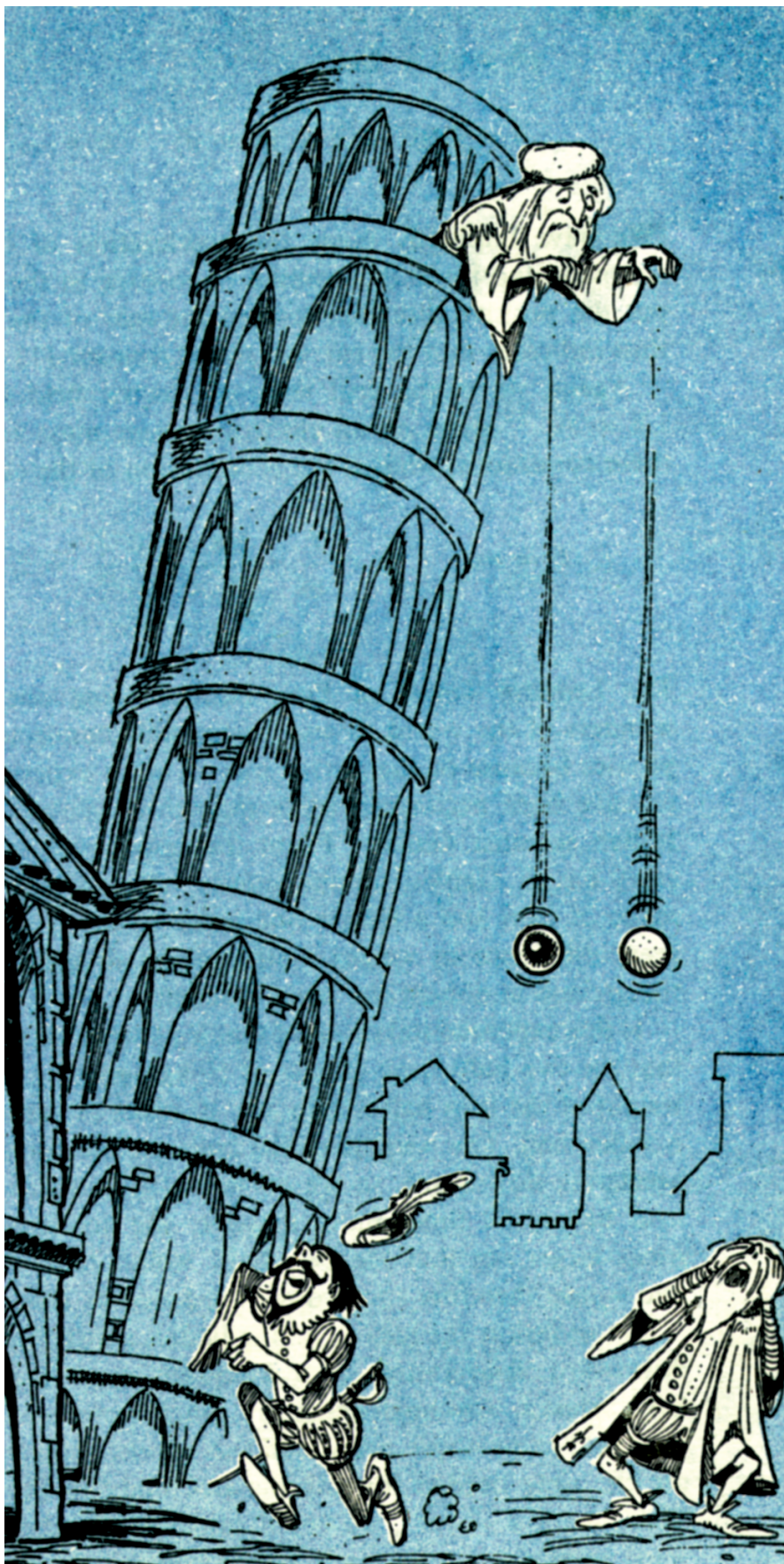




1.4 Βαρύτητα



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.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.4.1	Νόμος της παγκόσμιας έλξης. Πεδίο βαρύτητας.....	163
1.4.2	Η ένταση στο βαρυτικό πεδίο της Γης.....	166
	Ένθετο: Ισοδυναμία έντασης και επιτάχυνσης στο πεδίο βαρύτητας	168
1.4.3	Το πεδίο βαρύτητας κοντά στη Γη.....	169
1.4.4	Η κίνηση των δορυφόρων.....	170
	Ένθετο: Ερμηνεία της κίνησης του δορυφόρου.....	172
1.4.5	Φαινομενική έλλειψη βάρους.....	173
	Ένθετο: Οι παλίρροιες.....	175
	Ένθετο: Η παλιρροιακή κίνηση των νερών του Ευρίπου.....	179
	Ένθετο: Η ιστορική εξέλιξη των θεωριών της βαρύτητας.....	180
	Ένθετο: Εξερεύνηση του διαστήματος.....	182
	Περίληψη	186
	Ερωτήσεις.....	187
	Ασκήσεις-Προβλήματα.....	191

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 προβληματίσε 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 σωματίο μάζας m_1 που βρίσκεται σε απόσταση R από ένα άλλο σωματίο 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:

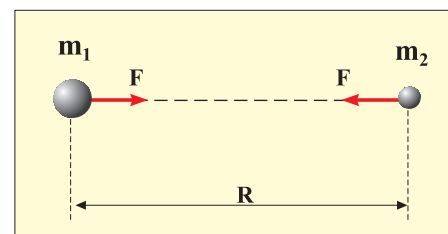
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}.$$

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).

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

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;

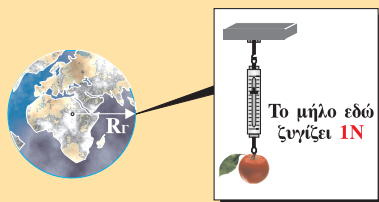


Εικόνα 1.4.1

Οι βαρυτικές δυνάμεις με τις οποίες αλληλεπιδρούν τα δύο σώματα είναι αντίθετες.

Δραστηριότητα

Ένα μήλο στην επιφάνεια της Γης έχει βάρος 1N. Πόσο βάρους έχει σε απόσταση $5R_{\Gamma}$, όπου R_{Γ} η ακτίνα της Γης.



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.

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.

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”.

6) 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.

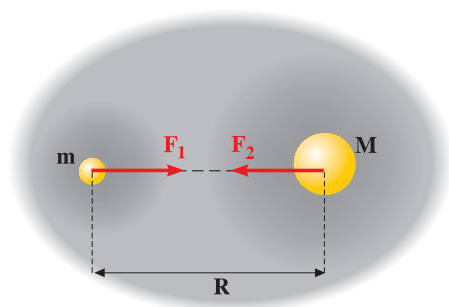
Πώς όμως να κατανοήσουμε την έλξη που ασκεί η Γη σε όλα τα σώματα ή ακόμη καλύτερα, την έλξη που ασκεί η Γη στη Σελήνη ή στους τεχνητούς δορυφόρους; Με άλλα λόγια, πώς να αντιληφθούμε το μηχανισμό με τον οποίο ασκούνται δυνάμεις από μακριά, χωρίς καμία επαφή, όπως είναι παραδείγματος χάρι η βαρυτική 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 M , ο οποίος έχει αποκτήσει την ιδιότητα να ασκεί δύναμη σε κάθε άλλη μάζα m , που θα βρεθεί στο χώρο αυτό. Τη μάζα M , 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).

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).



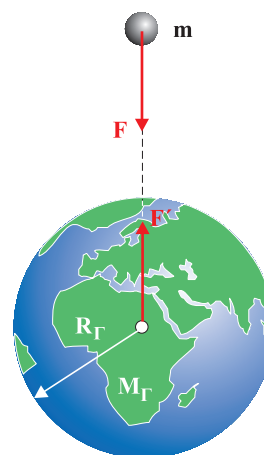
Εικόνα 1.4.2

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

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.

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).



