίστηκε μέχρι την τελευταία λεπτομέρειά της όταν το Σύμπαν τέθηκε σε κίνηση. Η άνοδος και η πτώση των αυτοκρατοριών, το πάθος κάθε ξεχασμένης ερωτικής περιπέτειας δεν αντιπροσωπεύουν τίποτα περισσότερο από την αναπόφευκτη λειτουργία των νόμων της Φυσικής, το Σύμπαν προχωρά προς το αμετάβλητο πεπρωμένο του σαν ένα γιγαντιαίο ρολόι.

Τι περιθώρια ελευθερίας, όμως, άφηνε για σωτηρία και καταδίκη, γι' αγάπη και μίσος, όταν η πιο ασήμαντη απόφαση που θα μπορούσε να πάρει οποιοσδήποτε άνθρωπος είχε καθοριστεί πριν από περισσό-

τερο από 10 δισεκατομμύρια χρόνια; Αυτό έδωσε στους ηθικούς στοχαστές του 19ου αιώνα αντικείμενο έρευνας. Αναμφισβήτητα, είναι ασύλληπτο ότι κάποιος θα μπορούσε πράγματι να φτάσει στην παντογνωσία που ζητούσε ο Λαπλάς. Αλλά το γεγονός ότι γενικά ήταν εφικτό θεωρήθηκε ως ένας "μεγαλοφυής" εφιάλτης.

Η Νευτώνια Φυσική αποτέλεσε ένα μοντέλο στο οποίο έπρεπε ν' αποβλέπει όλη η ανθρώπινη γνώση. Καθώς ξεπρόβαλλαν οι κοινωνικές επιστήμες, έτειναν ν' απομακρύνονται από τις ανθρωπιστικές μελέτες από τις οποίες είχαν αναδυθεί. Οι κοινωνικοί στοχαστές εφάρμοζαν γενικούς νόμους για να εξηγήσουν την Ιστορία και την ανθρώπινη συμπεριφορά. Μερικοί, όπως ο Καρλ Μαρξ κι ο Σίγκμουντ

Φρόυντ, επηρέασαν έντονα την Ιστορία.



Είναι σημαντικό να θυμόμαστε πως η κοσμοθεωρία αυτή βασίζεται σ' ένα δίχως προηγούμενο επίτευγμα στην επιστήμη, που από τότε δεν έχει επαναληφθεί. Οι νόμοι του Κέπλερ, που αποδείχθηκαν από τον Νεύτωνα, περιέγραφαν προφανώς το ηλιακό σύστημα όπως υπήρχε στο παρελθόν κι όπως θα υπάρξει στο ατέρμονο μέλλον. Αλλά ο ίδιος ο Νεύτωνας γνώριζε ότι η ιστορία δεν έπρεπε να τελειώνει εκεί. Οι νόμοι του Κέπλερ εφαρμόζονται τέλεια μόνο σ' ένα ηλιακό σύστημα που υπόκειται μόνο στη βαρύτητα του Ήλιου. Δε συνυπολογίζονται οι δυνάμεις που οι πλανή-

τες, μέσω της βαρύτητάς τους, ασκούν ο ένας στον άλλο.



Υπάρχει ένας βασικός λόγος για την παράλειψη αυτή. Δεν υπάρχει καμία απλή ακριβής μαθηματική επίλυση για την κίνηση περισσοτέρων από δύο αλληλεπιδρώντων σωμάτων. Αυτό συνέβαινε την εποχή του Νεύτωνα και παραμένει έτσι μέχρι σήμερα. Οι νόμοι του Νεύτωνα ισχύουν γιατί ο Ήλιος είναι πολύ βαρύτερος από κάθε άλλον πλανήτη. Ο Δίας, ο μεγαλύτερος πλανήτης, είναι χίλιες φορές ελαφρύτερος από τον Ήλιο. Έτσι σε μια περίοδο χιλιάδων ετών, μεταφέρει στη Γη ορμή που ισοδυναμεί σε μέγεθος με τη βαρυτική επίδραση που ασκεί σε αυτήν ο Ήλιος σ' ένα χρόνο. Γι' αυτό δε θα

προκαλούσε έκπληξη να παρατηρήσουμε σημαντικές αλλαγές στην τροχιά της Γης σε μια χρονική κλίμακα χιλιάδων χρόνων.

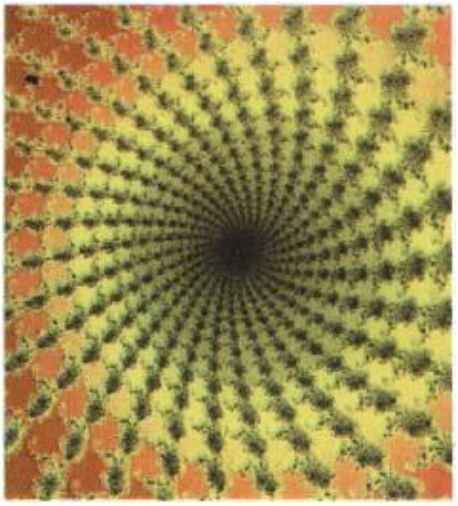
Ο Νεύτωνας εξέτασε το πρόβλημα αυτό και δεν του φάνηκε και τόσο ανησυχητικό. Ενδόμυχα, ελάχιστα αποδέχονταν τον απόμακρο Θεό των θεϊστών φίλων του.

Προτιμώντας κάποια θεότητα της Παλαιάς Διαθήκης που είχε να κάνει με τον καθημερινό συντονισμό των δημιουργημάτων Του. Το ηλιακό σύστημα θα διατηρείτο σταθερό με την άμεση επέμβαση ενός φιλάνθρωπου Κυρίου.

Ο Λαπλάς απέδειξε αργότερα πως οι αμοιβαίες έλξεις των πλανητών τείνουν σ' ένα μέσο όρο και η σταθερότητα που φοβόνταν ο Νεύτωνας ανέρχεται σ' έναν αριθμό αργών, κυκλικών μεταβολών των

πλανητικών τροχιών. Αλλά αυτά αποτελούσαν προσεγγιστικούς μόνο υπολογισμούς. Αργότερα, το 19^{ο} αιώνα, ο Ανρί Πουανκαρέ απηύθυνε το γενικό ερώτημα των αμοιβαίων αλληλεπιδράσεων τριών ακριβώς σωμάτων και βρήκε πως μερικές διατάξεις ήταν πολύ ασταθείς. Μερικές, μη μετρήσιμες διαφορές στις αρχικές συνθήκες μπορούσαν να οδηγήσουν σε ριζικές διαφορές στα τελικά αποτελέσματα. Ομολογώντας πως η σκέψη και μόνο των περιπτώσεων αυτών τον αρρώσταινε, ο Πουανκαρέ εγκατέλειψε τη μελέτη αυτή.

Σήμερα, με τη βοήθεια υπολογιστών, έχουν βρεθεί αμέτρητα παραδείγματα μη προβλεψιμότητας. Μελέτες των πιο παθολογικών περιπτώσεων φέρουν όνομα χάος.



Στη δεκαετία του 1960, οι άνθρωποι που προέβλεπαν τις καιρικές συνθήκες στράφηκαν στους υπολογιστές ελπίζοντας σε μια απάντηση για καλύτερες προβλέψεις μακράς διαρκείας. Η ατμόσφαιρα υπάκουε σε φυσικούς νόμους που είχαν καλά κατανοηθεί, αλλά ήταν τόσο μεγάλη και πολύπλοκη που μόνο μια υπερυπολογιστική μηχανή θα μπορούσε να παρακολουθήσει τη μελλοντική της εξέλιξη. Στα κατοπινά χρόνια, η ισχύς των υπολογιστών αυξήθηκε περισσότερο από εκατό χιλιάδες φορές και οι δορυφόροι παρείχαν ακόμη πιο λεπτομερείς πληροφορίες για τον καιρό. Όμως, η προβλεψιμότητα του καιρού παραμένει περιορισμένη στο όριο των πέντε

έως δέκα ημερών. Έχει ειπωθεί ότι κι ένα μόνο φτερούγισμα πεταλούδας σε μια ευαίσθητη περιοχή θα μπορούσε ίσως να καθορίσει κατά πόσο θα ξεσπάσει τυφώνας, ύστερα από εβδομάδες, χιλιάδες μίλια μακριά, σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή, ή θα αποβεί αβλαβής καθώς θα εξελιχθεί σε μια άγονη πεδιάδα.

Σήμερα, έχουμε συνειδητοποιήσει πως υπάρχουν όρια στη δυνατότητά μας να προβλέψουμε το μέλλον. Μερικά πράγματα, όπως οι πλανητικές κινήσεις, μπορούν να προβλεφθούν για χιλιετίες, άλλα για μερικές ώρες, μερικά μόνο για δέκατα του μικροδευτερολέπτου.

Ο εφιάλτης του ντετερμινισμού είναι ακριβώς αυτό που υπονοεί η ίδια η λέξη, ένα κακό όνειρο που έχει μικρή σχέση με την πραγμα-

τικότητα. Οποιοδήποτε μικρό σφάλμα στη γνώση μας για το παρόν μπορεί να οδηγήσει σε δραστικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο αντικρίζουμε το μέλλον.

Η κβαντική θεωρία έχει δείξει ότι ποτέ δεν ήταν δυνατό να έχουμε τέλεια γνώση του παρόντος. Το μέλλον, όπως καταλαβαίνουμε και με τη διαίσθησή μας, δε μας ανήκει για να το γνωρίζουμε.

Απόσπασμα από το βιβλίο:
"Φυσική για ποιητές"
του Robert March.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μελέτη της σχέσης της δύναμης με την κίνηση του σώματος. Οι δυνάμεις στη φύση εμφανίζονται κατά ζεύγη. Σύμφωνα μάλιστα με το νόμο **Δρά-**

σης - Αντίδρασης, όταν δύο σώματα αλληλεπιδρούν και το πρώτο ασκεί δύναμη $\vec{F}$ στο δεύτερο, τότε και το δεύτερο ασκεί αντίθετη δύναμη $-\vec{F}$ στο πρώτο. Οι δύο αυτές δυνάμεις ενεργούν σε διαφορετικά σώματα. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωμάτων πραγματοποιούνται είτε επειδή υπάρχει επαφή μεταξύ τους είτε επειδή καθένα απ' αυτά βρίσκεται στο πεδίο που δημιουργεί το άλλο. Αναφέρονται δε ως: α) **δυνάμεις από επαφή** και β) **δυνάμεις από απόσταση.**

Για να προσδιορίσουμε τη **συνισταμένη δυο δυνάμεων** χρησιμοποιούμε τον κανόνα του παραλληλογράμμου. Η διαγώνιος του παραλληλογράμμου που έχει πλευρές τις δύο δυνάμεις και περιέχεται μεταξύ τους είναι η συνισταμένη τους. Εφόσον δυνάμεις σχηματίζουν γω-

νία 90^{o}, η τιμή της συνισταμένης τους δίνεται από τη σχέση:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_1^2}$$

και η κατεύθυνσή της από τη σχέση

$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{F_2}{F_1} .$$

Για την **ανάλυση μιας δύναμης** σε συνιστώσες επιλέγουμε κατάλληλες διευθύνσεις και δημιουργούμε παραλληλόγραμμο προσδιορίζοντας, με παράλληλες προς τις γνωστές διευθύνσεις απ' το τέλος της δύναμης, τις δύο συνιστώσες δυνάμεις. Η σύνθεση πολλών ομοεπίπεδων δυνάμεων με κοινό σημείο εφαρμογής γίνεται με ανάλυση των δυνάμεων σε συνιστώσες. Οι συνιστώσες που βρίσκονται στον ίδιο άξονα έχουν ή ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση και προστίθενται εύκο-

λα. Τελικά καταλήγουμε στη σύνθεση δύο δυνάμεων κάθετων μεταξύ τους.

Για να ισορροπούν πολλές ομοεπίπεδες δυνάμεις που διέρχονται από το ίδιο σημείο, πρέπει η συνισταμένη τους να είναι μηδέν.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

Στην ειδική περίπτωση της ισορροπίας σώματος με την επίδραση δύο δυνάμεων αυτές, πρέπει να είναι αντίθετες. Όταν όμως επιδρούν τρεις δυνάμεις πρέπει η συνισταμένη των δύο να είναι αντίθετη της τρίτης.

Όταν ένα σώμα γλιστράει πάνω σε μια επιφάνεια, υπάρχει μια δύναμη στο σώμα που αντιστέκεται στην κίνησή του, και λέγεται **τριβή ή τριβή ολίσθησης.** Ονομάζουμε στατική τριβή εκείνη τη δύναμη τριβής

που εμφανίζεται όταν ένα σώμα δέχεται δύναμη και παρ' όλα αυτά παραμένει ακίνητο. Η δύναμη της στατικής τριβής δεν έχει σταθερή τιμή. Η μέγιστη τιμή της στατικής τριβής λέγεται **οριακή τριβή.** Η τριβή που αναπτύσσεται κατά την ολίσθηση λέγεται τριβή ολίσθησης και εκφράζεται ποσοτικά με τη σχέση: $T = \mu N$, όπου N η δύναμη που είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής.

Οριζόντια βολή είναι η σύνθετη επίπεδη κίνηση που αποτελείται από δύο απλές κινήσεις μια κατακόρυφη που είναι ελεύθερη πτώση και μια οριζόντια που είναι ευθύγραμμη ομαλή. Για να περιγράψουμε τις σύνθετες κινήσεις χρησιμοποιούμε την αρχή της **ανεξαρτησίας (ή αρχή της επαλληλίας)** των κινήσεων. Σύμφωνα με αυτή την αρχή όταν ένα κινητό εκτελεί ταυτό-

χρονα δύο ή περισσότερες κινήσεις, κάθε μία απ' αυτές εκτελείται εντελώς ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες και η θέση στην οποία φθάνει το κινητό μετά από χρόνο t, είναι η ίδια είτε οι κινήσεις εκτελούνται ταυτόχρονα, είτε εκτελούνται διαδοχικά, σε χρόνο t η κάθε μία.

Από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η σχέση $\vec{F} = m\vec{\alpha}$ ισοδυναμεί με τις σχέσεις:

$$\Sigma F_x = m\,\alpha_x$$

$$\Sigma F_y = m\,\alpha_y$$

όπου ΣF_x, ΣF_y, α_x και α_y, είναι οι συνιστώσες της συνισταμένης δύναμης και της επιτάχυνσης σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων αντίστοιχα.

'Ενα κινητό εκτελεί **ομαλή κυκλική κίνηση** όταν η τροχιά που διαγράφει είναι περιφέρεια κύκλου

και η τιμή της ταχύτητάς του παραμένει σταθερή. Περίοδος της κυκλικής κίνησης (Τ) ονομάζεται ο χρόνος που χρειάζεται το κινητό για να κάνει μία περιστροφή, ενώ ο αριθμός των περιστροφών που εκτελεί το κινητό στη μονάδα του χρόνου λέγεται συχνότητα (f) της κυκλικής κίνησης. Η μεταξύ τους σχέση είναι:

$$f = \frac{1}{T}$$

Η γραμμική ταχύτητα στην ομαλή κυκλική κίνηση έχει σταθερή τιμή και μεταβαλλόμενη κατεύθυνση μια και είναι εφαπτόμενη στην τροχιά ενώ η τιμή της δίνεται από τη σχέση $\upsilon = \frac{s}{T} = \frac{2\pi R}{T}$.

