

Κεφάλαιο

1

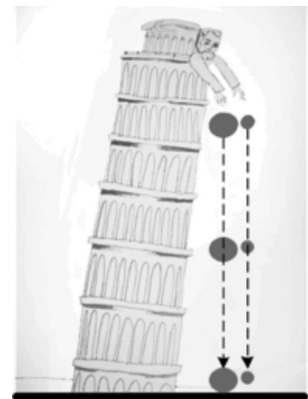
ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Πριν ξεκινήσει κανείς να μελετά φυσική, είναι απαραίτητο να κατανοήσει τις βασικές αρχές και τις διαδικασίες μέσω των οποίων η φυσική επιστήμη εξάγει τις γνώσεις και τα συμπεράσματά της από τα παρατηρούμενα φυσικά φαινόμενα.

Αφού η φυσική παρατηρεί και μελετά τα φυσικά φαινόμενα, βασίζεται επομένως σε παρατηρήσεις, δηλαδή σε πειράματα κι επομένως η φυσική είναι **πειραματική επιστήμη**. Κανένας νόμος δεν μπορεί να θεωρηθεί φυσικός νόμος, αν δεν επιβεβαιωθεί από πειράματα. Επομένως, η μελέτη των γνώσεων γύρω από τα φυσικά φαινόμενα και των νόμων που τα διέπουν είναι αδιανόητο να παρουσιάζονται χωρίς να περιγράφονται παράλληλα και τα σχετικά πειράματα από όπου εξάγεται αυτή η γνώση.

Τα φαινόμενα καταρχάς εξελίσσονται στην ίδια τη φύση, η οποία υπό αυτή την έννοια μπορεί να θεωρηθεί ως ένα απέραντο εργαστήριο, όπου διεξάγεται καθημερινά ένα αναρίθμητο πλήθος πειραμάτων. Πάρα πολλά πειράματα σχεδιάζονται και εκτελούνται με ελεγχόμενο τρόπο και καταγράφονται μέσα σε εργαστήρια. Επίσης, πειράματα μπορούν να σχεδιάζονται και να εκτελούνται και μέσα στο μυαλό μας, τα λεγόμενα νοητικά πειράματα, στα οποία αρέσκονταν πολλοί μεγάλοι φυσικοί, όπως ο Αϊνστάιν και άλλοι.

Στην πραγματικότητα όμως, όλα τα πειράματα ξεκινούν από το μυαλό μας, στο οποίο σχεδιάζονται πριν να μελετηθούν. Στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διαδικασία του σχεδιασμού, της εκτέλεσης, της ανάλυσης, της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων και της εξαγωγής των συμπερασμάτων μέσα από πειράματα.



Με το περίφημο πείραμα του κεκλιμένου πύργου της Πίζας, ο Γαλιλαίος απέδειξε ότι μόνο με τη βοήθεια του πειράματος είναι δυνατόν να εξαχθούν αξιόπιστα οι φυσικοί νόμοι.

1.1 Η μεθοδολογία της φυσικής

Βασικός σκοπός της φυσικής είναι η παρατήρηση των φυσικών φαινομένων και η εύρεση κανονικότητων και αρχών-νόμων που περιγράφουν και ερμηνεύουν τα φαινόμενα.

Ο φυσικός διατυπώνει τις κατάλληλες ερωτήσεις, σχεδιάζει κατάλληλα πειράματα και καταγράφει τις παρατηρήσεις, τις οποίες επεξεργάζεται με την κατάλληλη μαθηματική ανάλυση για να εξαγάγει τις σχετικές απαντήσεις-συμπεράσματα. Παραδείγματα της διαδικασίας αυτής μαζί με τα βασικά βήματα που ακολουθούνται, περιγράφονται παρακάτω.

Παράδειγμα 1.1 Η μελέτη της επιτάχυνσης της βαρύτητας στη Γη

Βήμα 1 Διατυπώνεται η ερώτηση: Με τι ρυθμό πέφτουν τα διάφορα σώματα στη Γη; Αρχικά, με αυτό το ερώτημα ασχολήθηκε ο Αριστοτέλης. Αυτός βασίστηκε απλά στην εμπειρία που έχουμε από την καθημερινή παρατήρηση των σωμάτων που πέφτουν προς τη Γη. Έτσι, έβγαλε το συμπέρασμα πως ένα βαρύτερο σώμα θα πέφτει πιο γρήγορα από ένα ελαφρύτερο.

Όμως η εμπειρία μας δεν μπορεί να αποτελεί βάση για εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Ωστόσο, η εμπειρία μας μπορεί πολύ εύκολα να μας οδηγήσει σε απατηλά συμπεράσματα, όπως τον Αριστοτέλη, και ποτέ δεν μπορεί να είναι πηγή παρατηρήσεων για τη φυσική.

Έτσι, γίνεται επιτακτική η ανάγκη διεξαγωγής πειραμάτων για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

Το πρώτο σχετικό πείραμα πραγματοποιήθηκε από τον Γαλιλαίο, ο οποίος έδωσε τη σωστή απάντηση.

Βήμα 2 Ο Γαλιλαίος σχεδίασε το σχετικό πείραμα:

Λέγεται πως πήρε δύο σώματα, ένα βαρύτερο κι ένα ελαφρύτερο, και τα άφησε να πέσουν από την κορυφή του κεκλιμένου πύργου της Πίζας.

Βήμα 3 Παρατήρηση:

Διαπίστωσε πως και τα δύο σώματα έπεσαν με τον ίδιο τρόπο ταυτόχρονα.

Βήμα 4 Συμπέρασμα: Τα σώματα πέφτουν προς τη Γη με την ίδια επιτάχυνση, ανεξάρτητα από τη μάζα τους.

Αυτό το πείραμα μπορούμε να το επαναλάβουμε κι εμείς, παίρνοντας δύο σώματα ιδίου σχήματος και όγκου (βλέπε παρακάτω, σχετικό πείραμα 1) και πολύ διαφορετικού βάρους, π.χ. δύο τσάντες, μια γεμάτη με βιβλία και την άλλη σχεδόν άδεια, και τις αφήσουμε ταυτόχρονα να πέσουν από κάποιο ύψος. Θα διαπιστώσουμε πως πράγματι θα πέσουν πρακτικά ταυτόχρονα. Βέβαια, μπορούμε να σχεδιάσουμε κι άλλα πειράματα μεγαλύτερης ακρίβειας, όπου μπορούμε να μετρήσουμε με μια φωτοπύλη το χρονικό διάστημα στο οποίο θα πέσουν τα διαφορετικά σώματα. Εναλλακτικά, μπορούμε να κάνου-

με το πείραμα σε κενό αέρος, ώστε να αποκλείσουμε εντελώς την επίδραση της αντίστασης του αέρα. Σε όλες τις περιπτώσεις, θα επιβεβαιώνεται το ίδιο πάντα συμπέρασμα.

Το παραπάνω συμπέρασμα, που βγαίνει από το πείραμα της πτώσης των σωμάτων, αποτελεί έναν θεμελιώδη νόμο της φύσης, ο οποίος επιβεβαιώνεται πάντα με το σχετικό πείραμα, χωρίς όμως να εξηγεί γιατί συμβαίνει αυτό. Μια εξήγηση σε αυτό το συμπέρασμα δόθηκε αργότερα από τον Νεύτωνα, με τον ποσοτικό νόμο της παγκόσμιας έλξης, που παρουσιάζεται πιο κάτω. Με βάση αυτόν, εξηγείται γιατί όλα τα σώματα πέφτουν στη Γη με την ίδια επιτάχυνση g . Ωστόσο, με τη σειρά του κι αυτός ο νόμος δεν εξηγεί γιατί το βάρος εξαρτάται, π.χ., από την απόσταση των σωμάτων καθώς και τη μάζα τους.

