§ 4-3, 4-4 Ροπή δύναμης
Ισορροπία στερεού σώματος

Η έννοια - μέγεθος "ροπή δύναμης",

1. αναφέρεται:

α. σε δύναμη που ασκείται σε συγκεκριμένο σώμα.

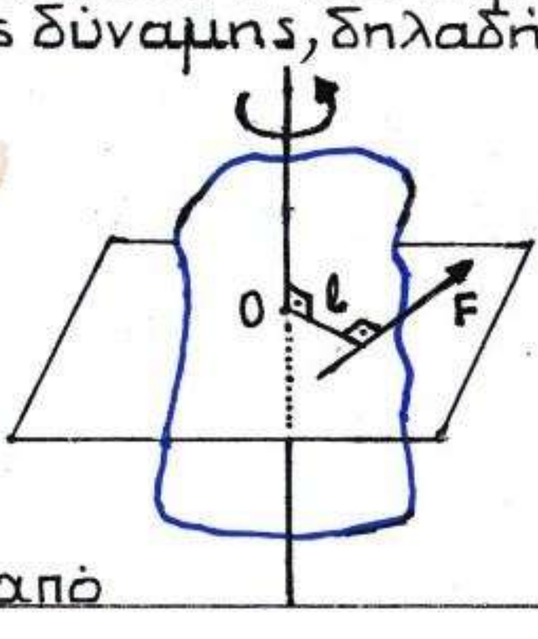
β. σε γεωμετρικό σημείο ή άξονα περιστροφής εφόσον το σώμα στο οποίο ασκείται η δύναμη έχει τη δυνατότητα να (περι)στρέφεται ως προς συγκεκριμένο άξονα.

2. συμβολίζεται: με το ελληνικό γράμμα (τ)

3. είναι μέγεθος διανυσματικό του οποίου:

α. εφόσον αναφέρεται σε γεωμετρικό σημείο, η διεύθυνση είναι η διεύθυνση του άξονα που είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζεται από το φορέα της δύναμης και το σημείο αναφοράς, και διέρχεται από το σημείο αναφοράς, η φορά του είναι η καθοριζόμενη με τον κανόνα του δεξιού χεριού από τη φορά προς την οποία η δύναμη τείνει να περιστρέψει το σώμα ενώ το μέτρο του ισούται με το γινόμενο του μέτρου της δύναμης F επί την απόσταση ℓ του σημείου αναφοράς από το φορέα της δύναμης, δηλαδή $\tau = F \cdot \ell$.

β. εφόσον αναφέρεται σε άξονα περιστροφής και ο φορέας της δύναμης βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα περιστροφής, η διεύθυνση είναι η διεύθυνση του άξονα, η φορά του η καθοριζόμενη με τον κανόνα του δεξιού χεριού από



τη φορά προς την οποία η δύναμη τείνει να περιστρέψει το σώμα, ενώ το μέτρο του ισούται με το γινόμενο του μέτρου της δύναμης F επί την απόσταση ℓ του φορέα της δύναμης από τον άξονα περιστροφής (μοχλοβραχίονα), δηλαδή $\underline{\tau = F \cdot \ell}$.

Σημείωση

Κατά την επίλυση προβλημάτων για να περιγράψουμε την τάση μιάς δύναμης να περιστρέψει ένα σώμα πρός τη μία ή την άλλη κατεύθυνση, χρησιμοποιούμε την αλγεβρική τιμή της ροπής.

Κατά σύμβαση θεωρούμε **θετική** τη ροπή της δύναμης που τείνει να περιστρέψει το σώμα αντίθετα από την κατεύθυνση της κίνησης των δεικτών του ρολογιού και **αρνητική** τη ροπή της δύναμης που τείνει να το περιστρέψει προς την κατεύθυνση της κίνησης των δεικτών του ρολογιού.

4. έχει ως **μονάδα μέτρησης** το **1N·m**.

5. **εκφράζει**, την ικανότητα της δύναμης να προκαλέσει μεταβολή στη στροφική κινητική κατάσταση του στερεού σώματος στο οποίο ασκείται, ενώ ταυτόχρονα περιγράφει την τάση της δύναμης να περιστρέψει το σώμα πρός τη μία ή την άλλη κατεύθυνση.

