

Πειράματα Γαλιλαίου σε κεκλιμένα επίπεδα

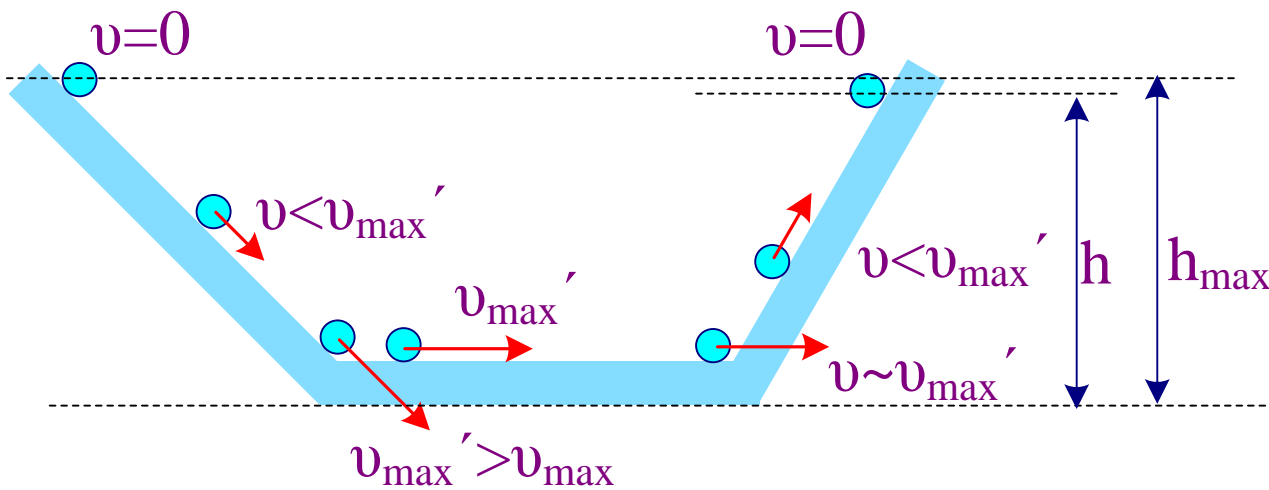
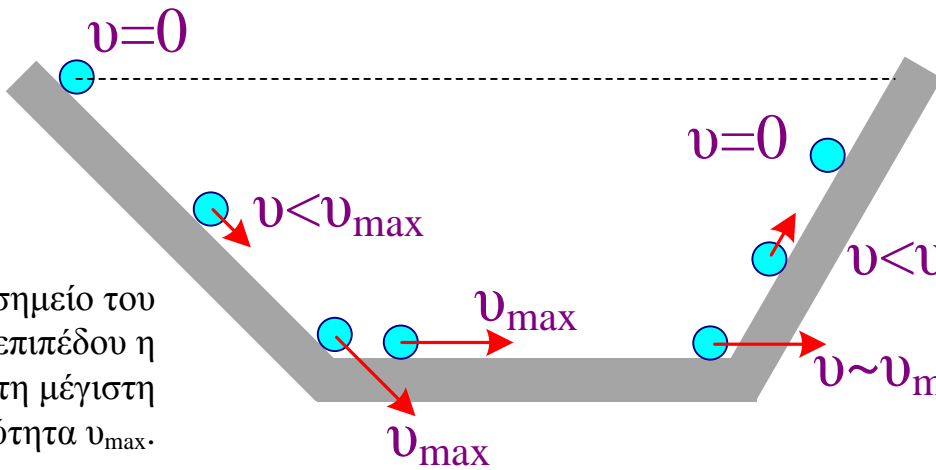
Η σφαίρα αρχικά ακίνητη, αφήνεται να επιταχυνθεί λόγω του βάρους της.

Στο κατώτερο σημείο του κεκλιμένου επιπέδου η σφαίρα φθάνει τη μέγιστη ταχύτητα v_{max} .

Στο οριζόντιο επίπεδο η σφαίρα συνεχίζει με περίπου σταθερή πρακτικά ταχύτητα την v_{max} .

Η σφαίρα μηδενίζει τη ταχύτητά της σε ένα ανώτατο ύψος λίγο πιο κάτω από αυτό που ξεκίνησε.

Στο ανηφορικό επίπεδο η σφαίρα επιβραδύνεται λόγω του βάρους της.



Όταν χρησιμοποιήσε περισσότερο λείο επίπεδο, τότε η σφαίρα είχε λιγότερες τριβές και έφθανε σε μεγαλύτερο ύψος h προσεγγίζοντας το μέγιστο ύψος h_{max} από εκεί που έφυγε η σφαίρα.

Ο Γαλιλαίος παρατήρησε πως όσο ασκείται δύναμη στη σφαίρα τότε αυτή μπορεί να επιταχύνεται ή να επιβραδύνεται.

Όταν όμως δεν ασκείται δύναμη στη σφαίρα, όπως στο οριζόντιο επίπεδο, τότε αυτή τείνει να διατηρήσει σταθερή τη ταχύτητά της.



Όταν χρησιμοποιείται περισσότερο λείο επίπεδο, τότε η σφαίρα τείνει να κινείται με σταθερή ταχύτητα για μεγαλύτερο διάστημα.

Μελέτη κίνησης σφαίρας σε λείο κεκλιμένο επίπεδο με αμελητέες τριβές

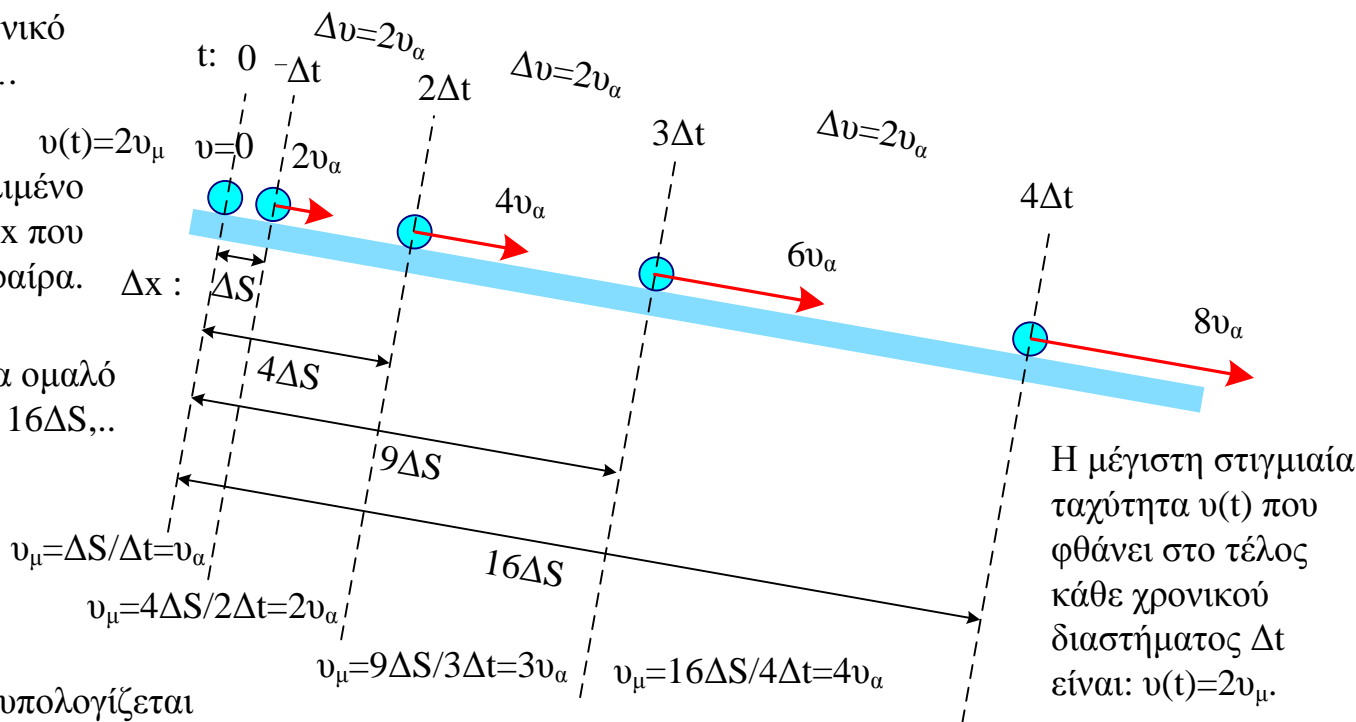
Για κάθε σταθερό χρονικό διάστημα Δt π.χ. 1 s....