Στην ομαλή κυκλική κίνηση χρειάζεται η γνώση του ρυθμού με τον οποίο η επιβατική ακτίνα διαγράφει γωνίες γι’ αυτό ορίζεται το

διανυσματικό φυσικό μέγεθος που λέγεται **γωνιακή ταχύτητα ($\vec{w}$).** Η τιμή της είναι ίση με το σταθερό πηλίκο της γωνίας φ που διαγράφηκε από την επιβατική ακτίνα σε χρονικό διάστημα t δια του αντιστοίχου χρονικού διαστήματος. Δηλαδή:

$$\omega = \frac{\theta}{T} = \frac{2\pi}{T}$$

με μονάδα μέτρησης το 1rad/s και με διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο της τροχιάς στο κέντρο της και φορά που καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Η σχέση μεταξύ γραμμικής και γωνιακής ταχύτητας είναι:

$$\upsilon = \omega R$$

Επειδή στην ομαλή κυκλική κίνηση το διάνυσμα της ταχύτητας μεταβάλλεται, εμφανίζεται επιτάχυνση που έχει κατεύθυνση προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς και

λέγεται κεντρομόλος επιτάχυνση. Δίνεται δε από τη σχέση:

$$\alpha_{\kappa} = \frac{u^2}{R}$$

Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα επομένως, ασκείται δύναμη με κατεύθυνση επίσης προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς και γι' αυτό λέγεται κεντρομόλος δύναμη.

$$F_{\kappa} = m\alpha_{\kappa} = \frac{mu^2}{R}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ένα σώμα ηρεμεί πάνω σ' ένα τραπέζι. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης σώματος - τραπεζιού.

2. Το σώμα της προηγούμενης ερώτησης ποιες δυνάμεις δέχεται;

Να διακρίνετε ποια δύναμη είναι από επαφή και ποια από απόσταση.

3. Ένας άνθρωπος σπρώχνει ένα κιβώτιο που βρίσκεται σε οριζόντιο δάπεδο.

Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ κιβωτίου - ανθρώπου.

4. Να αναφέρετε τρία είδη δυνάμεων που είναι δυνάμεις από απόσταση.

5. Ένα ποδήλατο και ένα αυτοκίνητο συγκρούονται μετωπικά. Μεγαλύτερη δύναμη δρα πάνω στο ποδήλατο. Συμφωνείτε με αυτή την άποψη;

Δικαιολογήστε την απάντηση σας.

6. Να περιγράψετε τη διαδικασία υπολογισμού της συνισταμένης δύο δυνάμεων που είναι κάθετες μεταξύ τους.

7. Ένα κιβώτιο βρίσκεται σε οριζόντιο δάπεδο και ηρεμεί. Για να ξεκινήσει το κιβώτιο απαιτείται να ασκηθεί σ' αυτό μια δύναμη οποιασδήποτε τιμής.

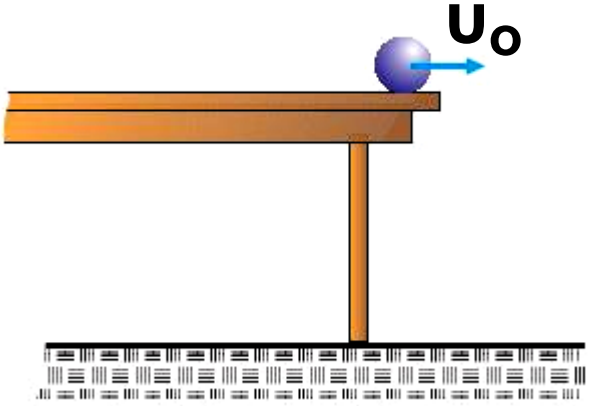
Συμφωνείτε με την άποψη αυτή;

8. Η τριβή ολίσθησης που δέχεται ένα σώμα είναι δύναμη επαφής ή δύναμη από απόσταση;

9. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η δύναμη τριβής ολίσθησης που δέχεται ένα σώμα;

10. Με ποιο τρόπο μπορούμε να ελαττώσουμε τις δυνάμεις τριβής μεταξύ δύο σωμάτων;

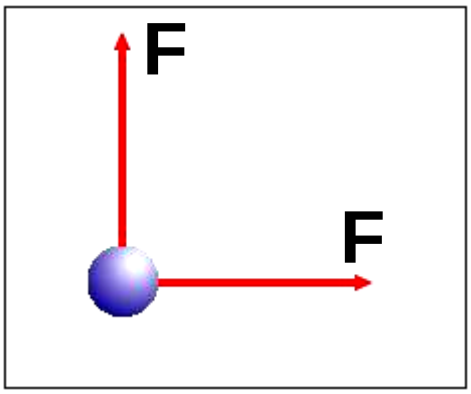
11. Μια σφαίρα ηρεμεί στην άκρη ενός τραπεζιού. Στη σφαίρα δίνεται ταχύτητα $υ_o$, όπως φαίνεται στην εικόνα. Να γράψετε τις εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση της σφαίρας και να εξηγήσετε πώς υπολογίζεται ο χρόνος που κάνει να πέσει η σφαίρα στο δάπεδο.



12. Η σφαίρα της προηγούμενης ερώτησης αποκτά αρχική ταχύτητα $2\upsilon_o$. Ο χρόνος πτώσης της σφαίρας θα αλλάξει σε σχέση με πριν;

13. Ένα αεροπλάνο ταξιδεύει παράλληλα προς το έδαφος. Από το αεροπλάνο αφήνεται μια βόμβα. Για ποιο λόγο η βόμβα δεν πέφτει κατακόρυφα;

14. Μια σφαίρα μάζας m δέχεται δυνάμεις που είναι κάθετες με τιμή F η κάθε μια, όπως φαίνεται στην εικόνα.



Να σχεδιάσετε την επιτάχυνση που αποκτά η σφαίρα και να γράψετε τη σχέση από την οποία υπολογίζεται η τιμή της.

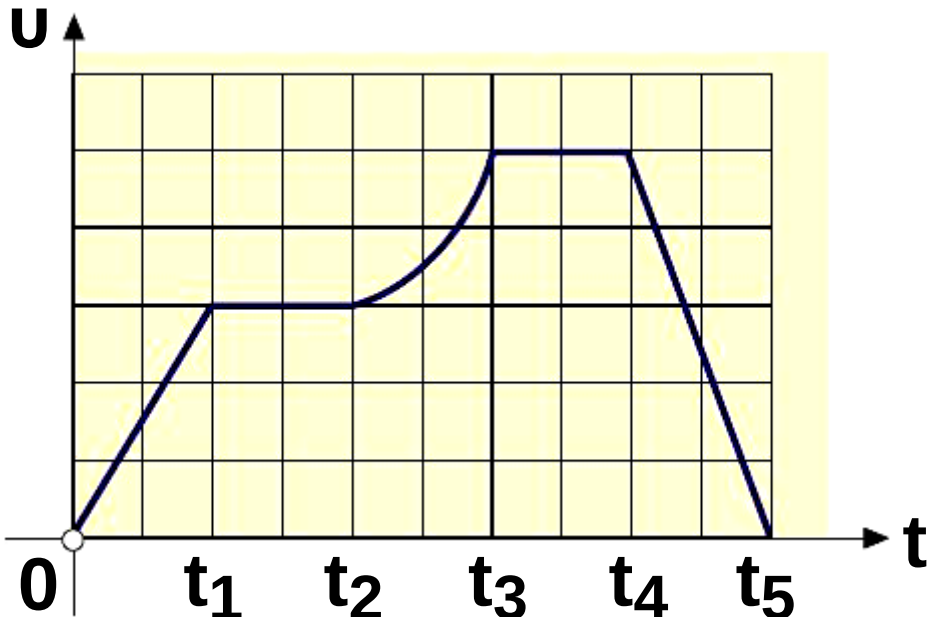
15. Ένα κιβώτιο ισορροπεί πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο. Να αναλύσε-

τε τις δυνάμεις και να γράψετε τη συνθήκη ισορροπίας.

16. Ένα σωμάτιο ισορροπεί υπό την επίδραση τριών ομοεπιπέδων δυνάμεων.

Ποια συνθήκη πρέπει να ισχύει στην περίπτωση αυτή;

17. Παρατηρήστε τη γραφική παράσταση που φαίνεται στην εικόνα. Σε ποια χρονικά διαστήματα εφαρμόστηκε μια δύναμη πάνω στο σώμα;



18. Ένα αερόστατο αιωρείται σε σταθερό ύψος. Τι μπορούμε να πούμε για τις δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτό και τη συνισταμένη τους;

19. Πότε η κίνηση ενός σώματος χαρακτηρίζεται ομαλή κυκλική;

20. Πώς ορίζεται η γωνιακή ταχύτητα στην ομαλή κυκλική κίνηση;

21. Τα σημεία ενός δίσκου CD κάνουν ομαλή κυκλική κίνηση. Όλα τα σημεία του δίσκου CD έχουν την ίδια περίοδο; Έχουν και ίδιες ταχύτητες;

22. Να αποδείξετε τη σχέση που συνδέει τη γραμμική με τη γωνιακή ταχύτητα στην ομαλή κυκλική κίνηση.

23. Στην ομαλή κυκλική κίνηση ενός αντικειμένου εμφανίζεται επιτάχυνση. Από ποια σχέση υπολογίζουμε την τιμή της;
Ποια είναι η κατεύθυνση της επιτάχυνσης του αντικειμένου;

24. Στην ομαλή κυκλική κίνηση ενός αντικειμένου να εφαρμόσετε το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής και να βγάλετε σχέση μεταξύ της δύναμης και της ταχύτητας.

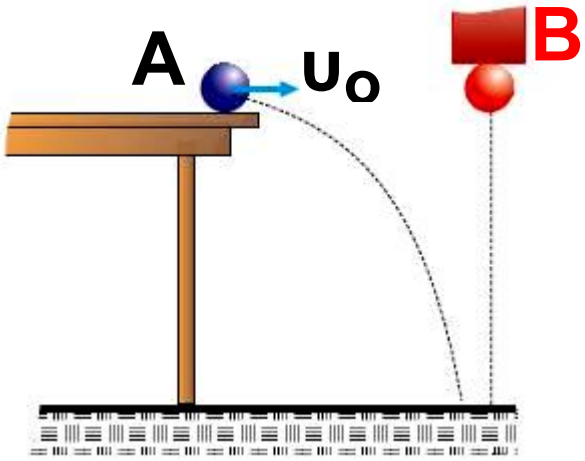
25. Σε ποια από τις παρακάτω περιπτώσεις εφαρμόζουμε την αρχή της δράσης -αντίδρασης.
Α. Μόνο όταν τα σώματα ισορροπούν.
Β. Μόνο όταν τα σώματα είναι σε κίνηση.
Γ. Μόνο όταν δεν υπάρχει τριβή.
Δ. Σε οποιαδήποτε περίπτωση.

26. Ένας μαγνήτης τοποθετείται κοντά σε μια σιδερένια βίδα.
Τότε:
Α. Μόνο ο μαγνήτης ασκεί δύναμη στη βίδα.
Β. Μόνο η βίδα ασκεί δύναμη στο μαγνήτη.
Γ. Η βίδα ασκεί δύναμη στο μαγνήτη και ο μαγνήτης ασκεί αντίθετη δύναμη στη βίδα.

27. Όταν τοποθετήσουμε πάνω σε ένα τραπέζι ένα σιδερένιο σφαιρίδιο, κοντά σε ένα μεγάλο μαγνήτη, το σφαιρίδιο κινείται προς το μαγνήτη και όχι αντίστροφα. Αυτό συμβαίνει γιατί:
Α. Ο μαγνήτης ασκεί δύναμη και όχι το σφαιρίδιο.
Β. Το κάθε σώμα ασκεί δύναμη στο άλλο αλλά η δύναμη που δέχεται το σφαιρίδιο είναι μεγαλύτερη.

Γ. Το κάθε σώμα ασκεί στο άλλο δύναμη ίσης τιμής, αλλά ο μαγνήτης έχει μεγάλη μάζα και η δύναμη αυτή δεν μπορεί να τον κινήσει.

28. Στην εικόνα φαίνονται δύο πανομοιότυπες σφαίρες. Η σφαίρα Α αφήνει το τραπέζι την ίδια στιγμή που η σφαίρα Β αφήνει τον μαγνήτη.



Ποια σφαίρα φτάνει πρώτη στο πάτωμα;
Α. Φτάνει πρώτα η σφαίρα Β.
Β. Φτάνει πρώτα η σφαίρα Α.
Γ. Φτάνουν ταυτόχρονα.
Δ. Δεν μπορούμε να απαντήσουμε γιατί δεν γνωρίζουμε το ύψος.

29. Ένα σώμα κινείται σε οριζόντιο δάπεδο που δεν είναι λείο, με επι-

τάχυνση α. Στο σώμα ασκείται σταθερή δύναμη F προς τα εμπρός.

Ποια σχέση περιγράφει το φαινόμενο;

Α. F = m α.

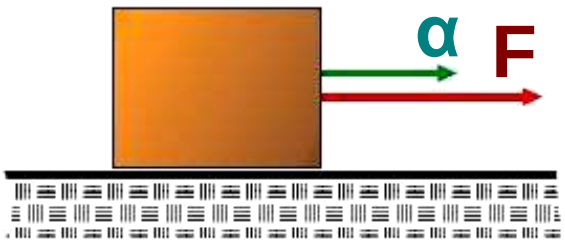
Β. s = υ t.

Γ. F - T = m α.

Δ. T = m α.

30. Ένα αντικείμενο σύρεται όπως φαίνεται στην εικόνα, με την επίδραση δύναμης F. Το αντικείμενο αποκτά επιτάχυνση α. Αν στο αντικείμενο ασκηθεί δύναμη 2F αυτό αποκτά επιτάχυνση 2α.

Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;



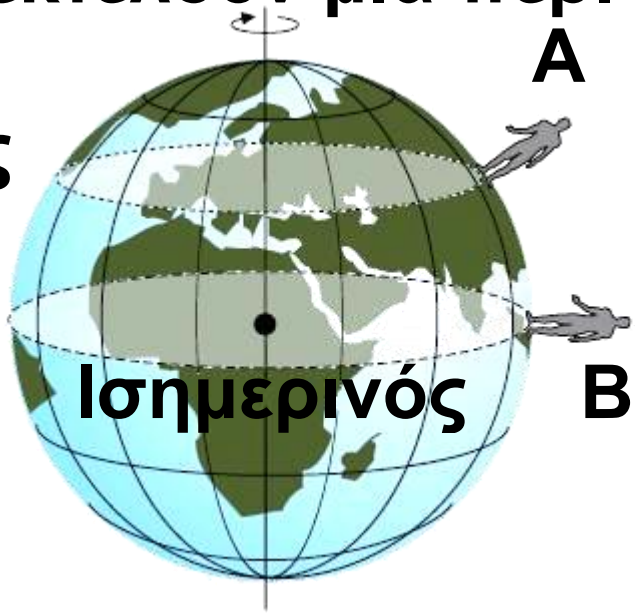
Α. Στο σώμα ασκείται τριβή.

Β. Στο σώμα δεν ασκείται τριβή.

Γ. F - T = m α.

Δ. Τίποτα από τα παραπάνω.

31. Θεωρούμε δύο ανθρώπους που βρίσκονται στα σημεία Α και Β, της γήινης επιφάνειας. Λόγω της περιστροφής της Γης εκτελούν μια περιστροφή σε 24h.



Ποιος από τους δύο έχει μεγαλύτερη ταχύτητα;

Α. Ο άνθρωπος που είναι στο σημείο Α.

