

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 σαν 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 εξάγει 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 ίδιου 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 το 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;

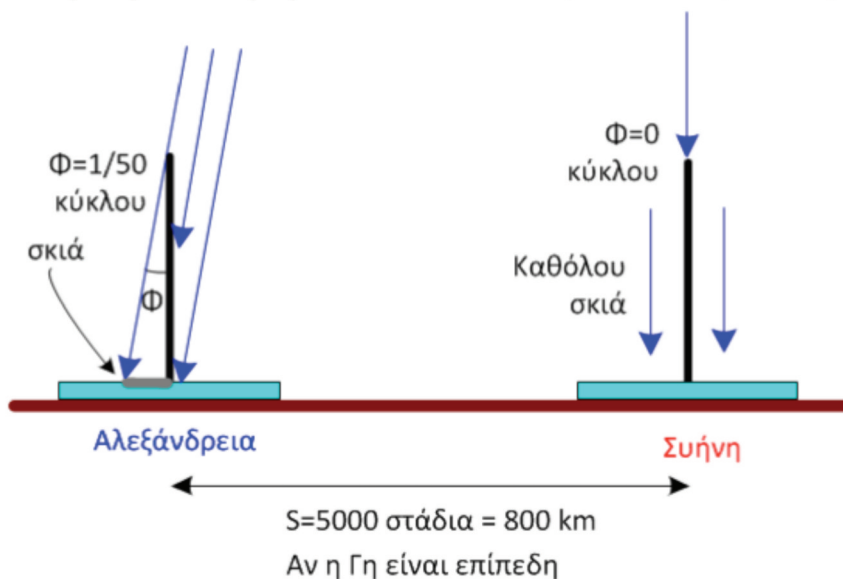
Ιστορικά, φαίνεται πως πρώτος απάντηση σε αυτό το ερώτημα έδωσε ο Ερατοσθένης τον 3ο αιώνα π.Χ.

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.

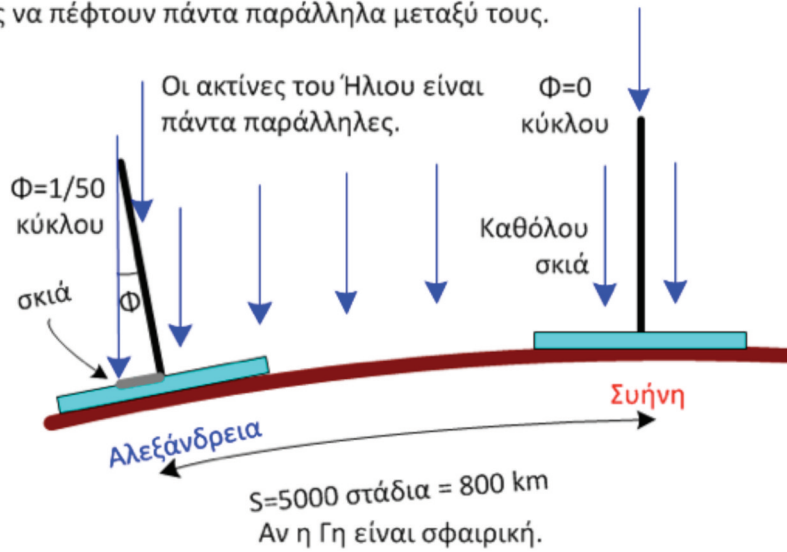
Στη Συήνη παραδόξως απουσίαζε τελείως η σκιά των σωμάτων και οι ακτίνες του Ήλιου ήταν εντελώς κατακόρυφες.



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

ΔΕΙΓΜΑ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

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

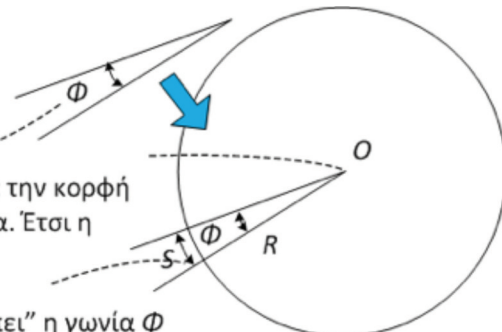


Τότε η επιφάνεια της Γης είναι καμπυλωμένη και οι παράλληλες ακτίνες του ήλιου πράγματι μπορεί να δημιουργούν σκιά στην Αλεξάνδρεια και όχι στη Συήνη, κατά το θερινό ηλιοστάσιο.