Παράδειγμα 1.2 Η μελέτη του σχήματος της Γης

Βήμα 1 Διατυπώνεται η ερώτηση: Η Γη είναι επίπεδη ή στρογγυλή;

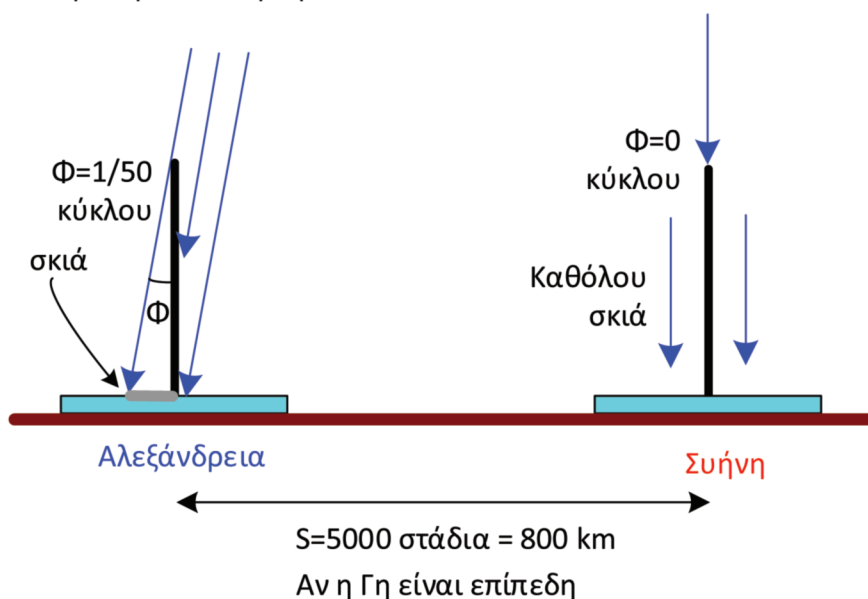
Ιστορικά, φαίνεται πως πρώτος απάντηση σε αυτό το ερώτημα έδωσε ο Ερατοσθένης τον 3ο αιώνα π.Χ.

Βήμα 2 και 3 Το σχετικό πείραμα και οι παρατηρήσεις:

Το πείραμα έγινε βέβαια στη φύση, μετά από προσεκτικές παρατηρήσεις που έκανε ο Ερατοσθένης, ταξιδεύοντας μεταξύ Αλεξάνδρειας και Συήνης (Ασσουάν) στην Αίγυπτο. Παρατήρησε πως η σκιά των σωμάτων στο έδαφος ήταν διαφορετική σε μήκος στα δύο μέρη. Αυτή η διαφορά ήταν πολύ εμφανής κατά το θερινό ηλιοστάσιο, όπου η διάρκεια της ημέρας είναι μέγιστη στο βόρειο ημισφαίριο. Ο Ερατοσθένης παρατήρησε πως:

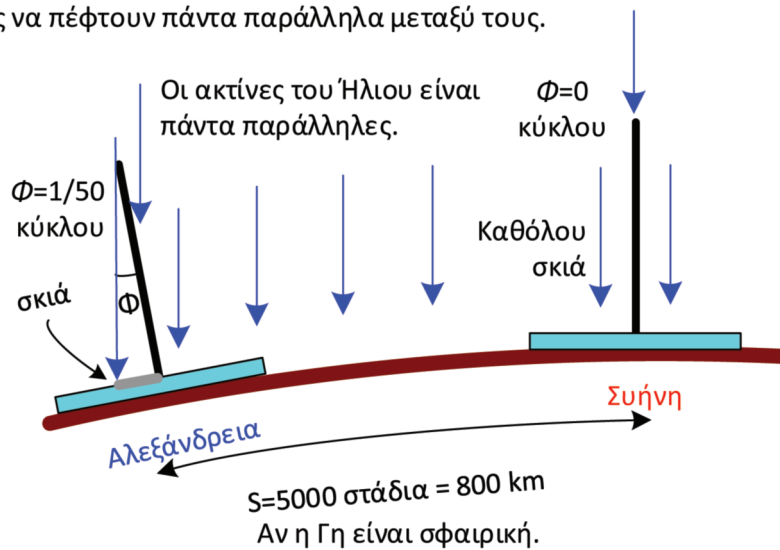
Στην Αλεξάνδρεια υπήρχε μια μικρή σκιά και η γωνία των ακτίνων του ήλιου σχημάτιζε γωνία $1/50$ του κύκλου με την κατακόρυφο.

Στη Συήνη παραδόξως απουσίαζε τελείως η σκιά των σωμάτων και οι ακτίνες του Ήλιου ήταν εντελώς κατακόρυφες.



Τότε οι ακτίνες του Ήλιου φαίνονται να μην είναι παράλληλες, γεγονός άτοπο.

Λόγω της παραλληλότητας των ακτίνων του Ήλιου, θα έπρεπε και στους 2 τόπους να πέφτουν πάντα παράλληλα μεταξύ τους.



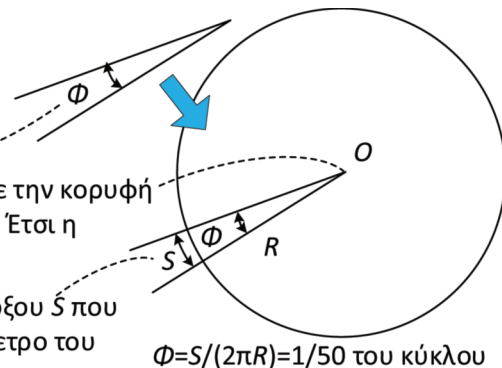
Τότε η επιφάνεια της Γης είναι καμπυλωμένη και οι παράλληλες ακτίνες του ήλιου πράγματι μπορεί να δημιουργούν σκιά στην Αλεξάνδρεια και όχι στη Συήνη, κατά το θερινό ηλιοστάσιο.

Πώς μετρήθηκε η γωνία $\Phi = 1/50$ του κύκλου;

Η γωνία Φ , με τις δύο πλευρές όπως προσδιορίστηκαν από τη μέτρηση της σκιάς κι αποτυπώθηκαν για παράδειγμα σε χαρτί...

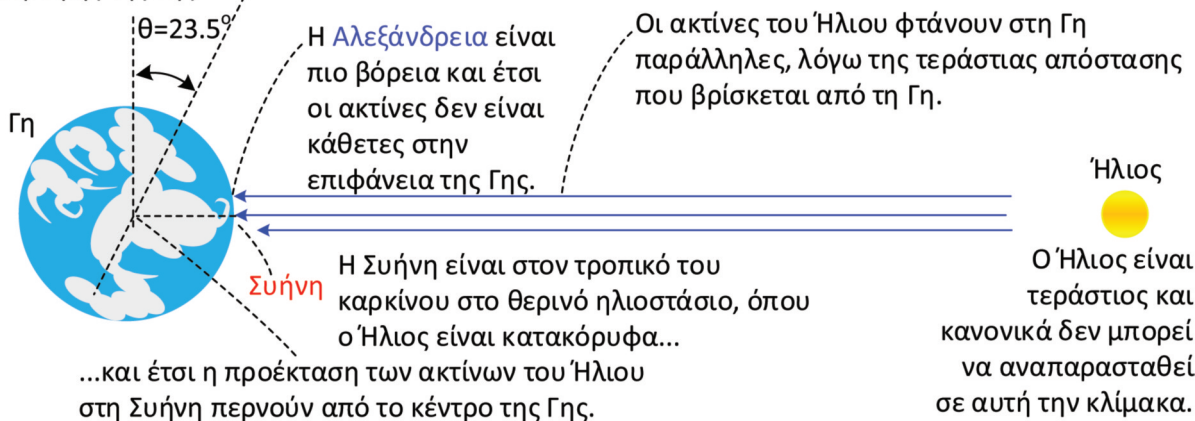
... μεταφέρεται σε έναν κύκλο και τοποθετείται με την κορυφή της στο κέντρο του κύκλου, με αυθαίρετη ακτίνα. Έτσι η γωνία καθίσταται επίκεντρη γωνία του κύκλου.