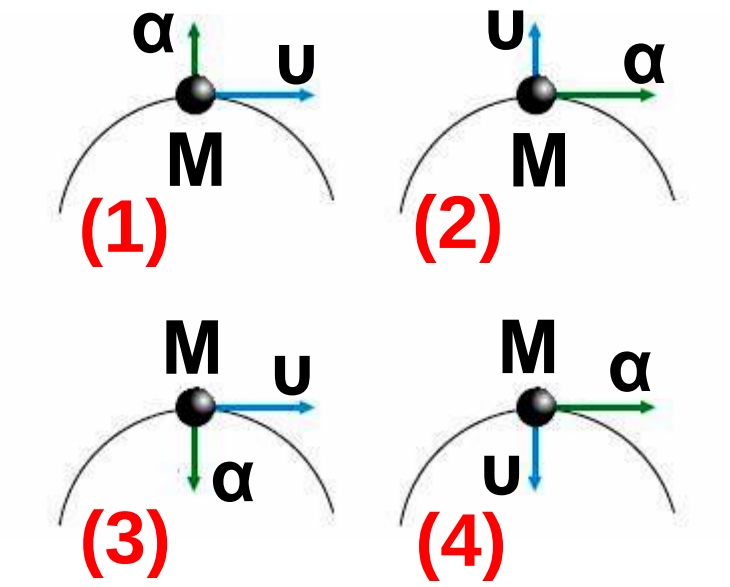
Β. Ο άνθρωπος που είναι στο σημείο Β.

Γ. Και οι δύο έχουν ίσες ταχύτητες.

Δ. Δεν μπορούμε να ξέρουμε με αυτά τα δεδομένα.

32. Ένα σημείο Μ κινείται πάνω σε μια περιφέρεια.

Ποιο από τα σχήματα της επόμενης σελίδας είναι σωστό;



33. Μια μοτοσυκλέτα κινείται σε κυκλική πίστα με ταχύτητα σταθερής τιμής. Όταν διπλασιαστεί η τιμή της ταχύτητας η κεντρομόλος επιτάχυνση, είναι:

Α. Ίδια.

Β. Διπλασιάζεται.

Γ. Υποδιπλασιάζεται.

Δ. Τετραπλασιάζεται.

34. Να χαρακτηρίσετε με το γράμμα (Σ) τις σωστές και με το γράμμα (Λ) τις λάθος προτάσεις:

Α. Οι δυνάμεις μεταξύ δύο μαγνητών είναι δυνάμεις από απόσταση.
Β. Η τάση του νήματος είναι δύναμη επαφής.
Γ. Το βάρος ενός σώματος είναι δύναμη επαφής.
Δ. Η δύναμη της άνωσης είναι δύναμη από απόσταση.

35. Να χαρακτηρίσετε με το γράμμα (Σ) τις σωστές και με το γράμμα (Λ) τις λανθασμένες προτάσεις:
Α. Ένα σώμα βάλλεται οριζόντια από ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Η οριζόντια απόσταση που διανύει μέχρι να φτάσει στο έδαφος είναι ανάλογη της αρχικής ταχύτητας $υ_o$ που εκτοξεύεται.
Β. Ένα σώμα κινείται σε οριζόντιο δάπεδο με την επίδραση σταθερής οριζόντιας δύναμης F η επιτάχυνση

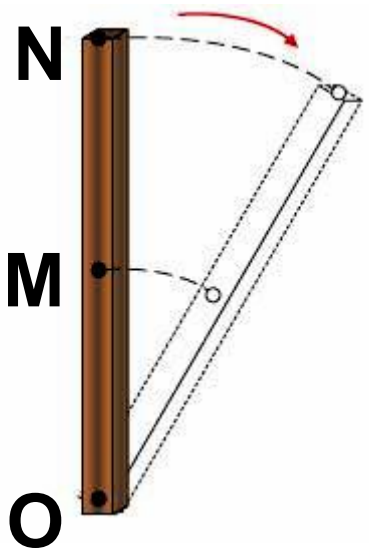
του σώματος προσδιορίζεται από τη σχέση $\alpha = \frac{F - T}{m}$.

Γ. Δύο δυνάμεις με τιμή F η καθεμία, είναι κάθετες μεταξύ τους. Η τιμή της συνισταμένης δύναμης είναι $F_{ολ} = 2F$.

36. Η ράβδος που φαίνεται στην εικόνα περιστρέφεται γύρω από άξονα που περνά από το σημείο Ο και είναι κάθετος στο επίπεδο της σελίδας.

Ποιες απο τις επόμενες σχέσεις είναι σωστές και ποιες λάθος;

Να δικαιολογήσετε τις απαντήσεις σας.



Α. $υ_M > υ_N$

Β. $w_M > w_N$

Γ. $υ_M < υ_N$

Δ. $α_M < α_N$

37. Ένα σώμα που ηρεμεί σε κεκλιμένο επίπεδο, σπρώχνεται και κατεβαίνει με σταθερή ταχύτητα. Να χαρακτηρίσετε με το γράμμα (Σ) τις σωστές και με το γράμμα (Λ) τις λανθασμένες προτάσεις:
Α. Η συνισταμένη των δυνάμεων που δέχεται το σώμα είναι μηδέν.
Β. Το σώμα δεν δέχεται δύναμη τριβής.
Γ. Το σώμα έχει σταθερή επιτάχυνση.

38. Να συμπληρώσετε τα κενά στο κείμενο.
Α. Ο νόμος δράσης-αντίδρασης λέει ότι: Αν ένα σώμα Α ασκεί ..... F σε ένα σώμα Β, τότε και το σώμα Β ασκεί ..... δύναμη στο σώμα Α. Οι δυνάμεις δράση-αντίδραση ασκούνται σε .....σώματα,

άρα δεν μπορούμε να μιλάμε για τη .....τους.
Β. Ένα μικρό πακέτο αφήνεται από αεροπλάνο που πετά οριζόντια σε ύψος h. Τη στιγμή που αφήνεται το πακέτο αυτό έχει ταχύτητα ίδιας τιμής με τη ταχύτητα του .... Η κίνηση του πακέτου μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από τη σύνθεση δύο επιμέρους κινήσεων. Μια η οποία εξελίσσεται σε οριζόντια διεύθυνση και είναι .... και μια που εξελίσσεται σε κατακόρυφη διεύθυνση και είναι .....

39. Να συμπληρωθούν τα κενά στο παρακάτω κείμενο. Στην ομαλή κυκλική κίνηση ενός αντικειμένου εμφανίζεται ..... επιτάχυνση. Η τιμή της επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση ..... Η γραμμική

ταχύτητα του αντικειμένου συνδέεται με τη γωνιακή του με τη σχέση ..... Η τιμή της γραμμικής ταχύτητας παραμένει ..... ενώ αλλάζει συνέχεια η ..... της.

40. Στις παρακάτω προτάσεις να συμπληρωθούν τα κενά με τις λέξεις: μεγαλύτερη, μικρότερη, σταθερή.
Α. Ο ωροδείκτης ενός ρολογιού έχει ..... γωνιακή ταχύτητα από το λεπτοδείκτη.
Β. Η τιμή της ταχύτητας του άκρου του λεπτοδείκτη είναι .....
Γ. Ο λεπτοδείκτης έχει ..... περίοδο από τον ωροδείκτη.

41. Στις παρακάτω σχέσεις, που αφορούν την ομαλή κυκλική κίνηση

ενός σώματος, να συμπληρώσετε τα κενά με τα σύμβολα υ, ω, ν, R.

Α. $\upsilon = 2\pi f$ ..... Β. $T = \frac{1}{.....}$

Γ. υ = ... R Δ. s = ... t

42. Να συμπληρωθούν τα κενά των παρακάτω σχέσεων.

Α. $F_{\kappa} = \frac{m}{R}$ Β. $\alpha = \frac{\upsilon^2}{.....}$

Γ. $\omega = \frac{\upsilon}{.....}$ Δ. Τ = μ .....

43. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;

Α. Η άσκηση δύναμης απαιτεί δύο σώματα.

Β. Το σώμα Α έχει δύναμη.

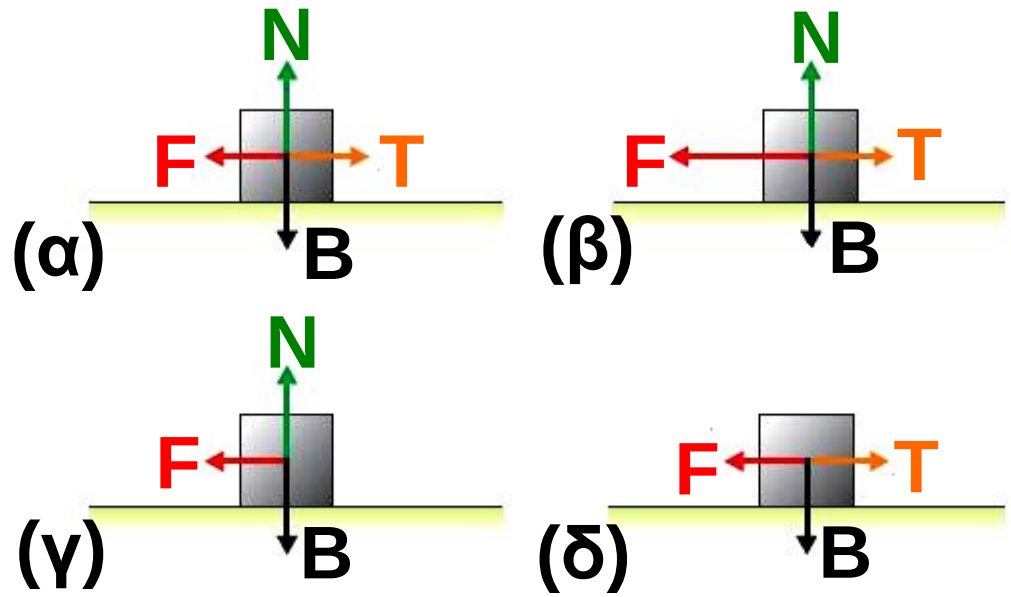
Γ. Το σώμα Α αποκτά δύναμη.

Δ. Το σώμα Α δέχεται δύναμη από το σώμα Β.

Ε. Το σώμα Β ασκεί δύναμη στο σώμα Α.

44. Ένα σώμα κινείται προς τα αριστερά με σταθερή ταχύτητα.

Ποια από τις παρακάτω εικόνες αναπαριστά σωστά τις δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα;



45. Σε μια διελκυστίνδα είναι ένας γίγαντας και ένα παιδί. Ποιος από τους δύο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στον άλλο;
Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

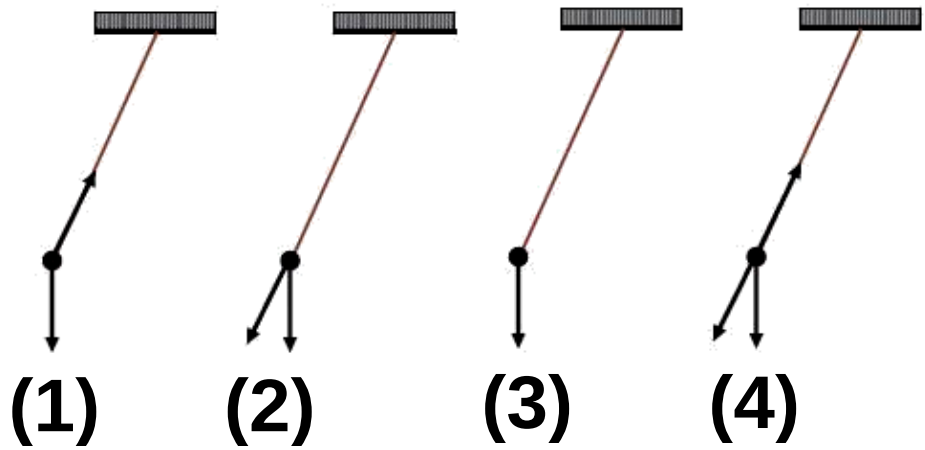
Α. Το παιδί.
Β. Ο γίγαντας.
Γ. Κανείς από τους δύο.

46. Ο οδηγός ενός αυτοκινήτου που κινείται σε ευθύγραμμο τμήμα ενός αυτοκινητόδρομου πατάει γκάζι, με αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να αποκτήσει επιτάχυνση α.
Α. Το γινόμενο mα είναι ίσο με τη δύναμη της τριβής που επιταχύνει το αυτοκίνητο.
Β. Το γινόμενο mα είναι ίσο με τη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο αυτοκίνητο.
Γ. Το γινόμενο mα είναι ίσο με τη δύναμη του κινητήρα.

47. Ένα βιβλίο ισορροπεί πάνω σ' ένα θρανίο. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές.

Α. Η ισορροπία του είναι αποτέλεσμα του νόμου της δράσης - αντίδρασης.
Β. Το θρανίο δεν ασκεί δύναμη στο βιβλίο.
Γ. Το βιβλίο ισορροπεί, διότι η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται πάνω του είναι μηδέν.
Δ. Το βιβλίο ισορροπεί, διότι όλες οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω του είναι ίσες.

48. Σε ποιο από τα σχήματα της επόμενης εικόνας έχουν σχεδιαστεί σωστά οι δυνάμεις που ασκούνται στο σφαιρίδιο του εκκρεμούς; Η αντίσταση του αέρα θεωρείται αμελητέα.

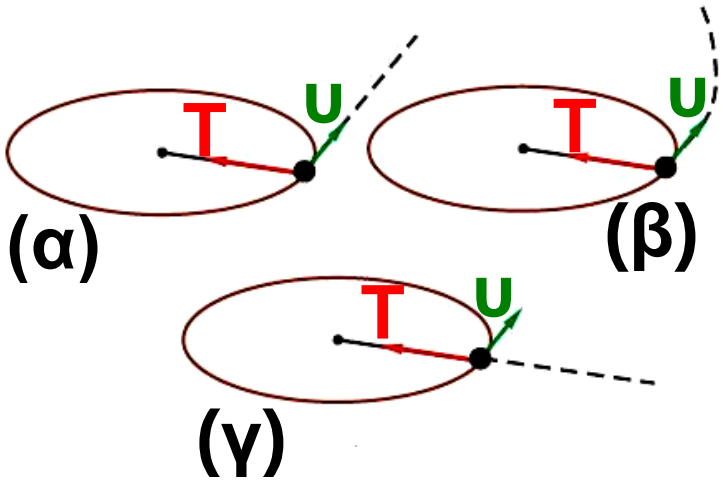


49. Ένας μαθητής ασκεί οριζόντια δύναμη σ' ένα μεγάλο κιβώτιο, που περιέχει όργανα Φυσικής και βρίσκεται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο αλλά αυτό δεν κινείται.
Α. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που ασκούνται στο κιβώτιο και να εξηγήσετε την ισορροπία του.
Β. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που ασκούνται στο μαθητή και να δώσετε μια ερμηνεία για την ισορροπία του.

50. Ένας άνθρωπος περπατά σε οριζόντιο δρόμο. Η δύναμη που τον κινεί είναι:
Α. Η δύναμη της τριβής που ασκείται στα πέλματα των ποδιών του.
Β. Η δύναμη των ποδιών του.
Γ. Η αντίδραση του εδάφους.
Δ. Η δύναμη που ασκεί στο έδαφος.

51. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;
Α. Για να πραγματοποιήσει ένα σώμα κυκλική κίνηση δεν απαιτείται δύναμη.
Β. Ένα σώμα που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση δεν επιταχύνεται.
Γ. Για να πραγματοποιήσει κυκλική κίνηση ένα σώμα πρέπει να ασκείται πάνω του κεντρομόλος δύναμη.

