ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

Δύναμη

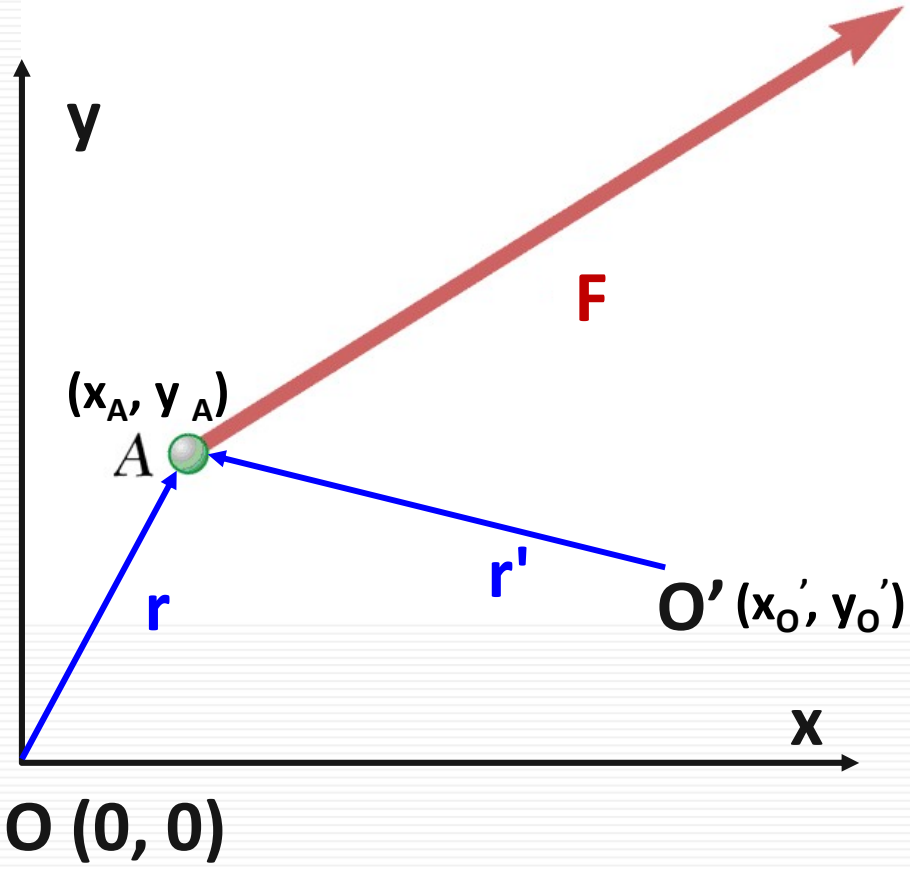
Διανυσματικό μέγεθος

Διεύθυνση: ευθεία πάνω στην οποία ασκείται η δύναμη

Φορά: από συμβάσεις

Μέτρο: σε Ν ή ΚΝ

Σημείο εφαρμογής Α →
διάνυσμα θέσης r ή r'



διάνυσμα θέσης ως προς το σημείο εφαρμογής μιας δύναμης

Συντεταγμένες σημείων O, A, B, G

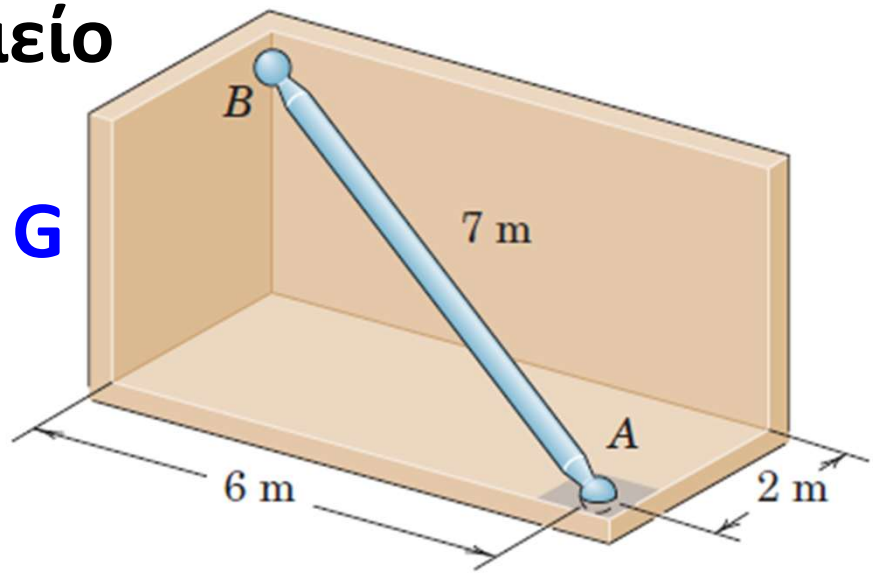
O (0, 0, 0)

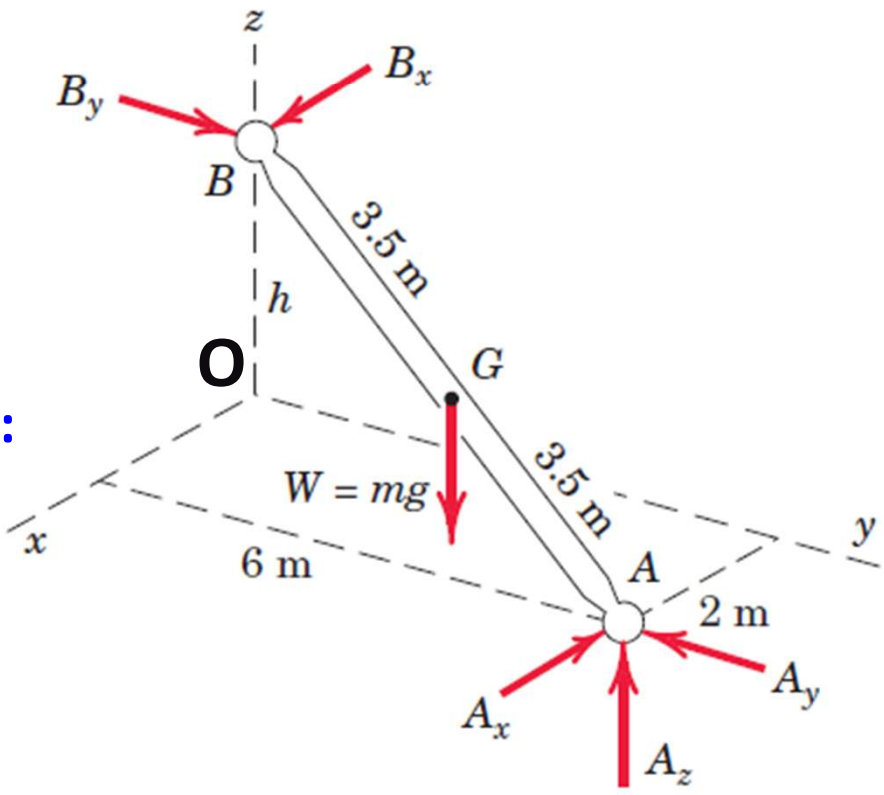
A (2, 6, 0)