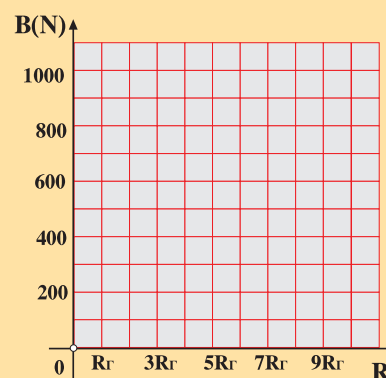
Εικόνα 1.4.3

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

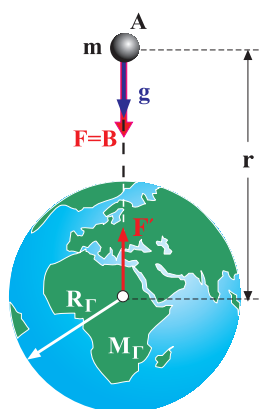
Δραστηριότητα

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

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



1.4.2 Η ένταση στο βαρυτικό πεδίο της Γης



Εικόνα 1.4.4

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 A, που βρίσκεται σε απόσταση r από το κέντρο της Γης (Εικ. 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 A, 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:

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

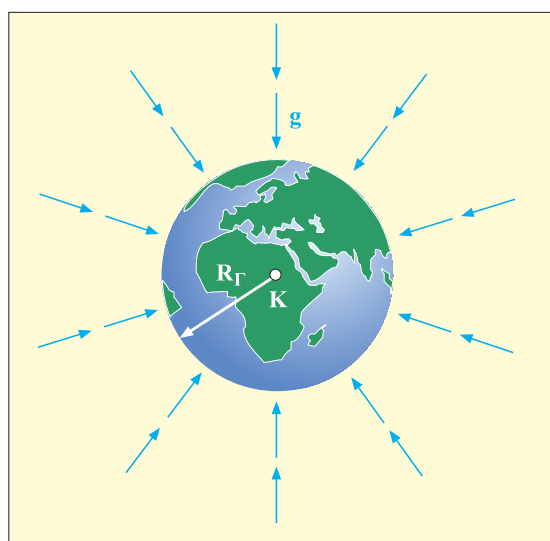
και κατεύθυνση ίδια με αυτή του βάρους B.

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).

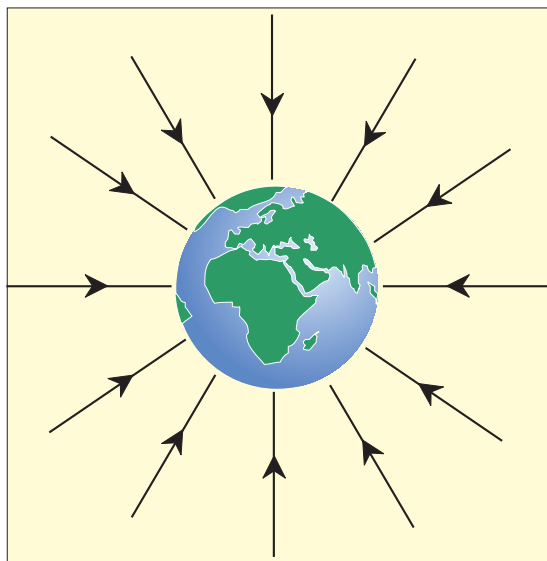
Αντί αυτού, η απεικόνιση του βαρυτικού πεδίου γίνεται με τη βοήθεια των **δυναμικών γραμμών** ή **πεδιακών γραμμών**.

Δυναμικές γραμμές του βαρυτικού πεδίου ονομάζουμε τις (νοητές) γραμμές που χαράσσονται, αν υποθέσουμε ότι το διάνυσμα της έντασης ολισθαίνει κατά την κατεύθυνση του, αρχίζοντας από σημεία που βρίσκονται πολύ μακριά και φτάνοντας ως την επιφάνεια της Γης (Εικ. 1.4.6).



Εικόνα 1.4.5

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



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 a , για την οποία ισχύει:

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

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 R_{Γ} , έχει τιμή $g_0 = a = G \frac{M_{\Gamma}}{R_{\Gamma}^2} = 9,8 \text{ m/s}^2$ 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**.

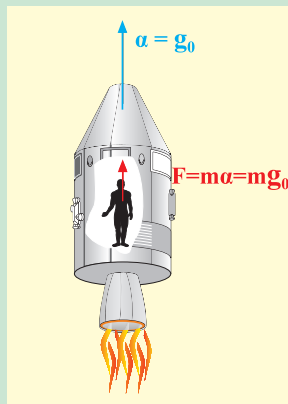
Τιμές της επιτάχυνσης της βαρύτητας, g , σε διάφορα ύψη

Ύψος (km)	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$
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

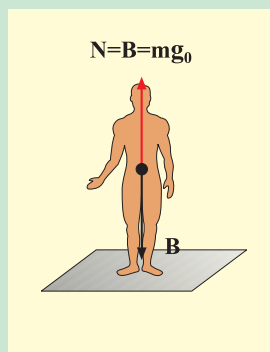
Τα ύψη μετριοούνται από την επιφάνεια της Γης.



Ισοδυναμία έντασης και επιτάχυνσης στο πεδίο βαρύτητας



Εικόνα (α)



Εικόνα (β)

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 $a = g_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$ θα έχουμε την αίσθηση ότι ασκείται πάνω μας δύναμη

$$F = B = m g_0$$

όπως ακριβώς στην επιφάνεια της Γης.

Στην εικόνα (α), φαίνεται ένα διαστημόπλοιο που κινείται με επιτάχυνση $a = g_0$. Στον άνθρωπο που βρίσκεται μέσα στο διαστημόπλοιο ασκείται από το δάπεδο δύναμη $F = m a = m g_0$, 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 B από την έλξη της Γης και N λόγω της επαφής του με το δάπεδο. Επειδή όμως παραμένει ακίνητος, ισχύει:

$$N = B \quad \text{ή} \quad N = m g_0$$

Δηλαδή η δύναμη N είναι ίση με αυτή που δέχονταν ο άνθρωπος μέσα 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: $R_\Gamma = 6.400 \text{ km}$.

Απάντηση

Από τη σχέση $g_0 = G \frac{M_\Gamma}{R_\Gamma^2}$,

αν επιλύσουμε ως προς M_Γ βρίσκουμε:

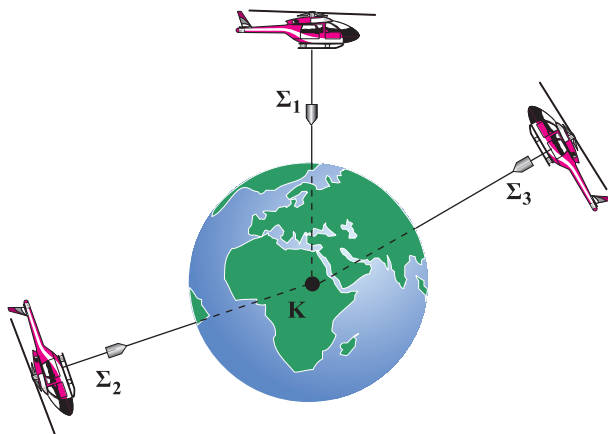
$$M_\Gamma = \frac{g_0 R_\Gamma^2}{G}$$

και με αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών των μεγεθών g_0 , R_Γ και G προκύπτει:

$$M_{\Gamma} = \frac{9,8 \text{ lm} / \text{s}^2 \cdot (6,4 \cdot 10^6 \text{ m})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}} \quad \text{ή} \quad M_{\Gamma} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

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 K της Γης. Έχουμε με τον τρόπο αυτό την πειραματική επιβεβαίωση μίας πρότασης, σύμφωνα με την οποία: το διάνυσμα της έντασης είναι διαφορετικό στα διάφορα σημεία του βαρυτικού πε-

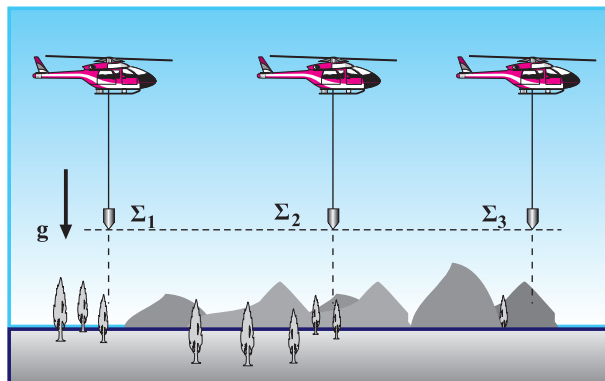


Εικόνα 1.4.7

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

δίου 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**.

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



Εικόνα 1.4.8

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



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.

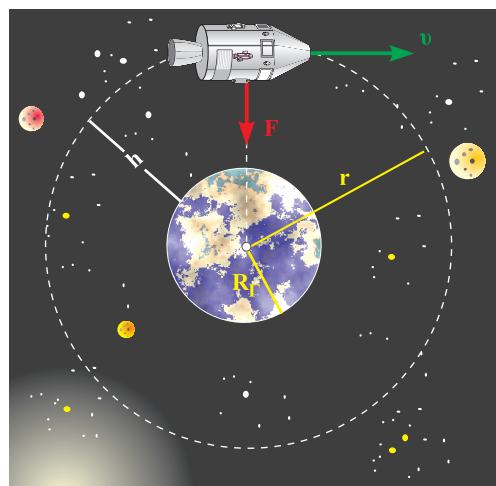
Ο Γερμανός αστρονόμος J. Kepler, ενορατικά και κάνοντας χρήση των παρατηρήσεων του Tycho Brahe, τόλμησε να θεωρήσει τον Ήλιο ως κέντρο του ηλιακού μας συστήματος, και όλους τους πλανήτες να στρέφονται γύρω του. Ο Kepler πίστεψε πως η τιμή αυτή ανήκε στο φωτεινό Ήλιο, και όχι στην ταπεινή Γη. Με άλλα 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 ουράνιο 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**.