...σημειώνεται στο κεκλιμένο επίπεδο το διάστημα Δx που διανύει η σφαίρα.

Το Δx αλλάζει με ένα ομαλό τρόπο: $\Delta S, 4\Delta S, 9\Delta S, 16\Delta S, \dots$

Δηλαδή $\Delta x = n^2 \Delta S$

όπου $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$



Η μέγιστη στιγμιαία ταχύτητα $v(t)$ που φθάνει στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος Δt είναι: $v(t) = 2v_\mu$.

Η μέση ταχύτητα v_μ υπολογίζεται από το πηλίκο: $v_\mu = \Delta x / n\Delta t$, όπου

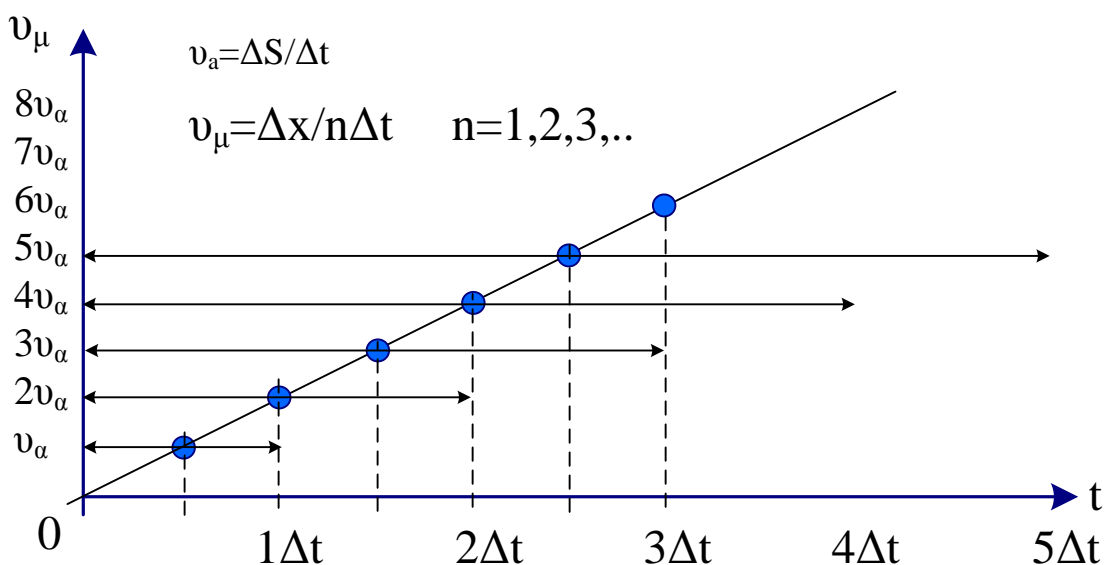
$n = 1, 2, 3, \dots$

Δηλαδή το διάστημα που διανύει Δx μέσα στον αντίστοιχο συνολικό χρόνο $t = n\Delta t$.

Όμως

$$v_\mu = \Delta x / n\Delta t = n^2 \Delta S / n\Delta t = n\Delta S / \Delta t = nv_\alpha$$

Επομένως η μέση ταχύτητα $v_\mu = nv_\alpha$ είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σταθερής ταχύτητας $v_\alpha = \Delta S / \Delta t$. Επομένως η v_μ μεταβάλλεται ομαλά εκτελώντας ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.

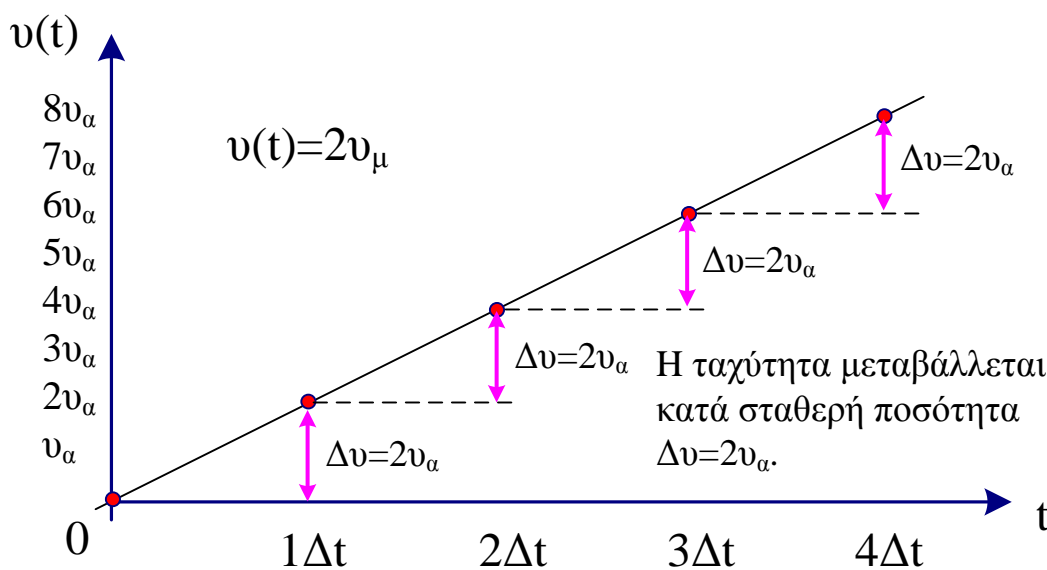


$$v_\alpha = \Delta S / \Delta t$$

$$v_\mu = \Delta x / n\Delta t \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Αφού εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση, τότε η στιγμιαία ταχύτητα στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος $\kappa\Delta t$ θα είναι:

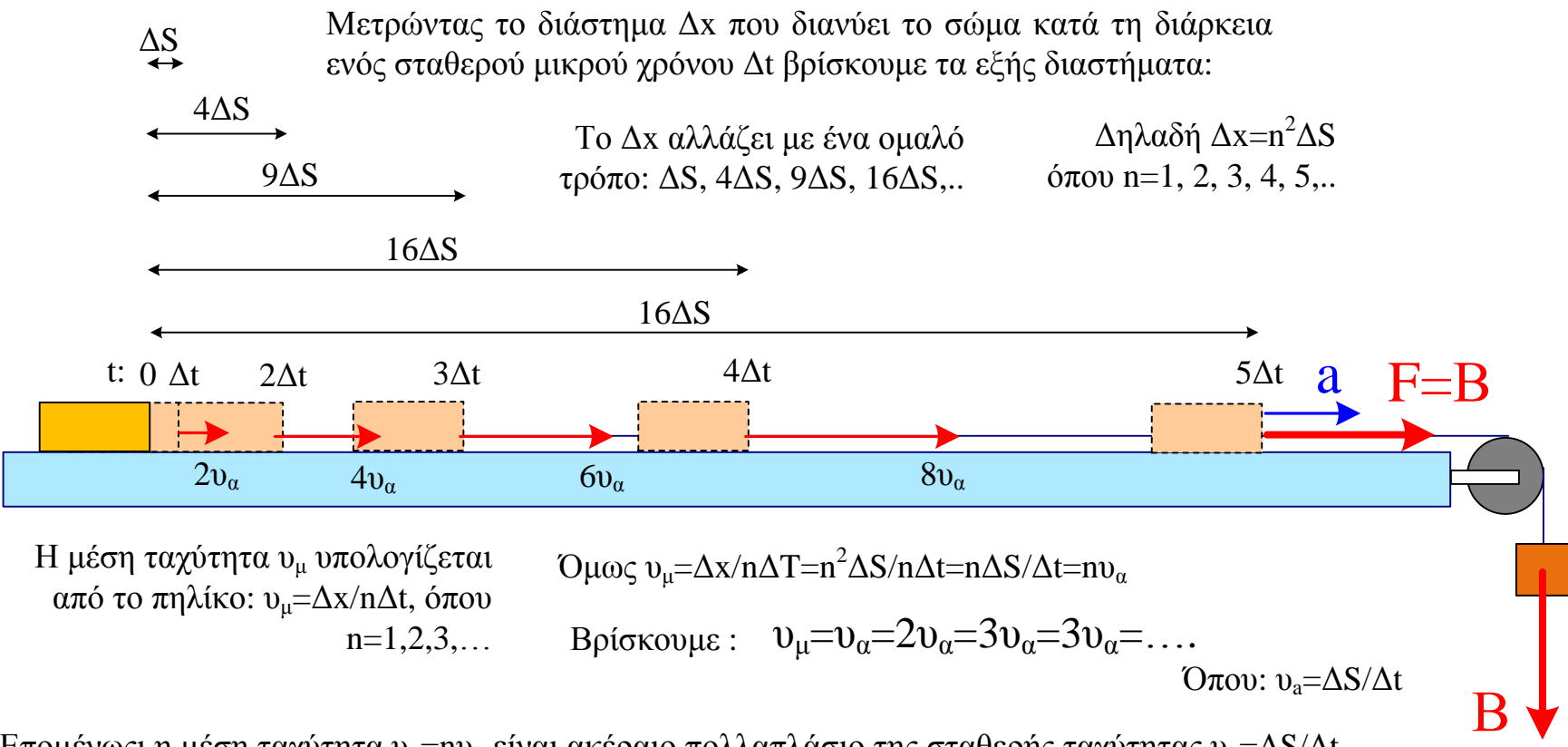
$$v(t) = 2v_\mu$$



Η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά σταθερή ποσότητα $\Delta v = 2v_\alpha$.

Άρα η επιτάχυνση a είναι σταθερή: $a = \Delta v / \Delta t = 2v_\alpha / \Delta t = \text{σταθερή}$

Μελέτη της σχέσης μεταξύ της δύναμης και της επιτάχυνσης



Επομένως η μέση ταχύτητα $v_\mu = n v_\alpha$ είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σταθερής ταχύτητας $v_\alpha = \Delta S / \Delta t$. Επομένως η v_μ μεταβάλλεται ομαλά εκτελώντας ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.

Αφού εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση, τότε η στιγμιαία ταχύτητα στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος $n\Delta t$ θα είναι: $v(t) = 2v_\mu$.

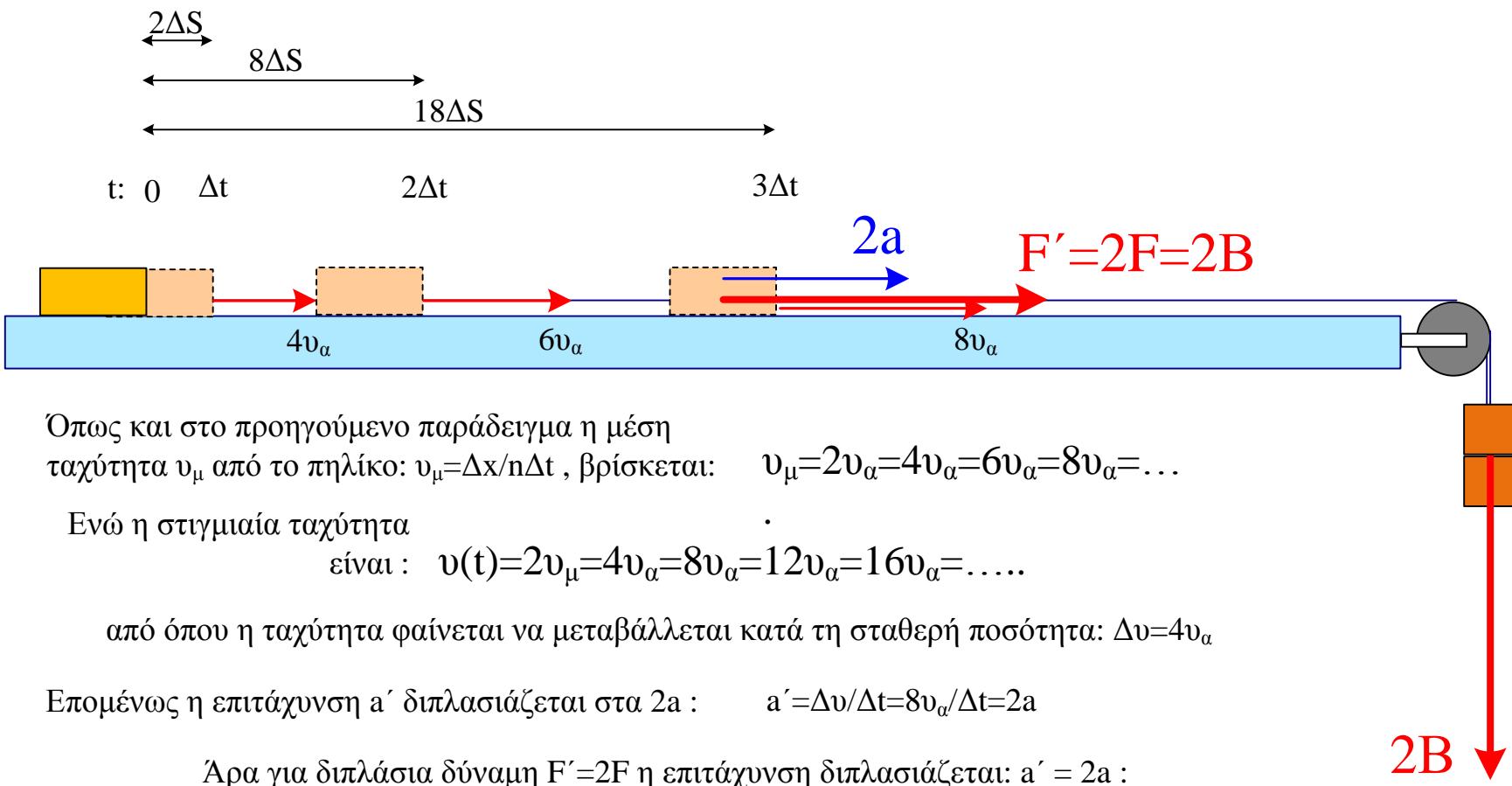
Βρίσκουμε: $v(t) = 2v_\alpha = 4v_\alpha = 6v_\alpha = 8v_\alpha = \dots$