B (0, 0, h)

$|\overrightarrow{BA}|$: $(2 \times 3.5)^2 = 2^2 + 6^2 + (-h)^2$ ➔ $h = 3m$

G (1, 3, 1.5)





Εάν η θέση που με ενδιαφέρει είναι η O:

$\overrightarrow{OB}$=0 $\vec{i}$+ 0 $\vec{j}$+ 3 $\vec{k}$

$\overrightarrow{OG}$=1 $\vec{i}$+ 3 $\vec{j}$+ 1.5 $\vec{k}$

$\overrightarrow{OA}$=2 $\vec{i}$+ 6 $\vec{j}$+ 0 $\vec{k}$

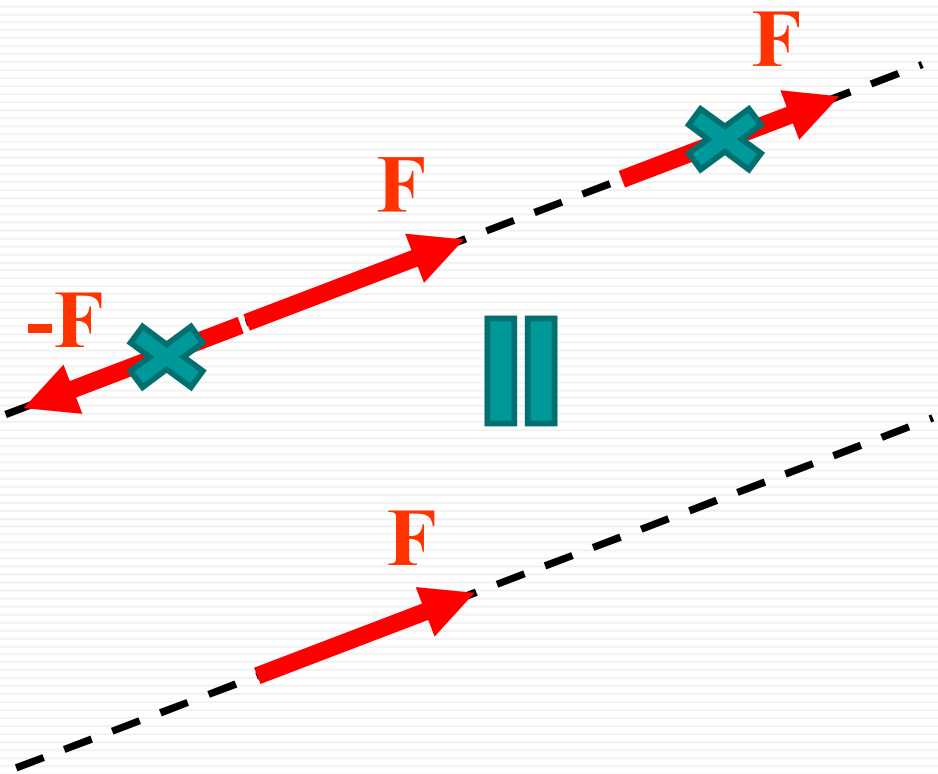
Εάν η θέση που με ενδιαφέρει είναι η A:

$\overrightarrow{AB}$=-2 $\vec{i}$- 6 $\vec{j}$+ 3 $\vec{k}$

$\overrightarrow{AG}$=-1 $\vec{i}$- 3 $\vec{j}$+ 1.5 $\vec{k}$

$\overrightarrow{AA}$=0 $\vec{i}$+ 0 $\vec{j}$+ 0 $\vec{k}$

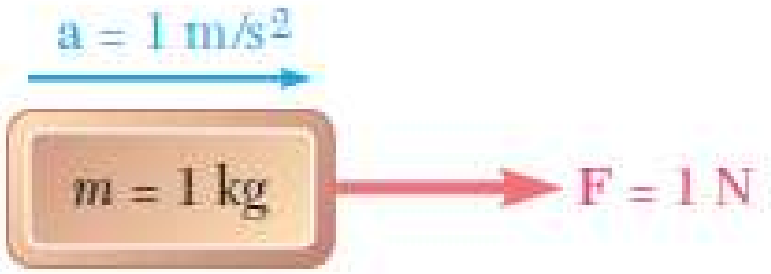
Η δύναμη ως ολισθαίνον διάνυσμα



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

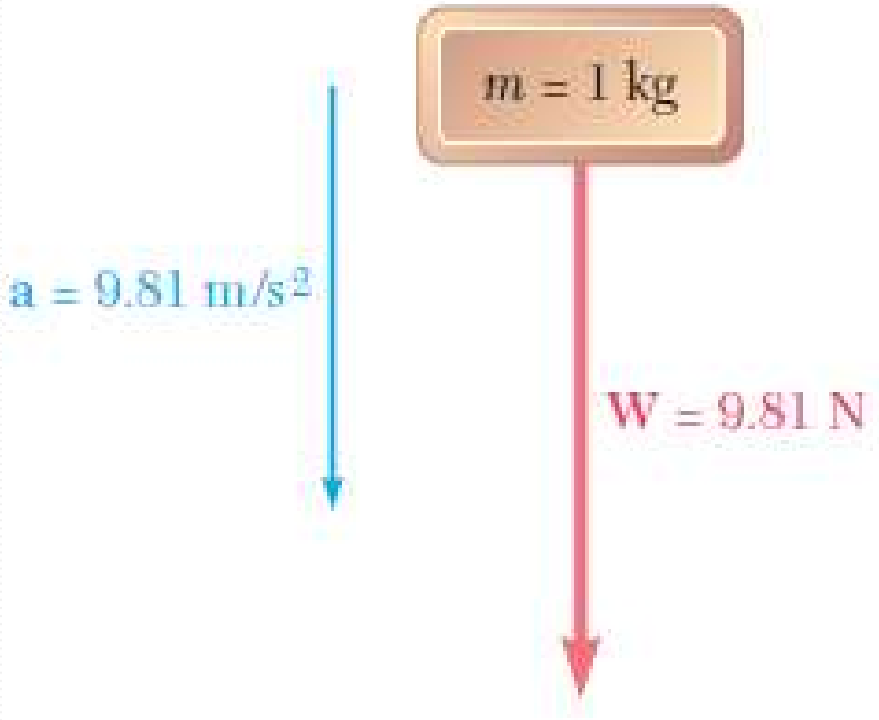
Μονάδες

Δύναμη = μάζα x επιτάχυνση



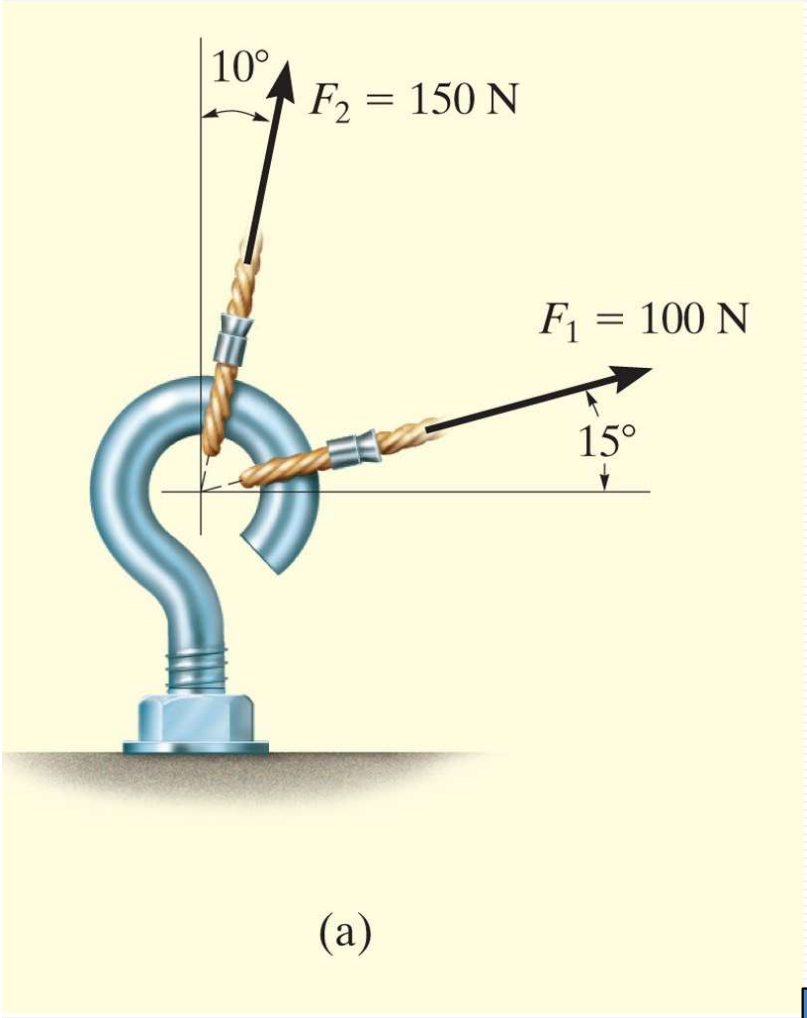
$$1\ \text{N} = (1\ \text{kg})(1\ \text{m/s}^2) = 1\ \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