Δηλαδή, το μέγεθος ροπή δύναμης εισάγεται ως αιτία μεταβολής της στροφικής κινητικής κατάστασης ενός σώματος.

Παρατηρήσεις

1. Για τη ροπή δύναμης που ενεργεί σ' ένα σώμα δεν μπορούμε να δεχτούμε ότι ορίζεται σε σχέση με κάποιον άξονα!

Στην περίπτωση όμως ενός στερεού που μπορεί να περιστρέφεται περί σταθερό άξονα, επειδή για τη ροπή ειδικό ενδιαφέρον έχει η συνιστώσα της ροπής κατά τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής – αφορά τη ροπή της συνιστώσας της ασκούμενης δύναμης που ο φορέας της βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα περιστροφής ως προς το σημείο Ο που το επίπεδο αυτό τέμνει τον άξονα περιστροφής – μπορούμε, καταχρηστικά, να θεωρήσουμε ότι η ροπή ορίζεται ως προς τον – αναφέρεται στον – άξονα περιστροφής.

Στην περίπτωση αυτή όμως η σωστή διατύπωση όταν αναφερόμαστε στη ροπή της δύναμης είναι να μιλήσουμε γιά τη "ροπή της δύναμης κατά τον άξονα περιστροφής" και όχι "ως προς τον άξονα περιστροφής".

2. Αν σε στερεό σώμα που έχει τη δυνατότητα να στρέφεται γύρω από σταθερό άξονα ασκούνται δύο ή περισσότερες ομοεπίπεδες δυνάμεις που βρίσκονται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα περιστροφής, επειδή τα διανύσματα, $\vec{\tau}_1$, $\vec{\tau}_2$, $\vec{\tau}_3$....., των ροπών των ασκούμενων δυνάμεων είναι συγγραμμικά – έχουν όλα τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής – η πρόσθεσή τους ανάγεται στην αλγεβρική πρόσθεση των τιμών τους.

Επομένως για τη συνισταμένη – συνολική ροπή $\Sigma\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \dots$, που δέχεται το σώμα ισχύει ότι $\Sigma\tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots$, όπου $\tau_1, \tau_2 \dots$ είναι οι αλγεβρικές τιμές των ροπών που δέχεται το σώμα από τις ασκούμενες δυνάμεις και $\Sigma\tau$ η αλγεβρική τιμή της συνισταμένης – συνολικής – ροπής.

3. Αν σ' ένα ελεύθερο στερεό σώμα, δηλαδή σώμα που δεν έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται ως προς σταθερό άξονα, ασκηθεί δύναμη που ο φορέας της διέρχεται από το κέντρο μάζας του, το σώμα δεν θα περιστραφεί· θα εκτελέσει μόνο μεταφορική κίνηση.

Στην περίπτωση αυτή για το είδος της μεταφορικής κίνησης που θα εκτελέσει το σώμα ή καλύτερα το κέντρο μάζας του σώματος δεν έχει καμία σημασία ποιό θα είναι το σημείο εφαρμογής της δύναμης.

Αν όμως ο φορέας της δύναμης δε διέρχεται από το κέντρο μάζας του, το σώμα ταυτόχρονα με τη μεταφορική κίνηση θα εκτελέσει και περιστροφική γύρω από ένα νοητό άξονα (ελεύθερος άξονας) που διέρχεται από το κέντρο μάζας του σώματος και είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζεται από το φορέα της δύναμης και το κέντρο μάζας του σώματος.

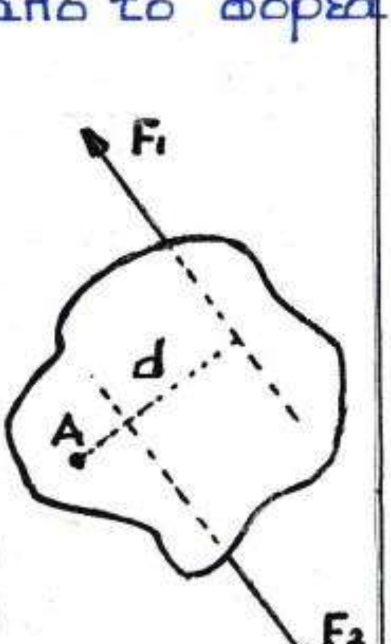
Και στην περίπτωση αυτή για το είδος της μεταφορικής κίνησης που θα εκτελέσει το σώμα ή καλύτερα το κέντρο μάζας του σώματος δεν έχει καμία σημασία ποιό θα είναι το σημείο εφαρμογής της δύναμης.