52. Το σφαιρίδιο της εικόνας περιφέρεται κυκλικά σε οριζόντιο επίπεδο λόγω της δύναμης που του ασκεί το νήμα. Αν κοπεί το νήμα, στη θέση που φαίνεται στις εικόνες, ποια εικόνα αναπαριστά την μετέπειτα τροχιά του σφαιριδίου;



53. Ένα σώμα επιταχύνεται με την επίδραση μιας δύναμης που για κάποιο λόγο αρχίζει να ελαττώνεται. Ένας μαθητής υποστηρίζει ότι αυτό θα προκαλέσει ελάττωση της επιτάχυνσης και κατά συνέπεια και στην ταχύτητα του σώματος.

Ποια είναι η δική σας άποψη;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Έστω μια δύναμη F = 10N. Να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες F_1 και F_2, που είναι κάθετες μεταξύ τους και έχουν ίσες τιμές.

2. Δύο δυνάμεις F_1 = 4N και F_2 = 5N ασκούνται στο ίδιο σωμάτιο και

είναι κάθετες μεταξύ τους. Να βρεθεί η δύναμη F_3 που πρέπει να ασκηθεί στο σωμάτιο, ώστε αυτό να ισορροπεί.

3. Στο ίδιο σημείο ενός σώματος μάζας 1kg ασκούνται δύο κάθετες μεταξύ τους δυνάμεις $F_1 = 6N$ και $F_2 = 8N$.

Να προσδιορίσετε την επιτάχυνση που αποκτά το σώμα (μέτρο και κατεύθυνση).

4. Ένας αστροναύτης βρίσκεται στη Σελήνη, και αφήνει ένα σώμα από ύψος 7,2m που φτάνει στο έδαφος μετά από 3s.

Α. Πόση είναι η επιτάχυνση βαρύτητας στη Σελήνη;

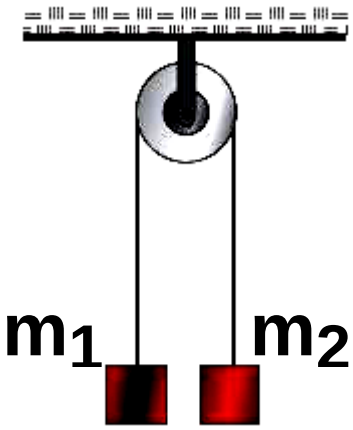
Β. Αν ο αστροναύτης πετάξει το σώμα οριζόντια με ταχύτητα 12m/s από το ίδιο ύψος,

i) Πόσος χρόνος χρειάζεται μέχρι να φτάσει το σώμα στο έδαφος;
ii) Πόση οριζόντια απόσταση θα διανύσει μέχρι να φτάσει στο έδαφος;

5. Ένα αεροπλάνο πετά οριζόντια σε ύψος h = 500m με ταχύτητα 150 m/s και αφήνει μια βόμβα.
Α. Να γράψετε τις εξισώσεις για την ταχύτητα και τη μετατόπιση που περιγράφουν την κίνηση της βόμβας.
Β. Αν ο χρόνος πτώσης της βόμβας είναι 10s, να υπολογίσετε την επιτάχυνση της βαρύτητας.
Γ. Να βρείτε το σημείο που βρίσκεται το αεροπλάνο όταν η βόμβα φτάνει στο έδαφος.

6. Τα σώματα που φαίνονται στην εικόνα της επόμενης σελίδας έχουν μάζες m_1 = 3kg και m_2 = 1kg. Το σύ-

στημα αφήνεται ελεύθερο από την ηρεμία.



Α. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που δέχεται κάθε σώμα και να εφαρμόσετε για το καθένα το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής.

Β. Να υπολογιστεί η επιτάχυνση του κάθε σώματος.

Γ. Να υπολογιστεί η τάση του νήματος. Να θεωρήσετε ότι και τα δύο σώματα δέχονται την ίδια τάση και ότι το $g = 10\ m/s^2$.

7. Ένα σώμα αφήνεται να γλιστρήσει από την κορυφή λείου κεκλιμένου επιπέδου, γωνίας κλίσης $\varphi = 30^o$.

Α. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που δέχεται το σώμα και να εφαρμόσετε το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής

για την περίπτωση αυτή.
Β. Να υπολογίσετε την επιτάχυνση με την οποία θα κινηθεί το σώμα.

*8. Ελικόπτερο έχει μάζα M = = 1.920kg και ο πιλότος μάζα m = = 80kg. Το σύστημα ανυψώνεται κατακόρυφα με επιτάχυνση 2 m/s^2.
Α. Να σχεδιαστούν οι δυνάμεις που δέχονται ο πιλότος και το ελικόπτερο.
Β. Να υπολογιστεί η ανυψωτική δύναμη που ασκείται στο ελικόπτερο.
Γ. Να υπολογιστεί η δύναμη που δέχεται ο πιλότος από το κάθισμα.
Δίνεται g = 10 m/s^2.

*9. Ένα κιβώτιο μάζας 5kg ηρεμεί σε οριζόντιο δάπεδο και δέχεται οριζόντια δύναμη F = 30N. Μετά

από 10m έχει αποκτήσει ταχύτητα 10 m/s.
Α. Να υπολογιστεί η τιμή της επιτάχυνσης του σώματος.
Β. Να δικαιολογήσετε γιατί υπάρχει δύναμη τριβής και να υπολογίσετε την τιμή της.
Γ. Να υπολογίσετε την τιμή του συντελεστή της τριβής ολίσθησης.
Δίνεται: $g = 10\ m/s^2$.

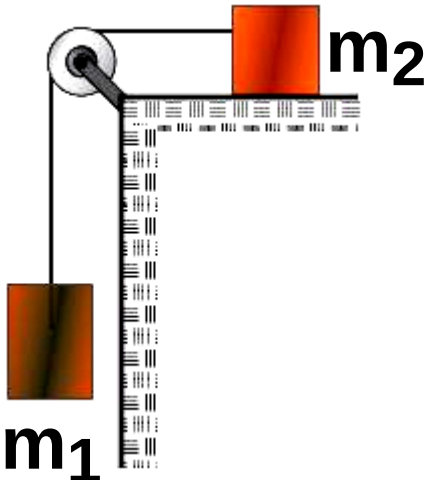
10. Ο οδηγός ενός αυτοκινήτου έχει μάζα 60kg και φορά τη ζώνη ασφαλείας. Το αυτοκίνητο κινείται με ταχύτητα 30m/s πριν χτυπήσει σε τοίχο. Η ζώνη ασφαλείας επιτρέπει στον οδηγό να κινηθεί προς τα εμπρός, σε σχέση με την αρχική του θέση στο κάθισμα κατά 0,2m.
Να υπολογίσετε:
Α. Την επιβράδυνση του οδηγού.

Β. Τη δύναμη που δέχεται από τη ζώνη ασφαλείας.

11. Μια φορητή ντουλάπα έχει συνολικό βάρος 250 N και μετακινείται με σταθερή ταχύτητα, όταν ασκείται σ' αυτή οριζόντια δύναμη 120 N.
Α. Να υπολογίσετε τον συντελεστή τριβής μεταξύ πατώματος και ντουλάπας.
Β. Αν αδειάσουμε την ντουλάπα ώστε να μειωθεί το βάρος της στα 160 N, πόση οριζόντια δύναμη πρέπει να ασκήσουμε για να κινηθεί με σταθερή ταχύτητα;

***12. Τα σώματα της εικόνας της επόμενης σελίδας έχουν μάζες $m_1 = 8kg$ και $m_2 = 12kg$. Ο συντελεστής τριβής του σώματος μάζας m_2 με το δάπεδο είναι 0,25. Το σύστημα αφήνεται ελεύθερο να κινηθεί.**

Α. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που δέχεται κάθε σώμα.
Β. Να εφαρμόσετε το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής για κάθε σώμα.



Γ. Να υπολογίσετε την τιμή της επιτάχυνσης με την οποία κινείται κάθε σώμα. Δίνεται: g = 10 m/s^2.

13. **Ένα σώμα μάζας m = 1kg αφήνεται να ολισθήσει από την κορυφή ενός κεκλιμένου επιπέδου γωνίας κλίσης φ = 30^o. Ο συντελεστής τριβής σώματος - δαπέδου είναι**

$$\mu = \frac{\sqrt{3}}{6}.$$

Α. Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που δέχεται το σώμα.
Β. Να υπολογίσετε τη δύναμη της τριβής.

Γ. Να υπολογίσετε το διάστημα που διανύει το σώμα σε 1s. Δίνεται: $g = 10\ m/s^2$.

***14. Ένα όχημα έχει λάστιχα διαμέτρου 0,8m. Βρείτε τη ταχύτητα και την κεντρομόλο επιτάχυνση ενός σημείου στο πέλμα του ελαστικού όταν το αυτοκίνητο κινείται με ταχύτητα 35 m/s.**

***15. Υπολογίστε την ταχύτητα και την κεντρομόλο επιτάχυνση που οφείλεται στην περιστροφή της Γης, ενός αντικειμένου που βρίσκεται στον Ισημερινό της Γης. Δίνεται ότι η ακτίνα του Ισημερινού είναι 6.380 km. Η περίοδος περιστροφής της Γης είναι Τ = 24h.**

16. Ένα pulsar (ταχέως περιστρεφόμενο αστέρι νετρονίων) έχει διά-

μετρο 13,8 km και περιστρέφεται με συχνότητα 8,5 Hz. Υπολογίστε την ταχύτητα και την κεντρομόλο επιτάχυνση ενός σημείου που βρίσκεται στον Ισημερινό του αστεριού.

17. Ένας περιστρεφόμενος κάδος στεγνωτήρα λειτουργεί εκτελώντας 780 περιστροφές το λεπτό. Ο κάδος έχει διάμετρο 0,66m. Υπολογίστε:
Α. Την ταχύτητα ενός σημείου που βρίσκεται πάνω στο τοίχωμα του κάδου.
Β. Την κεντρομόλο επιτάχυνση ενός σημείου του τοιχώματος.

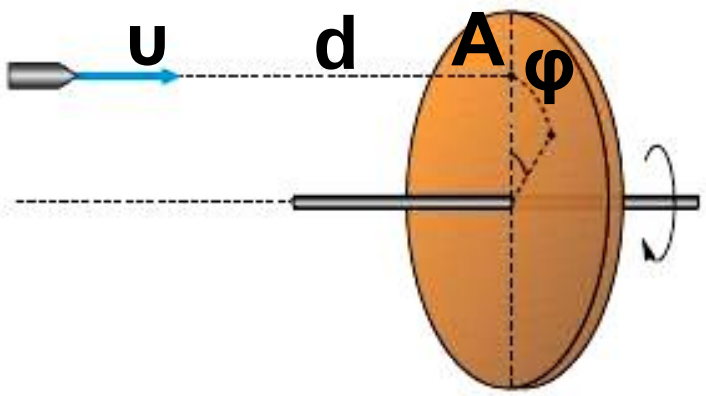
***18.** Ένα αυτοκίνητο κινείται με σταθερή ταχύτητα, γύρω από μια κυκλική πλατεία διαμέτρου 135,2m. Στην κίνηση αυτή η τριβή μεταξύ των τροχών και του οδοστρώματος, η οποία εμποδίζει την πλευρική

ολίσθηση του αυτοκινήτου, λειτουργεί ως κεντρομόλος δύναμη. Εάν αυτή η τριβή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 25% του βάρος του αυτοκινήτου, υπολογίστε τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινείται το αυτοκίνητο χωρίς να ολισθαίνει.
Δίνεται $g = 10\ m/s^2$.

19. Να βρεθούν η περίοδος του ωροδείκτη και η περίοδος του λεπτοδείκτη ενός ρολογιού. Κάποια στιγμή το ρολόι δείχνει 12 το μεσημέρι. Μετά από πόση ώρα οι δείκτες σχηματίζουν γωνία π/3 για πρώτη φορά;

20. Τη στιγμή που το βλήμα που φαίνεται στην εικόνα της επόμενης σελίδας απέχει απόσταση d = 2m από το σημείο Α του δίσκου έχει

ταχύτητα υ=400 m/s. Ο δίσκος περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω. Τη στιγμή που το βλήμα κτυπά στο δίσκο, το σημείο Α έχει περιστραφεί κατά γωνία φ=45^{o}.



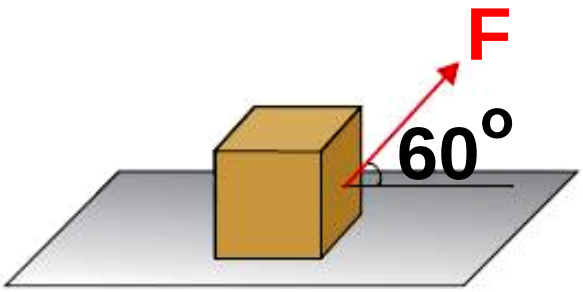
Να βρείτε τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δίσκου.

21. Δορυφόρος εκτελεί κυκλική κίνηση σε ύψος h=6.400km από την επιφάνεια της Γης και έχει περίοδο 4h. Αν η ακτίνα της Γης είναι R = = 6.400km, να υπολογιστούν

Α. Η ταχύτητα περιστροφής του δορυφόρου.

Β. Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δορυφόρου.

***22.** Ένα σώμα μάζας m=10kg ηρεμεί σε λείο οριζόντιο επίπεδο. Ασκούμε στο σώμα δύναμη F=40N η οποία σχηματίζει γωνία 60^o με το οριζόντιο επίπεδο. Να υπολογίσετε:



Α. Τη δύναμη που δέχεται το σώμα από το οριζόντιο επίπεδο.

Β. Την ταχύτητα του σώματος μετά από 5s.

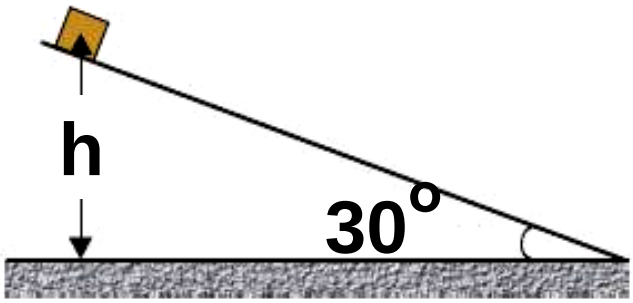
Γ. Την απόσταση που διανύει το σώμα κατά τη διάρκεια του πέμπτου δευτερόλεπτου της κίνησής του. Δίνεται g = 10 m/s^2.

***23.** Υποθέστε ότι πρέπει να μετακινήσουμε ένα κιβώτιο βάρους 1.000N, το οποίο ισορροπεί πάνω σε οριζόντιο επίπεδο με το οποίο

έχει συντελεστή τριβής ολίσθησης μ=0,2.
Α. Ποια είναι η μικρότερη οριζόντια δύναμη που πρέπει να εφαρμόσουμε, ώστε να μετακινήσουμε το κιβώτιο;
Β. Αν εφαρμόσουμε οριζόντια δύναμη 500N με ποια επιτάχυνση θα κινηθεί το κιβώτιο;
Γ. Πόσος χρόνος θα χρειαστεί για την μετακίνηση του κιβωτίου, κατά 24m με τη δύναμη των 500N; Ποια θα είναι τότε η ταχύτητα του κιβωτίου; Δινεται g = 10 m/s^2. (Να δεχθείτε ότι οριακή τριβή είναι ίση με την τριβή ολίσθησης).

*24. Στην κορυφή Α ενός λείου κεκλιμένου επιπέδου ύψους h = 5m και γωνίας θ=30°, αφήνουμε ένα σώμα μάζας m=1kg.

Να υπολογίσετε:



Α. Την αντίδραση που ασκείται στο σώμα από το κεκλιμένο επίπεδο.