Μετά μετρώντας (πχ. με σπάγκο) το μήκος του τόξου S που "βλέπει" η γωνία Φ και διαιρώντας με την περίμετρο του κύκλου $2\pi R$ βρίσκεται:

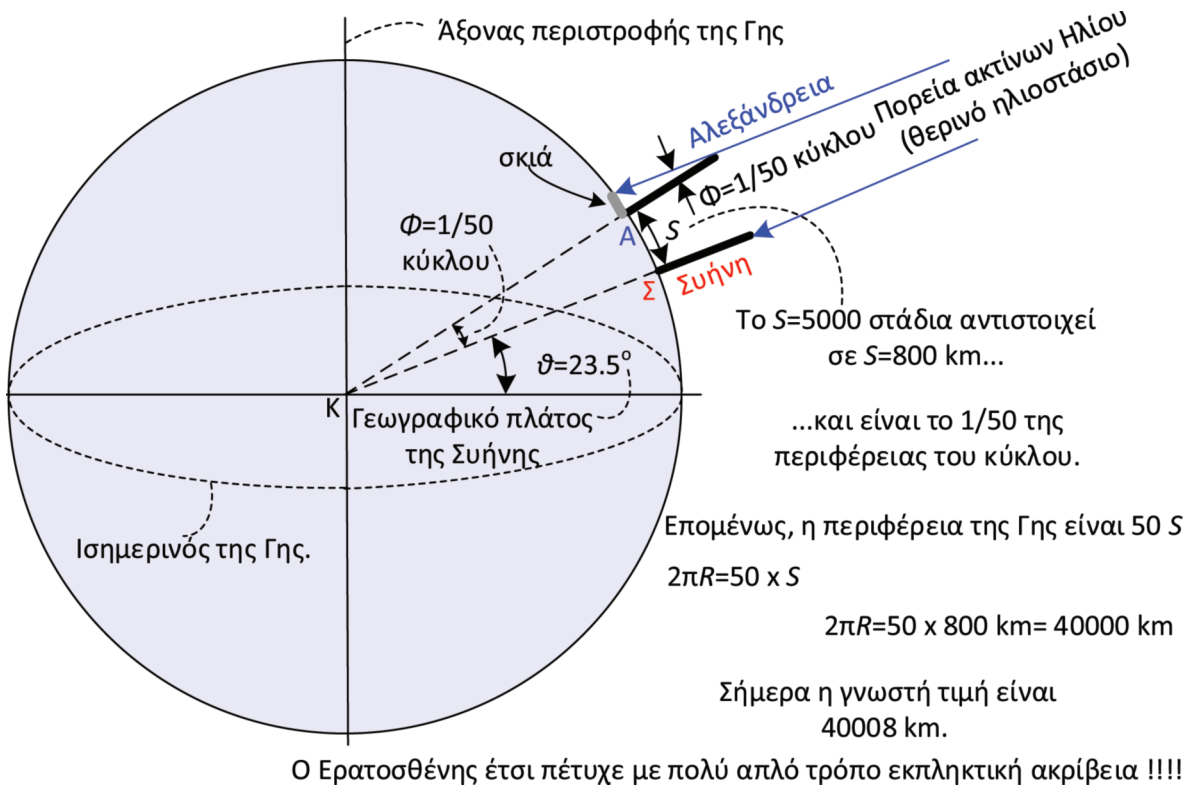


Εφόσον ο Ερατοσθένης συμπέρανε ότι η Γη είναι σφαιρική, σχεδίασε τη σφαιρική Γη και προσπάθησε να προσδιορίσει τις θέσεις όπου περίμενε να βρίσκονται οι δύο πόλεις.

Κεκλιμένος άξονας περιστροφής της Γης



Στη συνέχεια σχεδιάζοντας τη Γη προσδιόρισε πού αντιστοιχεί η γωνία $1/50$ του κύκλου που μέτρησε.



Με αυτό τον τρόπο βρήκε ότι το τόξο $S = 800 \text{ Km}$ (Συήνη-Αλεξάνδρεια) φαίνεται υπό την επίκεντρη γωνία $AK\Sigma$, η οποία είναι ίση με $\Phi = 1/50$ κύκλου (ως εντός και εναλλάξ) και από αυτό προσδιόρισε την περίμετρο της Γης.

Βήμα 4 Συμπέρασμα: Ο Ερατοσθένης δεν έμεινε μόνο στο ποιοτικό συμπέρασμα πως η Γη είναι σφαιρική και όχι βέβαια επίπεδη, αλλά προχώρησε σε ποσοτικά αποτελέσματα και μέτρησε τη διάμετρο της Γης και μάλιστα με μεγάλη επιτυχία.

Παράδειγμα 1.3 Η Γη κινείται ή είναι ακίνητη; Πανάρχαιο ερώτημα!

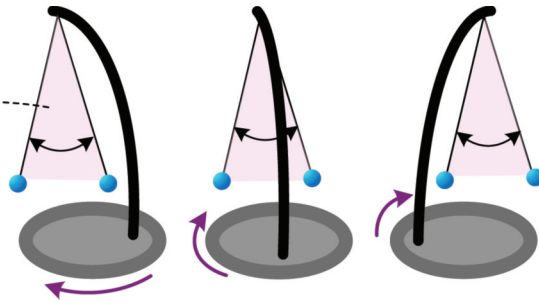
Βήμα 1 Η ερώτηση: Η Γη περιστρέφεται ή είναι ακίνητη; Όλα τα άλλα ουράνια σώματα είναι αυτά που περιστρέφονται γύρω από τη Γη ή και η Γη περιστρέφεται μαζί με αυτά;

Βήμα 2 Το σχετικό πείραμα σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε από τον Foucault στο περίφημο ομώνυμο πείραμα.

Ο Foucault παρατήρησε πως το εκκρεμές ταλαντώνεται σε σταθερό επίπεδο ταλάντωσης, ακόμα κι αν το εκκρεμές περιστραφεί. Δηλαδή, κρατώντας ένα εκκρεμές και παρατηρώντας το να ταλαντώνεται καθώς περιστρεφόμαστε σιγά-σιγά, διαπιστώνουμε ότι το εκκρεμές ταλαντώνεται συνεχώς στο αρχικό επίπεδο ταλάντωσης, χωρίς να παρακολουθεί την περιστροφή μας.

Όταν ένα εκκρεμές περιστραφεί χωρίς να μπορεί να συστρέφεται το νήμα του...

... το επίπεδο ταλάντωσης δεν θα περιστραφεί, αλλά θα παραμείνει σε σταθερό προσανατολισμό.



Βήμα 3 Ο Foucault χρησιμοποίησε την παραπάνω ιδιότητα του εκκρεμούς για να διερευνήσει αν η Γη περιστρέφεται.

Το πείραμα του Foucault

Σε αυτό το πείραμα καταγράφεται μέσα σε ένα 24/ωρο η ταλάντωση ενός εκκρεμούς, το οποίο αναρτάται στην οροφή ενός πολύ ψηλού κτιρίου κι εκτελεί ταλαντώσεις μικρού πλάτους με μικρή απόσβεση.

Το επίπεδο ταλάντωσης του εκκρεμούς πρέπει να διατηρείται σταθερό:

Ένας παρατηρητής ακίνητος ως προς το δάπεδο παρατηρεί το επίπεδο ταλάντωσης του εκκρεμούς...

...και μέσα σε 24 ώρες επιστρέφει και πάλι στο αρχικό επίπεδο ταλάντωσης.

...και διαπιστώνει πως το επίπεδο ταλάντωσης του εκκρεμούς βαθμιαία μετατοπίζεται δεξιόστροφα...

Κάτοψη του παρατηρητή και του ίχνους ταλάντωσης του εκκρεμούς.