4. Ζεύγος δυνάμεων, αποτελούν δυο αντίρροπες δυνάμεις F_1 και F_2 με ίσα μέτρα που οι φορείς τους απέχουν μεταξύ τους απόσταση d.

Αν σ' ένα σώμα ασκείται ένα ζεύγος δυνάμεων που οι φορείς τους απέχουν μεταξύ τους απόσταση d η αλγεβρική τιμή της ροπής του ζεύγους ως πρός κάποιο σημείο A που βρίσκεται στο επίπεδο που ορίζουν οι φορείς των δυνάμεων του ζεύγους και απέχει απόσταση X_1 από το φορέα της δύναμης F_1 και απόσταση X_2 από το φορέα της F_2 είναι:

$$\tau = F_1 \cdot X_1 - F_2 \cdot X_2 = F(X_1 - X_2),$$ από

οπότε $$\boxed{\tau = F \cdot d}$$



Το ίδιο αποτέλεσμα θα είχαμε και ως προς οποιοδήποτε άλλο σημείο. Επομένως,

η ροπή ζεύγους δυνάμεων είναι η ίδια ως προς οποιοδήποτε σημείο. (Ε. 2007).

Ερώτηση

Ποιό είναι το αποτέλεσμα της ροπής ζεύγους δυνάμεων σ' ένα σώμα;

Απάντηση

Περιστροφική κίνηση γύρω από νοητό άξονα που διέρχεται από το κέντρο μάζας του σώματος και είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζουν οι φορείς των δυνάμεων του ζεύγους.

το φαινόμενο ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Η ισορροπία υλικού σώματος θεμελιώνεται στο νόμο της αδράνειας.

Τα βασικά ερωτήματα είναι τρία·

"πότε θα λέμε ότι ένα σώμα ισορροπεί";

Όσον αφορά δε τα μεγέθη που εμπλέκονται στο φαινόμενο ισορροπία,

"τι ισχύει όταν ένα σώμα ισορροπεί;

"τι πρέπει να ισχύει ώστε ένα σώμα να ισορροπεί;"

α. η ισορροπία του ΥΛΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ

Ένα υλικό σημείο μη έχοντας διαστάσεις έχει τη δυνατότητα να εκτελεί μόνο μεταφορικές κινήσεις.

Έτσι, θα λέμε ότι ένα υλικό σημείο ισορροπεί όταν είναι ακίνητο ($\vec{υ}_{cm} = 0$) ή όταν κινείται με σταθερή ταχύτητα ($\vec{υ}_{cm}$ = σταθ.).

Συνθήκη ισορροπίας.

Ένα υλικό σημείο εφόσον ισορροπεί η συνισταμένη των ασκούμενων δυνάμεων είναι μηδέν, δηλαδή $\Sigma F = 0$ ή ισοδύναμα $\Sigma F_x = 0$ και $\Sigma F_y = 0$, αν οι δυνάμεις είναι ομοεπίπεδες. **Ισχύει και το αντίστροφο.**

Σημείωση

Το ΣF_x είναι το αλγεβρικό άθροισμα των συνιστωσών των ασκούμενων δυνάμεων σε άξονα x'x. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα και για την αλγεβρική ποσότητα ΣF_y. Οι άξονες x'x και yy' είναι δυο οποιοιδήποτε κάθετοι άξονες με κοινή αρχή που βρίσκονται στο επίπεδο των ασκούμενων δυνάμεων.

Β. Η ισορροπία του ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Ένα στερεό σώμα έχει τη δυνατότητα να εκτελεί είτε μεταφορική είτε στροφική κίνηση ή ακόμη και σύνθετη κίνηση, δηλαδή συνδυασμό μεταφορικής και στροφικής κίνησης.

Έτσι, θα λέμε ότι ένα στερεό σώμα ισορροπεί όταν $\vec{\upsilon}_{cm} = 0$ ή $\vec{\upsilon}_{cm} =$ σταθ. και $\vec{\omega} = 0$.