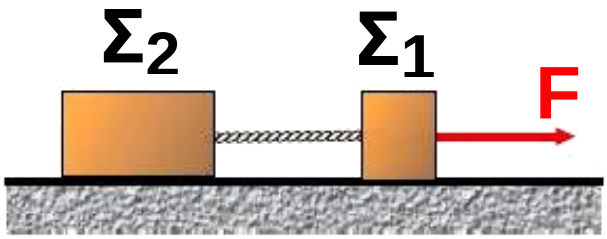
Β. Την επιτάχυνση με την οποία κινείται το σώμα.

Γ. Το χρόνο κίνησης του σώματος στο κεκλιμένο επίπεδο και την ταχύτητα με την οποία φτάνει στη βάση του.

Δ. Την ταχύτητα με την οποία θα φτάσει το σώμα στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου, αν η γωνία γίνει 45^o. Δίνεται $g = 10\ m/s^2$.

***25.** Τα σώματα $Σ_1$ και $Σ_2$ έχουν αντίστοιχα βάρος $B_1 = 200N$ και $B_2 = 500N$ και έλκονται από μια σταθερή δύναμη F, όπως φαίνεται στην εικόνα της επόμενης σελίδας. Αν η κοινή επιτάχυνση με την οποία κι-

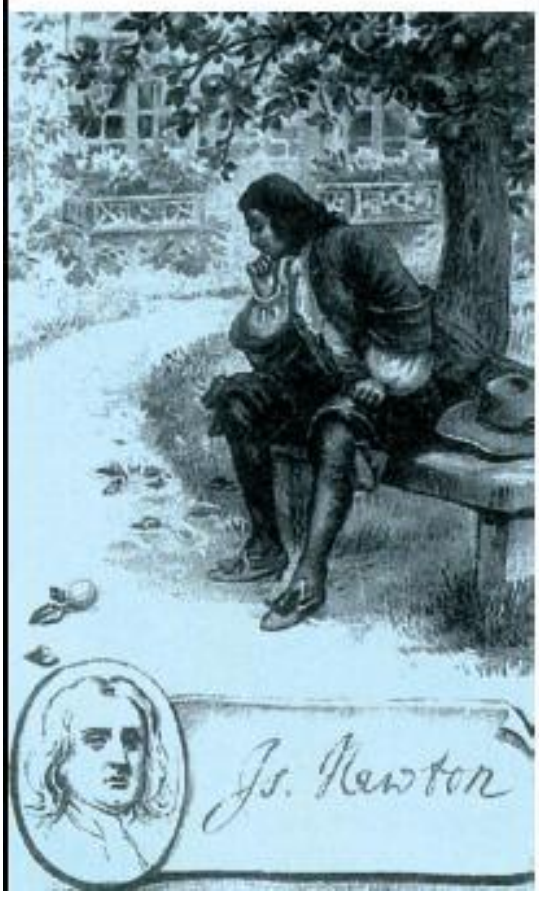
νούνται τα δύο σώματα είναι
α = g /8, να υπολογίσετε:

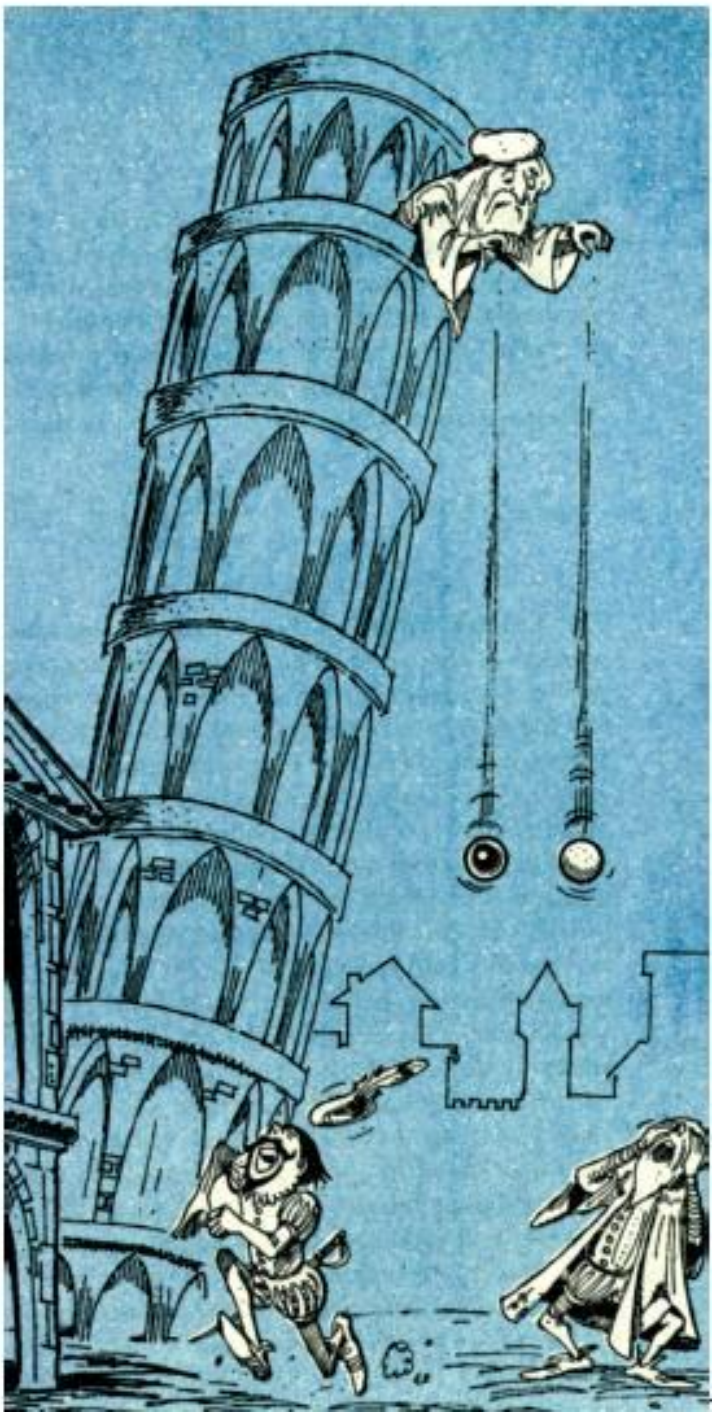


Α. Τη δύναμη F.
Β. Την τάση του νήματος που συν-
δέει τα δύο σώματα.
Δίνεται g = 10 m/s^2.

1.4 Βαρύτητα







Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε κυρίως με τη θεωρία του Νεύτωνα για τη βαρύτητα. Η θεωρία αυτή είναι μια από τις πλέον επιτυχείς και ακριβείς θεωρίες της Φυσικής, η οποία έχει αντέξει σε δοκιμασίες αιώνων.

Σύμφωνα με αυτή μια μάζα ασκεί ελκτική βαρυτική δύναμη σε όλες τις μάζες, ενώ ταυτόχρονα δέχεται αντίθετη δύναμη από αυτές.

Οι αμοιβαίες βαρυτικές έλξεις, διέπουν τις κινήσεις όλων των ουράνιων σωμάτων, δηλαδή είναι υπεύθυνες για την κίνηση και τη θέση των πλανητών, των κομητών αλλά και των τεχνητών δορυφόρων.

1.4.1 Νόμος της παγκόσμιας έλξης. Πεδίο βαρύτητας

α) Η βαρυτική δύναμη

Παρατηρώντας τη Σελήνη να διαγράφει την τροχιά της στον ουρανό, πόσοι άραγε από εμάς δεν έχουμε αναρωτηθεί, ποια να είναι η αιτία που εμποδίζει την πτώση της στη Γη; Πόσες γενιές ανθρώπων δεν προβλημάτισε το γεγονός πως αντίθετα με τη Σελήνη και τα άστρα που παραμένουν στον ουρανό, κάθε άλλο ελεύθερο αντικείμενο πέφτει "προς τα κάτω"; Πόσοι από εμάς δεν έτυχε με απορία και αμηχανία να παρατηρούμε τη θάλασσα να καλύπτει μεγάλα τμήματα μίας παραλίας ή τη στάθμη της να ανεβοκατεβαίνει;

Αυτά τα ερωτήματα, αλλά και αρκετά άλλα, βρήκαν την τελική τους απάντηση όταν ο Νεύτωνας διατύπωσε το **νόμο της παγκόσμιας έλξης**. Σύμφωνα με αυτόν:

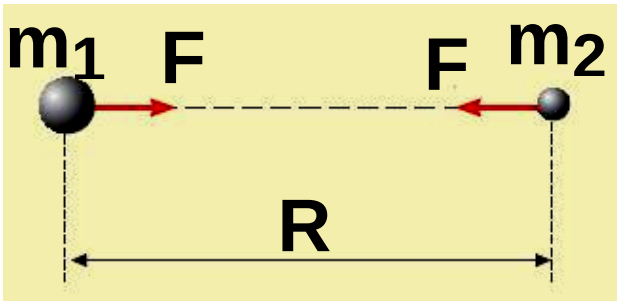
Κάθε σωμάτιο μάζας m_1 που βρίσκεται σε απόσταση R από ένα άλλο σωμάτιο μάζας m_2, οπουδήποτε στο Σύμπαν, έλκει το δεύτερο αλλά και έλκεται από αυτό με δύναμη που είναι ανάλογη του γινομένου των δύο μαζών και αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης.

Δηλαδή: $$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (1.4.1)$$

Στη σχέση αυτή, το G είναι μία σταθερά γνωστή ως σταθερά της παγκόσμιας έλξης, που η τιμή της οπουδήποτε στο σύμπαν είναι:

$G=6,67\cdot10^{-11}\ Nm^2kg^{-2}$.

Οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μαζών λέγονται συνήθως **βαρυτικές έλξεις** ή απλά **βαρυτικές δυνάμεις** και έχουν μεταξύ τους σχέση δράσης - αντίδρασης (Εικ. 1.4.1).



Εικόνα 1.4.1
Οι βαρυτικές δυνάμεις με τις οποίες αλληλεπιδρούν τα δύο σωμάτια είναι αντίθετες.



Μολονότι οι βαρυτικές έλξεις μεταξύ των σωμάτων υπάρχουν πάντα ανεξάρτητα από το σχήμα των σωμάτων, το μέγεθός τους ή την μεταξύ τους απόσταση, ο υπολογισμός τους με την απλή εφαρμογή της σχέσης (1.4.1), μπορεί

να γίνει μόνο αν πρόκειται για σωμάτια ή ομογενή σφαιρικά σώματα. Στην περίπτωση αυτή, ως απόσταση R θεωρούμε την απόσταση των κέντρων των σωμάτων.

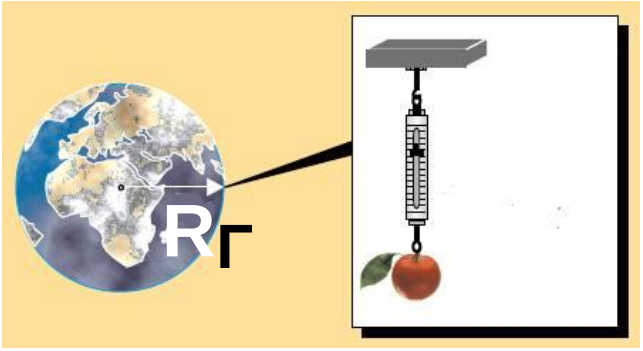
Ένας μαθητής πιστεύει, ότι οι δυνάμεις βαρύτητας στη γη είναι διαφορετικές από τις δυνάμεις βαρύτητας που ασκούνται μεταξύ των ουρανίων σωμάτων. Ένας συμμαθητής του αντίθετα, ισχυρίζεται, ότι δεν υπάρχουν βαρυτικές δυνάμεις στο διάστημα.

Ποια είναι η δική σας άποψη;

Η βαρυτική έλξη είναι ίδια, ανεξάρτητα από το υλικό που παρεμβάλλεται μεταξύ των σωμάτων. Με άλλα λόγια, η βαρυτική έλξη "γεφυρώνει" το χώρο ανάμεσα στα σώματα και κάνει στο ένα αισθητή την παρουσία του άλλου.

Δραστηριότητα

Ένα μήλο στην επιφάνεια της Γης έχει βάρος 1Ν. Πόσο βάρος έχει σε απόσταση $5R_Γ$, όπου $R_Γ$ η ακτίνα της Γης.



Το μήλο εδώ ζυγίζει 1Ν

Η βαρυτική δύναμη που ασκεί ένα σώμα, για παράδειγμα η Γη, σε οποιοδήποτε άλλο, δε μηδενίζεται ποτέ, όσο μακριά και αν βρίσκεται το σώμα από τη Γη. Ακόμη και αν μπορούσαμε να μεταφερθούμε στην άκρη του σύμπαντος, η βαρυτική έλξη της μάζας του βράχου της Ακρόπολης θα μας ακολουθούσε ως εκεί. Ο Νομπελίστας Paul Dirac χαριτολογώντας για την ιδιότητα αυτή της βαρύτητας είπε:

"Κόβεις ένα λουλούδι, στη Γη και κινείς έτσι το πιο μακρινό άστρο".

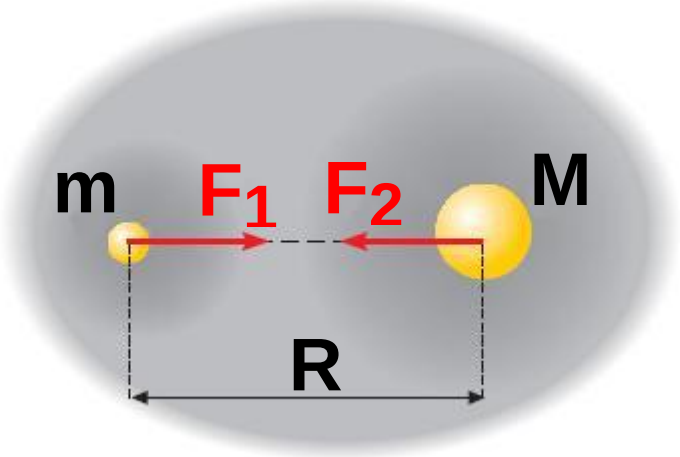
β) Το βαρυτικό πεδίο

Ο μαθητής που σπρώχνει το θρανίο του, ή ο αέρας που κινεί το ιστιοφόρο, λέμε πως ασκεί δύναμη. Όταν προσπαθούμε να κατεβάσουμε το δεμένο με νήμα χαρταετό, λέμε πάλι πως ασκούμε δύναμη. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, αυτός που ασκεί δύναμη και αυτός που τη δέχεται, έχουν μεταξύ τους επαφή, η οποία είναι άμεση στα πρώτα δύο παραδείγματα και έμμεση στο τρίτο. Τέτοιες δυνάμεις άμεσης ή έμμεσης επαφής που προέρχονται από την καθημερινή μας εμπειρία τις αποδεχόμαστε χωρίς καμία δυσκολία.

Πώς όμως να κατανοήσουμε την έλξη που ασκεί η Γη σε όλα τα σώματα ή ακόμη καλύτερα, την έλξη που ασκεί η Γη στη Σελήνη ή στους τεχνητούς δορυφόρους; Με άλλα λόγια, πώς να αντιληφθούμε το μηχανισμό με τον οποίο ασκούνται δυνάμεις από μακριά, χωρίς καμία επαφή, όπως είναι παραδείγματος χάρη η βαρυτική έλξη;

Όπως έλεγε ο Νεύτωνας, "είναι αδιανόητο, η άψυχη ύλη (Γη), να δρα και να επηρεάζει μία άλλη (Σελήνη), χωρίς αμοιβαία επαφή. Η βαρυτική έλξη ανάμεσα στη Γη και τη Σελήνη, πρέπει να προκαλείται από ένα μέσο για το οποίο δεν ξέρω αν είναι υλικό ή άυλο". **Σήμερα στη Φυσική έχει γίνει αποδεκτή η έννοια του βαρυτικού πεδίου, με την οποία προσπαθούμε να περιγράψουμε τις βαρυτικές έλξεις.**

Με τον όρο βαρυτικό πεδίο, εννοούμε το χώρο γύρω από μία οποιαδήποτε μάζα Μ, ο οποίος έχει αποκτήσει την ιδιότητα να ασκεί δύναμη σε κάθε άλλη μάζα m, που θα βρεθεί στο χώρο αυτό. Τη μάζα Μ, στην οποία αποδίδουμε τη δημιουργία του πεδίου, θα την ονομάζουμε πηγή του πεδίου, και την m, που δέχεται τη δύναμη, υπόθεμα (Εικ. 1.4.2).