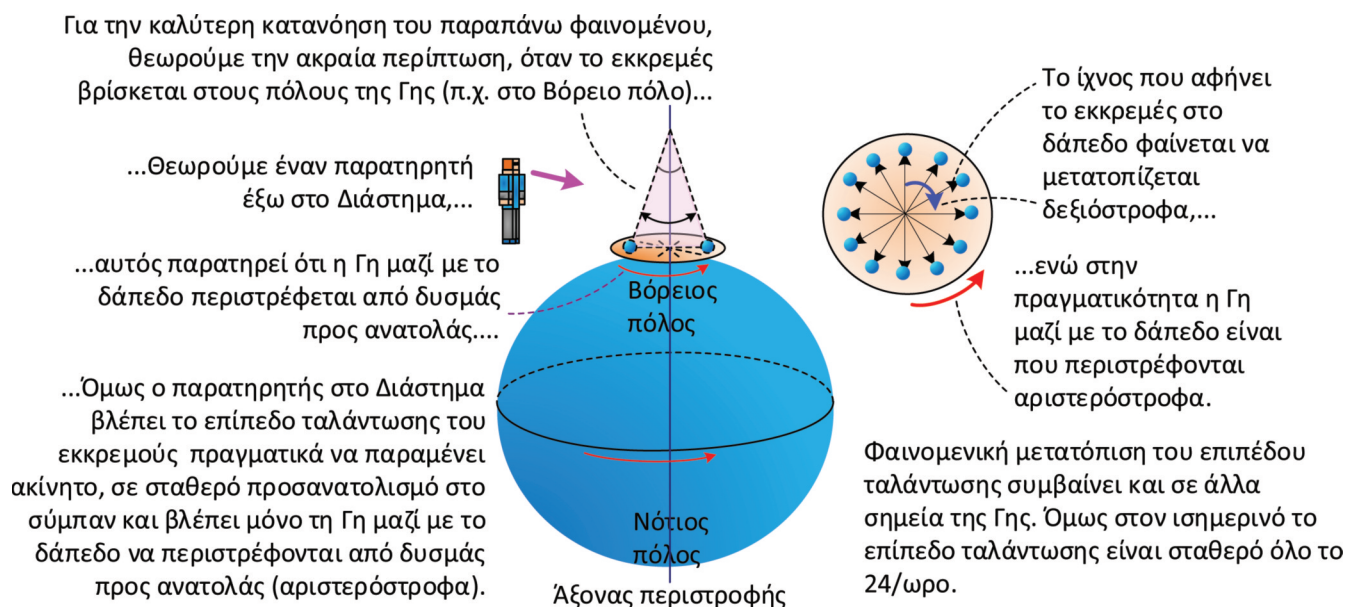
Στην πραγματικότητα, ο παρατηρητής μαζί με το δάπεδο και τη Γη είναι που περιστρέφονται,...

...ενώ το εκκρεμές εξακολουθεί να ταλαντώνεται στο σταθερό επίπεδο ταλάντωσης.

Καθώς ο παρατηρητής περιστρέφεται μαζί με τη Γη,...

...βλέπει από άλλη όψη κάθε φορά το εκκρεμές που ταλαντώνεται στο σταθερό επίπεδο ταλάντωσης...

...κι έτσι έχει την ψευδαίσθηση ότι το εκκρεμές και το επίπεδο ταλάντωσης του μετατοπίζονται.



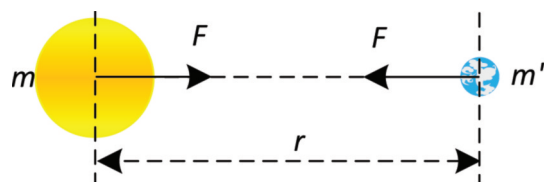
Βήμα 4 Συμπέρασμα: Έτσι, με ένα απλό πείραμα διαπιστώνεται το γεγονός ότι πράγματι η Γη περιστρέφεται.

1.2 Νόμοι-μοντέλα στη φυσική

Στα προηγούμενα παραδείγματα εξηγήσαμε τον τρόπο με τον οποίο πολύ σημαντικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από απλές παρατηρήσεις φυσικών φαινομένων και μέσα από πειράματα. Τα συμπεράσματα αυτά αποτελούν φυσικούς νόμους ή ένα μοντέλο της αντίληψης που έχουμε για κάποιο σύνολο φυσικών φαινομένων. Η ισχύς ενός νόμου ή μοντέλου ή θεωρίας στηρίζεται στη συμφωνία των προβλέψεών τους με τις παρατηρήσεις των πειραμάτων. Μελέτη επιπλέον παρατηρήσεων ή μετρήσεων οδηγεί σε νέους πληρέστερους νόμους-μοντέλα.

Παράδειγμα 1.4 Ο νόμος της βαρύτητας ή παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα

Ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, ο οποίος διατυπώθηκε από τον Νεύτωνα, συμπλήρωσε και εξήγησε το νόμο του Γαλιλαίου, δηλαδή ότι τα σώματα πέφτουν με την ίδια επιτάχυνση. Περιγράφει ποσοτικά την έλξη των υλικών σωμάτων μεταξύ τους, η οποία δημιουργεί το βάρος των σωμάτων. Σύμφωνα με αυτόν το νόμο, δύο οποιαδήποτε σώματα μάζας m και m' που βρίσκονται σε απόσταση r έλκονται μεταξύ τους με δύναμη F . Η δύναμη της βαρυτικής έλξης των σωμάτων, που συνήθως συμβολίζεται με F ή B , περιγράφεται από τον γνωστό νόμο της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα, που δίδεται από τη σχέση



$$\text{Βάρος} = B = F = G \frac{mm'}{r^2} \quad (1.1)$$

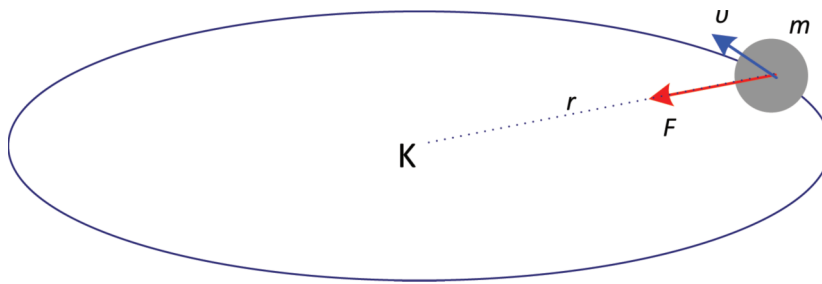
Ο νόμος αυτός περιγράφει και προβλέπει με εκπληκτική ακρίβεια τις ελλειπτικές τροχιές των πλανητών.

Ο νόμος της βαρύτητας του Νεύτωνα εξήχθη από παρατηρήσεις και τη μελέτη της κίνησης της Σελήνης και όχι από θεωρητικούς υπολογισμούς. Δηλαδή, το πείραμα που μελέτησε ο Νεύτωνα διεξάγεται στη φύση.

Πώς όμως ο Νεύτωνα παρατηρώντας τη Σελήνη κατέληξε στο νόμο της παγκόσμιας έλξης;

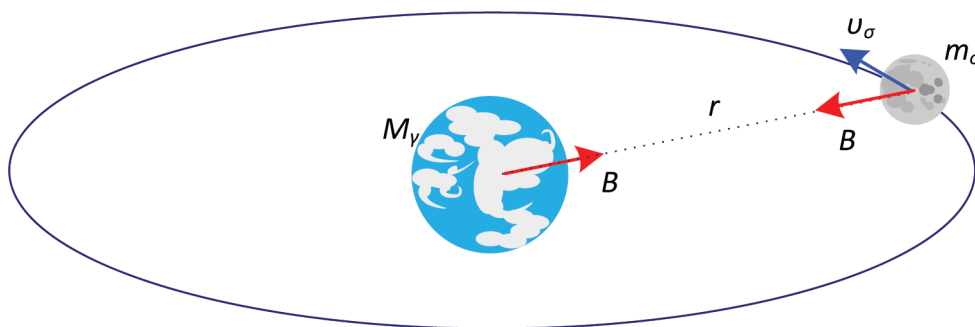
1. Ο Νεύτωνα διαπίστωσε πως: **το βάρος B είναι ανάλογο των μαζών m, m'**

Αυτό το διαπίστωσε μέσα από τη μελέτη της κυκλικής κίνησης. Αν έχουμε ένα σώμα μάζας m που περιστρέφεται σε κυκλική τροχιά ακτίνας r με σταθερή ταχύτητα u , για να διατηρείται σε κυκλική τροχιά θα πρέπει να ασκείται σε αυτό δύναμη F , η οποία θα πρέπει να είναι η κεντρομόλος δύναμη F_k ,



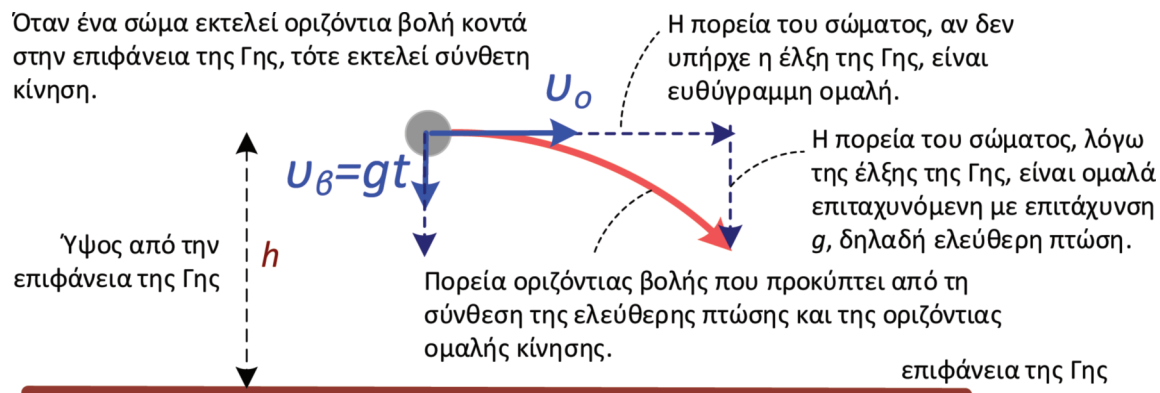
$$F = F_k = m\gamma_k = m u^2/r \quad (1.2)$$