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

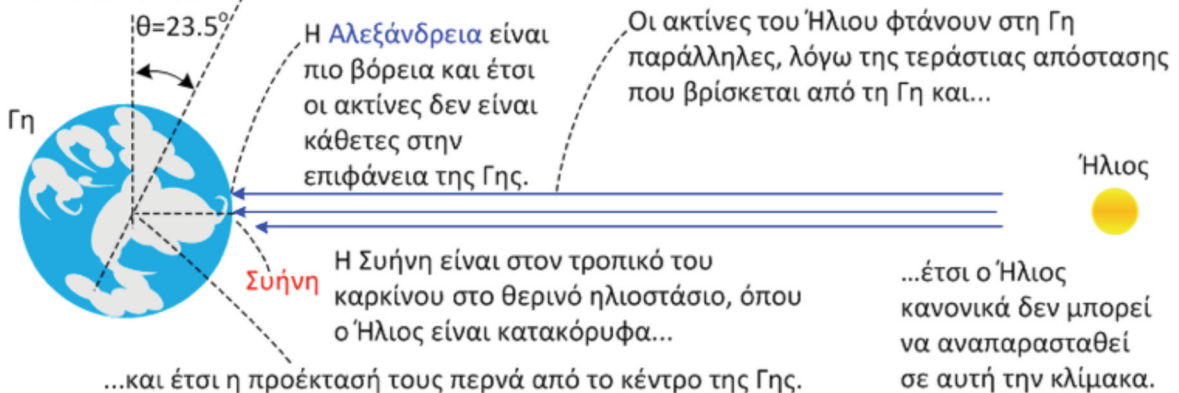
Η γωνία Φ , με τις δύο πλευρές όπως προσδιορίστηκαν από τη κι αποτυπώθηκαν για παράδειγμα σε χαρτί...

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



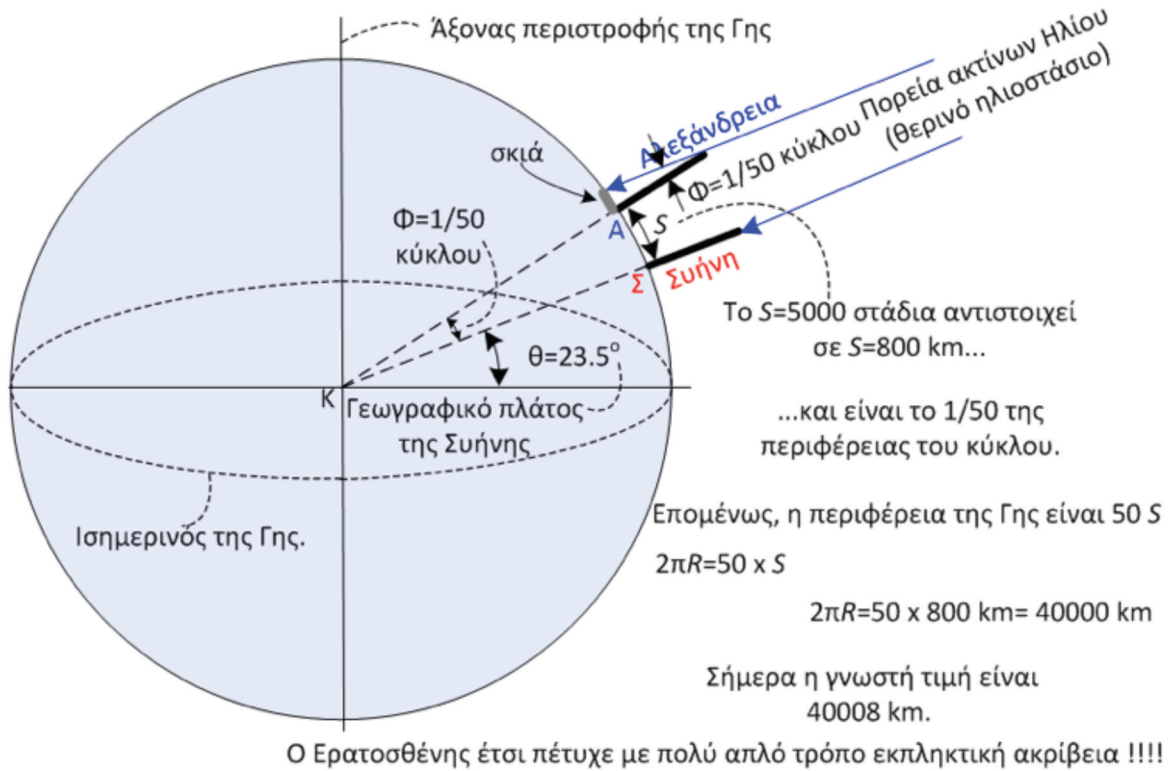
Μετά μετρώντας το μήκος του τόξου S που "βλέπει" η γωνία Φ και διαιρώντας με την περίμετρο του κύκλου $2\pi R$ βρίσκεται: $\Phi = S / (2\pi R) = 1/50$ του κύκλου