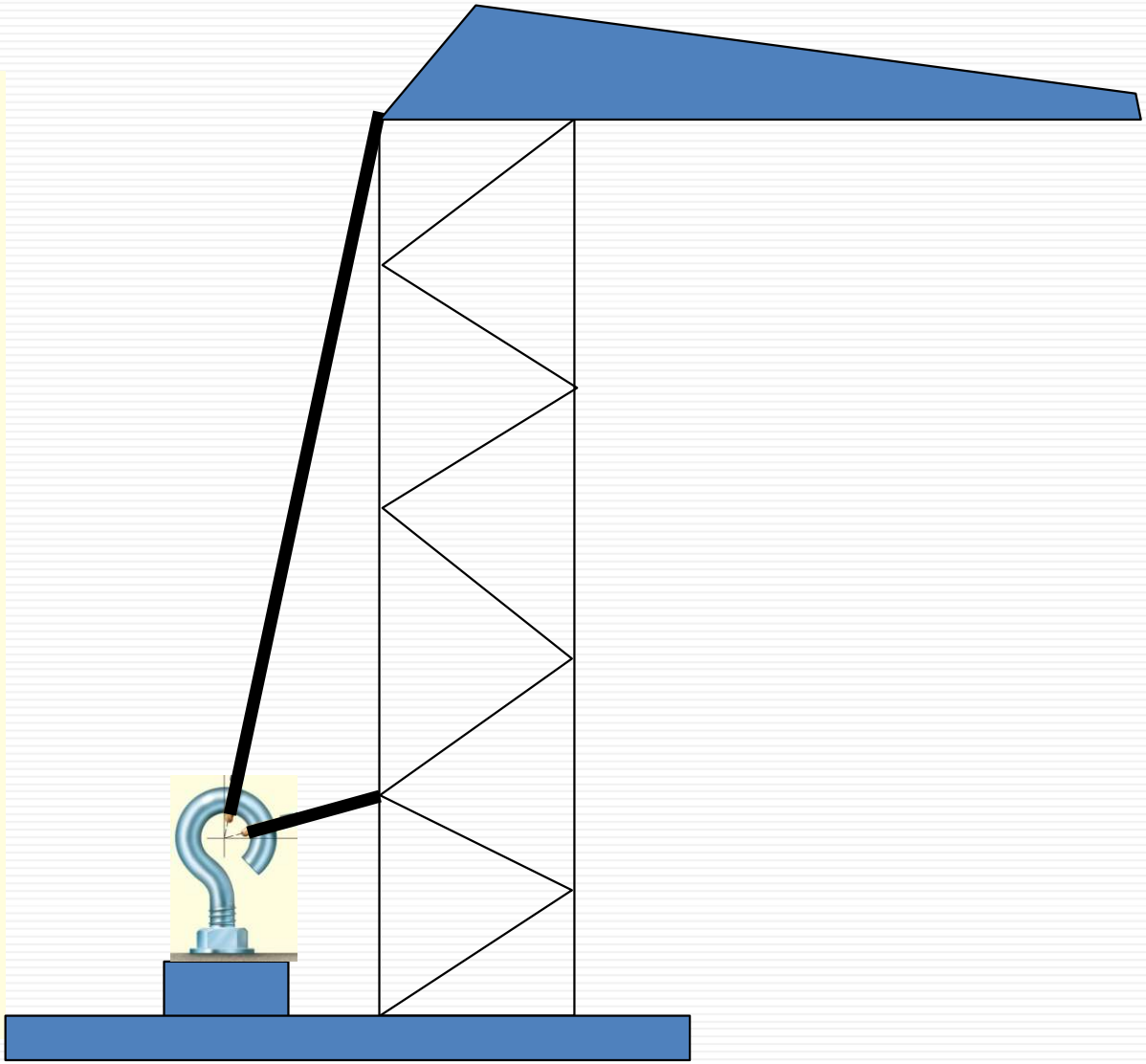
Βάρος= μάζα x επιτάχυνση βαρύτητας



$$\begin{aligned} W &= mg \\ &= (1\ \text{kg})(9.81\ \text{m/s}^2) \\ &= 9.81\ \text{N} \end{aligned}$$