όπου γ_k είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση. Σε αυτή την περίπτωση η F είναι ανάλογη της μάζας m . Ανάλογα, στο σύστημα Σελήνη-Γη, η Σελήνη περιστρέφεται πρακτικά με κέντρο τη Γη, σε περίπου κυκλική τροχιά. Η μόνη δύναμη που δρα στη Σελήνη για να τη συγκρατεί σε κυκλική τροχιά είναι το βάρος της B ,

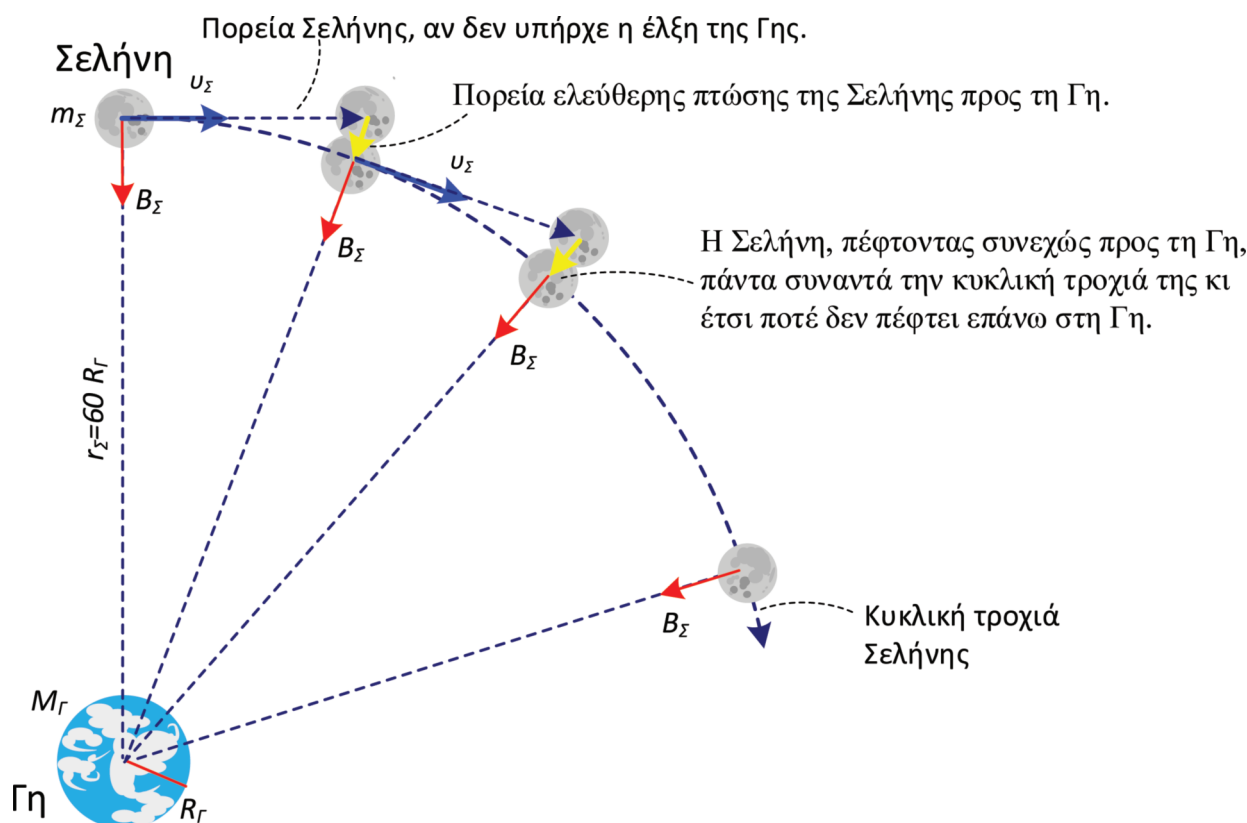


λόγω της έλξης της Γης. Η δύναμη αυτή είναι η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται στη Σελήνη για να εκτελεί κυκλική τροχιά. Άρα, η βαρυτική έλξη B της Γης στη Σελήνη, δρώντας ως κεντρομόλος δύναμη στη Σελήνη, θα είναι ανάλογη της μάζας m_σ κι επομένως συμπεραίνουμε ότι η δύναμη της παγκόσμιας έλξης είναι ανάλογη των μαζών των σωμάτων που έλκονται μεταξύ τους.

2. Ο Νεύτωνας διαπίστωσε ότι: Το βάρος B είναι ανάλογο του $1/r^2$



Η Σελήνη ως φυσικός δορυφόρος της Γης εκτελεί οριζόντια βολή, χωρίς όμως να πέφτει σε αυτή.



Το βάρος B_Σ της Σελήνης, δηλαδή η βαρυτική έλξη της Γης στη Σελήνη, δρα ως κεντρομόλος δύναμη F_k στη Σελήνη, έτσι ώστε η Σελήνη να περιστρέφεται γύρω από τη Γη σε σχεδόν κυκλική τροχιά

$$B_\Sigma = F_k = m_\Sigma \gamma_k = m_\Sigma \frac{u_\Sigma^2}{r_\Sigma} = m_\Sigma g \quad (1.3)$$

Δηλαδή ο Νεύτωνας περίμενε ότι η κεντρομόλος επιτάχυνση γ_K της Σελήνης θα έπρεπε είναι ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας g , λόγω της έλξης της Γης στη θέση που είναι η Σελήνη. Γνωρίζοντας την περίοδο περιστροφής ω_Σ της Σελήνης, που είναι περίπου 29.5 γήινες ημέρες, βρίσκεται μετά από πράξεις:

$$\gamma_K = v_\Sigma^2/r_\Sigma = (\omega_\Sigma r_\Sigma)^2/r_\Sigma = \omega_\Sigma^2 r_\Sigma = (2\pi/T_\Sigma)^2 r_\Sigma = \mathbf{0.0027 \text{ m/s}^2} \ll \mathbf{g = 9.8 \text{ m/s}^2} \quad (1.4)$$

Δηλαδή η επιτάχυνση της βαρύτητας, λόγω της έλξης της Γης στη θέση που είναι η Σελήνη, είναι πολύ μικρότερη, κατά $60^2=3600$ φορές από τη γνωστή τιμή του g , την επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης.

Αυτό ήταν πάρα πολύ περίεργο αποτέλεσμα για τον Νεύτωνα, γιατί ήταν γνωστό πως όλα τα σώματα θα πρέπει να πέφτουν στη Γη με την ίδια επιτάχυνση g . Αρχικά νόμισε πως είχε κάνει λάθος στους υπολογισμούς του. Όμως, αργότερα αναγκάστηκε να δεχτεί ότι το g είναι μικρότερο στη Σελήνη, γιατί αυτό εξασθενεί καθώς αυξάνεται η απόσταση από τη Γη.

ΠΡΟΣΟΧΗ! Να μη συγχέετε την επιτάχυνση της βαρύτητας της Γης στη θέση που είναι η Σελήνη με την επιτάχυνση των σωμάτων λόγω της έλξης της Σελήνης στην επιφάνειά της, η οποία είναι φυσικά διαφορετική.