Συνθήκη ισορροπίας

Ένα στερεό σώμα, στο οποίο ασκούνται πολλές ομοεπίπεδες δυνάμεις, εφόσον ισορροπεί ισχύει ότι:

Πρώτον, η συνισταμένη των ασκούμενων δυνάμεων είναι μηδέν, δηλαδή $\Sigma\vec{F} = 0$ ή ισοδύναμα $\Sigma F_x = 0$ και $\Sigma F_y = 0$.

Δεύτερον, η συνισταμένη ροπή ή ισοδύναμα το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών ως προς οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου των ασκούμενων δυνάμεων ή κατά οποιονδήποτε άξονα που είναι κάθετος στο επίπεδο των ασκούμενων δυνάμεων, είναι μηδέν, δηλαδή $\Sigma\tau = 0$.

Το αντίστροφο δεν ισχύει διότι αν:

$(\Sigma\vec{F} = 0$ και $\Sigma\tau = 0) \leftrightarrow (\alpha_{cm} = 0$ και $\alpha_\gamma = 0)$ $\leftrightarrow [(\upsilon_{cm} = 0$ ή $\upsilon_{cm} =$ σταθ.$)$ και $(\omega = 0$ ή $\omega =$ σταθ.$)]$

οπότε $(\upsilon_{cm} = 0$ και $\omega = 0 \leftrightarrow$ ισορ.$)$ ή $(\upsilon_{cm} =$ σταθ. και $\omega = 0 \leftrightarrow$ ισορ.$)$ ή $(\upsilon_{cm} = 0$ και $\omega =$ σταθ. $\leftrightarrow$ όχι ισορ.$)$ ή $(\upsilon_{cm} =$ σταθ. και $\omega =$ σταθ. $\leftrightarrow$ όχι ισορ.$)$

Ερώτηση

Γιατί σ' ένα ελεύθερο στερεό που ισορροπεί και είναι $\Sigma\vec{F}=0$ θα πρέπει και το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών ως προς οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου των ασκούμενων δυνάμεων να είναι μηδέν;

Απάντηση

Διότι όταν $\Sigma\vec{F}=0$ το στερεό ισορροπεί μεταφορικά. Αυτό όμως δεν εξασφαλίζει ότι δεν θα στραφεί. Αν υπάρχουν ροπές το σώμα θα στραφεί. Στην περίπτωση όμως που $\Sigma\vec{F}=0$ και υπάρχουν ροπές θα οφείλονται σε ζεύγη δυνάμεων· σ' ένα ζεύγος δυνάμεων είναι $\Sigma\vec{F}=0$ και $\tau\neq0$.

Επειδή δε η ροπή ζεύγους είναι ίδια ως προς οποιοδήποτε σημείο στο επίπεδο που ορίζουν οι φορείς του ζεύγους θα πρέπει εφόσον το στερεό δε στρέφεται να είναι $\Sigma\tau=0$ ως προς οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου των ασκούμενων δυνάμεων. Έτσι εξασφαλίζεται ότι δεν (θα) υπάρχουν ροπές ζεύγους.

Σημείωση

Εξυπακούεται ότι το φαινόμενο της ισορροπίας στερεού σώματος αναφέρεται σε κάποιο αδρανειακό σύστημα αναφοράς, δηλαδή σε κάποιο σύστημα αναφοράς που θεωρούμε ότι είναι ακίνητο ή ότι κινείται μεταφορικά με σταθερή ταχύτητα.

Παρατηρήσεις

1. Αν και στην περίπτωση στερεού σώματος που ισορροπεί και έχει σταθερό άξονα περιστροφής – το στερεό αυτό μπορεί να κάνει μόνο στροφική κίνηση – αρκεί να γράψουμε ότι $\Sigma\tau=0$, είναι χρήσιμο και στην περίπτωση αυτή να γράφουμε ότι και $\Sigma\vec{F}=0$ που μας επιτρέπει τον υπολογισμό της δύναμης F που δέχεται το σώμα από τον άξονα.

2. Στην περίπτωση στερεού σώματος που ισορροπεί και σ' αυτό ασκούνται τρείς ομοεπίπεδες δυνάμεις, οι φορείς των τριών δυνάμεων διέρχονται από το ίδιο σημείο.