Κεκλιμένος άξονας περιστροφής τη Γης



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

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;

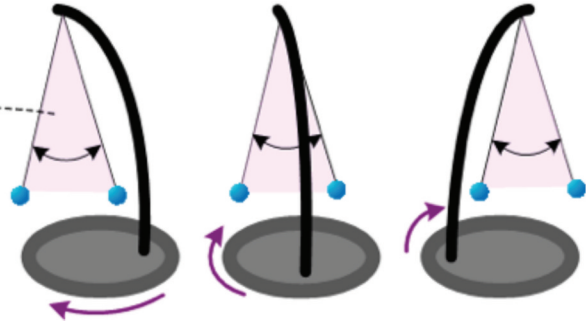
Βήμα 2 Το σχετικό πείραμα σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε από τον Foucault στο περίφημο ομώνυμο πείραμα.

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.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

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.

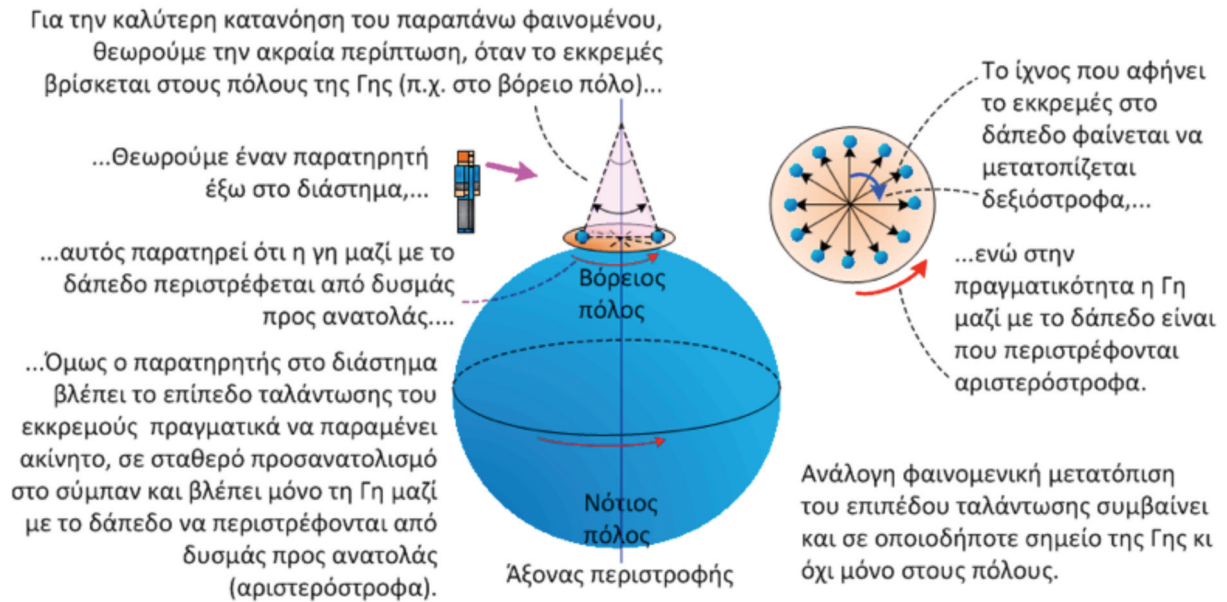
Στην πραγματικότητα, ο παρατηρητής μαζί με το δάπεδο και τη γη είναι που περιστρέφονται,...

...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.



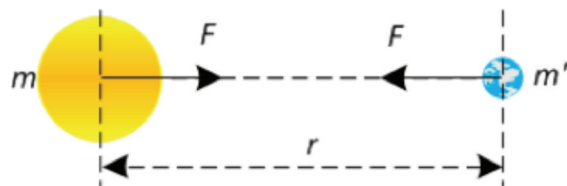
Βήμα 4 Συμπέρασμα: Έτσι, με ένα απλό πείραμα διαπιστώνεται το γεγονός ότι πράγματι η Γη περιστρέφεται.