Διαιρώντας το βάρος B_Σ της Σελήνης στη θέση που έχει σε τροχιά γύρω από τη Γη προς το βάρος της Σελήνης που θα είχε αυτή αν κατάφερνε και χωρούσε στην επιφάνεια της Γης και λαμβάνοντας υπόψη ότι η επιτάχυνση g_Σ της βαρύτητας της Γης στην απόσταση $r = 60R_r$ εξασθενεί κατά $1/3600$ φορές ή $1/60^2$, τότε έχουμε:

$$\frac{B_\Sigma}{B_r} = \frac{m_\Sigma g_\Sigma}{m_\Sigma g_r} = \frac{1}{60^2} = \frac{\left(\frac{1}{60R_r}\right)^2}{\left(\frac{1}{R_r}\right)^2} = \frac{\left(\frac{1}{r_\Sigma}\right)^2}{\left(\frac{1}{R_r}\right)^2} \quad (1.5)$$

Συμπέρασμα. Ο Νεύτωνας, με τους παραπάνω συλλογισμούς, συμπέρανε πως η βαρυτική δύναμη F είναι ανάλογη των μαζών M και m που έλκονται μεταξύ τους και ελαττώνεται σύμφωνα με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης, $1/r^2$. Επομένως, ο Νεύτωνας συμπέρανε πως η βαρυτική έλξη ακολουθεί την εξής αναλογία

$$F \propto \frac{Mm}{r^2} \quad (1.6)$$

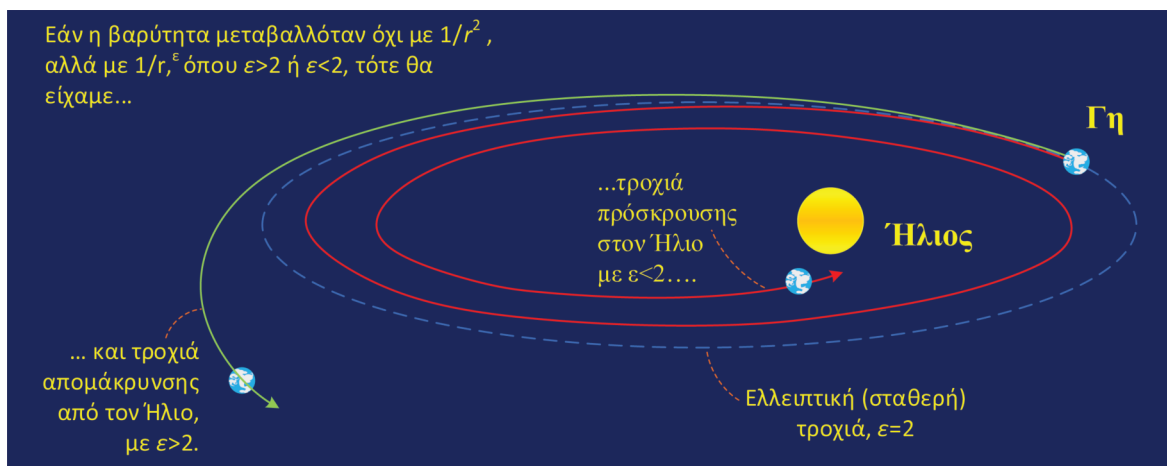
Πρέπει να σημειώσουμε πως για να γίνει ισότητα η παραπάνω σχέση, χρειάζεται να προσδιοριστεί η κατάλληλη σταθερά αναλογίας G , όπως αυτή εμφανίζεται στην Εξ. (1.1). Τη σταθερά αυτή όμως δεν την προσδιόρισε ο Νεύτωνας, αλλά αυτό έγινε αργότερα πειραματικά, με το πείραμα του Cavendish, το οποίο περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3 Τα όρια ισχύος μιας θεωρίας-νόμου

Η ισχύς ενός νόμου ή θεωρίας ή μοντέλου επιβεβαιώνεται από τη συμφωνία των προβλέψεων που κάνει με τις παρατηρήσεις των πειραμάτων. Ωστόσο, μπορεί κάποτε να βρεθεί ένα νέο πειραματικό αποτέλεσμα που να μη συμφωνεί με τις προβλέψεις της θεωρίας. Αυτό δεν σημαίνει πάντα ότι η θεωρία είναι εσφαλμένη. Όλες οι θεωρίες έχουν κάποια όρια ή περιπτώσεις μέσα στις οποίες ισχύουν κι εφαρμόζονται με επιτυχία. Για να ισχύουν και πέρα από αυτά τα όρια, χρειάζεται τροποποίηση ή μια καινούργια θεωρία, η οποία και πάλι αυτή με τη σειρά της όταν εμφανιστεί κάποιο νέο πειραματικό αποτέλεσμα θα φανερώσει τα όριά της. Έτσι, η εμπειρία μας έδειξε πως δεν φαίνεται να υπάρχει καμία απόλυτη θεωρία που να ισχύει παντού και για πάντα!

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο νόμος της παγκόσμιας έλξης. Ο νόμος αυτός χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα με μεγάλη επιτυχία, για να περιγράψει τις κινήσεις των ουρανίων σωμάτων. Με βάση αυτόν το νόμο, συνεχίζουν να σχεδιάζονται ακόμα όλες οι διαστημικές αποστολές δορυφόρων και διαστημοπλοίων. Ιδιαίτερη εντύπωση παρουσιάζει το γεγονός πως ο εκθέτης 2, ο οποίος εκφράζει την εξάρτηση από την απόσταση της ελκτικής δύναμης ως: $F \propto 1/r^2$, φαίνεται να είναι ακέραιος αριθμός, δηλαδή ακριβώς 2, όπως τυχαίνει να συμβαίνει ακριβώς το ίδιο και στο νόμο του Coulomb, χωρίς βέβαια να γνωρίζουμε το γιατί.

Αξίζει να δοθεί έμφαση στο γεγονός του τι θα συνέβαινε αν ο εκθέτης 2 δεν ήταν ακέραιος. Για τιμές ανεπαίσθητα λίγο μικρότερες ή λίγο μεγαλύτερες, η έλξη, για παράδειγμα, της Γης από τον Ήλιο θα ήταν



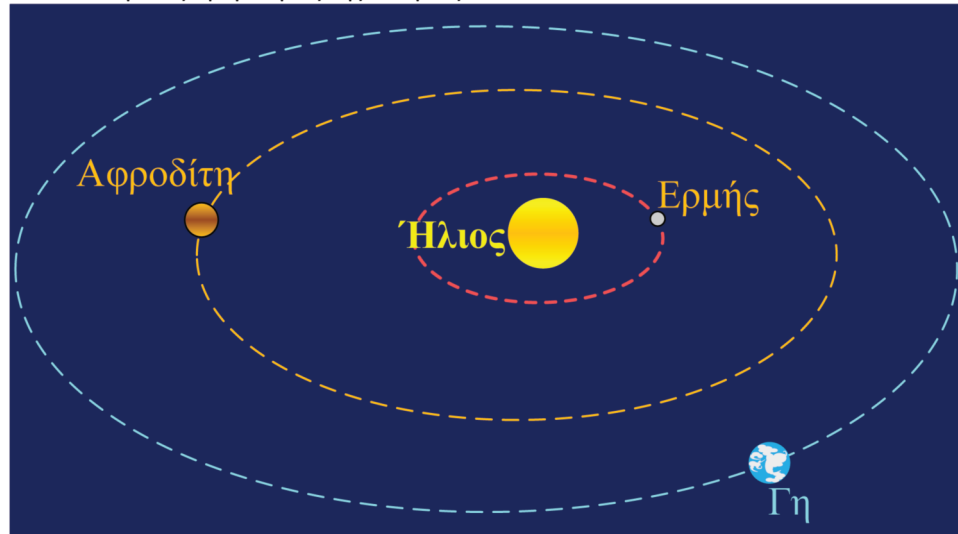
αντίστοιχα λίγο ισχυρότερη ή ασθενέστερη κι έτσι με το χρόνο η τροχιά της Γης θα την οδηγούσε βαθμιαία πιο κοντά ή πιο μακριά από τον Ήλιο, αντίστοιχα. Αυτό όμως ευτυχώς δεν συμβαίνει, γιατί διαφορετικά δεν θα υπήρχε ζωή στη Γη και φυσικά εμείς δεν θα ήμασταν εδώ για να το συζητάμε. Η τροχιά της Γης και των άλλων ουρανίων σωμάτων μπορεί να διατηρείται πρακτικά σταθερή για ικανά τεράστια κοσμικά χρονικά διαστήματα, αρκετά μεγάλα ώστε να δημιουργηθεί ζωή στη Γη. Αυτό ακριβώς οφείλεται στον ακέραιο εκθέτη 2 στο νόμο της παγκόσμιας έλξης, ο οποίος εξασφαλίζει τη σταθερότητα των τροχιών της Γης και των άλλων πλανητών για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Όμως η ισχύς του νόμου της παγκόσμιας έλξης βρέθηκε πως έχει κι αυτή κάποια όρια, πέραν των οποίων δεν κάνει σωστές προβλέψεις. Λεπτομερείς μετρήσεις της κίνησης του Ερμή, ο οποίος είναι πο-

λύ κοντά στον Ήλιο όπου η βαρύτητα είναι σχετικά πολύ πιο ισχυρή σε σχέση με αυτή στους άλλους πλανήτες, δεν συμφωνούν ακριβώς με τις προβλέψεις της θεωρίας του Νεύτωνα.