Η πρόταση αυτή αποδεικνύεται εύκολα με με τη μέθοδο της εις άτοπον απαγωγής και μπορεί να απλοποιήσει τη λύση πολλών προβλημάτων που αναφέρονται στην ισορροπία στερεών σωμάτων.

Απόδειξη

Αν ο φορέας της τρίτης δύναμης δεν περνούσε από το σημείο που τέμνονται οι φορείς των δύο άλλων, η τρίτη δύναμη θα είχε ως προς το σημείο εκείνο ροπή διάφορη του μηδενός και επομένως για τη συνισταμένη ροπή δεν θα ίσχυε ότι $\Sigma\tau = 0$, δηλαδή το σώμα δεν θα ισορροπούσε.
Αυτό όμως είναι άτοπο.

3. Στην περίπτωση στερεού σώματος που ισορροπεί και σ' αυτό ασκούνται Ν δυνάμεις, από τις οποίες οι Ν-1 έχουν την ίδια διεύθυνση, τότε και η Ν-ιοστή δύναμη θα έχει την ίδια διεύθυνση με τις άλλες.

Απόδειξη

Αν δε συνέβαινε αυτό, τότε η συνισταμένη των Ν-1 δυνάμεων δε θα μπορούσε να είναι αντίθετη με τη Ν-ιοστή δύναμη όπως πρέπει να είναι προκειμένου να είναι $\Sigma\vec{F} = 0$ εφόσον έχουμε ισορροπία.

Βασικές παρατηρήσεις για την επίλυση ασκήσεων

1. Η ροπή μιας δύναμης

α. είναι μηδέν ως προς οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται πάνω στο φορέα της.

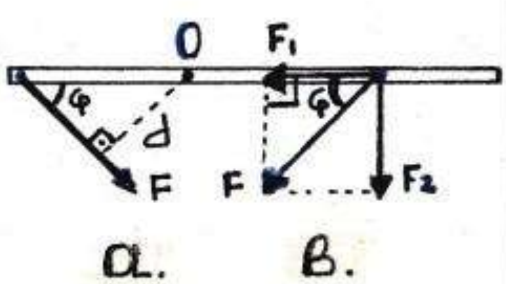
β. δε μεταβάλλεται αν η δύναμη ολισθήσει κατά μήκος του φορέα της αλλάζοντας σημείο εφαρμογής.

γ. είναι μηδενική ως προς – κατά – κάθε άξονα που είναι παράλληλος στο φορέα της ή τον τέμνει.

2. Όταν υπολογίζουμε τη ροπή μιάς δύναμης **F** ως κάποιο σημείο **Ο**, πρέπει να προσέχουμε ποιά είναι η απόσταση του σημείου Ο από το φορέα της δύναμης.

Υπενθυμίζουμε ότι ως απόσταση d σημείου από ευθεία ορίζεται το μήκος του ευθυγράμμου τμήματος που φέρουμε κάθετα από το σημείο προς την ευθεία.

Έτσι, αν η συγκεκριμένη απόσταση δεν είναι γνωστή για τον υπολογισμό της ροπής της δύναμης **F**:



α. θα φέρουμε την κάθετη από το σημείο Ο στο φορέα της δύναμης και θα υπολογίσουμε την απόσταση **d**

β. θα αναλύσουμε την F σε δύο συνιστώσες F_1 και F_2 τέτοιες ώστε ο φορέας της F_1 να διέρχεται από **Ο** και η F_2 να είναι κάθετη στην F_1.

Μ' αυτόν τον τρόπο ο υπολογισμός της ροπής της **F** ανάγεται στον υπολογισμό της ροπής της F_2 ως προς το **Ο**.

3. Μία από τις συνηθισμένες δυνάμεις που ενεργούν στα στερεά σώματα που μελετούμε είναι <u>**η αντίδραση Α από την επιφάνεια στήριξης**</u>, που είναι η δύναμη που ασκεί μία επιφάνεια στο σώμα που στηρίζεται – ακουμπά – πάνω της.

Η αντίδραση μιας επιφάνειας πάνω σ'ένα σώμα έχει σε κάθε περίπτωση φορά προς το σώμα ενώ η διεύθυνσή της είναι κάθετη στην επιφάνεια στήριξης σε δύο περιπτώσεις·

α. <u>αν η επιφάνεια στήριξης είναι λεία,</u>

β. αν η επιφάνεια στήριξης δεν είναι λεία, αλλά το σώμα ούτε ολισθαίνει ούτε τείνει να ολισθήσει.