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 v 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 v και της ακτίνας r να είναι τέτοιες, ώστε να ικανοποιούν τη σχέση: $F = F_{\text{κεντρομόλος}}$ δηλαδή η βαρυτική έλξη να ενεργεί ως κεντρομόλος. Τότε το σώμα μάζας m θα περιφέρεται γύρω από τη Γη σε κυκλική τροχιά ακτίνας $r = R_{\Gamma} + h$ (h το ύψος από την επιφάνεια της Γης) (Εικ. 1.4.9).

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση τις τιμές των δυνάμεων F και $F_{\text{κεντρομόλος}}$, υπολογίζουμε την ταχύτητα περιστροφής των δορυφόρων:



Εικόνα 1.4.9

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

$$G \frac{M_{\Gamma} m}{r^2} = \frac{m v^2}{r} \quad \text{ή}$$

$$v = \sqrt{G \frac{M_{\Gamma}}{r}}$$

(1.4.4)

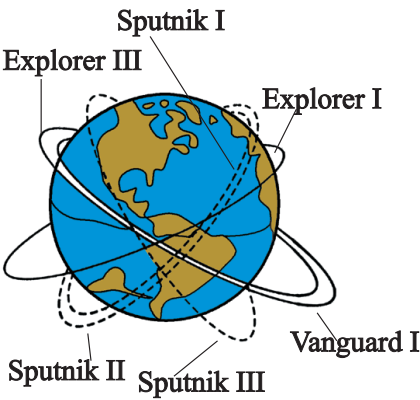
Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος της Γης, Sputnik I, τέθηκε σε κυκλική τροχιά από Σοβιετικούς επιστήμονες το 1956. Ο δορυφόρος αυτός είχε μάζα 83kg, περίοδο περιστροφής 96,2min και περιφερόταν σε κυκλική τροχιά ακτίνας $6,97 \cdot 10^3 \text{ km}$ περίπου. Σήμερα, ένας μεγάλος αριθμός αναγκών του ανθρώπου,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

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

Πλανήτης	Μάζα (kg)	Ακτίνα (km)	Περίοδος (Έτη)
Ερμής	$3,30 \cdot 10^{23}$	$57,9 \cdot 10^6$	0,241
Αφροδίτη	$4,87 \cdot 10^{24}$	$108 \cdot 10^6$	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
Κρόνος	$5,67 \cdot 10^{26}$	$1.430 \cdot 10^6$	29.500
Ουρανός	$8,70 \cdot 10^{25}$	$2.870 \cdot 10^6$	84.000
Ποσειδών	$1,03 \cdot 10^{26}$	$4.500 \cdot 10^6$	165.000
Πλούτων	$1,50 \cdot 10^{22}$	$5.890 \cdot 10^6$	248.000



Σχηματική αναπαράσταση του δορυφόρου SAT 1.



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

Δραστηριότητα

Γνωρίζετε ότι η βαρυντική έλξη αποτελεί το βάρος του σώματος. Να χρησιμοποιήσετε αυτή τη γνώση για να δείξετε ότι ισχύει:

$G M_{\Gamma} = g_0 R_{\Gamma}^2$, όπου M_{Γ} και R_{Γ} η μάζα και η ακτίνα της Γης και g_0 η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης.

Όπως προκύπτει από τη σχέση (1.4.4), η ταχύτητα περιφοράς ενός δορυφόρου εξαρτάται μόνο από το ύψος στο οποίο αυτός περιφέρεται.

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.



Ερμηνεία της κίνησης του δορυφόρου

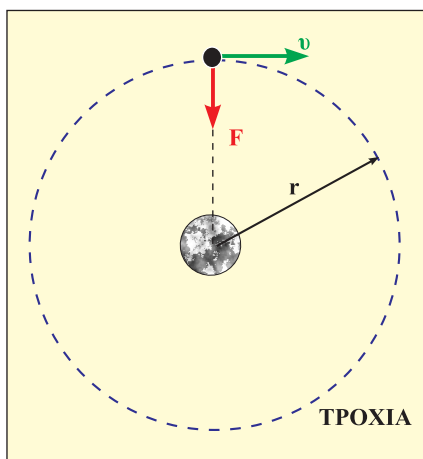
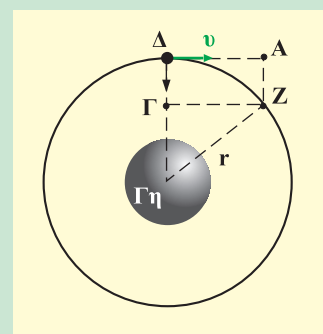
Η κίνηση του δορυφόρου Δ στην κυκλική τροχιά ακτίνας r , είναι το αποτέλεσμα της συνθέσεως δύο απλών κινήσεων. Πράγματι αν δεν υπήρχε η βαρύτητα,

ο δορυφόρος κινούμενος ευθύγραμμα και ομαλά με ταχύτητα v θα έφθανε σε χρόνο Δt έστω στη θέση Α, διανύοντας την απόσταση ΔΑ.

Αν θεωρήσουμε πως ο δορυφόρος δεν είχε αρχική ταχύτητα v , 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 $g_0 = 10 \text{ m/s}^2$. 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: $B = F_{\kappa}$. Το βάρος του δορυφόρου που διαγράφει τροχιά ακτίνας r , δίνεται από τη σχέση $B = G \frac{M_{\Gamma} m}{r^2}$, οπότε μπορούμε να γράψουμε:

$$G \frac{M_{\Gamma} m}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \text{ή} \quad G \frac{M_{\Gamma}}{r} = v^2$$

$$\text{ή} \quad \frac{g_0 R_{\Gamma}^2}{r} = \omega^2 r^2 \quad \text{ή} \quad r = \sqrt[3]{g_0 R_{\Gamma}^2 \frac{T^2}{4\pi^2}}$$

και με αντικατάσταση: $r \simeq 4,23 \cdot 10^7 \text{m}$.

1.4.5 Φαινομενική έλλειψη βάρους

Ένας άνθρωπος είναι πάνω σε ζυγό ελατηρίου, όμοιο με αυτόν, που συνήθως έχουμε στο μπάνιο του σπιτιού μας (Εικ. 1.4.11). Η ένδειξη του ζυγού είναι η δύναμη A που ασκείται από το ζυγό στον άνθρωπο, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ίση με τη βαρυτική έλξη της Γης, δηλαδή το βάρος του ανθρώπου.

Ποια θα ήταν η ένδειξη του ζυγού, αν το σύστημα βρισκόταν μέσα σε έναν ανελκυστήρα που επιταχυνόταν προς τα κάτω; Ή ποια θα ήταν η ένδειξη, αν κόβονταν τα συρματόσχοινα και ο ανελκυστήρας έπεφτε ελεύθερα; (Εικ. 1.4.12).

Στην πρώτη περίπτωση, η δύναμη από το ζυγό θα ήταν μικρότερη, δηλαδή ο άνθρωπος θα είχε την εντύπωση πως το βάρος του είναι μικρότερο από το πραγματικό. Πόσοι άραγε από εμάς δεν είχαμε μία τέτοια εμπειρία όταν βρεθήκαμε μέσα σε έναν ανελκυστήρα, που εκκινείτο προς τους κάτω ορόφους ενός πολυόροφου κτιρίου επιταχυνόμενος; Επιβεβαίωση αυτής της δήλωσης μπορεί να προκύψει από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Πράγματι, αφού ο άνθρωπος επιταχύνεται προς τα κάτω με την επίδραση του βάρους του B και της δύναμης A από το ζυγό, πρέπει να ισχύει:

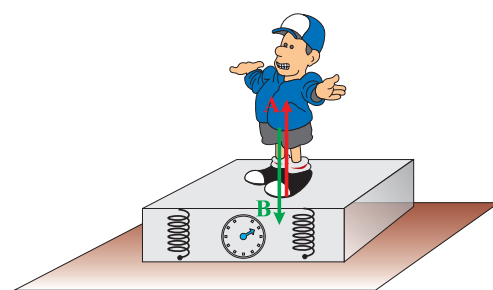
$$B - A = ma \quad \text{ή} \quad A = B - ma,$$

δηλαδή η ένδειξη A του ζυγού είναι μικρότερη από το πραγματικό βάρος B του ανθρώπου.