Λεπτομερείς μετρήσεις της κίνησης του Ερμή δεν συμφωνούν ακριβώς με τις προβλέψεις της θεωρίας του Νεύτωνα.

Ο Ερμής, ευρισκόμενος πολύ κοντά στον Ήλιο, δέχεται ισχυρό βαρυτικό πεδίο για το οποίο η θεωρία της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα δεν δίνει σωστές προβλέψεις. Εδώ, εφαρμόζεται η γενική θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν, η οποία είναι γενικότερη θεωρία και συμφωνεί με τη θεωρία του Νεύτωνα μόνον όταν το βαρυτικό πεδίο δεν είναι ισχυρό.



Οι προβλέψεις όμως της θεωρίας της γενικής σχετικότητας του Αϊνστάιν, η οποία είναι γενικότερη αυτής του Νεύτωνα, συμφωνούν ακριβώς με τις παρατηρήσεις σχετικά με την τροχιά του Ερμή (επιβεβαίωση της νέας θεωρίας). Αυτό βέβαια δεν σημαίνει πως ο νόμος του Νεύτωνα είναι εσφαλμένος, αλλά φαίνεται πως χρειάζεται κάποιους επιπλέον όρους, οι οποίοι είναι αμελητέοι όταν η βαρύτητα δεν είναι ισχυρή και γι' αυτόν το λόγο δεν προσδιορίστηκαν πειραματικά. Ο νόμος του Νεύτωνα εξακολουθεί να εφαρμόζεται. Με αυτόν υπολογίζονται οι τροχιές των δορυφόρων, σχεδιάζονται και προγραμματίζονται όλες οι διαστημικές αποστολές. Ωστόσο, εκεί όπου υπάρχει ισχυρό βαρυτικό πεδίο και δεν ισχύει η θεωρία του Νεύτωνα, εφαρμόζεται η γενική θεωρία της σχετικότητας.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Δεν είναι δυνατόν να στηριζόμαστε στην εμπειρία μας για να εξαγάγουμε φυσικούς νόμους.

Οι φυσικοί νόμοι εξαγονται μόνο εκτελώντας πειράματα και πραγματοποιώντας ακριβείς μετρήσεις.

Η φυσική επιστήμη είναι πειραματική επιστήμη. Διατυπώνει σχετικές ερωτήσεις, σχεδιάζει κατάλληλα πειράματα τα οποία εκτελεί κάνοντας μετρήσεις, προκειμένου να δώσει απαντήσεις στις ερωτήσεις που έθεσε.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων οδηγούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν φυσικά φαινόμενα και αποτελούν φυσικούς νόμους ή μοντέλα για κάποιο σύνολο φυσικών φαινομένων.

Η ισχύς ενός νόμου ή μοντέλου ή θεωρίας επιβεβαιώνεται με τη συμφωνία των προβλέψεών τους με τις παρατηρήσεις και με τις μετρήσεις των σχετικών πειραμάτων.

Τυχόν νέες ανακαλύψεις από επιπλέον παρατηρήσεις ή μετρήσεις που δεν συμφωνούν με τους υπάρχοντες νόμους ή θεωρίες, οδηγούν σε νέους πληρέστερους και γενικότερους νόμους-θεωρίες.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

- 1. Μελέτη της πτώσης των σωμάτων στη Γη.** Διαλέξτε δύο όμοιες τσάντες (ιδίου σχήματος-όγκου), όπου η μία να είναι γεμάτη, π.χ. με βιβλία, και η άλλη σχεδόν άδεια. Έχοντας τον ίδιο προσανατολισμό, με την πλευρά που θα πέσει να έχει τη μικρότερη επιφάνεια για μικρότερη αντίσταση στον αέρα, τις αφήνουμε ταυτόχρονα να πέσουν από κάποιο ύψος. Θα διαπιστώσετε πως πράγματι θα πέσουν πρακτικά ταυτόχρονα.
- 2. Μελέτη του επιπέδου ταλάντωσης εκκρεμούς.** Μπορείτε να αναρτήσετε από ένα εύκαμπτο νήμα μήκους περίπου 1 m ένα σώμα κι ενώ το κρατάτε με το χέρι σας τεντωμένο σε οριζόντια θέση, να το θέσετε σε ταλάντωση μικρού πλάτους. Μετά, αρχίστε να περιστρέφεστε σιγά-σιγά γύρω από τον εαυτό σας, διατηρώντας σταθερό το χέρι σας στην οριζόντια στάση ως προς εσάς. Θα διαπιστώσετε πως το επίπεδο ταλάντωσης του εκκρεμούς παραμένει σε σταθερό προσανατολισμό, για παράδειγμα στη διεύθυνση Ανατολή-Δύση, για οποιαδήποτε γωνία υπό την οποία εσείς περιστραφέτε.
- 3. Μέτρηση του γεωγραφικού πλάτους ενός τόπου.** Με τη βοήθεια του νήματος της στάθμης τοποθετήστε έναν μικρό στύλο κατακόρυφα επάνω σε οριζόντιο επίπεδο. Κατόπιν να μετρήσετε τη σκιά του στύλου και τη γωνία θ (σε μέρη του κύκλου) μεταξύ των ακτίνων του Ήλιου και του κατακόρυφου στύλου. Θα παρατηρήσετε πως κατά τη διάρκεια της ημέρας ο ίσκιος αλλάζει. Να διαπιστώσετε πότε ο ίσκιος λαμβάνει το μικρότερο μήκος και η γωνία θ είναι η μικρότερη. Να προσδιορίσετε το γεωγραφικό πλάτος του τόπου σας. Σε ποια εποχή του χρόνου θα διευκολυνθείτε να κάνετε αυτό τον προσδιορισμό; Να λάβετε υπόψη τη γωνία $\theta = 23.5^\circ$ του κεκλιμένου άξονα της Γης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

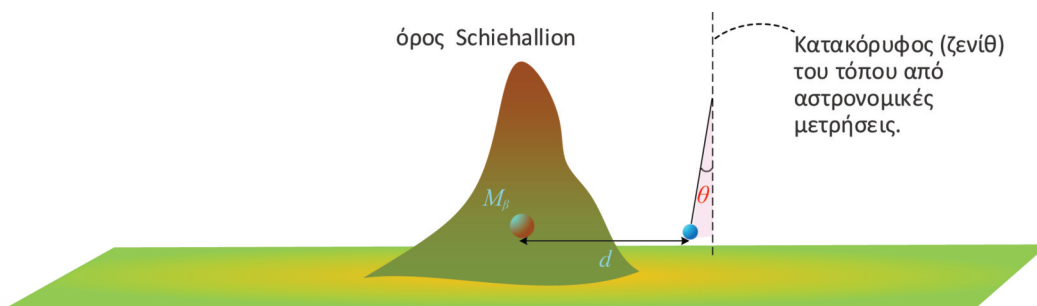
1. Με ποιο απλό πείραμα μπορούμε να διαπιστώσουμε τον τρόπο που πέφτουν τα σώματα λόγω βαρύτητας στη Γη και τι διαπιστώνουμε με αυτό το πείραμα;
2. Γιατί όλα τα σώματα πέφτουν στη Γη με την ίδια επιτάχυνση;
3. Πώς ο Ερατοσθένης διαπίστωσε ότι η Γη είναι στρογγυλή και πώς μέτρησε τη διάμετρο της Γης;
4. Πώς μετράμε μια δεδομένη γωνία; (χωρίς τη χρήση μοιρογνωμόνιου)
5. Ερευνήστε και περιγράψτε κάποιους άλλους εναλλακτικούς τρόπους παρατήρησης ανάλογους αυτού που έκανε ο Ερατοσθένης, με τους οποίους θα μπορούμε να συμπεράνουμε πως η Γη είναι στρογγυλή.