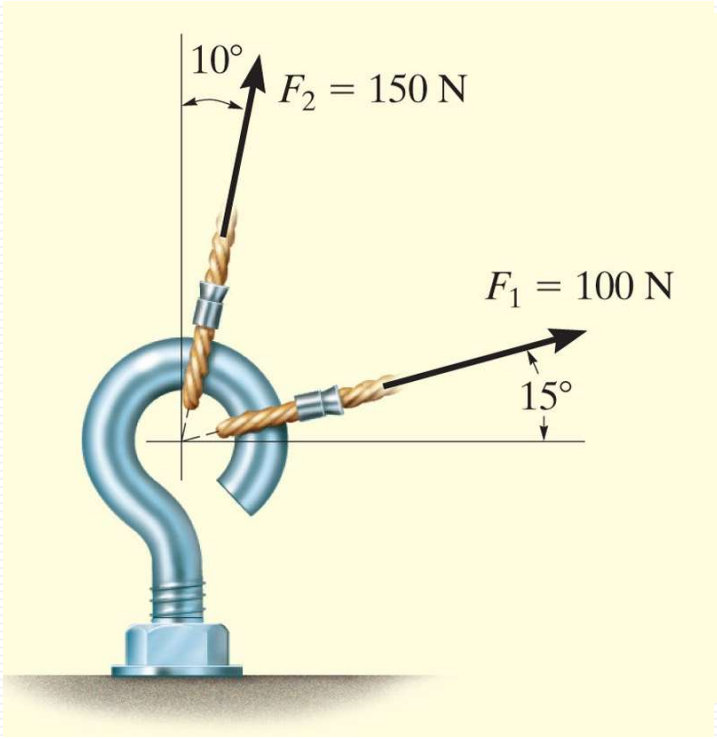
Σύνθεση/Ανάλυση Δυνάμεων στο Επίπεδο

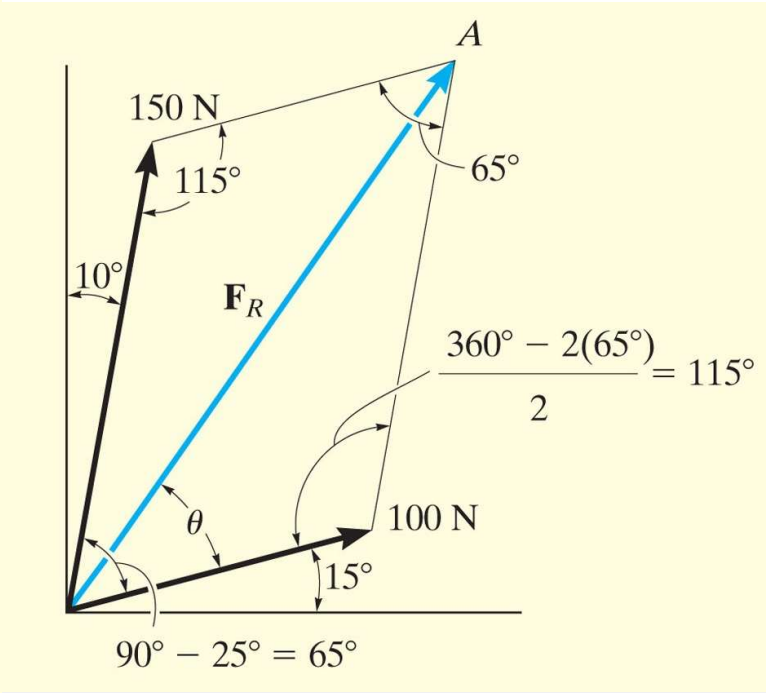


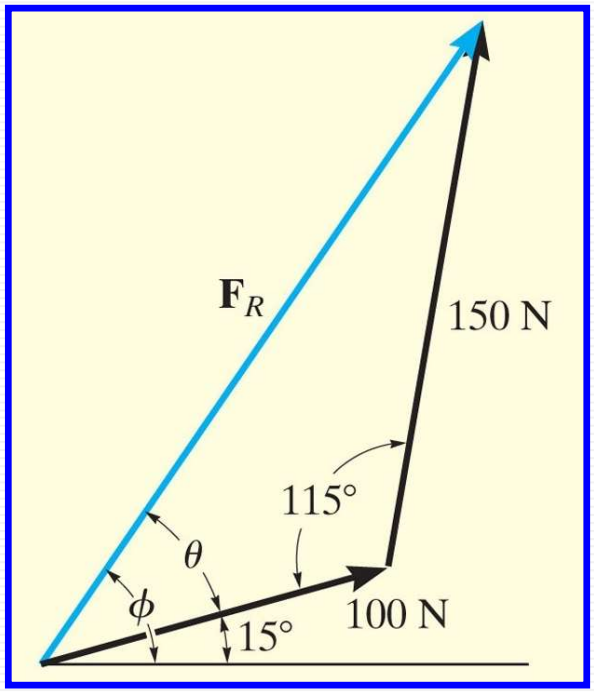


Σύνθεση Δυνάμεων στο Επίπεδο

Ζητούμενο το μέτρο και η διεύθυνση της συνισταμένης δύναμης $\mathbf{F_R}$ ως προς τον άξονα της $\mathbf{F_1}$ και ως προς τον οριζόντιο άξονα







Κανόνας παραλληλογράμμου: αναγκαία η μεταξύ των $\mathbf{F_1}$, $\mathbf{F_2}$ γωνία

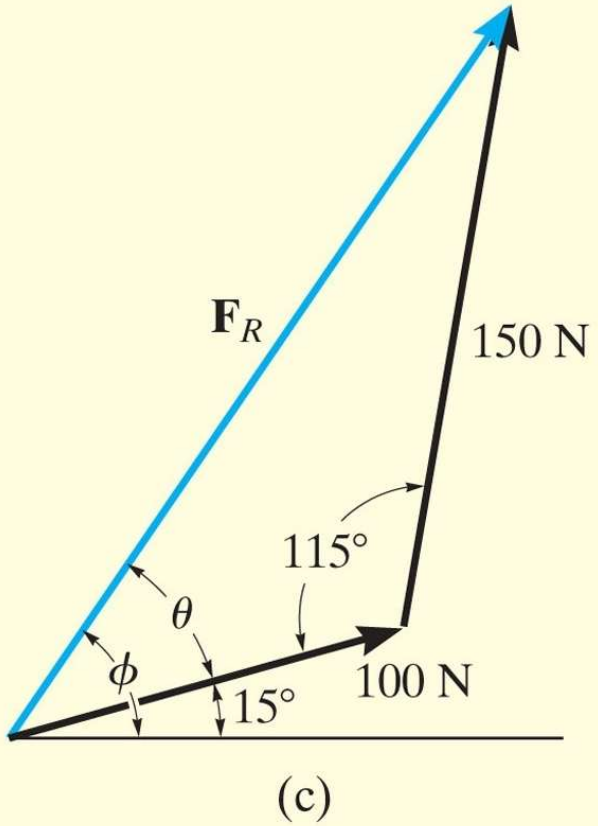
Κανόνας παράθεσης: αναγκαία η παραπληρωματική της μεταξύ των $\mathbf{F_1}$, $\mathbf{F_2}$ γωνία

Σύνθεση Δυνάμεων στο Επίπεδο

Ζητούμενο το μέτρο και η διεύθυνση της συνισταμένης δύναμης $\mathbf{F_R}$ ως προς τον άξονα της $\mathbf{F_1}$ και ως προς τον οριζόντιο άξονα

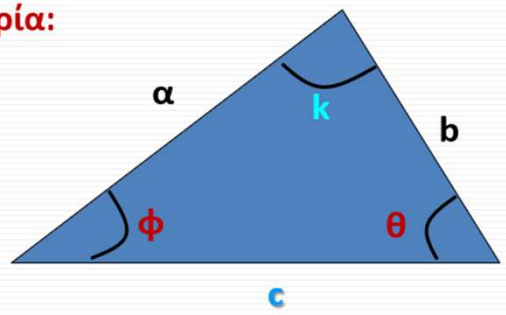
$$F_R = \sqrt{(100\text{ N})^2 + (150\text{ N})^2 - 2(100\text{ N})(150\text{ N})\cos 115°}$$
$$= \sqrt{10\,000 + 22\,500 - 30\,000(-0.4226)} = 212.6\text{ N}$$
$$= 213\text{ N}$$

$$\frac{150\text{ N}}{\sin\theta} = \frac{212.6\text{ N}}{\sin 115°} \qquad \sin\theta = \frac{150\text{ N}}{212.6\text{ N}}(\sin 115°)$$
$$\theta = 39.8°$$



(c)