Η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά τη σταθερή ποσότητα: $\Delta v = 2v_\alpha$

Άρα η επιτάχυνση a είναι σταθερή: $a = \Delta v / \Delta t = 2v_\alpha / \Delta t = \text{σταθερή}$

Διπλασιάζουμε την δύναμη που ωθεί το σώμα στα $F' = 2F$ διπλασιάζοντας το βάρος σε $2B$ και επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία.

Σημειώνουμε το διάστημα Δx που διανύει το σώμα κατά τη διάρκεια του σταθερού μικρού χρόνου Δt .

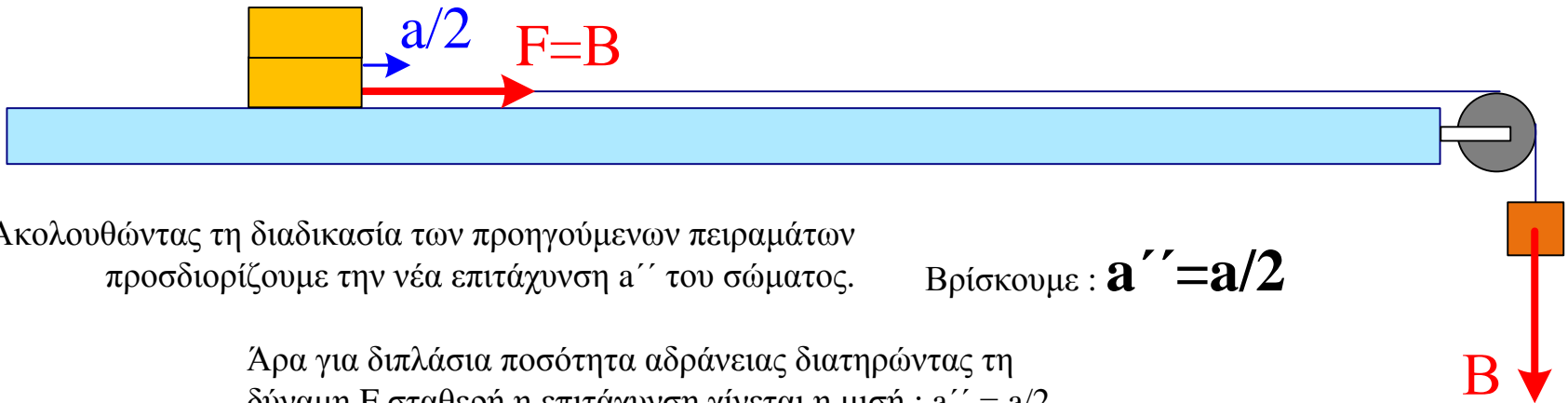


Σύμφωνα με το Γαλιλαίο η ύλη του σώματος σχετίζεται με τη αδράνειά του δηλαδή την ιδιότητα να διατηρεί την ταχύτητά του σταθερή, χωρίς ωστόσο να μπορέσει να προσδώσει κάποιο μέτρο-τρόπο μέτρησης της αδράνειας.

Τοποθετώντας άλλο ένα ίδιο σώμα επάνω στο προηγούμενο σώμα, διπλασιάζεται το βάρος του άρα και η ύλη του σώματος.

Επομένως διπλασιάζοντας την ύλη του σώματος θα πρέπει να διπλασιάζεται και η αδράνειά του.

Σώμα διπλάσιας ύλης = Σώμα διπλάσιας αδράνειας



Ακολουθώντας τη διαδικασία των προηγούμενων πειραμάτων προσδιορίζουμε την νέα επιτάχυνση a'' του σώματος.

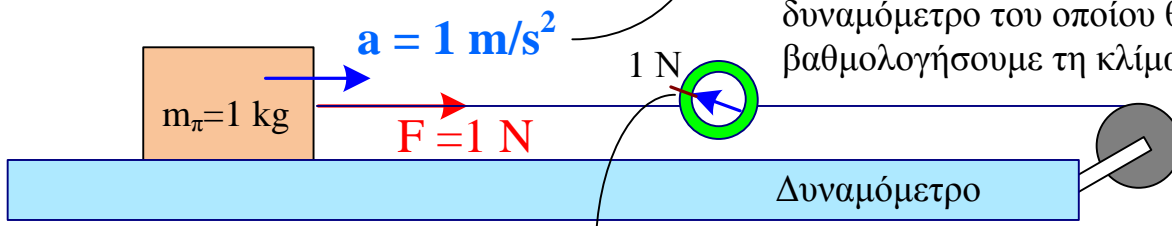
Βρίσκουμε : $a'' = a/2$

Άρα για διπλάσια ποσότητα αδράνειας διατηρώντας τη δύναμη F σταθερή η επιτάχυνση γίνεται η μισή : $a'' = a/2$

Τοποθετούμε το σώμα μάζας όσο και η πρότυπη μάζα $m_{\pi} = 1$ kilogram (kg) επάνω σε λείο οριζόντιο επίπεδο με πρακτικά μηδενικές τριβές.

Ρυθμίζουμε τη δύναμη F μέσω κατάλληλου βάρους B ώστε το το σώμα να αποκτήσει επιτάχυνση $a = 1 \text{ m/s}^2$.

Τη δύναμη τη μετρούμε με ένα δυναμόμετρο του οποίου θα βαθμολογήσουμε τη κλίμακα.