Αν το σώμα ολισθαίνει ή τείνει να ολισθήσει σε επιφάνεια που δεν είναι λεία, τότε η αντίδραση δεν είναι κάθετη στην επιφάνεια και αναλύεται σε δύο συνιστώσες, από τις οποίες η κάθετη στην επιφάνεια στήριξης συμβολίζεται με **N** και ονομάζεται **καθετη αντίδραση**, ενώ η παράλληλη στην επιφάνεια στήριξης συμβολίζεται με **T** και ονομάζεται **τριβή**.

Όταν το σώμα ολισθαίνει η τριβή ονομάζεται **τριβή ολίσθησης** και έχει μέτρο $T = \mu \cdot N$, ενώ όταν το σώμα τείνει να ολισθήσει η τριβή ονομάζεται **στατικη τριβή**.

Σε κάθε περίπτωση η τριβή έχει κατεύθυνση αντίθετη πρός την κατεύθυνση στην οποία κινείται ή τείνει να κινηθεί το σώμα.

4. Η δύναμη από άρθρωση.

Άρθρωση είναι ο τρόπος σύνδεσης δύο σωμάτων ο οποίος δεν επιτρέπει την απομάκρυνση του ενός σώματος από το άλλο, επιτρέπει όμως την περιστροφή του ενός ή και των δύο σωμάτων γύρω από άξονα.

Για να βρούμε το μέτρο και την κατεύθυνση της δύναμης που ασκεί μία άρθρωση σε σώμα που μπορεί να στρέφεται αναλύουμε τη δύναμη σε δύο κάθετες συνιστώσες τις οποίες και υπολογίζουμε εφαρμόζοντας τις συνθήκες ισορροπίας.

Αν F_x και F_y είναι οι δύο συνιστώσες η δύναμη F_A που ασκείται από την άρθρωση έχει μέτρο $F_A = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ και σχηματίζει με την F_x γωνία θ, όπου $\varepsilon\varphi\theta = F_x / F_y$.

5. Εφαρμογή των συνθηκών ισορροπίας στερεού. Σειρά εργασίας.

α. Σχεδιάζουμε όλες τις δυνάμεις που ασκούνται στο στερεό σώμα.

β. Αν οι δυνάμεις δεν είναι παράλληλες ή κάθετες μεταξύ τους τις αναλύουμε σε συνιστώσες – όσες εξ αυτών αναλύονται – ως πρός κατάλληλους ορθογώνιους άξονες x και y.

γ. Υπολογίζουμε – αν είναι δυνατόν – την τιμή των συνιστωσών.

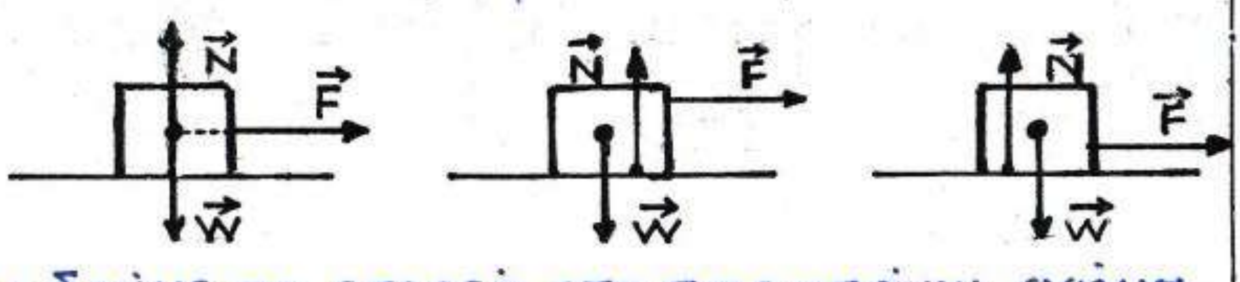
δ. Αν το σώμα μπορεί να περιστρέφεται γύρω από σταθερό άξονα κάθετο στο επίπεδο των δυνάμεων, εφαρμόζουμε τη συνθήκη ισορροπίας των ροπών των δυνάμεων ως πρός τον άξονα αυτό.