Εικόνα 1.4.2

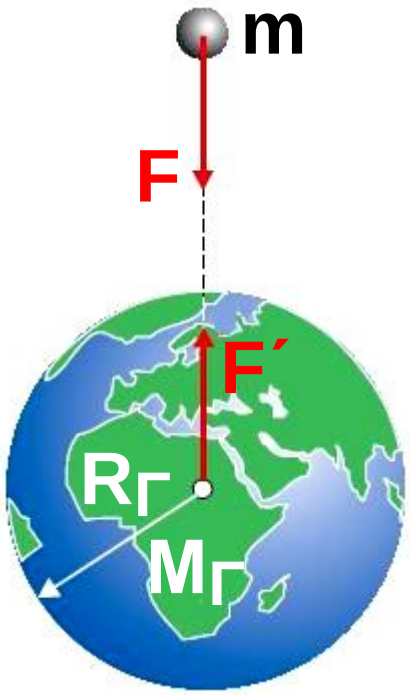
Το πεδίο της μάζας Μ ασκεί τη δύναμη F_1 στη μάζα m, αλλά και το πεδίο της μάζας m ασκεί τη δύναμη F_2 στη μάζα Μ.

Το χρωματικό φόντο γύρω από την πηγή και το υπόθεμα, είναι ένας τρόπος με τον οποίο αποδίδουμε την ιδιότητα του χώρου να ασκεί δυνάμεις (Εικ. 1.4.2.).

Αν ως πηγή του πεδίου θεωρήσουμε τη μάζα της Γης, ο χώρος γύρω από αυτή ονομάζεται **βαρυτικό πεδίο** της Γης. Αυτός ο χώρος ασκεί βαρυτική έλξη σε κάθε σώμα που βρίσκεται μέσα σε αυτόν και που μπορεί να είναι ένα οποιοδήποτε αντικείμενο ή η Σελήνη ή κάποιος από τους μακρινούς πλανήτες. Η δύναμη αυτή κατευθύνεται πάντα προς το κέντρο της Γης και ονομάζεται **βάρος** του σώματος (Εικ. 1.4.3).

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε, πως χρειάστηκε η διορατικότητα ενός Νεύτωνα, για να αντιληφθούμε ότι αυτή η δύναμη είναι

υπεύθυνη για την πτώση των σωμάτων αλλά και για την περιφορά της Σελήνης γύρω από τη Γη.



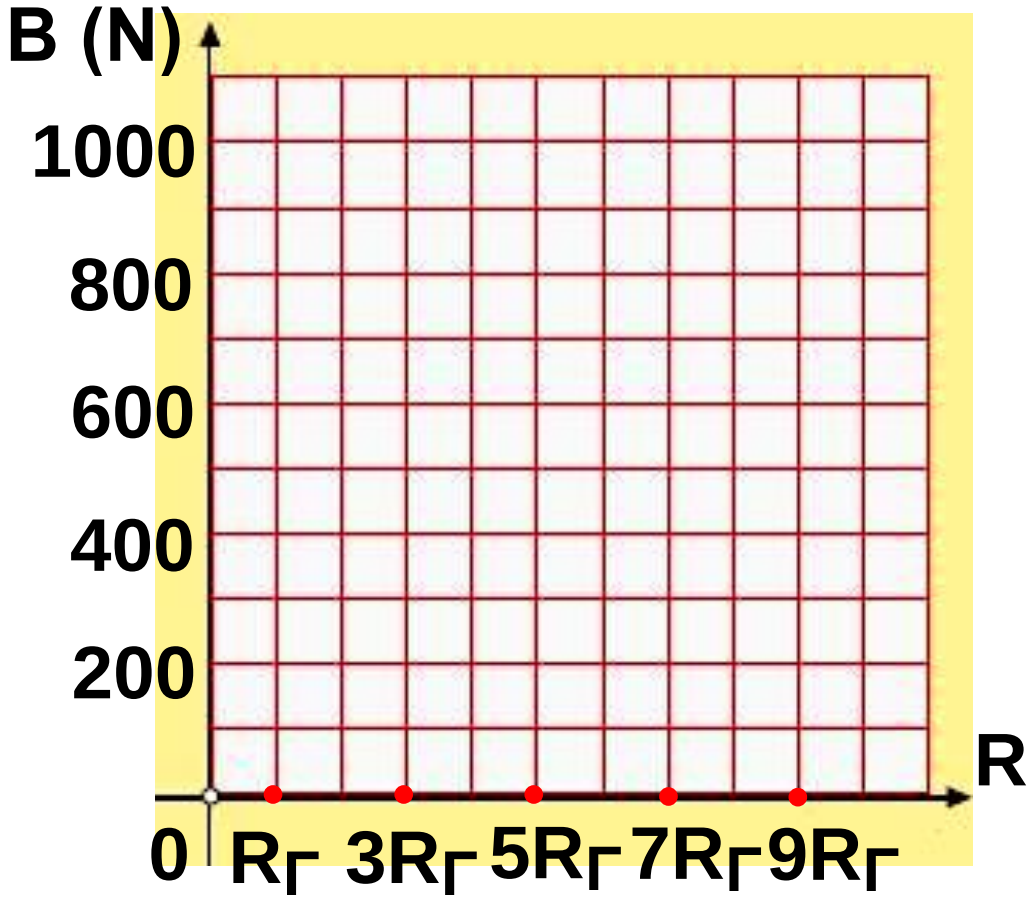
Εικόνα 1.4.3
Η βαρυτική έλξη που ασκεί η Γη σε οποιοδήποτε σώμα μάζας m, κατευθύνεται προς το κέντρο της και ονομάζεται βάρος του σώματος.

Η ιδέα του βαρυτικού πεδίου της Γης, αφενός μεν περιγράφει την άσκηση των βαρυτικών έλξεων που ασκεί η Γη από μακριά σε όλα τα σώματα, αφετέρου δε υποστηρίζει πως ανάμεσα στη Γη, ως πηγή του πεδίου, και σε κάθε άλλο σώμα, ως

υπόθεμα υπάρχει αλληλεπίδραση. Με άλλα λόγια, δεν μπορούμε να μιλάμε για την επίδραση, αλλά μόνο για την αλληλεπίδραση ανάμεσα στην πηγή και στο υπόθεμα (Εικ. 1.4.3).

Δραστηριότητα

Έχετε την πληροφορία ότι ένας άνθρωπος ζυγίζει 800 στην επιφάνεια της θάλασσας 900 N.



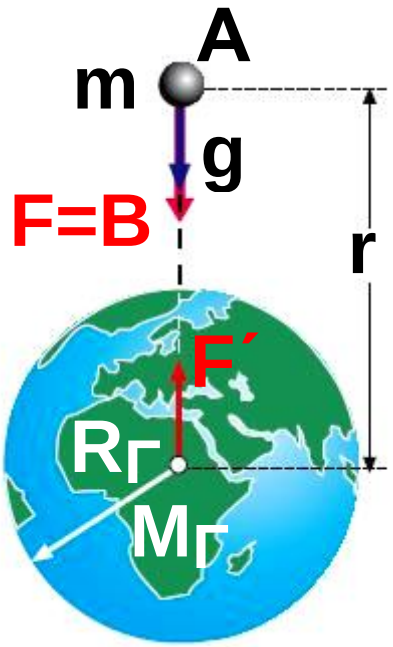
α) Να υπολογίσετε το βάρος του ανθρώπου σε ύψος $R_Γ$, $3R_Γ$, $4R_Γ$, και $9R_Γ$, από την επιφάνεια της Γης.
β) Να χαράξετε την καμπύλη B = = f(R) για τιμές του R ίσες με: $R_Γ$, $3R_Γ$, $4R_Γ$, και $9R_Γ$
γ) Να σχολιάσετε την καμπύλη που θα προκύψει.

1.4.2 Η ένταση στο βαρυτικό πεδίο της Γης

Μετά την εισαγωγή της έννοιας του βαρυτικού πεδίου της Γης, η οποία, όπως είδαμε, περιγράφει με απλό τρόπο την άσκηση των βαρυτικών έλξεων από τη Γη σε οποιοδήποτε σώμα, προέκυψε το ερώτημα:

Υπάρχει άραγε ένα φυσικό μέγεθος κατάλληλο για την περιγραφή του πεδίου;

Ας θεωρήσουμε ένα σημείο Α, που βρίσκεται σε απόσταση r από το κέντρο της Γης (Εικ. 1.4.4).



Εικόνα 1.4.4

Αν στο σημείο αυτό φέρουμε διαδοχικά σώματα με μάζα m, 2m, 3m, ..., η βαρυτική έλξη σύμφωνα με τη σχέση $F = G\frac{Mm}{R^2}$ θα είναι αντίστοιχα F, 2F, 3F,.... Μπορούμε λοιπόν να υποστηρίξουμε ότι στο σημείο Α, αλλά και σε κάθε άλλο σημείο του πεδίου, το πηλίκο $\frac{\text{δύναμη}}{\text{υπόθεμα}}$ είναι σταθερό.

Αυτό το σταθερό πηλίκο είναι μέγεθος διανυσματικό, κατάλληλο για να περιγράψει το βαρυτικό πεδίο της Γης και ονομάζεται **ένταση** του βαρυτικού πεδίου στο θεωρούμενο σημείο. Η ένταση συμβολίζεται με $\vec{g}$, έχει τιμή:

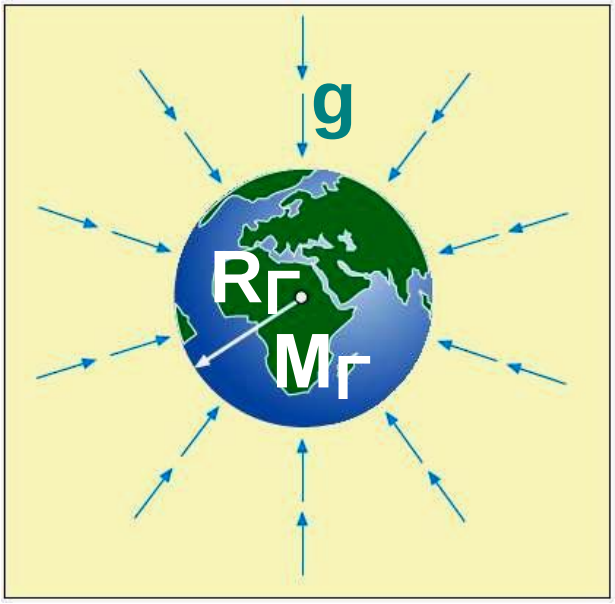
$$g = \frac{F}{m} = \frac{B}{m} = G\frac{M_{\Gamma}}{R^2} \quad (1.4.2)$$

και κατεύθυνση ίδια με αυτή του βάρους Β.

Μπορούμε να συμπεράνουμε πως η ένταση g, ως φυσικό μέγεθος εκφράζει τη δύναμη που ασκείται από το βαρυτικό πεδίο, ανά μονάδα μάζας, και πως η τιμή της δεν εξαρτάται από το υπόθεμα m στο οποίο ασκείται η δύναμη.

Αν απεικονίσουμε το βαρυτικό πεδίο γύρω από τη Γη, θα πρέπει

σε κάθε σημείο του να σχεδιάσουμε κατά μέτρο και κατεύθυνση το διάνυσμα της έντασης (Εικ. 1.4.5).

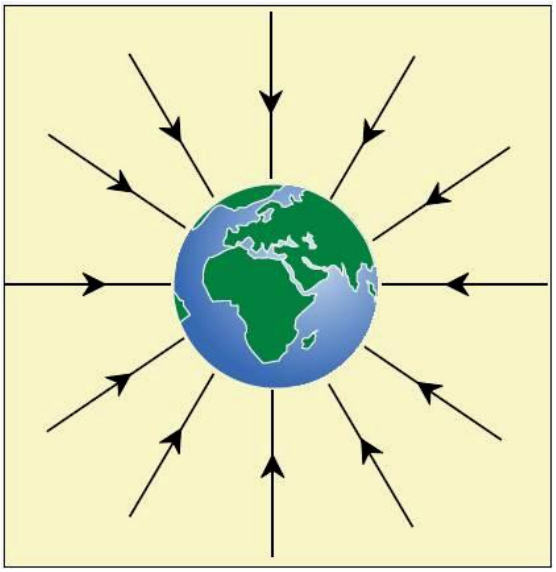


Εικόνα 1.4.5
Σε κάθε σημείο τα διανύσματα της έντασης κατευθύνονται προς το κέντρο της Γης.

Αντί αυτού, η απεικόνιση του βαρυτικού πεδίου γίνεται με τη βοήθεια των **δυναμικών γραμμών ή πεδιακών γραμμών.**

Δυναμικές γραμμές του βαρυτικού πεδίου ονομάζουμε τις (νοητές) γραμμές που χαράσσονται, αν υποθέσουμε ότι το διάνυσμα της

ένταση ολισθαίνει κατά την κατεύθυνση του, αρχίζοντας από σημεία που βρίσκονται πολύ μακριά και φτάνοντας ως την επιφάνεια της Γης (Εικ. 1.4.6).



Εικόνα 1.4.6
Οι δυναμικές γραμμές του βαρυτικού πεδίου της Γης.

Ας υποθέσουμε πως στο σημείο Α του βαρυτικού πεδίου, εικόνα 1.4.4, αφήνουμε ελεύθερο ένα σώμα μάζας m. Η βαρυτική έλξη από τη Γη θα προκαλέσει στο σώμα επιτάχυνση α, για την οποία ισχύει:

$$\alpha = \frac{F}{m} = \frac{B}{m} = G\frac{M_{\Gamma}}{R^2} \quad (1.4.3)$$

Τιμές της επιτάχυνσης της βαρύτητας g, σε διάφορα ύψη	
Ύψος (km)	g (m/s^2)
1.000	7,33
2.000	5,68
3.000	4,53
4.000	3,70
5.000	3,08
6.000	2,60
7.000	2,23
8.000	1,93
9.000	1,69
10.000	1,49
50.000	0,13
Τα ύψη μετριούνται από την επιφάνεια της Γης.	

Από τη σύγκριση των σχέσεων (1.4.2) και (1.4.3), φαίνεται πως η επιτάχυνση της βαρύτητας ταυτίζεται με την ένταση του βαρυτικού πεδίου της Γης, για την οποία ισχύουν τα εξής:

α) Η τιμή της έντασης του βαρυτικού πεδίου της Γης ελαττώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης, αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από το κέντρο της.

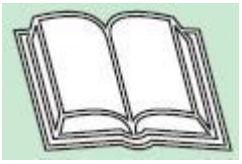
β) Ακριβώς στην επιφάνεια της Γης, που τη θεωρούμε ομογενή σφαίρα ακτίνας RΓ, έχει τιμή

$$g_o = \alpha = G\frac{M_\Gamma}{R_\Gamma^2} = 9{,}81 m/s^2$$ περίπου.