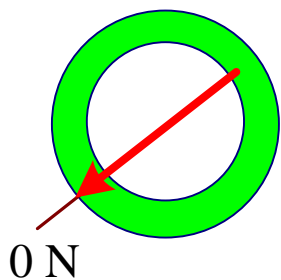


Τότε για την δύναμη αυτή σημειώνεται στη κλίμακα του δυναμομέτρου να είναι: 1 N

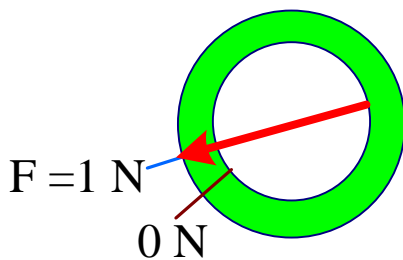
Τοποθετούμε κατάλληλο βάρος και ασκούμε μέσω τροχαλίας δύναμη F στο σώμα.

Έτσι έχουμε ορίσει: $F = m_{\pi}a = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ N}$

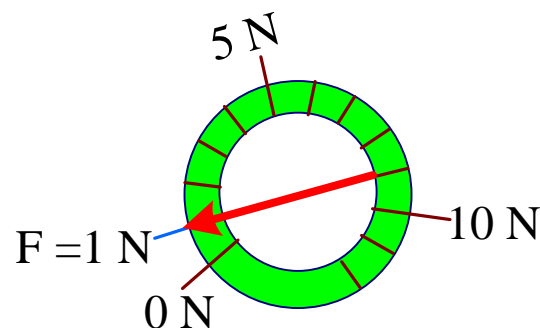
Βαθμολογία δυναμομέτρου



Αρχικά χωρίς δύναμη επιμήκυνσης ($F=0$) ο δείκτης του δυναμομέτρου θα ευρίσκεται στη θέση ηρεμίας την οποία βαθμολογούμε με το 0 N



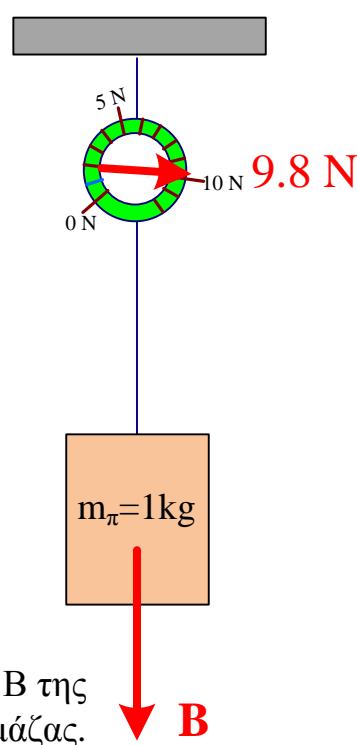
Όταν η δύναμη είναι $F=1$ N (όταν δηλαδή το σώμα $m=1$ kgf αποκτά $a=1$ m/s², τότε ο δείκτης του δυναμομέτρου θα ευρίσκεται στη θέση την οποία βαθμολογούμε με το 1 N.



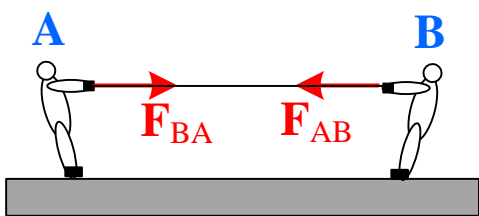
Επειδή η αρχή λειτουργίας του δυναμομέτρου στηρίζεται στην επιμήκυνση του ενός ελατηρίου που είναι γραμμικό φαινόμενο, μπορούμε να σημειώσουμε αναλογικά στη κλίμακα το δυναμομέτρου και τα 2N, 3N, 4N,..... και έτσι έχουμε βαθμολογήσει το δυναμόμετρο.

Το βαθμολογημένο δυναμόμετρο που μετρά τη δύναμη που έλκεται από το βάρος της πρότυπης μάζας B μετρά: $B=9.8$ N

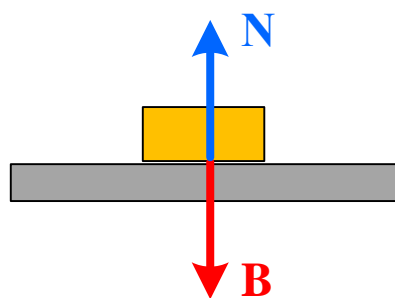
Δηλαδή το B μετράται να είναι όσο το υπολογίσαμε θεωρώντας ότι η πρότυπη μάζα σα βαρυντική μάζα είναι 1 kg όσο και σαν αδρανειακή μάζα.



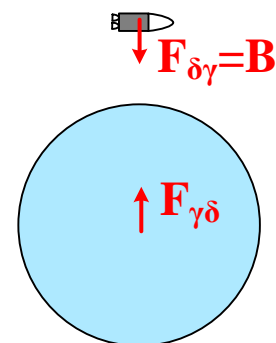
Το βάρος B της πρότυπης μάζας.



Δύο άνθρωποι κρατώντας ένα σχοινί έλκουν ο ένας τον άλλον ασκώντας ίσες και αντίθετες δυνάμεις F_{AB} και F_{BA} . Ο A ασκεί δύναμη F_{AB} σαν δράση στον B, αλλά και ο B ασκεί δύναμη F_{BA} στον A την οποία ο A αντιλαμβάνεται σαν αντίδραση.



Ένα σώμα ισορροπεί ακίνητο στο δάπεδο. Το σώμα ασκεί τη δύναμη του βάρους B στο δάπεδο (δράση) αλλά και το δάπεδο ασκεί μια ίση και αντίθετη δύναμη N (ανίδραση) στο σώμα σαν αντίδραση. B και N δρουν απωστικά.



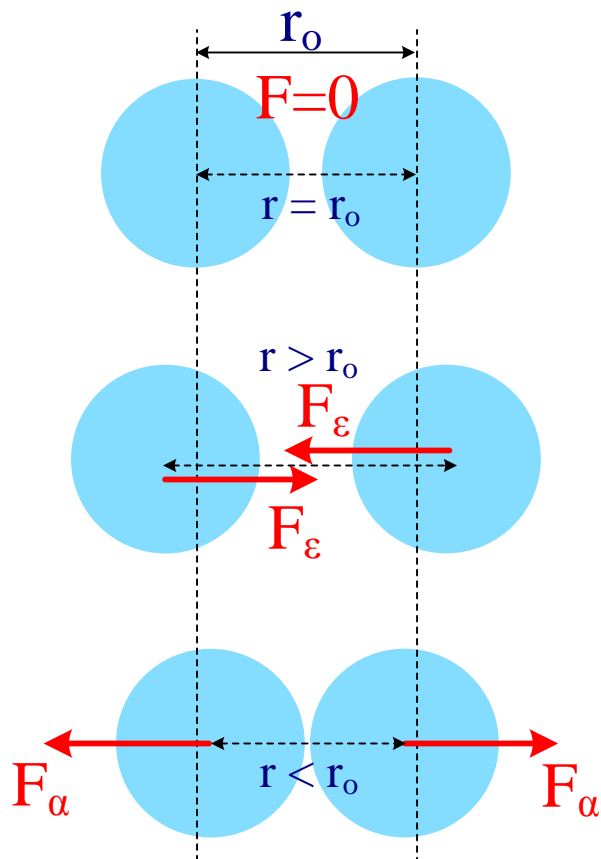
Ένα διαστημόπλοιο σε τροχιά δέχεται τη δύναμη $F_{\delta\gamma}=B$ της έλξης (βάρους) από τη γη, αλλά και η γη δέχεται μια αντίθετη ίση δύναμη $F_{\gamma\delta}$ έλξη από το διαστημόπλοιο.