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 το 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



ΔΕΙΓΜΑ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

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

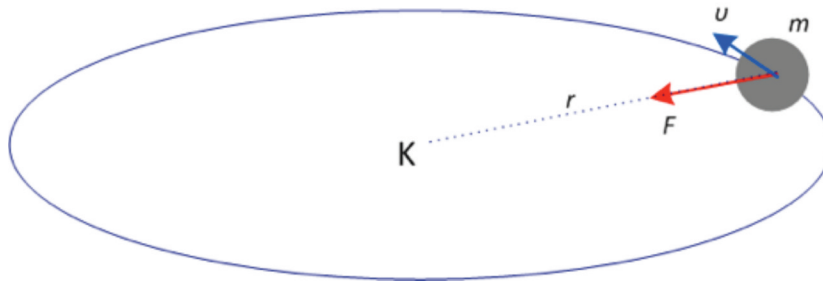
Ο νόμος αυτός περιγράφει και προβλέπει με εκπληκτική ακρίβεια τις ελλειπτικές τροχιές των πλανητών.

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 Νεύτων διεξάγεται στη φύση.

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

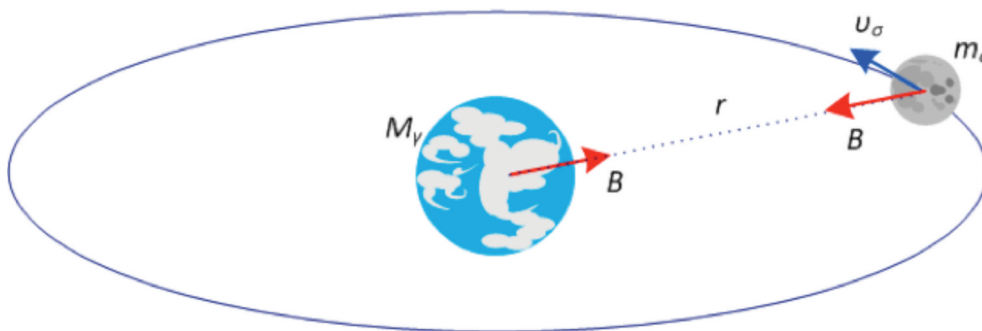
1. Ο Νεύτων διαπίστωσε πως: **το βάρος B είναι ανάλογο των μαζών m, m'**

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 .



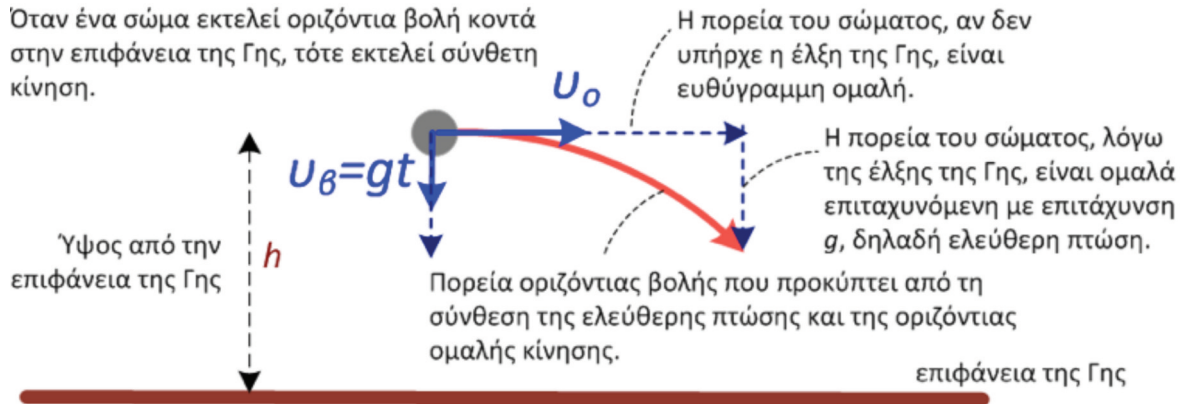
$$F = F_k = m\gamma_k = m u^2/r, \quad (1.2)$$