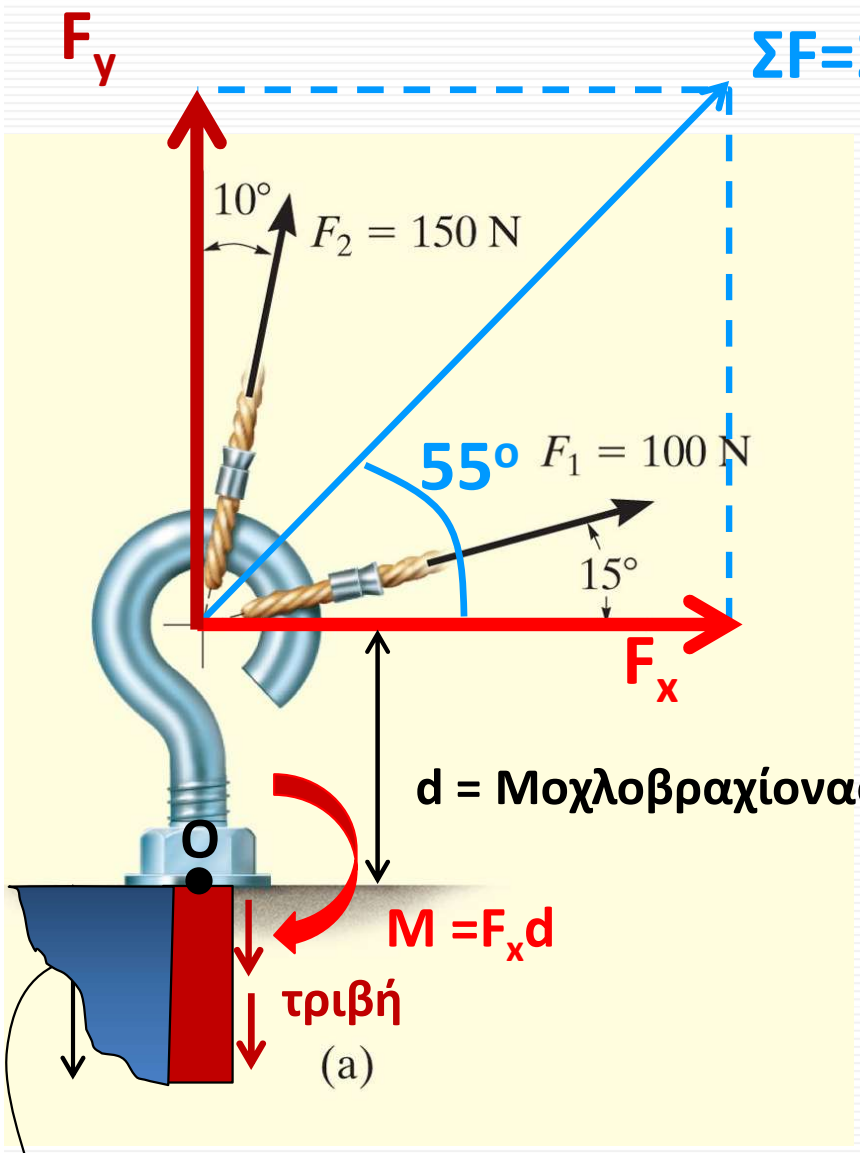
Από τριγωνομετρία:



Νόμος των συνημίτονων: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos k$

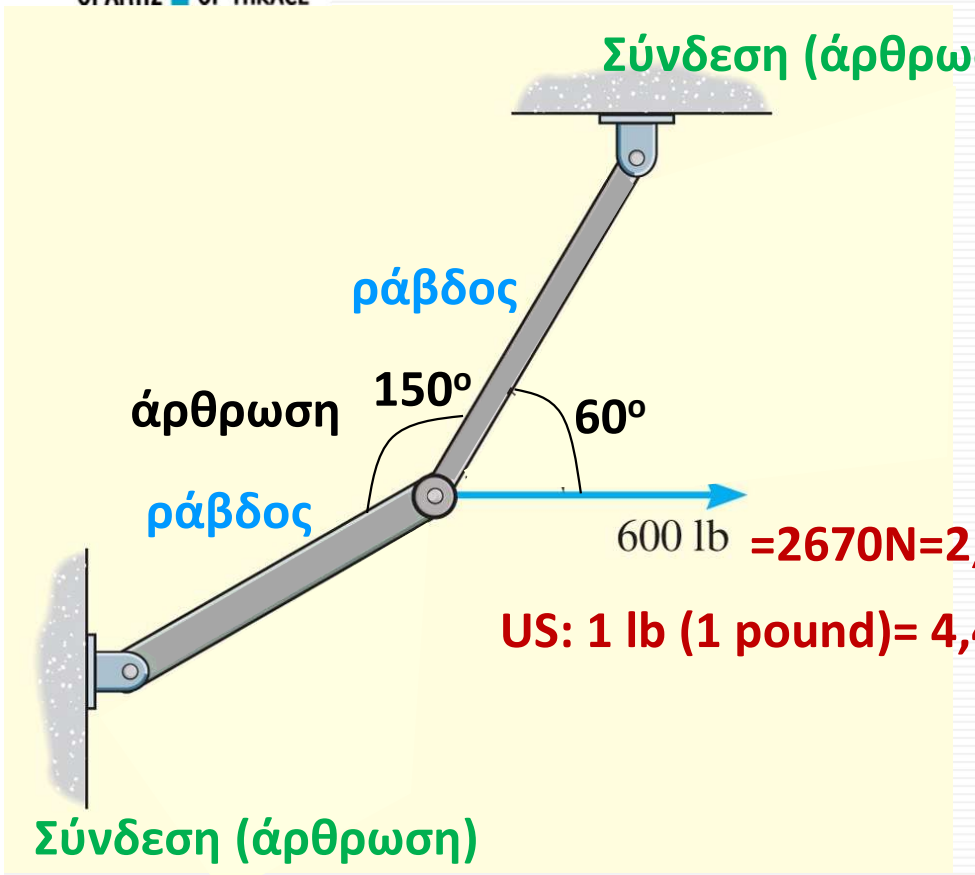
Νόμος των ημιτόνων: $\frac{\sin\varphi}{b} = \frac{\sin k}{c} = \frac{\sin\theta}{a}$

$$\phi = 39.8° + 15.0° = 54.8°$$



Βάθος στελέχους αγκύρωσης

Ανάλυση Διανυσμάτων



Γιατί ενδιαφέρει η ανάλυση της δύναμης:

Μπορεί η κάθε ράβδος να παραλάβει την σχετική συνιστώσα της δύναμης;