Οι 4 θεμελιώδεις δυνάμεις στη φύση

Δύναμη	ασκείται σε	Μέγεθος δύναμης σε απόσταση 10^{-15} m (διάμετρος πυρήνα)	Εμβέλεια
1. Η βαρυτική	σε μάζες, m	10^{-34} N	άπειρη) Κυριαρχούν στο μακρόκοσμο
2. Η ηλεκτρομαγνητική	σε ηλεκτρικά φορτία, q	10^2 N	
3. Η ισχυρή συγκρατεί τα σωματίδια στο πυρήνα	σε πυρηνικά σωματίδια	10^4 N) Κυριαρχούν στο μακρόκοσμο (πυρήνα ατόμου)
4. Η ασθενής προκαλεί την ραδιενεργό διάσπαση	σε στοιχειώδη σωματίδια	10^{-2} N	

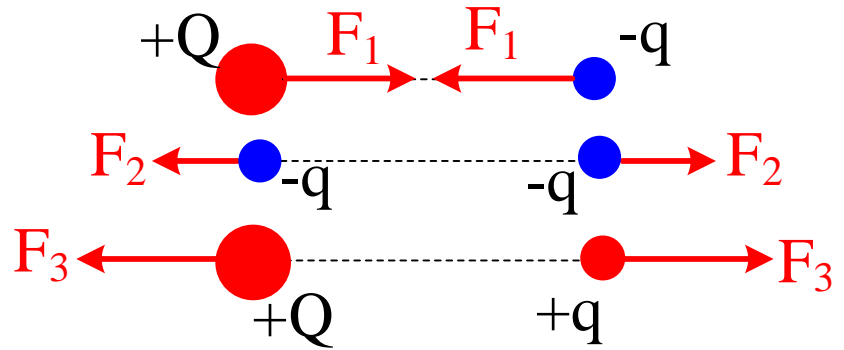
Βαρυτικές δυνάμεις

Είναι πάντα ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται από απόσταση μεταξύ υλικών σωμάτων



Ηλεκτρικές δυνάμεις

Είναι ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ φορτισμένων σωμάτων

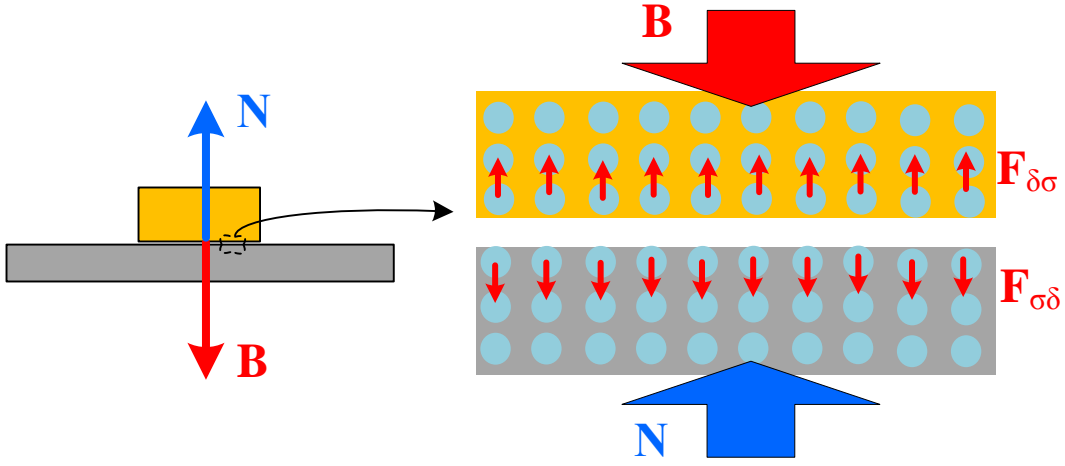


Άτομα σε ισορροπία οι ηλεκτρικές ελκτικές και απωστικές δυνάμεις μεταξύ των ατόμων εξισορροπούνται και η συνολική δύναμη είναι μηδέν $F=0$.

Όταν τα άτομα εξαναγκάζονται από εξωτερικές δυνάμεις (δεν σχεδιάζονται) να απομακρυνθούν, οι μεταξύ των ηλεκτρικές ελκτικές δυνάμεις F_ϵ υπερτερούν και ισορροπούν με τις εξωτερικές δυνάμεις με τα άτομα να ευρίσκονται σε λίγο μεγαλύτερες αποστάσεις $r > r_0$.

Όταν τα άτομα εξαναγκάζονται από εξωτερικές δυνάμεις (δεν σχεδιάζονται) να πλησιάσουν, οι μεταξύ των ηλεκτρικές απωστικές δυνάμεις F_α υπερτερούν και ισορροπούν με τις εξωτερικές δυνάμεις με τα άτομα να ευρίσκονται σε λίγο μικρότερες αποστάσεις $r < r_0$.

Το βάρος του σώματος τείνει να φέρει σε επαφή το σώμα με το δάπεδο. Στην πραγματικότητα το σώμα δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με το δάπεδο, αλλά ισορροπεί αιωρούμενο αφήνοντας ένα μικρό διάκενο με το δάπεδο λόγω των απωστικών ηλεκτρικών δυνάμεων των ατόμων των δύο σωμάτων στην μεταξύ των διεπιφάνεια.

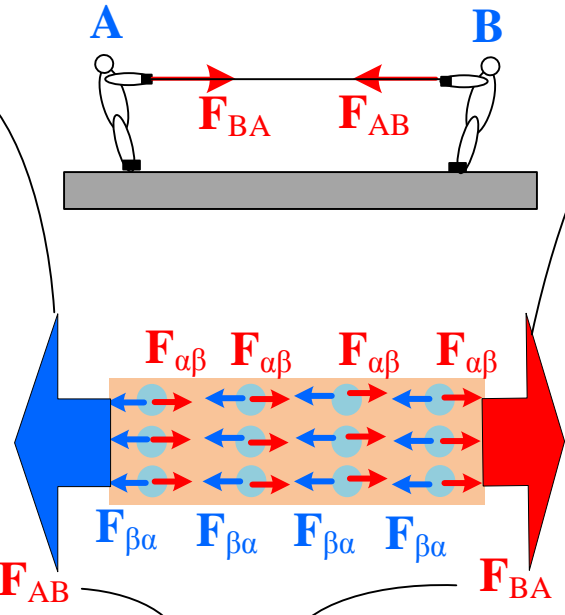


Η συνολική δύναμη των απώσεων $F_{\delta\sigma}$ από τα άτομα του δαπέδου στα άτομα του σώματος συνιστά την δύναμη της αντίδρασης N του δαπέδου.

Το βάρος του σώματος μεταφέρεται σαν ηλεκτρικές δυνάμεις άπωσης $F_{\sigma\delta}$ των ατόμων του σώματος στα άτομα του δαπέδου.