Στη δεύτερη περίπτωση, ο άνθρωπος θα εκτελούσε ελεύθερη πτώση μαζί με τον ανελκυστήρα και έτσι τίποτα δε θα τον υποβάσταζε. Το ελατήριο του ζυγού κάτω από τα

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;

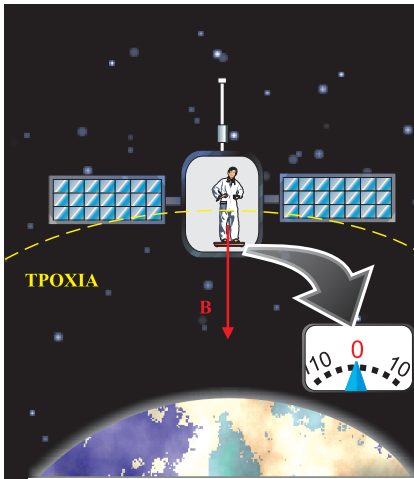


Εικόνα 1.4.11



Ο ανελκυστήρας με τον άνθρωπο εκτελούν ελεύθερη πτώση

Εικόνα 1.4.12

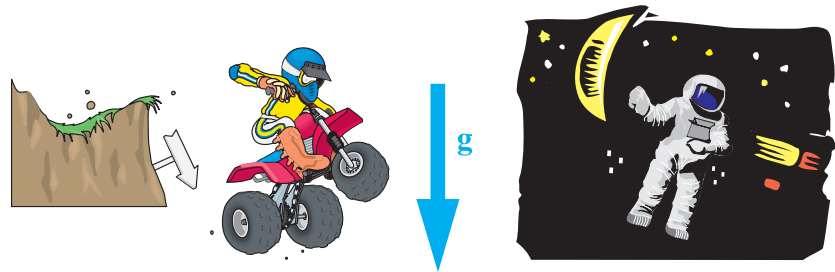


Εικόνα 1.4.13

πόδια του ανθρώπου δε θα συμπιεζόταν, επειδή θα εκτελούσε και αυτός ελεύθερη πτώση. Έτσι ο ζυγός θα είχε μηδενική ένδειξη, δηλαδή ο άνθρωπος θα σχημάτιζε τη λανθασμένη εντύπωση πως μηδενίστηκε το βάρος του.

Η κατάσταση αυτή περιγράφεται με τον όρο **κατάσταση φαινομενικής έλλειψης βαρύτητας** και τέτοια κατάσταση επικρατεί μέσα στους τεχνητούς δορυφόρους της Γης (Εικ. 1.4.13).

Ο αστροναύτης μέσα στο δορυφόρο αλλά και ο δορυφόρος, πέφτουν με την ίδια επιτάχυνση που είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, στο ύψος περιφοράς (Εικ. 1.4.13). Έτσι ο αστροναύτης δε δέχεται καμία δύναμη από το δάπεδο,



Ο αστροναύτης πέφτει με την επιτάχυνση της βαρύτητας όπως και ο οδηγός της μοτοσυκλέτας. Με άλλα λόγια και οι δύο αισθάνονται “αβαρείς”.

δηλαδή δεν τον υποβαστάζει τίποτα, με αποτέλεσμα να αισθάνεται χωρίς βάρος. Όποια αντικείμενα αφήσει από τα χέρια του, μένουν δίπλα του, αντίθετα με το ότι θα συνέβαινε, αν βρισκόταν στο έδαφος. Όλα τα όργανα του σώματός του λειτουργούν, ως να μην υπάρχουν βαρυτικές



Στο διαστημόπλοιο που περιφέρεται γύρω από τη Γη, η βαρύτητα φαινομενικά είναι μηδέν. Σ' αυτές τις συνθήκες, είναι δυνατό να γίνουν επιδείξεις ισορροπίας, όπως αυτή που φαίνεται στην εικόνα.

Οι αστροναύτες εκπαιδεύονται σε συνθήκες μικρής βαρύτητας, προκειμένου να προσαρμοστούν σ' αυτές.



δυνάμεις, και αυτό δίνει την αίσθηση της έλλειψης βάρους. Πάντως, πρέπει να αντιληφθούμε ότι ο αστροναύτης δεν είναι πραγματικά αδαρής, αφού σε μια αληθινά χωρίς δάρος περίπτωση, θα εκτελούσε ευθύγραμμη και όχι κυκλική κίνηση.

Οι συνθήκες φαινομενικής έλλειψης βάρους, δημιουργούν προβλήματα υγείας στους αστροναύτες, όταν παραμείνουν στις συνθήκες αυτές για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα. Τα πόδια τους γίνονται νωθρά, αφού δεν έχουν να στηρίξουν το βάρος τους και έτσι οι μύες ατροφούν και τα οστά αδυνατίζουν. Τα προβλήματα αυτά, αλλά και άλλα, που είναι δυνατόν να εμφανιστούν, σήμερα αντιμετωπίζονται ικανοποιητικά.



Στο διαστημόπλοιο που περιφέρεται γύρω από τη Γη, τα πράγματα δεν “πέφτουν προς τα κάτω” αλλά αιωρούνται. Στην εικόνα, φαίνεται μια ποσότητα νερού να αιωρείται ως μια μεγάλη σταγόνα.

Οι παλίρροιες



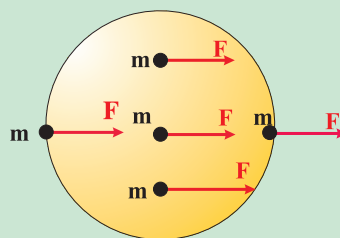
Αν έχετε μείνει για αρκετό διάστημα σε παραθαλάσσιο τόπο (ιδίως σε ανοιχτή θάλασσα) μπορεί να έχετε παρατηρήσει ότι η επιφάνεια της θάλασσας ανυψώνεται και κατεβαίνει δύο φορές στη διάρκεια ενός ημερονυκτίου. Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας ονομάζεται **πλημμυρίδα** και η πτώση της, **αμπώτιδα**. Και οι δύο κινήσεις μαζί αποτελούν το φαινόμενο της **παλίρροιας**. Σε πολλούς τόπους, η διαφορά στη στάθμη της θάλασσας κατά την πλημμυρίδα και την αμπώτη δεν ξεπερνά τα 0,3m. Υπάρχουν όμως θέσεις στον κόσμο, όπου η διαφορά αυτή φτάνει μερικές φορές τα 12m.

Ο χρόνος μεταξύ μιας πλημμυρίδας και της αμπώτιδας που την ακολουθεί είναι κατά μέσο όρο 6 1/4 ώρες. Έτσι, σε κάθε ημερονύκτιο γίνονται συνήθως δύο πλημμυρίδες και δύο αμπώτιδες (με αντίστοιχες πλημμυρίδες και αμπώτιδες μισή ώρα αργότερα την επόμενη ημέρα). Η διαφορά στη στάθμη της θάλασσας μεταξύ μιας πλημμυρίδας και της αμπώτιδας που την ακολουθεί παρουσιάζει περιοδική μεταβολή κάθε δύο εβδομάδες: τη μία εβδομάδα η διαφορά γίνεται μέγιστη (μέγιστη παλίρροια), μετά μία εβδομάδα γίνεται ελάχιστη (ελάχιστη παλίρροια), μία εβδομάδα αργότερα πάλι μέγιστη κ.ο.κ. Οι μεταβολές αυτές ανταποκρίνονται ακριδώς στις φάσεις της Σελήνης: οι μέγιστες παλίρροιες συμβαίνουν στις φάσεις της νέας Σελήνης και της πανσελήνου, ενώ οι ελάχιστες στο πρώτο και στο τρίτο τέταρτό της.

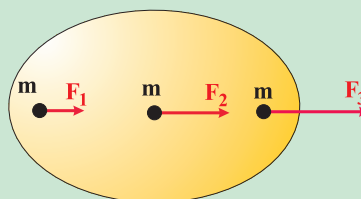
Η παλιρροιακή κίνηση λοιπόν σχετίζεται με τη Σελήνη. Αυτό το διαισθάνθηκαν οι άνθρωποι από την αρχαιότητα. Με πολύ απλό τρόπο φαντάζονταν, πως, όπως τόσα άλλα φυσικά φαινόμενα όπως το χιόνι, ο

κεραυνός, η βροχή, έτσι και η παλίρροια θα έπρεπε να συνδεόταν άμεσα με τον ουρανό. Συγκεκριμένα, οι άνθρωποι διαισθάνονταν πως υπάρχει σχέση ανάμεσα στις παλίρροιας και τη Σελήνη, δεν μπορούσαν όμως να συγκροτήσουν μία συγκεκριμένη θεωρία. Πρώτος ο Νεύτωνας έδειξε πως οι παλίρροιας είναι αποτέλεσμα της διαφοράς στη βαρυτική έλξη που ασκεί η Σελήνη σε δύο εκ διαμέτρου αντίθετες περιοχές της Γης.

Για να κατανοήσουμε πώς αυτό οδηγεί στη δημιουργία των παλιρροιών, θα περιγράψουμε το εξής πείραμα: Έστω ότι έχουμε μία μεγάλη μπάλα από εύπλαστο υλικό. Αν τραβήξουμε προς την ίδια κατεύθυνση, ίδιες ποσότητες m από τη μπάλα και με την ίδια δύναμη F , η μπάλα θα επιταχυνθεί, διατηρώντας όμως το εξωτερικό της σχήμα, εικόνα α.