➔ 1ο Σύστημα ανάλυσης στην άρθρωση όπου συντρέχουν οι δύο ράβδοι

=2670N=2,67kN

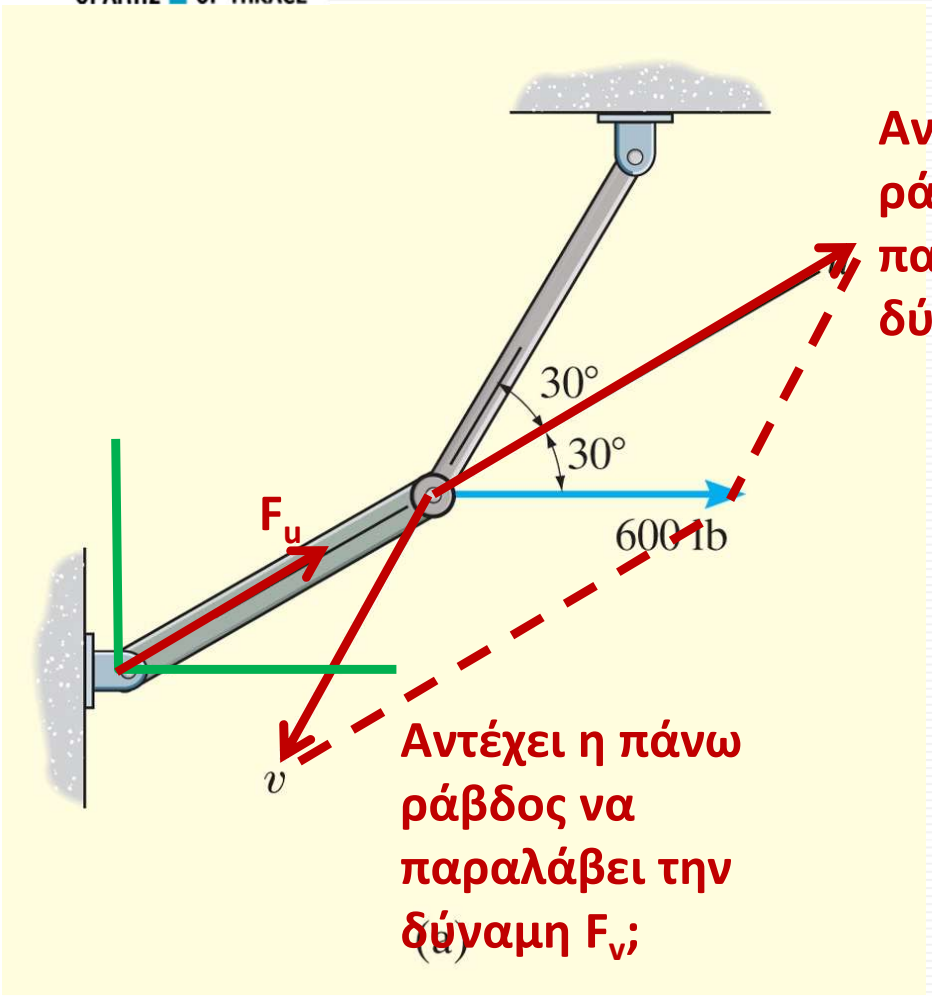
US: 1 lb (1 pound)= 4,45N

Μπορεί η κάθε σύνδεση να παραλάβει την δύναμη που της ασκείται;

➔ 2ο Σύστημα ανάλυσης της κάθε συνιστώσας στην αντίστοιχη θέση σύνδεσης

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

Ανάλυση Διανυσμάτων



Αντέχει η κάτω ράβδος να παραλάβει την δύναμη F_u;

Αντέχει η πάνω ράβδος να παραλάβει την δύναμη F_v;

Γιατί ενδιαφέρει η ανάλυση της δύναμης:

Μπορεί η κάθε **ράβδος** να παραλάβει την σχετική συνιστώσα της δύναμης;

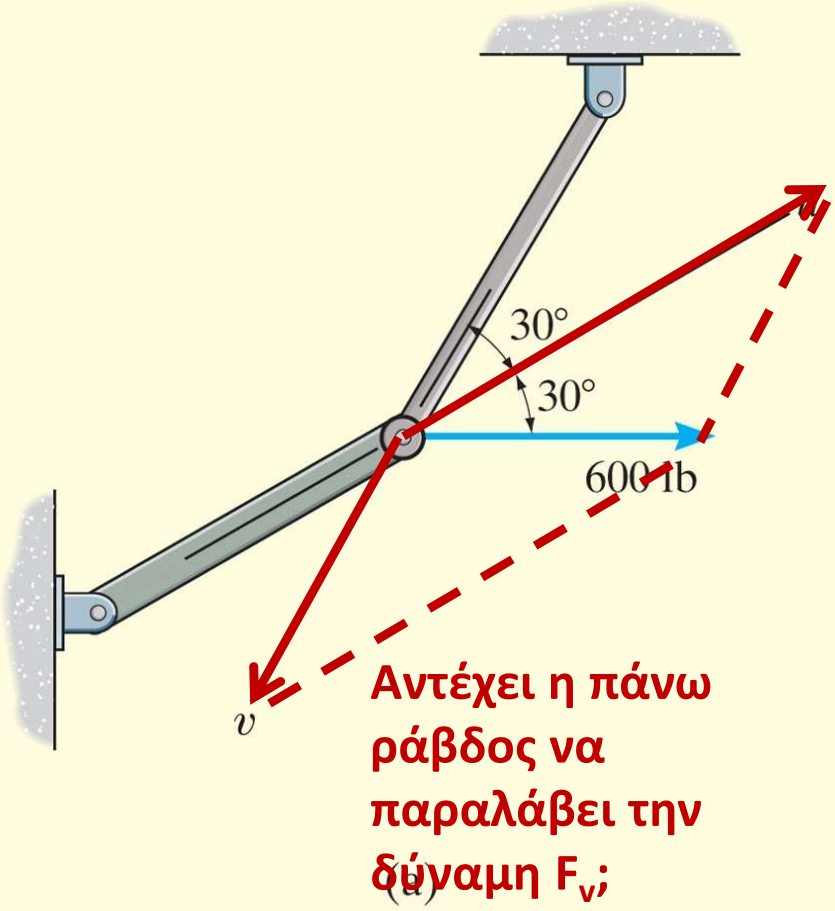
➔ 1ο Σύστημα ανάλυσης στην άρθρωση όπου συντρέχουν οι δύο ράβδοι