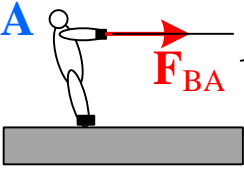
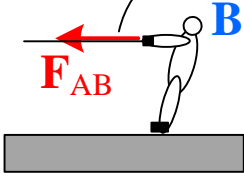
Μάλιστα όσο πιο μεγάλο είναι το βάρος του σώματος τόσο αυτό πλησιάζει περισσότερο στο δάπεδο μικραίνοντας το διάκενο χωρίς όμως να το ακουμπά. Έτσι αυξάνεται η συνολική άπωση από το δάπεδο εξισορροπώντας το μεγαλύτερο βάρος, ώστε πάντα να ισχύει $B=N$.

Η μακροσκοπική δύναμη F_{AB} μέσω των ατόμων του χεριού του A ασκούν έλξη στα άτομα του σχοινιού στη αριστερή του άκρη. Έτσι αυτά απομακρίνονται λίγο από τα γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας έλκτικές μικροσκοπικές δυνάμεις $F_{\alpha\beta}$ στα γειτονικά άτομα που μεταδίδονται μέσω γειτονικών στόμων σε όλο το σχοινί και τελικά μεταφέρεται σαν μακροσκοπική δύναμη έλξης F_{AB} στον B μέσω των ατόμων του χεριού του.

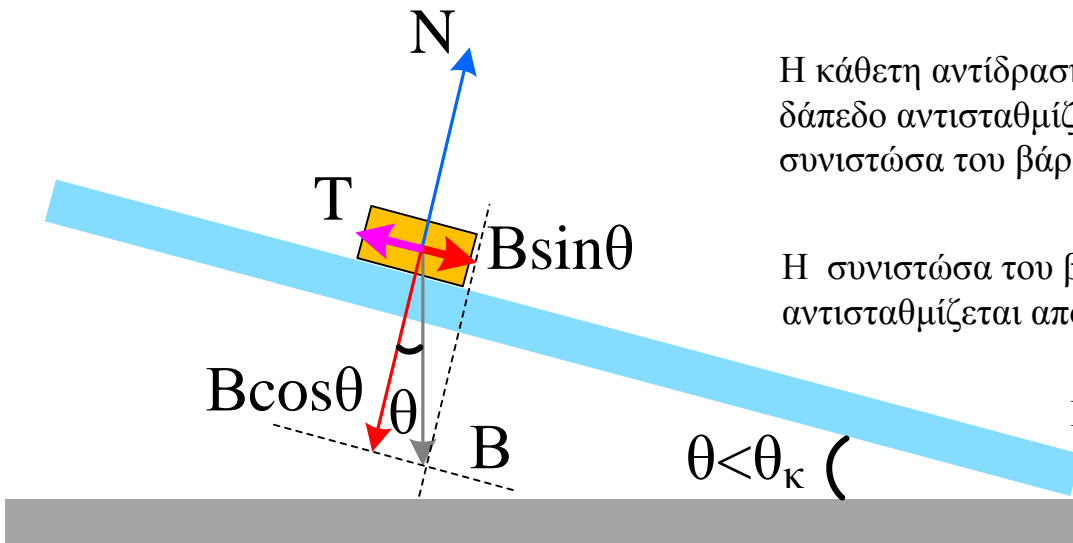


Με ανάλογο τρόπο η μακροσκοπική δύναμη F_{BA} μέσω των ατόμων του χεριού του B ασκούν έλξη στα άτομα του σχοινιού στη δεξιά του άκρη. Έτσι αυτά απομακρίνονται λίγο από τα γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας έλκτικές μικροσκοπικές δυνάμεις $F_{\beta\alpha}$ στα γειτονικά άτομα που μεταδίδονται μέσω γειτονικών στόμων σε όλο το σχοινί και τελικά μεταφέρεται σαν μακροσκοπική δύναμη έλξης F_{BA} στον A μέσω των ατόμων του χεριού του.

Οι F_{AB} και F_{BA} είναι οι μακροσκοπικές δυνάμεις που ασκούνται μέσω των ατόμων των χεριών των A και B, αντίστοιχα, που ασκούν έλξη στα ακριανά άτομα του σχοινιού που εν συνεχεία μεταδίδονται σε όλο το σχοινί.



Όσο η γωνία θ του κεκλιμένου επιπέδου είναι μικρότερη μιας κρίσιμης τιμής θ_{κ} , το σώμα ισορροπεί στο κεκλιμένο επίπεδο και ισχύει:



Η κάθετη αντίδραση N από το δάπεδο αντισταθμίζει την συνιστώσα του βάρους $B \cos \theta$.

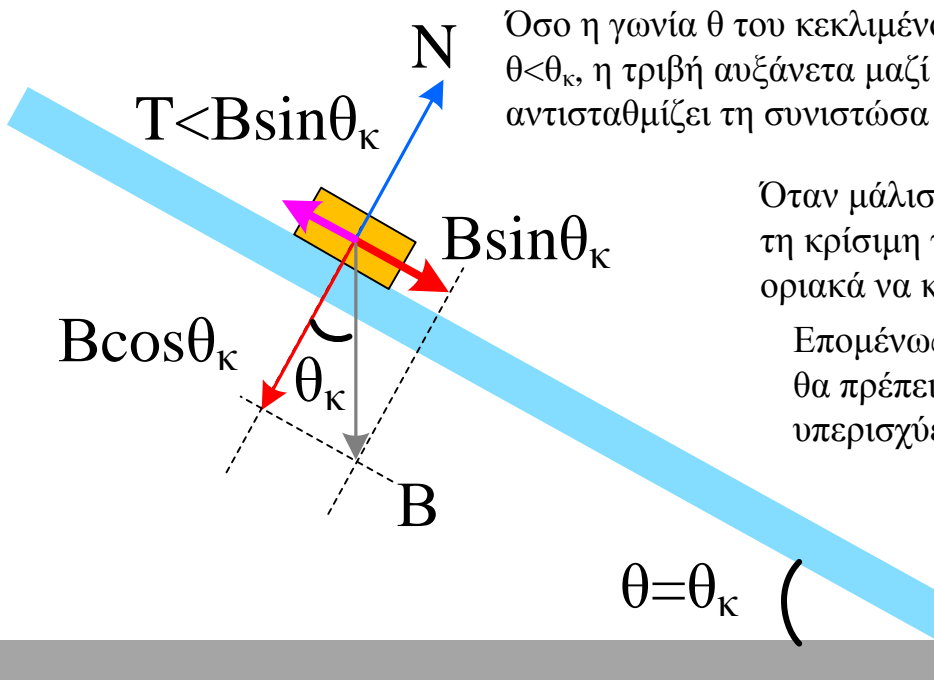
$$B \cos \theta = N$$

Η συνιστώσα του βάρους $B \sin \theta$ αντισταθμίζεται από τη τριβή T .

$$B \sin \theta = T$$

Η τριβή T ισούται: $T = \eta_{\sigma} T$

Όπου η_{σ} είναι ο συντελεστής στατικής τριβής.