Εικόνα α



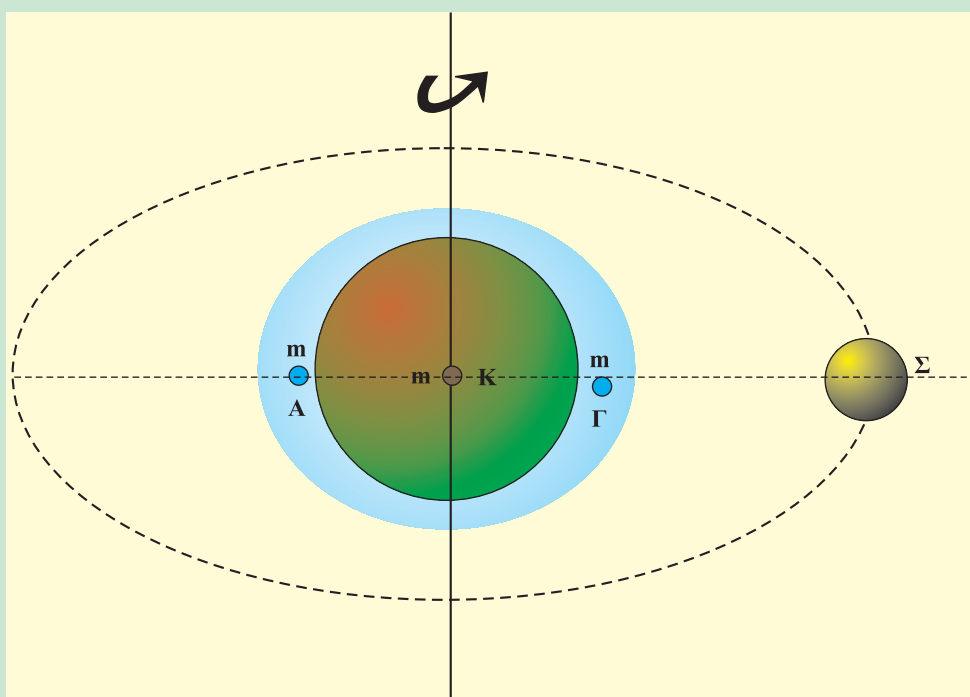
Εικόνα β

Τι θα συμβεί όμως, αν τις μάζες m τις τραβήξουμε προς την ίδια κατεύθυνση με δυνάμεις $F_3 > F_2 > F_1$, εικόνα β; Το αποτέλεσμα τώρα θα είναι, το εύπλαστο σώμα να χάσει το σφαιρικό του σχήμα, και να αποκτήσει σχήμα ελλειψοειδές. Με πολύ καλή προσέγγιση, έτσι περίπου συμβαίνουν τα πράγματα στη μεγάλη σφαίρα που ζούμε, δηλαδή στη Γη μας.

Θα απλοποιήσουμε την περιγραφή της δημιουργίας των παλιρροιών, κάνοντας κάποιες υποθέσεις που μας διευκολύνουν. Συγκεκριμένα, θεωρούμε, πως ο άξονας περιστροφής της Γης είναι κάθετος στο επίπεδο της τροχιάς της γύρω από τον Ήλιο, και ότι πάνω στο επίπεδο αυτό βρίσκεται και η Σελήνη, η οποία διαγράφει κυκλική τροχιά γύρω από τη Γη. Επίσης, θεωρούμε ότι η Γη καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από θάλασσα, που έχει παντού μεγάλο και ίδιο βάθος.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε, πως η μάζα m που

βρίσκεται στο σημείο Γ της θάλασσας, δέχεται έλξη από τη Σελήνη μεγαλύτερη από αυτήν που δέχεται ίδια μάζα m στο κέντρο Κ της Γης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός **παλιρροιακού εξογκώματος** στο νερό που βρίσκεται απέναντι από τη Σελήνη. Ένα δεύτερο παλιρροιακό εξόγκωμα δημιουργείται στο νερό που βρίσκεται μακρύτερα από τη Σελήνη, αφού εκεί η βαρυτική έλξη σε μάζα m (σημείο Α), είναι μικρότερη από την έλξη που δέχεται η μάζα m (σημείο Κ) (Εικ. γ). Η διαφορά των βαρυτικών έλξεων στα σημεία Γ και Α ονομάζεται παλιρροιακή δύναμη έλξης.



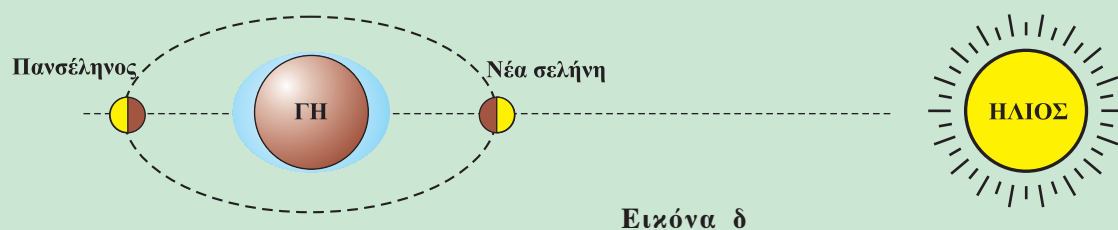
Εικόνα γ

Ένα μοντέλο της Γης με τη Σελήνη, που αναπαριστά το φαινόμενο της παλίρροιας.

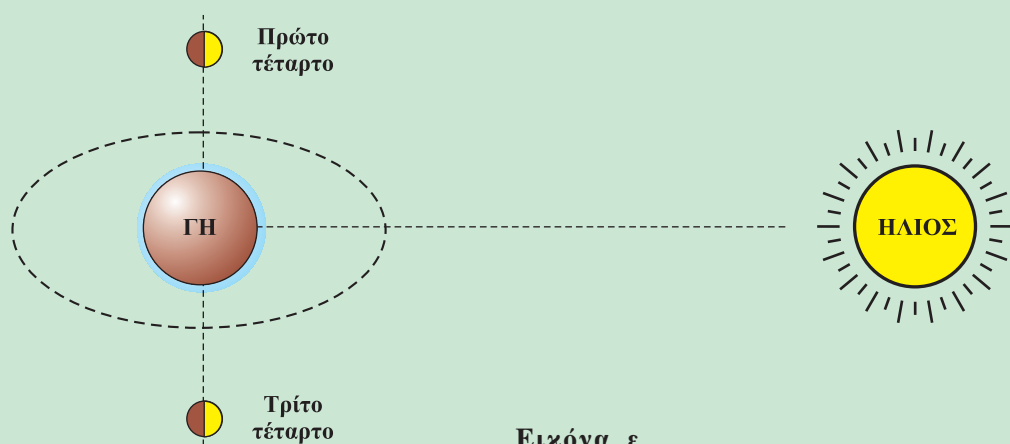
Καθώς η Γη περιστρέφεται, ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειάς της θα περνά από τις θέσεις Γ, Α μια φορά την ημέρα, έτσι ώστε να δημιουργείται δύο φορές την ημέρα το γνωστό φαινόμενο της πλημμυρίδας (ανύψωση της στάθμης των νερών). Εκτός από τη Σελήνη, συμμετοχή στη δημιουργία των παλιρροιών έχει και ο Ήλιος. Η παλιρροιακή δύναμη έλξης του Ήλιου είναι ίση με το 0,44 της παλιρροιακής έλξης της Σελήνης. Επομένως, οι παλίρροιες που προκαλεί ο Ήλιος έχουν ύψος περίπου 5/11 εκείνων που προκαλεί η Σελήνη. Αν ο Ήλιος βρίσκεται στην ίδια πλευρά με τη Σελήνη (Νέα Σελήνη) ή στην αντίθετη (Πανσέληνος), τότε οι επιδράσεις των δύο ουράνιων

σωμάτων προστίθενται και προκαλούν μέγιστες παλίρροιες (Εικ. δ).

Όταν η Σελήνη βρίσκεται στο πρώτο ή το τελευταίο τέταρτό της, οπότε ο Ήλιος βρίσκεται σε γωνία 90° με τη Σελήνη, το συνολικό αποτέλεσμα της επίδρασης των δύο σωμάτων είναι εξασθενημένο (Εικ. ε).



Εικόνα δ



Εικόνα ε

Τελειώνοντας, θα επισημάνουμε το γεγονός, πως η μηχανική ενέργεια που απελευθερώνεται από τις

παλιρροιακές κινήσεις του νερού των ωκεανών, έχει ήδη αρχίσει να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορούμε να φανταστούμε, πως με τον τρόπο αυτό θα έχουμε μία αστείρευτη πηγή ενέργειας, χωρίς

Εικόνα στ

Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από παλίρροιες στο Rance έχει μέγιστη ισχύ 240MW, η οποία αρκεί για να ικανοποιήσει τις ανάγκες μιας πόλης 300.000 κατοίκων.



την επικίνδυνη μόλυνση του περιβάλλοντος που προκαλούν τα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας με την καύση άνθρακα ή πετρελαίου, που χρησιμοποιούμε σήμερα. Στην περιοχή Rance της Γαλλίας λειτουργεί σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια των παλιρροιών (Εικ. στ).

Η παλιρροιακή κίνηση των νερών του Ευρίπου



Ο πορθμός του Ευρίπου είναι ένα στενό τμήμα θάλασσας, πλάτους 40m και μήκους 40m, που χωρίζει την ανατολική Στερεά Ελλάδα από την Εύβοια και ενώνει το δόρειο με το νότιο Ευβοϊκό κόλπο.