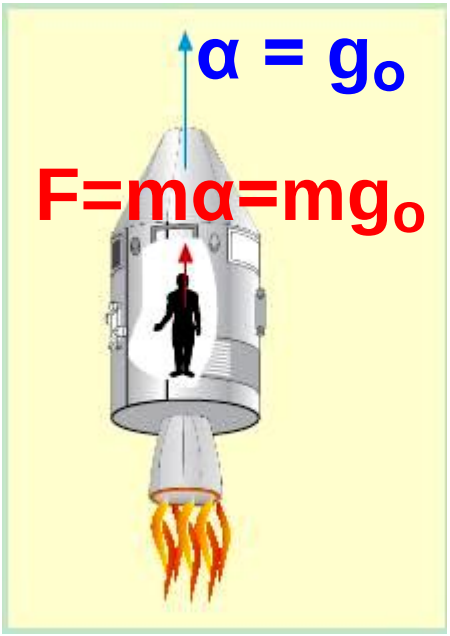
γ) Η τελευταία εξίσωση δεν ισχύει για τον υπολογισμό της τιμής της έντασης στο εσωτερικό της Γης.

δ) Η μονάδα μέτρησής της στο διεθνές σύστημα S.I. είναι το **1N/kg.**

Ισοδυναμία έντασης και επιτάχυνσης στο πεδίο βαρύτητας



Η ταύτιση της έντασης του πεδίου βαρύτητας με την επιτάχυνση της βαρύτητας, σημαίνει ότι, αν βρισκόμαστε μέσα σε ένα διαστημόπλοιο που κινείται μακριά από άλλα ουράνια σώματα, με επιτάχυνση $\alpha = g_o = 9{,}81 m/s^2$ θα έχουμε την αίσθηση ότι ασκείται πάνω μας δύναμη



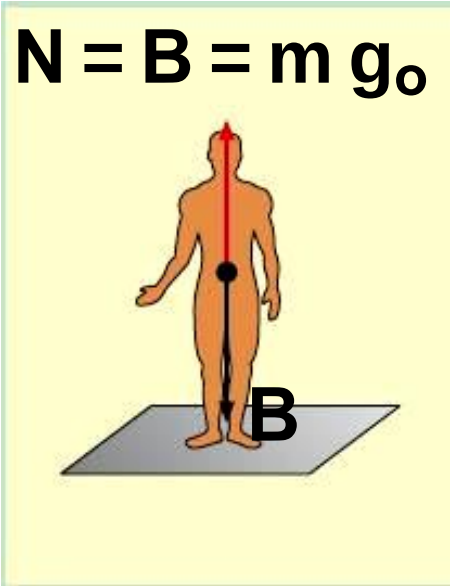
Εικόνα (α)

$$F = B = m\, g_o$$

όπως ακριβώς στην επιφάνεια της Γης.

Στην εικόνα (α), φαίνεται ένα διαστημόπλοιο που κινείται με επιτάχυνση $\alpha = g_o$. Στον άνθρωπο που βρίσκεται μέσα στο διαστημόπλοιο ασκείται από το δάπεδο δύναμη $F = B = m\, g_o$, η οποία τον αναγκάζει να επιταχυνθεί με την ίδια επιτάχυνση.

Αν φανταστούμε τον ίδιο άνθρωπο κάπου στην επιφάνεια της Γης (Εικ. β), αυτός δέχεται τις δυνάμεις Β από την έλξη της Γης και Ν λόγω της επαφής του με το δάπεδο. Επειδή όμως παραμένει ακίνητος, ισχύει:



Εικόνα (β)

$$N = B \quad \text{ή} \quad N = m\, g_o$$

Δηλαδή η δύναμη Ν είναι ίση με αυτή που δέχονταν ο άνθρωπος μέ-

σα στο διαστημόπλοιο. Άρα αυτός έχει την ίδια αίσθηση, είτε βρίσκεται στο διαστημόπλοιο είτε στην επιφάνεια της Γης.

Εφαρμογή

Η μάζα $M_Γ$ της Γης δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα, εφόσον δεν μπορεί να τοποθετηθεί αυτή πάνω σε ένα ζυγό. Μπορούμε άραγε να την υπολογίσουμε με κάποιον άλλο τρόπο;

Δίνεται ότι: $R_Γ = 6.400km$.

Απάντηση

Από τη σχέση $g_o = G \frac{M_Γ}{R_Γ^2}$ αν επιλύσουμε ως προς ΜΓ βρίσκουμε:

$$M_Γ = \frac{g_o R_Γ^2}{G}$$

και με αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών των μεγεθών g_o, $R_Γ$ και G προκύπτει:

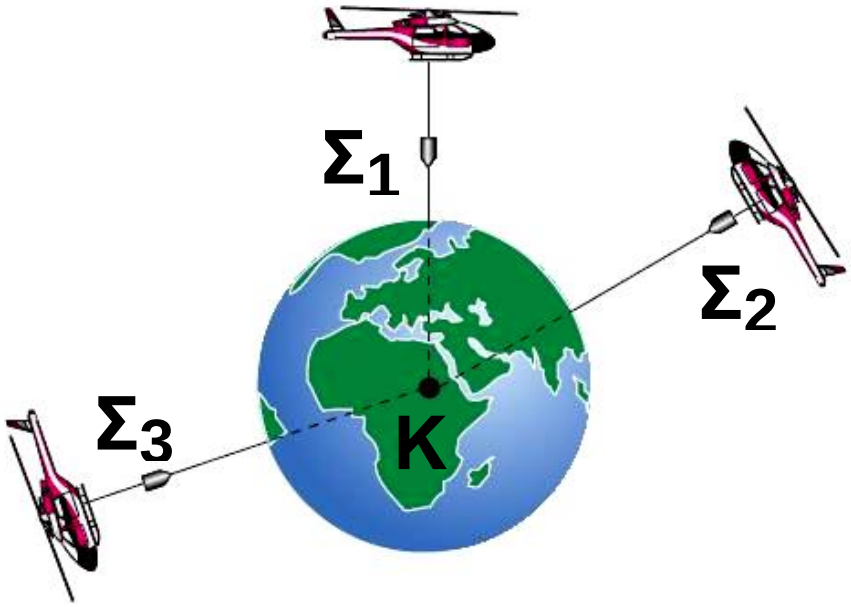
$$M_Γ = \frac{9{,}81\ m/s^2 \cdot (6{,}4 \cdot 10^6\ m)^2}{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ N\ m^2\ kg^{-2}}$$ ή

$$M_Γ \approx 6 \cdot 10^{24}\ kg$$

1.4.3 Το πεδίο βαρύτητας κοντά στη Γη

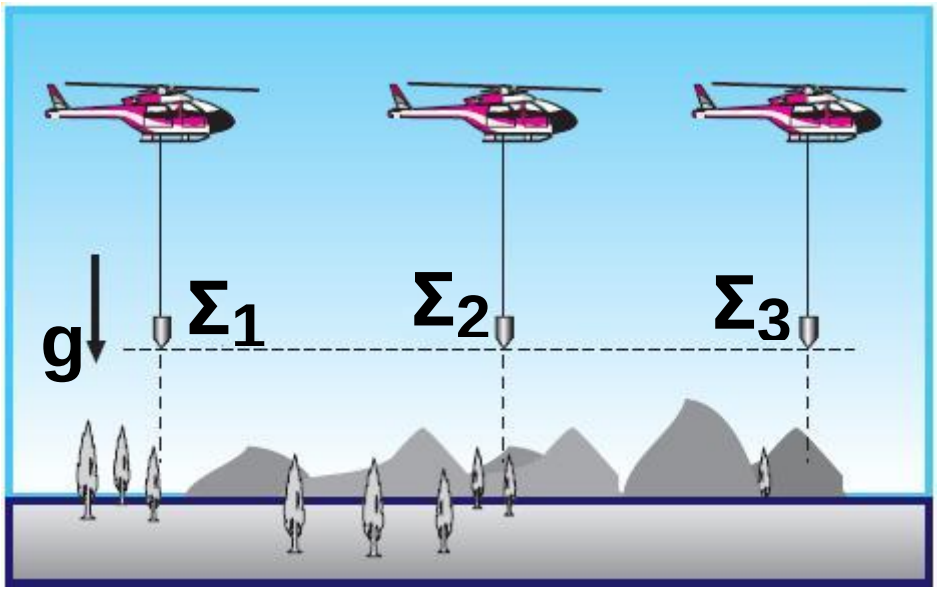
Ας υποθέσουμε πως πραγματοποιούμε το εξής πείραμα. Από τα τρία ελικόπτερα που παραμένουν ακίνητα στο ίδιο ύψος και σε διαφορετικούς τόπους, κρέμονται με τη βοήθεια ανθεκτικών νημάτων τρία

σώματα Σ_1, Σ_2 και Σ_3 (Εικ. 1.4.7). Και τα τρία νήματα δείχνουν την κατεύθυνση της βαρυτικής έλξης ή διαφορετικά, την κατεύθυνση της έντασης, δηλαδή κατευθύνονται προς το κέντρο Κ της Γης. Έχουμε με τον τρόπο αυτό την πειραματική επιβεβαίωση μίας πρότασης, σύμφωνα με την οποία: το διάνυσμα της έντα-



Εικόνα 1.4.7
Το ίδιο σώμα στα τρία ελικόπτερα έχει διαφορετικό βάρος αλλά ίδια μάζα.

σης είναι διαφορετικό στα διάφορα σημεία του βαρυτικού πεδίου της Γης, ακόμη και αν αυτά βρίσκονται στο ίδιο ύψος. Λόγω αυτής της ιδιότητας, (δηλαδή η ένταση να μην είναι σταθερή), το πεδίο της Γης, αλλά και κάθε άλλου ουρανίου σώματος, λέμε πως είναι πεδίο **μη ομογενές.**



Εικόνα 1.4.8

Αν όμως τα ελικόπτερα έρθουν, το ένα κοντά στο άλλο, σε απόσταση μερικών δεκάδων μέτρων, ή

ακόμη και μερικών χιλιομέτρων (Εικ. 1.4.8), τότε τα νήματα θα είναι παράλληλα, ή καλύτερα, σχεδόν παράλληλα. Αυτό σημαίνει, πως σε μικρή έκταση η ένταση έχει σταθερή κατεύθυνση. Αν επιπλέον θεωρήσουμε μικρές υψομετρικές διαφορές από την επιφάνεια της Γης, γεγονός που δε θα επιφέρει αισθητή μεταβολή και στην τιμή της έντασης, έχουμε την εικόνα του ομογενούς βαρυτικού πεδίου. Δηλαδή του πεδίου του οποίου η ένταση έχει σταθερή κατεύθυνση και τιμή. Μπορούμε λοιπόν, με καλή προσέγγιση, σε μικρή έκταση και κοντά στην επιφάνεια της Γης, να θεωρούμε το βάρος των σωμάτων σταθερό.

1.4.4 Η κίνηση των δορυφόρων

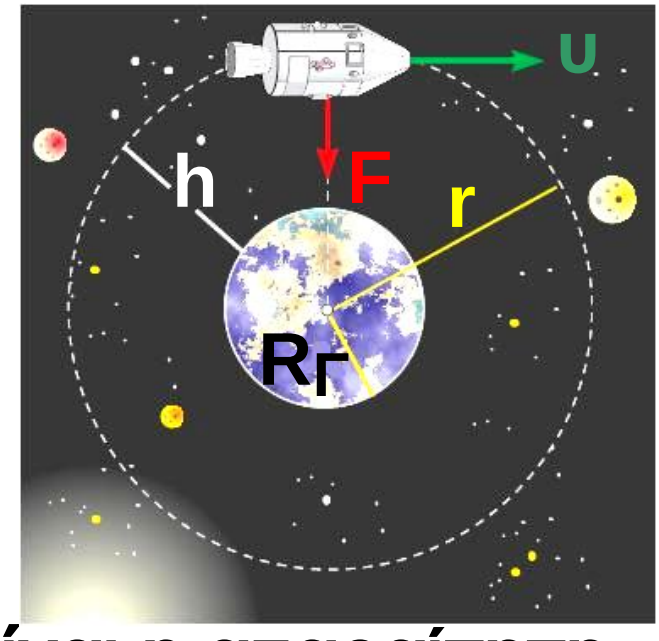
Ο Γερμανός αστρονόμος J. Kepler, ενορατικά και κάνοντας χρήση των παρατηρήσεων του Tycho Brahe, τόλμησε να θεωρήσει τον Ήλιο ως κέντρο του ηλιακού μας συστήματος, και όλους τους πλανήτες να στρέφονται γύρω του. Ο Kepler πίστεψε πως η τιμή αυτή ανήκε στο φωτεινό Ήλιο, και όχι στην ταπεινή Γη. Με άλλα λόγια τάχθηκε υπέρ του μοντέλου που πολλά χρόνια πριν έχει υποστηρίξει ο Κοπέρνικος και προχώρησε στη μαθηματική διερεύνησή του.

Κάθε πλανήτης που περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο, λέμε ότι είναι φυσικός του δορυφόρος. Με την έννοια αυτή, φυσικός δορυφόρος της Γης είναι η Σελήνη, ή φυσικός δορυφόρος του Δια είναι το ουρά-

νιο σώμα Ιώ, που περιφέρεται γύρω από αυτόν. Τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος κατόρθωσε να θέσει σε κυκλικές τροχιές, κυρίως γύρω από τη Γη, σώματα που θα τα αποκαλούμε στη συνέχεια **τεχνητούς δορυφόρους της Γης.**



Johannes Kepler (1571-1630). Γερμανός αστρονόμος, καθηγητής στο Graz και στο Linz. Ο Kepler βασίστηκε στο θεωρητικό πλαίσιο του συστήματος του Copernicus και εξήγαγε τους τρεις νόμους του με ανάλυση των δεδομένων από τις παρατηρήσεις των πλανητικών κινήσεων που είχαν συλλεγεί από το Δανό αστρονόμο Tycho Brahe.



Εικόνα 1.4.9
Η βαρυτική έλξη είναι η απαραίτητη για την κυκλική κίνηση κεντρομόλος δύναμη.

Αλλά τι είναι αυτό που κρατά τους δορυφόρους, φυσικούς ή τεχνητούς, στις τροχιές τους και εμποδίζει την πτώση τους στο κεντρικό σώμα, δηλαδή το σώμα γύρω από το οποίο περιφέρονται; Εκείνος που ερμήνευσε πρώτος την τροχιά των δορυφόρων ήταν ο Νεύτωνας.

Πράγματι, ο Νεύτωνας υποστήριξε πως η ίδια η δύναμη, που αναγκάζει το μήλο να πέφτει "προς τα

κάτω", είναι αυτή που κρατά τη Σελήνη ή τον τεχνητό δορυφόρο σε κυκλική τροχιά γύρω από τη Γη. Εκείνα που χρειάζονται είναι: α) Η ταχύτητα υ να είναι κάθετη στη διεύθυνση της βαρυτικής έλξης, την οποία ασκεί η Γη στο σώμα μάζας m που περιφέρεται γύρω της (Εικ. 1.4.9). β) Οι τιμές της ταχύτητας υ και της ακτίνας r να είναι τέτοιες, ώστε να ικανοποιούν τη σχέση:

$F = F_{κεντρομόλος}$ δηλαδή η βαρυτική έλξη να ενεργεί ως κεντρομόλος. Τότε το σώμα μάζας m θα περιφέρεται γύρω από τη Γη σε κυκλική τροχιά ακτίνας $r = R_Γ + h$ (h το ύψος από την επιφάνεια της Γης) (Εικ. 1.4.9).