Αν αυτό δεν είναι αρκετό εφαρμόζουμε για κάθε άξονα x και y τη συνθήκη ισορροπίας των δυνάμεων που, εκτός των άλλων, επιτρέπει και τον υπολογισμό της δύναμης που δέχεται το σώμα από τον άξονα περιστροφής.

Αν το στερεό δεν έχει κάποιο συγκεκριμένο άξονα περιστροφής μπορούμε να εφαρμόσουμε τη συνθήκη ισορροπίας των ροπών ως πρός οποιον άξονα θέλουμε. Σ' αυτή την περίπτωση προτιμούμε να την εφαρμόσουμε ως προς άξονα από τον οποίο διέρχονται οι φορείς των περισσότερων άγνωστων δυνάμεων.

6. <u>Πάρα πολύ μεγάλη **προσοχή**</u> στο σημείο εφαρμογής της κάθετης αντίδρασης **N** πάνω σ' ένα στερεό σώμα.

Συνήθως, το σημείο εφαρμογής της **N** το τοποθετούμε στο κέντρο του στερεού. Αυτό όμως δεν είναι σωστό σε ορισμένες περιπτώσεις.



Ας δούμε το στερεό στο παραπάνω σχήμα.

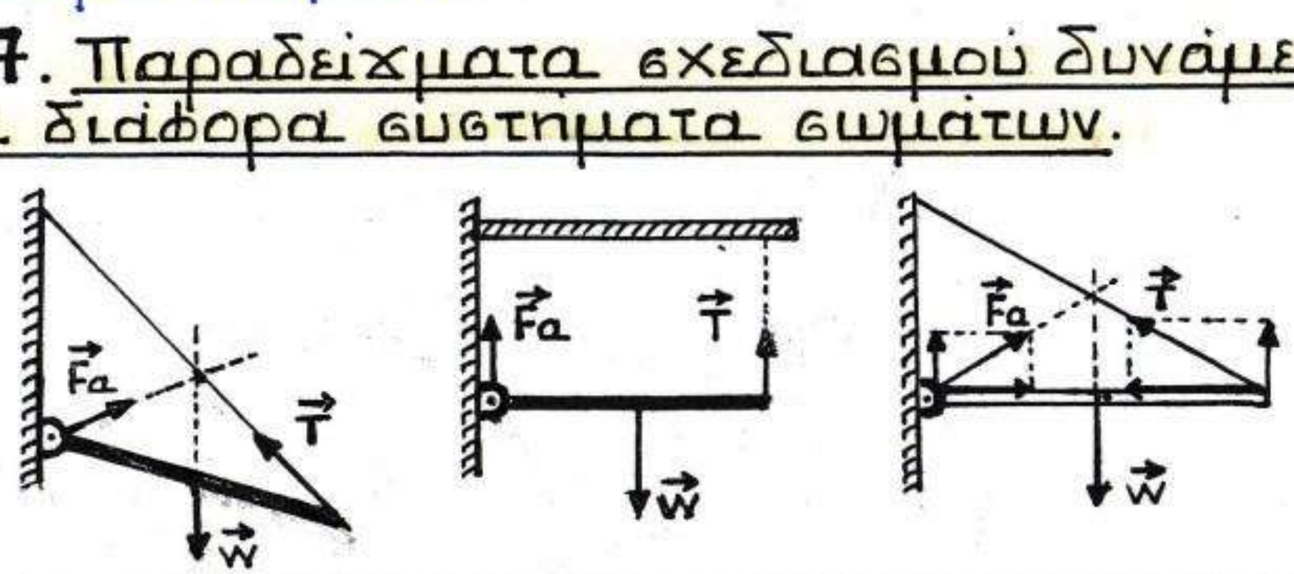
Το στερεό, λόγω της δύναμης F, μεταφορικά βρίσκεται είτε σε ισορροπία είτε σε επιταχυνόμενη κίνηση γεγονός που εξαρτάται από τη σχέση που υφίσταται ανάμεσα στο μέτρο της δύναμης F και της τριβής T.