Στον πορθμό του Ευρίπου παρατηρείται το εξής εντυπωσιακό παλιρροιακό φαινόμενο: επί 23 έως 24 ημέρες του σεληνιακού μήνα ο πορθμός διαρρέεται από ισχυρό ρεύμα, του οποίου η ροή κατευθύνεται 6 ώρες προς το Βορρά και 6 ώρες προς το Νότο. Δηλαδή η φορά της ροής εναλλάσσεται τέσσερις φορές στο 24ωρο. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **κανονικό** και η ταχύτητά του είναι συνήθως 5 έως 6 μίλια την ώρα αλλά μπορεί να φτάσει και τα 8 μίλια την ώρα. Τόσο η κανονικότητα όσο και η ταχύτητα του ρεύματος έχουν σχέση με τις φάσεις της Σελήνης. Συγκριμένα, οι μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται κατά τη νέα Σελήνη και την πανσέληνο, ενώ οι μικρότερες στις φάσεις των σεληνιακών τετάρτων. Κατά τις υπόλοιπες 5 έως 6 ημέρες του σεληνιακού μήνα το ρεύμα ρέει ακανόνιστα. Το ρεύμα αυτό έχει μικρότερη ταχύτητα, μπορεί να αλλάξει κατεύθυνση έως 14 φορές (ή και καθόλου) σε ένα 24ωρο και ονομάζεται **ακανόνιστο**.

Το κανονικό ρεύμα του Ευρίπου είναι αποτέλεσμα των ελκτικών δυνάμεων της Σελήνης και του Ήλιου. Το παλιρροιακό κύμα που δημιουργείται από τις δυνάμεις αυτές στη Μεσόγειο, κατευθύνεται στις ελληνικές θάλασσες από ανατολικά, διχάζεται όταν φτάσει στις ανατολικές ακτές της Εύβοιας και εισβάλλει στο δόρειο και νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Κατά τη διαδρομή αυτή, οι δύο κλάδοι του διχαζόμενου παλιρροιακού κύματος, εξαιτίας της άνισης διαδρομής που διανύουν αλλά και της διαφορετικής μορφολογίας των ακτών, φτάνουν στον πορθμό σε διαφορετικούς χρόνους. Το κύμα από το νότιο Ευβοϊκό φτάνει στον πορθμό κατά μία ώρα και 15 λεπτά νωρίτερα από εκείνο που προέρχεται από τον δόρειο Ευβοϊκό. Η μη ταυτόχρονη άφιξη του παλιρροιακού κύματος στα δύο άκρα του πορθμού έχει ως συνέπεια τη δημιουργία διαφοράς στάθμης στην επιφάνεια του νερού μεταξύ του δόρειου και του νότιου λιμανιού. Η διαφορά στο ύψος του νερού είναι η αιτία που δημιουργεί το κανονικό ρεύμα του Ευρίπου. Την αιτία του κανονικού ρεύματος του Ευρίπου είχε διαγνώσει, κατά τον Στράβωνα, ο Ερατοσθένης με το “ότι η εφ’ εκατέρα θάλαττα άλλην και άλλην επιφάνειαν έχει”, ότι δηλαδή στα

δύο άκρα του πορθμού υπάρχει υψομετρική διαφορά στην επιφάνεια της θάλασσας. Η υψομετρική αυτή διαφορά, σύμφωνα με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων, δημιουργεί ρεύμα αποκατάστασης ισορροπίας από την υψηλότερη επιφάνεια προς τη χαμηλότερη.

Εκτός από τη Σελήνη και τον Ήλιο, στο ρεύμα του Ευρίπου επιδρούν και άλλοι παράγοντες που προέρχονται από τη Γη. Γήινοι παράγοντες είναι: τα διάφορα άλλα θαλάσσια ρεύματα, οι άνεμοι, οι διαφορές βαρομετρικής πίεσης που δημιουργούνται λόγω μεταβολής θερμοκρασίας, η διαμόρφωση των ακτών στις οποίες προσκρούουν τα ρεύματα κ.α. Αυτοί οι τοπικοί, γήινοι παράγοντες επηρεάζουν τις επιδράσεις της Σελήνης και του Ήλιου άλλοτε ενισχυτικά και άλλοτε ανασταλτικά. Στην εποχή του πρώτου και του τελευταίου σεληνιακού τετάρτου το συνολικό αποτέλεσμα της επίδρασης της Σελήνης και του Ήλιου είναι εξασθενημένο. Το διχασμένο κύμα λοιπόν, εισέρχεται μικρότερο σε όγκο στα λιμάνια που είναι από τη μια και την άλλη πλευρά του πορθμού. Η διαφορά ύψους του νερού στα δύο λιμάνια είναι μικρή, γι' αυτό και το ρεύμα είναι αδύνατο. Τα ασθενή τότε παλιρροιακά κύματα, όχι μόνο επηρεάζονται έντονα από τους τοπικούς, γήινους παράγοντες, αλλά πολλές φορές και εξουδετερώνονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τις συχνές αλλαγές της φοράς των ρευμάτων, καθιστώντας το παλιρροιακό ρεύμα ακανόνιστο.

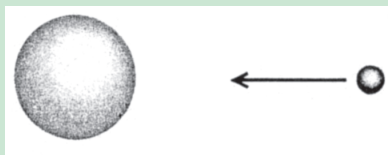


Η ιστορική εξέλιξη των θεωριών της βαρύτητας

Η πρώτη θεωρία βαρύτητας μπορούμε να πούμε ότι προτάθηκε από τον Αριστοτέλη μέσα από τις θέσεις του για το δομή του σύμπαντος και την πρότασή του για τα τέσσερα “στοιχεία” από τα οποία αποτελούνται όλα τα γήινα σώματα. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη το κέντρο του σύμπαντος ήταν η γη και όλα τα σώματα τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από το “βαρύ στοιχείο” τη “γη”, όπως το είχε ονομάσει, έχουν εκ φύσεως την τάση να κινούνται προς το κέντρο του σύμπαντος, να πέφτουν δηλαδή στην επιφάνεια της γης ή στις τρύπες που υπάρχουν σε αυτή. Η θεωρία αυτή για τη την κίνηση των σωμάτων προς το κέντρο της γης δεν άλλαξε σημαντικά παρόλο που αυξήθηκε η γνώση των ανθρώπων για την κίνηση των ουρανίων σωμάτων και ειδικότερα των πλανητών του ηλιακού συστήματος. Έτσι αν και η άποψη ότι η γη είναι το κέντρο του σύμπαντος κλονίστηκε από το έργο του N. Copernicus (N. Κοπέρνικος) του T. Brahe

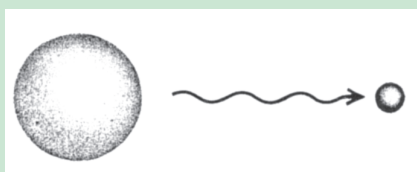
(Τ. Μπράχε) και του J. Kepler (Ι. Κέπλερ), δεν άλλαξαν ουσιαστικά οι απόψεις για τη βαρύτητα έως την περίοδο που δημοσίευσε ο Νεύτωνας τις απόψεις του για την παγκόσμια έλξη.

Σύμφωνα με τη θεωρία της παγκόσμιας έλξης η δύναμη μεταξύ δύο οποιονδήποτε σωμάτων είναι ανάλογη προς το γινόμενο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης. Ο Νεύτωνας θεωρούσε αξιωματικά ότι ο χώρος και ο χρόνος είναι φυσικές οντότητες ανεξάρτητες η μια από την άλλη και ότι η κίνηση ενός σώματος καθορίζεται από τη μάζα του και τη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό. Το θεωρητικό αυτό οικοδόμημα ερμήνευσε ικανοποιητικά την κίνηση των ουράνιων και επίγειων σωμάτων ενοποιώντας φαινomenικά διαφορετικές κινήσεις ανεξάρτητα από το μέγεθος των κινούμενων σωμάτων. Σύμφωνα με αυτό η εμφάνιση της δύναμης γίνεται ακαριαία και δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιου μέσου μεταξύ των μαζών. Η βαρυτική δύναμη μπορεί να διαδοθεί στο κενό που παρεμβάλλεται μεταξύ των πλανητών και του ήλιου. Σχηματικά η θεωρία του Νεύτωνα για την άσκηση της βαρυτικής δύναμης φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Η άσκηση βαρυτικής δύναμης σύμφωνα με το Νεύτωνα.