Όσο η γωνία θ του κεκλιμένου επιπέδου αυξάνεται παραμένοντας $\theta < \theta_{\kappa}$, η τριβή αυξάνεται μαζί με το συντελεστή η_{σ} για να την αντισταθμίζει τη συνιστώσα $B \sin \theta$ που αυξάνεται.

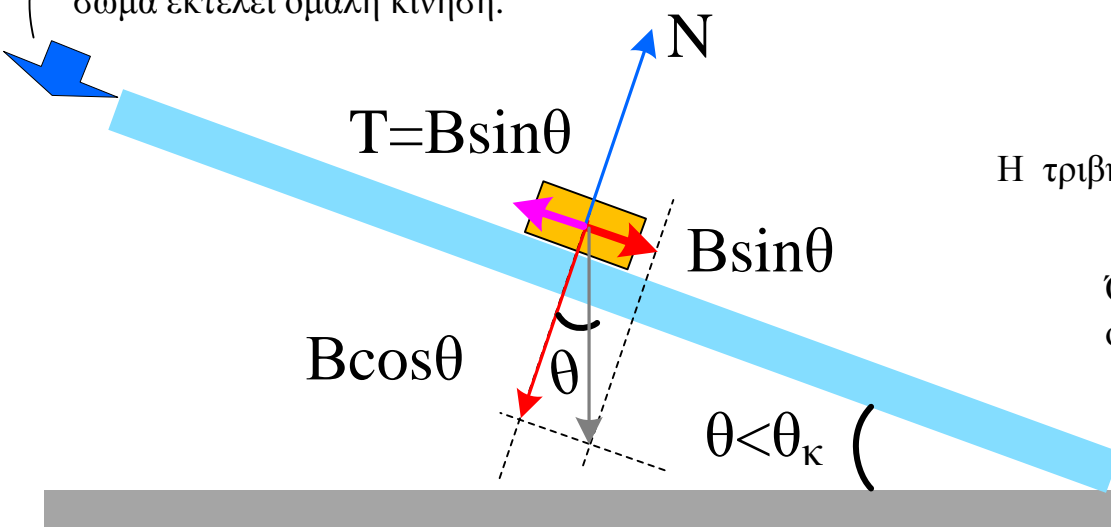
Όταν μάλιστα η γωνία θ είναι ίση με τη κρίσιμη γωνία το σώμα αρχίζει οριακά να κινείται επιταχυνόμενο.

Επομένως για να επιταχύνεται το σώμα θα πρέπει η συνιστώσα του βάρους να υπερिशύει της τριβής.

$$B \sin \theta_{\kappa} > T$$

Ενώ: $B \cos \theta_{\kappa} = N$

Για να κινείται το σώμα με σταθερή ταχύτητα στο κεκλιμένο επίπεδο θα πρέπει να μειωθεί η γωνία θ σε λίγο μικρότερη τιμή από την θ_{κ} . Τότε ελαττώνεται η συνιστώσα $B \sin \theta$ και γίνεται ίση με τη τριβή T Και το σώμα εκτελεί ομαλή κίνηση.

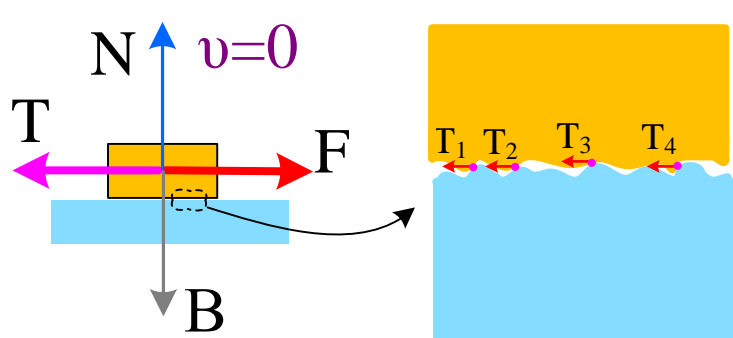


Η τριβή T ισούται: $T = \eta_{ολ} T$

Όπου $\eta_{ολ}$ είναι ο συντελεστής τριβής ολίσθησης.

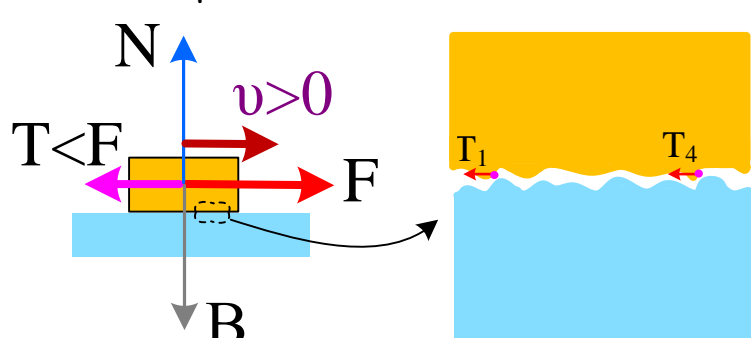
και ισχύει $\eta_{ολ} < \eta_{\sigma}$.

Όταν το σώμα στο δάπεδο ισορροπεί.



Το σύνολο των εγκάρσιων μικροσκοπικών δυνάμεων T_i συνιστούν τη τριβή T

Όταν το σώμα επάνω στο δάπεδο κινείται...



...το σώμα ανασυκώνεται λίγο από το δάπεδο και κινούμενο αναπηδά.

Αν μεγενθύνουμε την διεπιφάνεια που εφάπτεται το σώμα με το δάπεδο θα παρατηρήσουμε ότι οι επιφάνειες όσο λείες και να φαίνονται μακροσκοπικά εμφανίζουν προεξοχές σε μικροσκοπικό επίπεδο. Οι προεξοχές αυτές είναι στην πραγματικότητα οι επιφάνειες επαφής των δύο σωμάτων οι οποίες είναι πολύ μικρότερες από την συνολική επιφάνεια των σωμάτων που εφάπτονται. Στα σημεία αυτά επαφής από την πίεση του βάρους δημιουργούνται ψυχρές επαφές όπου τα άτομα των δύο επιφανειών ενώνονται μεταξύ των με χημικούς δεσμούς. Για να κινηθούν τα δύο σώματα χρειάζεται να σπάσουν αυτοί οι δεσμοί και αυτό γίνεται μέσω της εγκάρσιας δύναμης που ασκούμε για να κινηθεί το σώμα. Έτσι στα σημεία επαφής φαίνεται να ενεργούν μικροσκοπικές δυνάμεις T_i εγκάρσιες προς τα αριστερά που αντιστέκονται στην κίνηση του σώματος προς τα δεξιά.

Όταν το σώμα κινείται τότε ανασυκώνεται ελαφρώς. Έτσι όμως οι εγχοπές στη διεπιφάνεια με το δάπεδο δεν εισχωρούν πολύ καλά μεταξύ τους και τα σημεία επαφής όπου εμφανίζονται οι εγκάρσιες δυνάμεις T_i ελαττώνονται μειώνοντας τη συνολική δύναμη τριβής T και το συντελεστή τριβής ολίσθησης, ώστε:

$$\eta_{ολ} < \eta_{σ}$$