6. Με ποιο πείραμα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως η Γη περιστρέφεται;
7. Σε ποια βασική ιδιότητα της ταλάντωσης του εκκρεμούς βασίστηκε το πείραμα του Foucault;
8. Στο εκκρεμές του Foucault ποια είναι η φορά μετατόπισης (δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη) του επιπέδου ταλάντωσης στο βόρειο ημισφαίριο και ποια στο νότιο ημισφαίριο;
9. Κατά ποια γωνία μετατοπίζεται το επίπεδο ταλάντωσης του εκκρεμούς του Foucault κάθε μία ώρα στους πόλους;
10. Πώς ο Νεύτωνας διαπίστωσε πως το βάρος B είναι ανάλογο των μαζών που έλκονται;
11. Πώς ο Νεύτωνας διαπίστωσε ότι το βάρος B σε σχέση με την απόσταση r των σωμάτων που έλκονται είναι ανάλογο του $1/r^2$;
12. Τι σημαίνει ότι η Σελήνη καθώς περιστρέφεται γύρω από τη Γη εκτελεί ελεύθερη πτώση προς τη Γη ή αλλιώς ότι πέφτει στη Γη;
13. Να διευκρινίσετε τι εννοούμε επιτάχυνση της βαρύτητας της Γης στη Σελήνη και τι επιτάχυνση της βαρύτητας της Σελήνης.
14. Τι εννοούμε όρια ισχύος μιας θεωρίας-νόμου;
15. Περιγράψτε ποιες θα ήταν οι επιπτώσεις στην κίνηση των ουρανίων σωμάτων, αν ο εκθέτης 2 στο νόμο της παγκόσμιας έλξης ήταν λίγο μεγαλύτερος ή λίγο μικρότερος από το 2.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

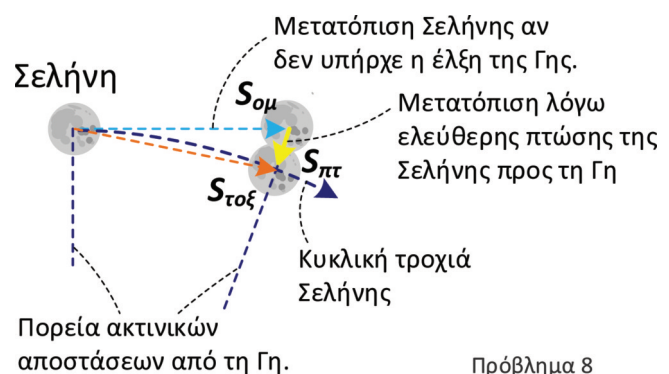
1. Ποια γωνία θ θα μετρούσε ο Ερατοσθένης στη Σύνη και ποια στην Αλεξάνδρεια κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (δηλαδή τη θέση της Γης ως προς τον Ήλιο που είναι διαμετρικά αντίθετη αυτής του θερινού ηλιοστασίου);
2. Πώς, χρησιμοποιώντας τη σκιά που αφήνουν τα σώματα, μπορούμε να μετρήσουμε το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου; Επιλέξτε την κατάλληλη εποχή του έτους που θα πρέπει να κάνετε αυτήν τη μέτρηση. (Βλέπε το προτεινόμενο για εκτέλεση σχετικό πείραμα 3).
3. Ας υποθέσουμε πως μια ιπτάμενη συσκευή μάζας m πετάει σε ύψος h κοντά στην επιφάνεια της Γης, η οποία υποθέτουμε ότι είναι σφαιρική, ότι δεν έχει αέρα για να αντιστέκεται στην κίνηση της συσκευής και πως η επιφάνεια της Γης ως προς το ύψος δεν εμφανίζει εμπόδια, όπως λόφους ή βουνά. Με πόση ταχύτητα u θα πρέπει να πετάει η συσκευή αυτή, ώστε να μην πέσει ποτέ στη Γη, διατηρώντας σταθερό το ύψος h ; Η ταχύτητα u να εκφραστεί συναρτήσει της ακτίνας R της Γης και της επιτάχυνσης της βαρύτητας g .

4. Αν η επιτάχυνση g της βαρύτητας της Γης δεν μεταβαλλόταν με την απόσταση, να βρεθεί πόσες περιφορές θα εκτελούσε η Σελήνη γύρω από τη Γη κάθε μήνα, διατηρώντας την ίδια απόσταση $r_{Σε} = 60R_{Γη}$ που έχει σήμερα από τη Γη. Για ακτίνα της Γης θεωρήστε την τιμή που αντιστοιχεί στην περίμετρο της Γης, όπως τη μετρήσε ο Ερατοσθένης.
5. Να προσπαθήσετε να περιγράψετε ένα πείραμα με το οποίο θα μπορούσατε να προσδιορίσετε πειραματικά τη σταθερά G της παγκόσμιας έλξης.
6. Να περιγράψετε πώς θα μετρήσετε τη μάζα της Γης, ζυγίζοντας ένα καλάθι με μήλα.
7. Ένα εκκρεμές δίπλα σε ένα ψηλό βουνό βρέθηκε ότι αποκλίνει κατά πολύ μικρή γωνία θ από την κατακόρυφο διεύθυνση, η οποία προσδιορίστηκε από πολλές αστρονομικές μετρήσεις. Η απόκλιση του εκκρεμούς από την κατακόρυφο οφείλεται στην έλξη του παρακείμενου ψηλού βουνού που έχει πολύ απότομες πλαγιές και βρίσκεται μέσα σε μια πεδιάδα, χωρίς άλλα κοντινά βουνά ή λόφους, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Με βάση την πυκνότητα μάζας ρ_β του βουνού, η οποία προσδιορίστηκε από πειραματικά δεδομένα της μέσης πυκνότητας των βράχων του και λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του, το βουνό βρέθηκε να έχει συνολική μάζα m_β . Θεωρώντας πως η μάζα του βουνού είναι συγκεντρωμένη στην απόσταση d που απέχει το κέντρο μάζας του βουνού από το εκκρεμές, να βρεθεί η μάζα της Γης M_Γ . Θεωρήστε την ακτίνα της Γης R_Γ γνωστή. Να σημειώσουμε πως αυτό το πείραμα έχει πράγματι πραγματοποιηθεί το 1774 και είναι γνωστό ως το πείραμα του Schiehallion στο ομώνυμο βουνό στη Σκωτία. Με το πείραμα αυτό, προσδιορίστηκε προσεγγιστικά για πρώτη φορά η πυκνότητα και η μάζα της Γης, με απόκλιση 20% από την τιμή που γνωρίζουμε σήμερα.



Πρόβλημα 7

8. Η Σελήνη θεωρήσαμε πως εκτελεί δύο κινήσεις, μια ομαλή στην εφαπτομενική διεύθυνση της κυκλικής τροχιάς της και μια επιταχυνόμενη κίνηση ή αλλιώς πτώση προς το κέντρο τη Γης, λόγω της έλξης της Γης, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Η Σελήνη υφίσταται όση ακριβώς πτώση χρειάζεται ώστε μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, για παράδειγμα 1 s, προσθέτοντας τη μετατόπιση $S_{\pi\pi}$ λόγω πτώσης και τη μετατόπιση $S_{ομ}$ λόγω



Πρόβλημα 8

ομαλής κίνησης στην εφαπτομενική διεύθυνση της τροχιάς, παίρνουμε τη συνολική μετατόπιση $S_{\text{τοξ}}$, η οποία συμπίπτει πρακτικά με το τόξο που διαγράφει η Σελήνη. Έτσι αυτή συναντάει τη σταθερή κυκλική τροχιά της και περιστρέφεται γύρω από τη Γη, χωρίς να πέφτει στη Γη. Να βρεθεί πόση είναι η πτώση της Σελήνης κάθε ένα δευτερόλεπτο. Με βάση αυτό, προσδιορίστε την επιτάχυνση της βαρύτητας της Γης στη θέση της Σελήνης. Συγκρίνετε το αποτέλεσμα που βρήκατε με την επιτάχυνση 0.0027 m/s^2 που υπολογίστηκε με άλλο τρόπο, όπως παρουσιάστηκε σε αυτό το κεφάλαιο.