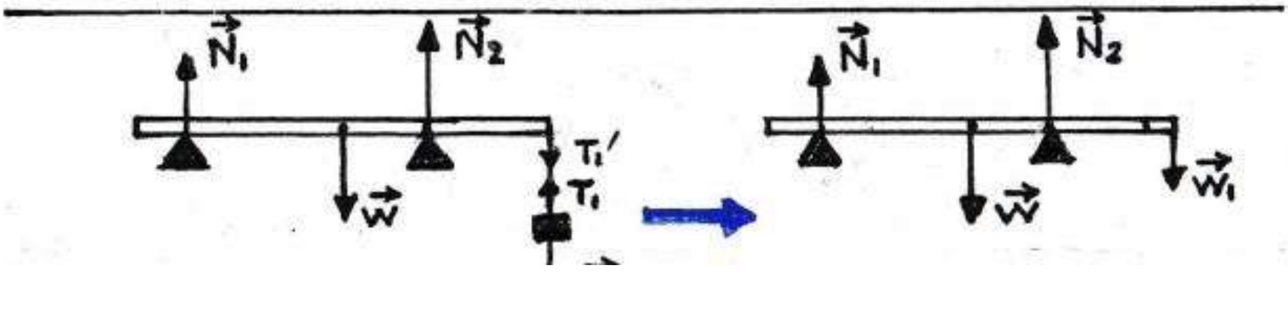
Ανεξάρτητα όμως από τη μεταφορική κατάσταση του στερεού εφόσον έχουμε στροφική ισορροπία η συνισταμένη των ροπών ως προς το κέντρο μάζας του στερεού θα είναι μηδέν.

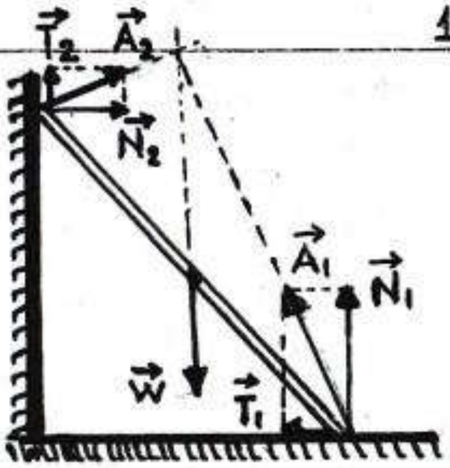
Έτσι, αν ο φορέας της δύναμης F δε διέρχεται από το κέντρο μάζας του στερεού, τότε και ο φορέας της κάθετης αντίδρασης N δε διέρχεται από το κέντρο μάζας και είναι μετατοπισμένος έτσι, ώστε η συνισταμένη των ροπών ως προς το κέντρο μάζας να είναι μηδέν.

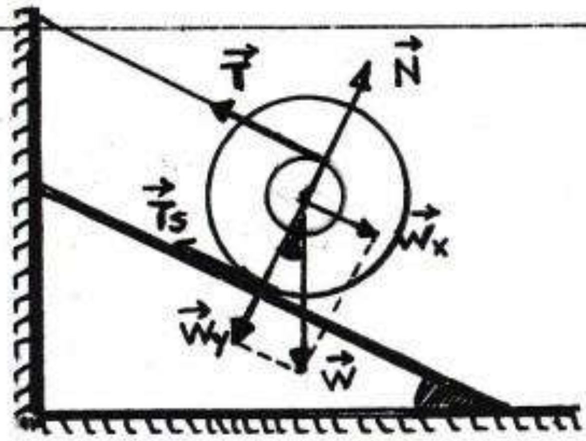
Επειδή ο φορέας της κάθετης αντίδρασης N δεν μπορεί να βρίσκεται έξω από τη βάση στήριξης του στερεού, αύξηση του μέτρου της δύναμης F έχει σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση του φορέα της N από το κέντρο μάζας μέχρι αυτός να φτάσει στην άκρη της βάσης στήριξης, οπότε έχουμε ανατροπή.

7. Παραδείγματα σχεδιασμού δυνάμεων σε διάφορα συστήματα σωμάτων.






$\vec{T}_2$
$\vec{A}_2$
$\vec{N}_2$
$\vec{A}_1$
$\vec{N}_1$
$\vec{W}$
$\vec{T}_1$


$\vec{T}$
$\vec{N}$
$\vec{T}_s$
$\vec{W}_x$
$\vec{W}_y$
$\vec{W}$

Α.Ζιαφπάκη