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

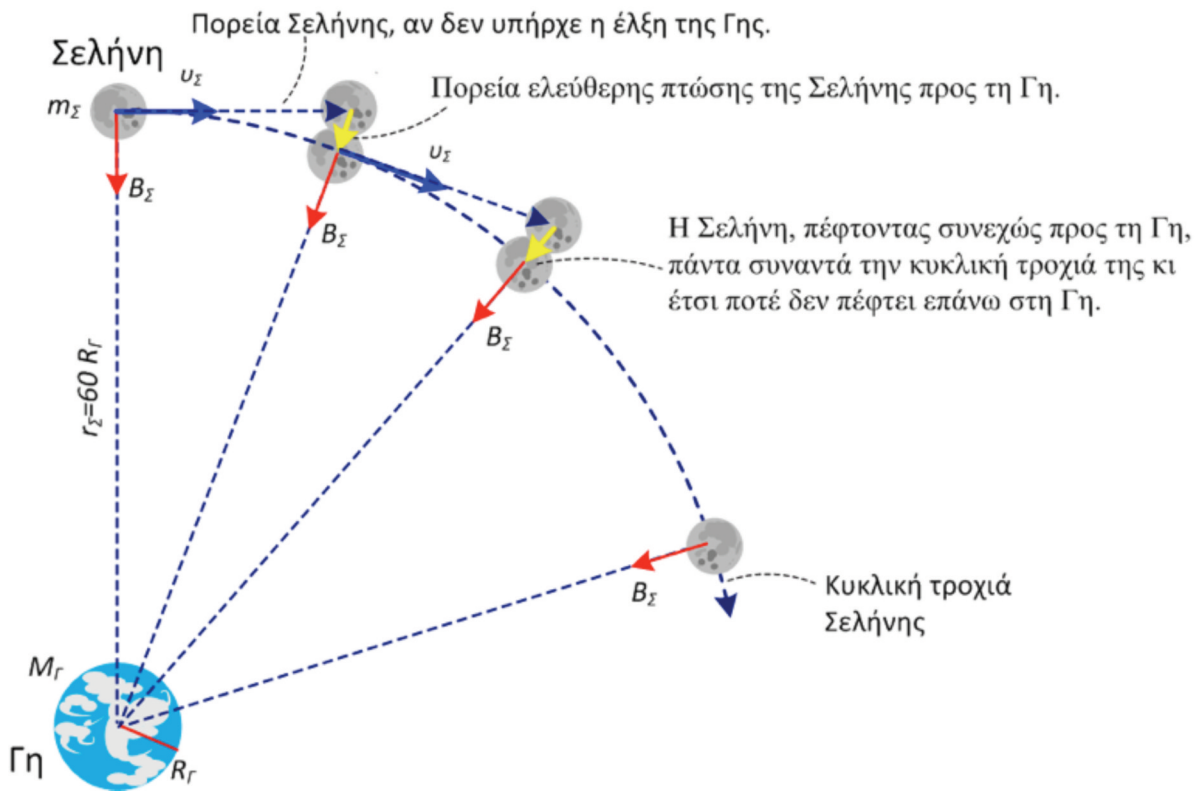


B , λόγω της έλξης της Γης. Η δύναμη αυτή είναι η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται στη Σελήνη για να εκτελεί κυκλική τροχιά. Άρα, η βαρυτική έλξη B της Γης στη Σελήνη, δρώντας σαν κεντρομόλος δύναμη στη Σελήνη, θα είναι ανάλογη της μάζας m_σ κι επομένως συμπεραίνουμε ότι η δύναμη της παγκόσμιας έλξης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

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



Η Σελήνη σαν 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 σαν κεντρομόλος δύναμη F_k στη Σελήνη, έτσι ώστε η Σελήνη να περιστρέφεται γύρω από τη Γη σε σχεδόν κυκλική τροχιά

$$B_Σ = F_k = m_Σ \gamma_k = m_Σ \frac{u_Σ^2}{r_Σ} = m_Σ g \quad (1.3)$$

Δηλαδή ο Νεύτων 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:

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

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 αρχικά ήταν πάρα πολύ περίεργο αποτέλεσμα για το 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 μην συγχέεται 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 την Γη προς το βάρος της Σελήνης που θα είχε αυτή αν κατάφερνε και χωρούσε στην επιφάνεια της Γης και λαμβάνοντας υπόψιν 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). Την σταθερά αυτή όμως δεν την προσδιόρισε ο Νεύτωνας, αλλά αυτό έγινε αργότερα πειραματικά, με το πείραμα του Cavendish, το οποίο περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.