Όμως ο τρόπος διάδοσης της βαρυτικής έλξης όπως τον περιγράψαμε δεν είναι και τόσο οικείος στον άνθρωπο. Γι' αυτό δεν είναι παράξενο το ότι οι επιστήμονες αναζήτησαν μια άλλη περιγραφή του τρόπου άσκησης της δύναμης μεταξύ δύο σωμάτων. Η αναζήτηση αυτή οδήγησε στην εισαγωγή της έννοιας του πεδίου, ενός μεγέθους που διαμεσολαθεί στην άσκηση της δύναμης ή πιο σωστά στην εμφάνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο σωμάτων. Το βαρυτικό πεδίο διαμεσολαθεί μεταξύ των δύο μαζών και η εμφάνιση της δύναμης σε ένα από αυτά είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης του ενός σώματος στο χώρο του βαρυτικού πεδίου του άλλου. Ο τρόπος άσκησης της δύναμης σύμφωνα με αυτή τη θεωρία που ονομάζεται Κλασική θεωρία πεδίου, φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Η άσκηση της βαρυτικής δύναμης σύμφωνα με την Κλασική θεωρία πεδίου.

Αν και άλλαξε η θεωρία για τον τρόπο άσκησης της βαρυτικής δύναμης δεν άλλαξε όμως το μέτρο της το οποίο είναι ίσο με αυτό που είχε προσδιορίσει ο Νεύτωνας.

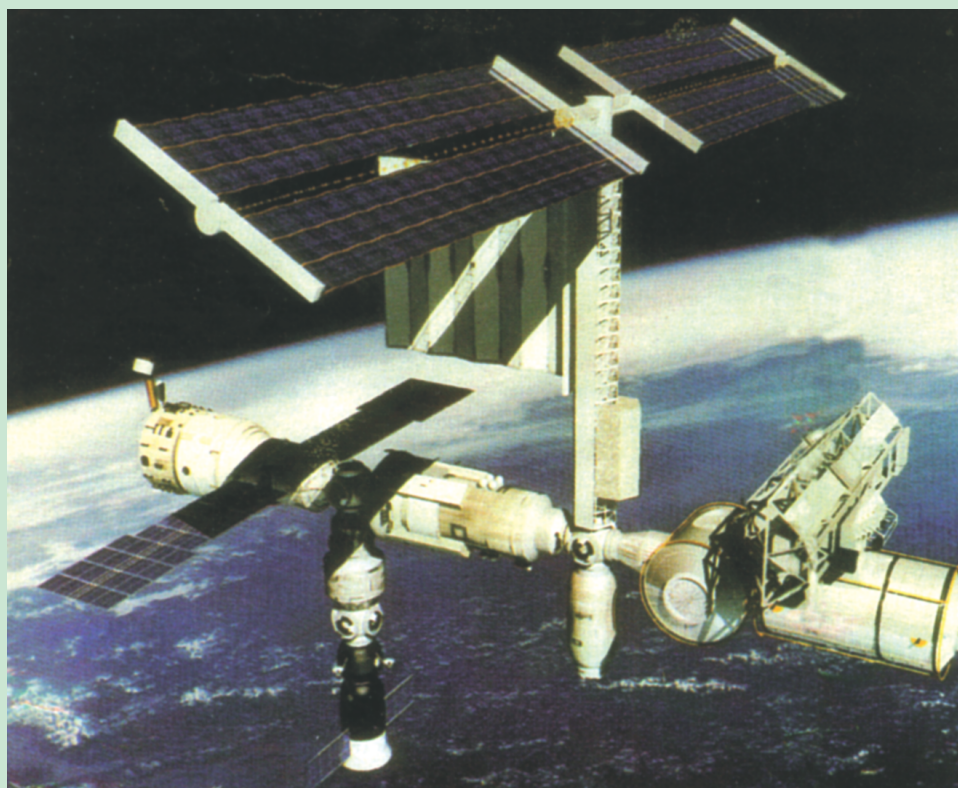
Η θεωρία αυτή για το βαρυτικό πεδίο τροποποιήθηκε μετά από την εμφάνιση της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας και μέσα από το έργο του Αϊνστάιν για τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Ο περιορισμός που τίθεται από την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας για τη μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να υπάρξει στη φύση (ταχύτητα του φωτός στο κενό $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$) έθεσε περιορισμούς στην ταχύτητα διάδοσης του βαρυτικού πεδίου κατά τη βαρυτική αλληλεπίδραση.



Εξερεύνηση του διαστήματος

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, σε μια εποχή που δεν είχε ακόμα εφευρεθεί το αυτοκίνητο, ο Ρώσος μαθηματικός Κωνσταντίν Τσιολκόφσκι αφιέρωσε τη ζωή του στη μελέτη της πτήσης των πυραύλων και στην επίτευξη διαστημικών ταξιδιών.

Πολλά χρόνια πριν ένας ευφάνταστος Γάλλος συγ-



Σχέδιο του διαστημικού σταθμού που πρόκειται να συναρμολογηθεί σταδιακά μετά από το 2000.

Ο σταθμός θα βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη γη και θα χρησιμοποιηθεί για τη πραγματοποίηση πειραμάτων σε συνθήκες “μηδενικής” βαρύτητας καθώς επίσης και ως ενδιάμεσος σταθμός για ταξίδια σε άλλους πλανήτες.

γραφέας, ο Ιούλιος Βερν είχε φανταστεί το ταξίδι από τη Γη στη Σελήνη στο ομώνυμο μυθιστόρημά του.

Τις τελευταίες δεκαετίες, πολλοί τεχνητοί δορυφόροι έχουν μπει σε τροχιά γύρω από τη Γη, ενώ άλλα διαστημικά εξερευνητικά οχήματα ταξιδεύουν προς κάθε γωνιά του Ηλιακού Συστήματος. Μέχρι σήμερα έχουν μελετηθεί όλοι οι πλανήτες, εκτός από τον Πλούτωνα. Μη επανδρώμενα διαστημόπλοια προσεδαφίστηκαν στον Άρη και στην Αφροδίτη, απ'όπου έστειλαν στη Γη φωτογραφίες και άλλα στοιχεία.

Οι διαστημικές πτήσεις έγιναν πραγματικότητα χάρη στην επινόηση και την κατασκευή πολυόροφων πυραύλων.

Η διαστημική εποχή άρχισε το 1957, όταν η Ε.Σ.-Σ.Δ. εκτόξευσε τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο (Σπούτνικ Ι). Τα ταξίδια του ανθρώπου στο Διάστημα άρχισαν το 1961, που έγινε η πρώτη επανδρωμένη πτήση, με τον Γιούρι Γκαγκάριν (Ε.Σ.Σ.Δ.). Οκτώ χρόνια αργότερα, το 1969, αστροναύτες από τις Η.Π.Α. με το Απόλλων 11, πάτησαν για πρώτη φορά στη Σελήνη και άρχισαν να εξερευνούν την επιφάνειά της.

Έκτοτε έγιναν πολλές αποστολές ειδικευμένων αστροναυτών.

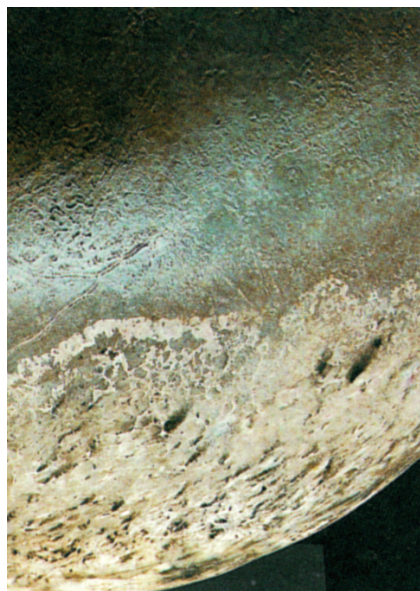
Την περίοδο 1969 - 1972, οι Η.Π.Α. έστειλαν 6 επανδρωμένες αποστολές στη Σελήνη, ενώ ένα μη επανδρωμένο σοβιετικό διαστημόπλοιο έφερε στη Γη δείγματα πετρωμάτων από το έδαφος της Σελήνης.

Αργότερα, διάφορες ευρωπαϊκές χώρες κατασκεύασαν από κοινού διαστημικό πύραυλο. Ακολούθησαν και άλλες χώρες, όπως η Κίνα και η Ινδία. Οι Αμερικανοί το 1981 κατασκεύασαν διαστημικό λεωφορείο (Columbia), όχημα που μπορεί να πραγματοποιεί πολλές πτήσεις. Οι Σοβιετικοί κατάφεραν να παραμείνουν στο διάστημα, σε σταθμούς που είχαν εγκαταστήσει, για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Το 1989 εκτοξεύτηκε από την τότε Ε.Σ.Σ.Δ. ο επανδρωμένος διαστημικός σταθμός *Μιρ*, ο οποίος λειτουργεί ως σήμερα. Ήδη προγραμματίζεται επανδρωμένη πτήση στον Άρη, πιθανώς στις αρχές του 21^{ου} αιώνα.

Για να φτάσει ένα διαστημόπλοιο στον Άρη θα χρειαστεί ταξίδι 3 ετών. Μη επανδρωμένα διαστημόπλοια έχουν ήδη προσγειωθεί στον Άρη και έχουν στείλει στη Γη τηλεφωτογραφίες και σήματα από άλλους πλανήτες.

Σήμερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ρωσία, η Αμερική και η Ιαπωνία συνεργάζονται στην οργάνωση και πραγματοποίηση διαστημικών πτήσεων και ερευνών.