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση τις τιμές των δυνάμεων F και $F_{κεντρομόλος}$, υπολογίζουμε την

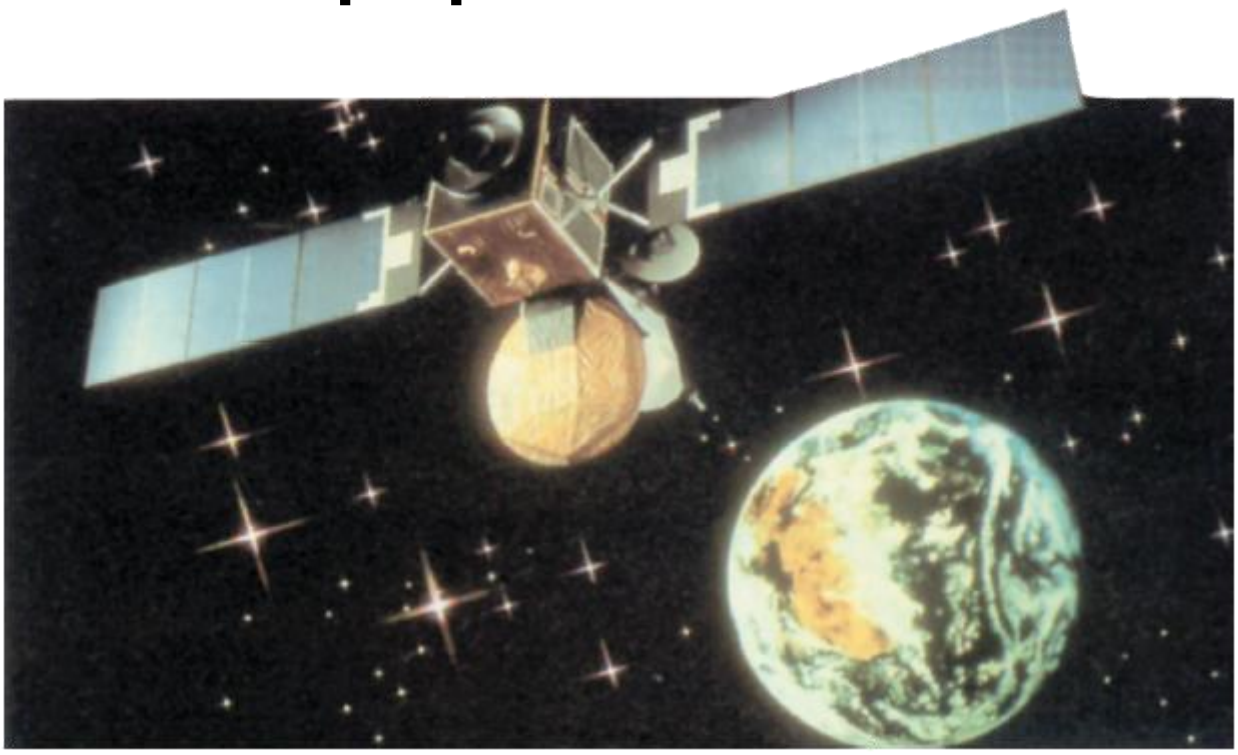
ταχύτητα περιστροφής των δορυφόρων:

$$G\frac{M_Γ m}{r^2} = \frac{mu^2}{r} \quad ή$$

$$u = \sqrt{G\frac{M_Γ}{r}} \quad (1.4.4)$$

Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος της Γης, Sputnik I, τέθηκε σε κυκλική τροχιά από Σοβιετικούς επιστήμονες το 1956. Ο δορυφόρος αυτός είχε μάζα 83 kg, περίοδο περιστροφής 96,2 min και περιφερόταν σε κυκλική τροχιά ακτίνας $6{,}97 \cdot 10^3$ km περίπου. Σήμερα, ένας μεγάλος αριθμός αναγκών του ανθρώπου, όπως τηλεπικοινωνίες, πρόγνωση του καιρού, αλλά δυστυχώς και πολεμικές ανάγκες, εξυπηρετούνται από ένα δίκτυο τεχνητών δορυφό-

ρων, που περιφέρονται ακατάπαυστα γύρω από τη Γη. Στην εικόνα 1.4.10, μπορείτε να δείτε τις τροχιές μερικών από τους πρώτους δορυφόρους που τέθηκαν σε τροχιά γύρω από τη Γη.



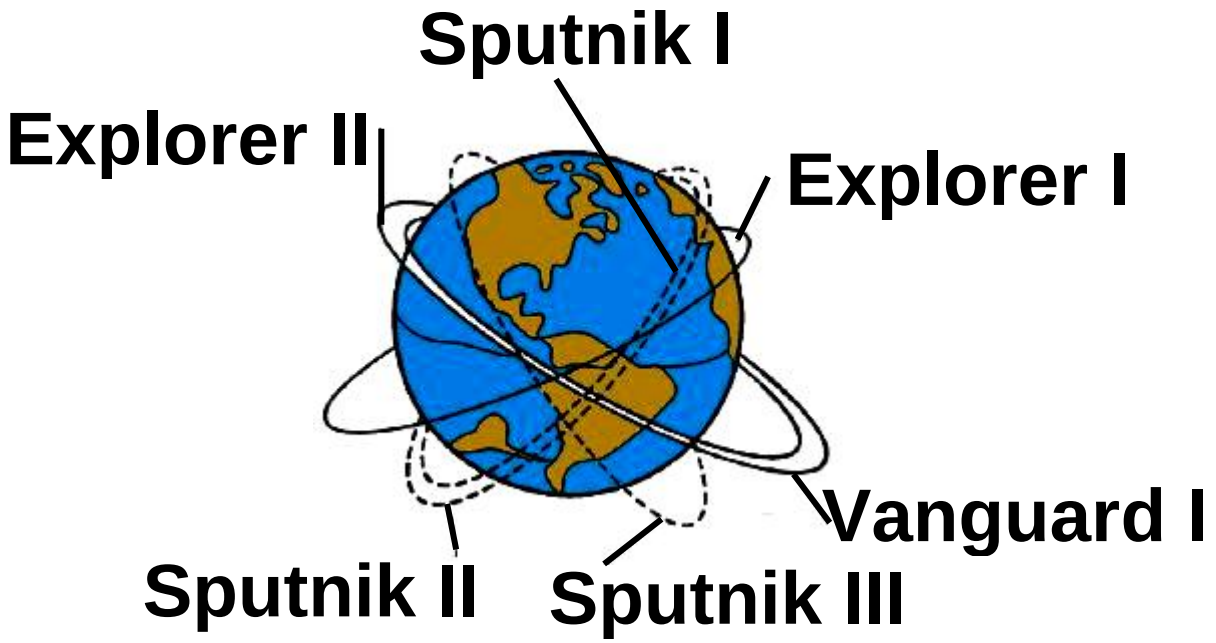
Σχηματική αναπαράσταση του δορυφόρου SAT 1.

Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι ακτίνες των τροχιών και οι περίοδοι των πλανητών, που είναι φυσικοί δορυφόροι του Ήλιου.

Πλα-νήτης	Μάζα (kg)	Ακτίνα (km)	Περίο-δος (Έτη)
Ερμής	$3{,}30 \cdot 10^{23}$	$57{,}9 \cdot 10^{6}$	0,241
Αφρο-δίτη	$4{,}87 \cdot 10^{24}$	$108 \cdot 10^{6}$	0,615
Γη	$5{,}98 \cdot 10^{24}$	$150 \cdot 10^{6}$	1.000
Άρης	$6{,}42 \cdot 10^{23}$	$228 \cdot 10^{6}$	1.880
Δίας	$1{,}90 \cdot 10^{27}$	$778 \cdot 10^{6}$	11.900
Κρό-νος	$5{,}67 \cdot 10^{26}$	$1.430 \cdot 10^{6}$	29.500
Ουρα-νός	$8{,}70 \cdot 10^{25}$	$2.870 \cdot 10^{6}$	84.000
Ποσει-δών	$1{,}03 \cdot 10^{26}$	$4.500 \cdot 10^{6}$	165.000
Πλού-των	$1{,}50 \cdot 10^{22}$	$5.890 \cdot 10^{6}$	248.000

Όπως προκύπτει από τη σχέση (1.4.4), η ταχύτητα περιφοράς ενός

δορυφόρου εξαρτάται μόνο από το ύψος στο οποίο αυτός περιφέρεται.



Εικόνα 1.4.10
Οι τροχιές των δορυφόρων έχουν ως κέντρο το κέντρο της Γης.

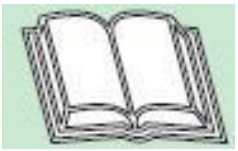
Επιπλέον, όταν ο δορυφόρος περιφέρεται σε σταθερό ύψος, τόσο η κινητική, όσο και η δυναμική του ενέργεια μένουν σταθερές.

Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται ενέργεια, δηλαδή κατανάλωση καυσίμων ώστε να παραμένει στην τροχιά του.

Δραστηριότητα

Γνωρίζετε ότι η βαρυτική έλξη αποτελεί το βάρος του σώματος. Να χρησιμοποιήσετε αυτή τη γνώση για να δείξετε ότι ισχύει:
$G M_Γ = g_o R_Γ^2$, όπου $M_Γ$ και $R_Γ$ η μάζα και η ακτίνα της Γης και g_o η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης.

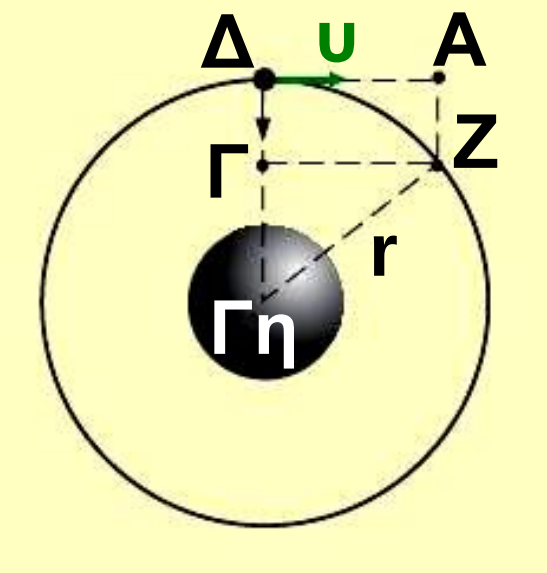
Ερμηνεία της κίνησης του δορυφόρου



Η κίνηση του δορυφόρου Δ στην κυκλική τροχιά ακτίνας r, είναι το αποτέλεσμα της συνθέσεως δύο απλών κινήσεων. Πράγματι αν δεν υπήρχε η βαρύτητα, ο δορυφόρος κινούμενος ευθύγραμμα και ομαλά με ταχύτητα υ θα έφθανε σε χρόνο

Δt έστω στη θέση Α, διανύοντας την απόσταση ΔΑ.

Αν θεωρήσουμε πως ο δορυφόρος δεν είχε αρχική ταχύτητα υ, θα έκανε ελεύθερη πτώση και μετά από χρόνο Δt θα έφτανε, έστω στη θέση Γ.



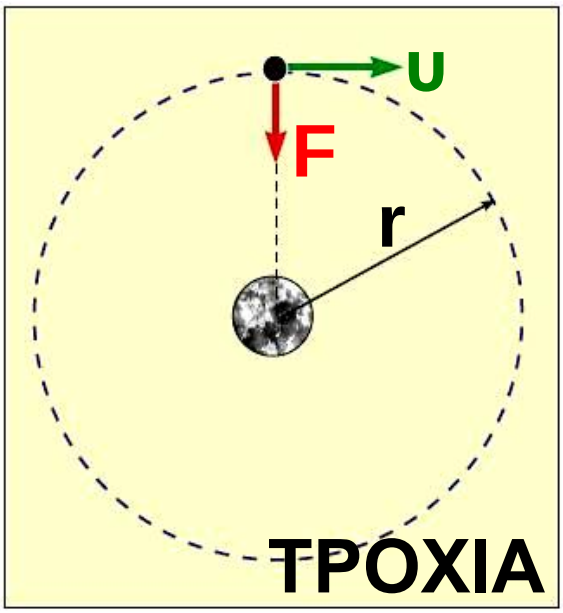
Ο δορυφόρος εκτελεί όμως ταυτόχρονα και τις δύο κινήσεις, με αποτέλεσμα μετά από χρόνο Δt να βρίσκεται τελικά στο σημείο Ζ. Δηλαδή όσο ύψος κερδίζει απομακρυνόμενος από τη Γη, λόγω της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης, τόσο χάνει, λόγω της ελεύθερης πτώσης του.

Αποτέλεσμα αυτού είναι ο δορυφόρος να απέχει διαρκώς σταθερή

απόσταση από το κέντρο της Γης, δηλαδή να διαγράφει κυκλική τροχιά.

Εφαρμογή

Για την αποστολή τηλεοπτικών σημάτων από τη μία Ήπειρο στην άλλη, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι Γεωστατικοί Δορυφόροι. Οι δορυφόροι αυτοί, έχουν περίοδο περιφοράς 24 ώρες, με αποτέλεσμα να βρίσκονται συνεχώς πάνω από τον ίδιο τόπο.



Ένας τέτοιος δορυφόρος βρίσκεται πάνω από έναν τόπο του ισημερινού για τον οποίο γνωρίζουμε ότι $g_o = 10\ m/s^2$. Μπορείτε να βρείτε την ακτίνα περιφοράς του;

Απάντηση

Για να διαγράψει ο δορυφόρος κυκλική τροχιά γύρω από τη Γη απαιτείται κεντρομόλος δύναμη $F_κ$ και αυτή είναι το βάρος του στο ύψος που αυτός περιφέρεται. Δηλαδή: $B = F_κ$ Το βάρος του δορυφόρου που διαγράφει τροχιά ακτίνας r, δίνεται από τη σχέση

$B = G\dfrac{M_Γ m}{r^2}$ οπότε μπορούμε να γράψουμε: $G\dfrac{M_Γ m}{r^2} = \dfrac{mυ^2}{r}$ ή

$G\dfrac{M_Γ}{r} = υ^2$ ή $\dfrac{g_o R_Γ^2}{r} = ω^2 r^2$ ή

$r = \sqrt[3]{g_o R_Γ^2 \dfrac{T^2}{4π^2}}$ και με αντικατάσταση $r \approx 4{,}23 \cdot 10^7$ m.

Σε μία ομάδα μαθητών, κάποιοι υποστηρίζουν ότι η βαρυτική δύναμη που αναγκάζει διαφορετικά σώματα να πέφτουν ελεύθερα με την ίδια επιτάχυνση g, πρέπει να είναι ίδια για όλα τα σώματα.

Ποια είναι η δική σας άποψη;

Περιεχόμενα 4ου τόμου

1.3 Δυναμική στο επίπεδο
(συνέχεια από τον 3ο τόμο)

1.3.11 Κεντρομόλος δύναμη..... 7

1.3.12 Μερικές περιπτώσεις κεντρομόλου δύναμης..... 13

Ένθετο: Από τον Αριστοτέλη στο Νεύτωνα..... 29

Ένθετο: Ντετερμινισμός ή χάος..... 40

Περίληψη..... 49

Ερωτήσεις, Ασκήσεις - Προβλήματα..... 58

1.4 Βαρύτητα 97

1.4.1 Νόμος της παγκόσμιας έλξης. Πεδίο βαρύτητας..... 99

1.4.2 Η ένταση στο βαρυτικό πεδίο της Γης 110
Ένθετο: Ισοδυναμία έντασης και επιτάχυνσης στο πεδίο βαρύτητας 117
1.4.3 Το πεδίο βαρύτητας κοντά στη Γη 120
1.4.4 Η κίνηση των δορυφόρων..... 124
Ένθετο: Ερμηνεία της κίνησης του δορυφόρου 132

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.