Φωτογραφία του δορυφόρου του Ποσειδώνα, Τρίτωνα, που έστειλε στη Γη ο Βόγιατζερ. Οι λεπτομέρειες στην επιφάνεια του δορυφόρου είναι εκπληκτικές.

Ορόσημα στην εξερεύνηση του Διαστήματος

- 1957** Εκτόξευση του *Σπούτνικ 1* (Ε.Σ.Σ.Δ.).
- 1961** Εκτόξευση του πρώτου επανδρωμένου δορυφόρου (Ε.Σ.Σ.Δ.).
- 1965** Κοντινές φωτογραφικές λήψεις πλανήτη (Άρης) από το *Μάρινερ 4* (Η.Π.Α.).
- 1969** Προσεδάφιση κοσμοναυτών στη Σελήνη με το *Απόλλων 11* (Η.Π.Α.).
- 1970** Το *Βένερα 7* (Ε.Σ.Σ.Δ.), το πρώτο διαστημικό εξερευνητικό όχημα, προσεδαφίζεται σε πλανήτη (Αφροδίτη).
- 1971** Ο πρώτος διαστημικός σταθμός *Σαλιούτ 1* (Ε.Σ.Σ.Δ.) μπαίνει σε τροχιά.
- 1976** Δύο οχήματα *Βίκινγκ* (Η.Π.Α.) προσεδαφίζονται στον Άρη.
- 1977** Εκτόξευση του *Βόγιατζερ 2*. Το 1989 είχε περάσει από 4 πλανήτες.
- 1981** Εκτόξευση του πρώτου διαστημικού λεωφορείου *Κολούμπια* (Η.Π.Α.).
- 1986** Εκτόξευση του πρώτου διαστημικού σταθμού *Μιρ* (Ε.Σ.Σ.Δ.).
- 1990** Εκτόξευση του τηλεσκοπίου Χαμπλ (Η.Π.Α.).

Σύγχρονα διαστημικά οχήματα.

- 1985** Αποστολή 5 οχημάτων στον Κομήτη του Χάλεϊ.
- 1988** Το *Φόδος* (Ε.Σ.Σ.Δ.) μελετάει τον Άρη και τους δορυφόρους του.
- 1989** Προσεδάφιση του *Μαγγελάνος* (Η.Π.Α.) στην επιφάνεια της Αφροδίτης.
- 1989** Εκτόξευση του *Γαλιλαίος* (Η.Π.Α.) σε τροχιά γύρω από το Δία και προσεδάφιση ερευνητικής συσκευής.
- 1990** Αποστολή του *Οδυσσέας* πάνω από τους πόλους του Ήλιου.
- 1997** Αποστολή του *Cassini* σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο.

Ιστορικοί δορυφόροι.

Σπούτνικ Ι (Ε.Σ.Σ.Δ., 1957)	Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος.
Εξπλόρερ Ι (Η.Π.Α., 1958)	Ο πρώτος δορυφόρος των Η.Π.Α., που εντόπισε τις ζώνες Βαν Άλεν.
Τίρος Ι (Η.Π.Α., 1960)	Ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος.
Τράνζιτ ΙΒ (Η.Π.Α., 1960)	Ο πρώτος δορυφόρος ναυσιπλοΐας.
Τέλσταρ Ι (Η.Π.Α., 1962)	Ο πρώτος δορυφόρος αναμετάδοσης τηλεοπτικών εκπομπών.
Σίνκομ ΙΙ (Η.Π.Α., 1963)	Ο πρώτος γεωστατικός δορυφόρος.
Έρλι Μπερντ (Η.Π.Α., 1965)	Ο πρώτος δορυφόρος τηλεπικοινωνιών που παραχωρήθηκε για εμπορική εκμετάλλευση.

Πρωτοπόροι.

Κωνσταντίν Τσιολκόφσκι:	Ρώσος, που πρόβλεψε τη χρήση των πυραύλων για διαστημικά ταξίδια.
Ρόμπερτ Γκόντφραντ:	Αμερικανός, που έκανε πειραματικές δοκιμές με μικρούς πυραύλους (1930).
Βέρνερ φον Μπράουν:	Γερμανός, που σχεδίασε τους πολεμικούς πυραύλους V2 και τον αμερικανικό πυραύλο, που πήγε στο φεγγάρι.
Σεργκέι Κορολιέφ:	Σχεδίασε τους πρώτους σοβιετικούς διαστημικούς πυραύλους.
Γιούρι Γκαγκάριν:	Ρώσος, που ταξίδεψε πρώτος στο διάστημα.
Βαλεντίνα Τερέσκοβα:	Ρωσίδα, η πρώτη γυναίκα κοσμοναύτης που ταξίδεψε στο διάστημα (1963).
Νιλ Άρμστρονγκ:	Αμερικανός, που πάτησε πρώτος στην επιφάνεια της Σελήνης (1969).
Τζων Γκλεν:	Αμερικανός, ο γηραιότερος κοσμοναύτης (77 χρονών) που έμεινε σε περιστροφή γύρω από τη Γη για μια βδομάδα (1998).



Ο τελευταίος σταθμός στο μακρινό ταξίδι του Voyager 2 στο Ηλιακό μας σύστημα, 12 χρόνια μετά την εκτόξευσή του, ήταν ο δορυφόρος του Ποσειδώνα, Τρίτων. Μετά το σταθμό αυτό, ο Voyager 2 θα “χαθεί” στο μεσοαστρικό χώρο. Ο Voyager 2 μεταφέρει ένα χρυσό δίσκο, στον οποίο έχουν ηχογραφηθεί ήχοι της Γης, όπως ήχος της θάλασσας, του ανέμου, της βροχής, κελαϊδήματα πουλιών και χαιρετισμοί σε 60 ανθρώπινες γλώσσες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο νόμος της παγκόσμιας έλξης αναφέρεται στις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μαζών που λέγονται συνήθως βαρυτικές έλξεις ή απλά βαρυτικές δυνάμεις και έχουν μεταξύ τους σχέση δράσης - αντίδρασης.

Διατυπώνεται ως εξής: “κάθε σωματίο μάζας m_1 που βρίσκεται σε απόσταση R από άλλο σωματίο μάζας m_2 , οπουδήποτε στο σύμπαν, έλκει το δεύτερο αλλά και έλκεται απ’ αυτό με δύναμη που είναι ανάλογη του γινομένου των δυο μαζών και αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης”.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Οι βαρυτικές έλξεις περιγράφονται με την έννοια του **βαρυτικού πεδίου**, που είναι ο χώρος γύρω από μία μάζα M , ο οποίος έχει αποκτήσει την ιδιότητα να ασκεί δύναμη σε κάθε άλλη μάζα m που θα βρεθεί μέσα σ’ αυτόν.

Το βαρυτικό πεδίο της Γης είναι ο χώρος γύρω από την Γη. Η δύναμη που ασκείται από τη Γη σε κάθε σώμα που βρίσκεται στο πεδίο της ονομάζεται βάρος του σώματος και κατευθύνεται προς το κέντρο της.

Το πεδίο της Γης περιγράφεται με το διανυσματικό μέγεθος της **έντασης g του βαρυτικού πεδίου** σ’ ένα σημείο. Το μέτρο της έντασης δίνεται από τη σχέση:

$$g = \frac{B}{m} = G \frac{M_\Gamma}{r^2}$$

και έχει κατεύθυνση ίδια με αυτή του βάρους.

Οι **δυναμικές γραμμές** απεικονίζουν το βαρυτικό πεδίο. Είναι νοητές γραμμές που χαράσσονται αν υποθέσουμε ότι το διάνυσμα της έντασης του βαρυτικού πεδίου ολισθαίνει κατά την κατεύθυνσή του από σημεία που βρίσκονται πολύ μακριά από τη Γη και μέχρι την επιφάνειά της. Υπάρχει ισοδυναμία ανάμεσα στην ένταση του βαρυτικού πεδίου και την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Μη ομογενές πεδίο είναι το πεδίο της Γης αλλά και κάθε άλλου ουράνιου σώματος επειδή έχει στα διάφορα σημεία του διαφορετική ένταση. Θεωρούμε όμως το πεδίο της Γης ως ομογενές σε μικρή έκταση και κοντά στην επιφάνειά της. Στο ομογενές βαρυτικό πεδίο θα θεωρούμε το βάρος των σωμάτων σταθερό.

Τεχνητός δορυφόρος θεωρείται κάθε σώμα που ο άνθρωπος θέτει σε κυκλική τροχιά, κυρίως γύρω από τη Γη. **Φυσικός δορυφόρος** είναι κάθε ουράνιο σώμα που περιφέρεται γύρω από κάποιο άλλο.

Η ταχύτητα περιφοράς των δορυφόρων δίνεται από τη σχέση:

$$v = \sqrt{G \frac{M_\Gamma}{r}}$$

Θεωρητικά ο δορυφόρος δε χρειάζεται ενέργεια για να παραμείνει στην τροχιά του.