Μπορεί η κάθε **σύνδεση** να παραλάβει την δύναμη που της ασκείται;

➔ 2ο Σύστημα ανάλυσης της κάθε συνιστώσας στην αντίστοιχη θέση σύνδεσης

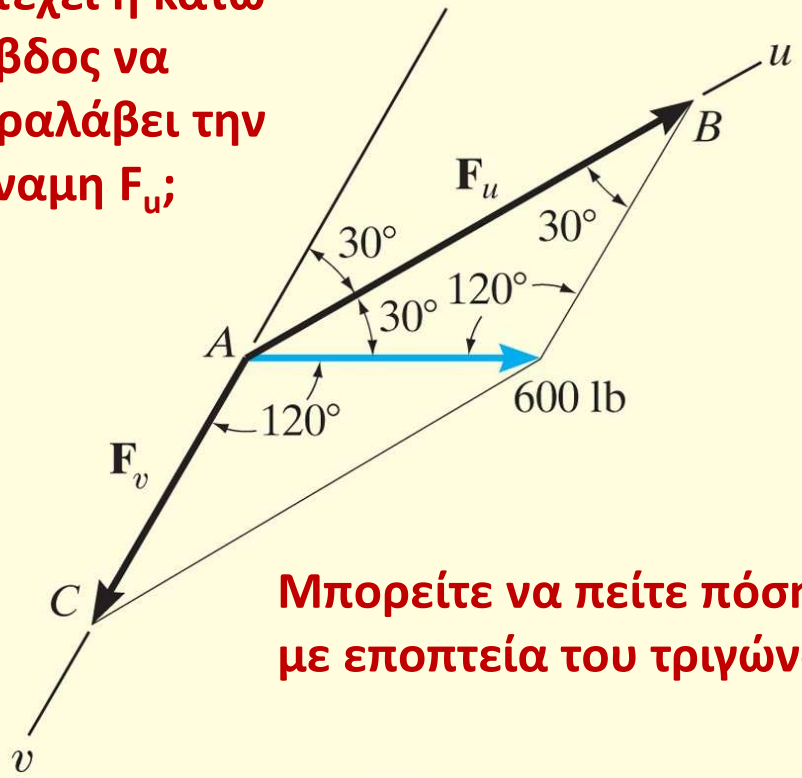
ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

Ανάλυση Διανυσμάτων



Αντέχει η κάτω ράβδος να παραλάβει την δύναμη F_u;

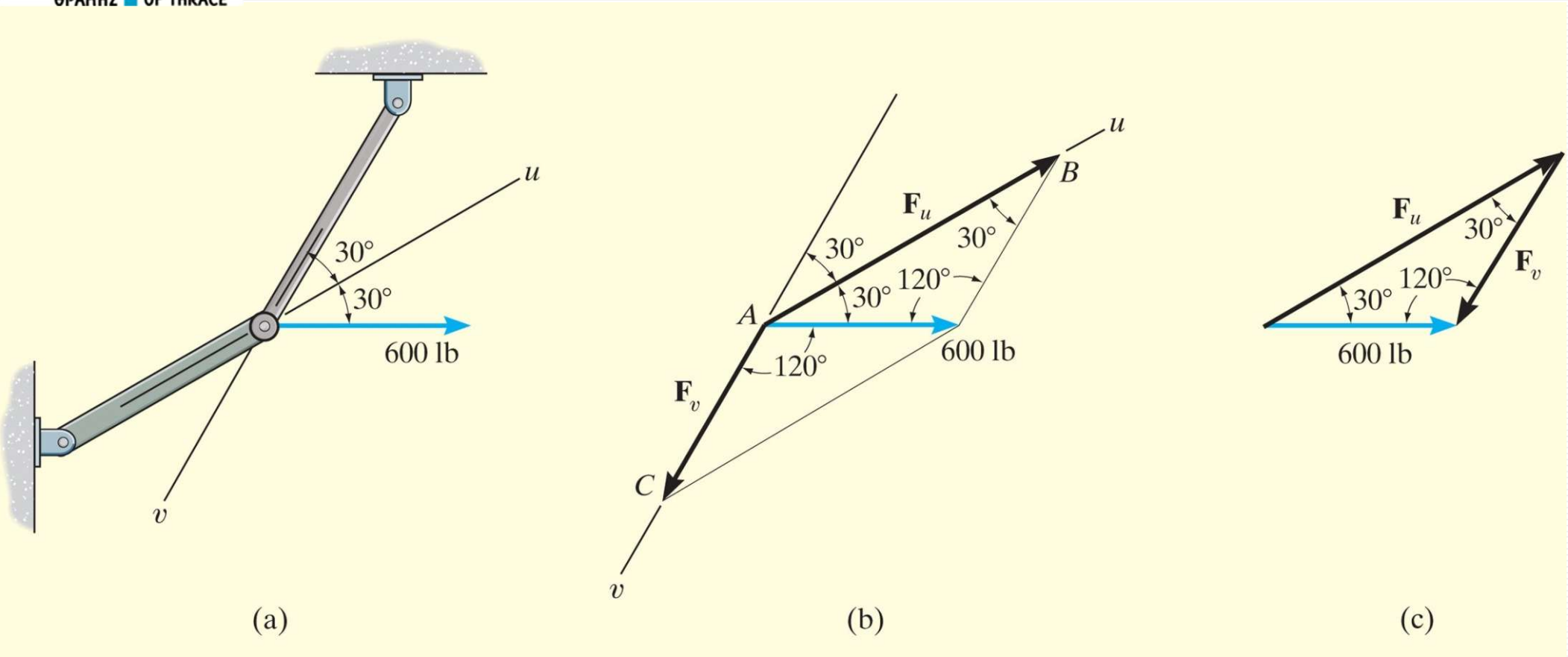
Αντέχει η πάνω ράβδος να παραλάβει την δύναμη F_v;



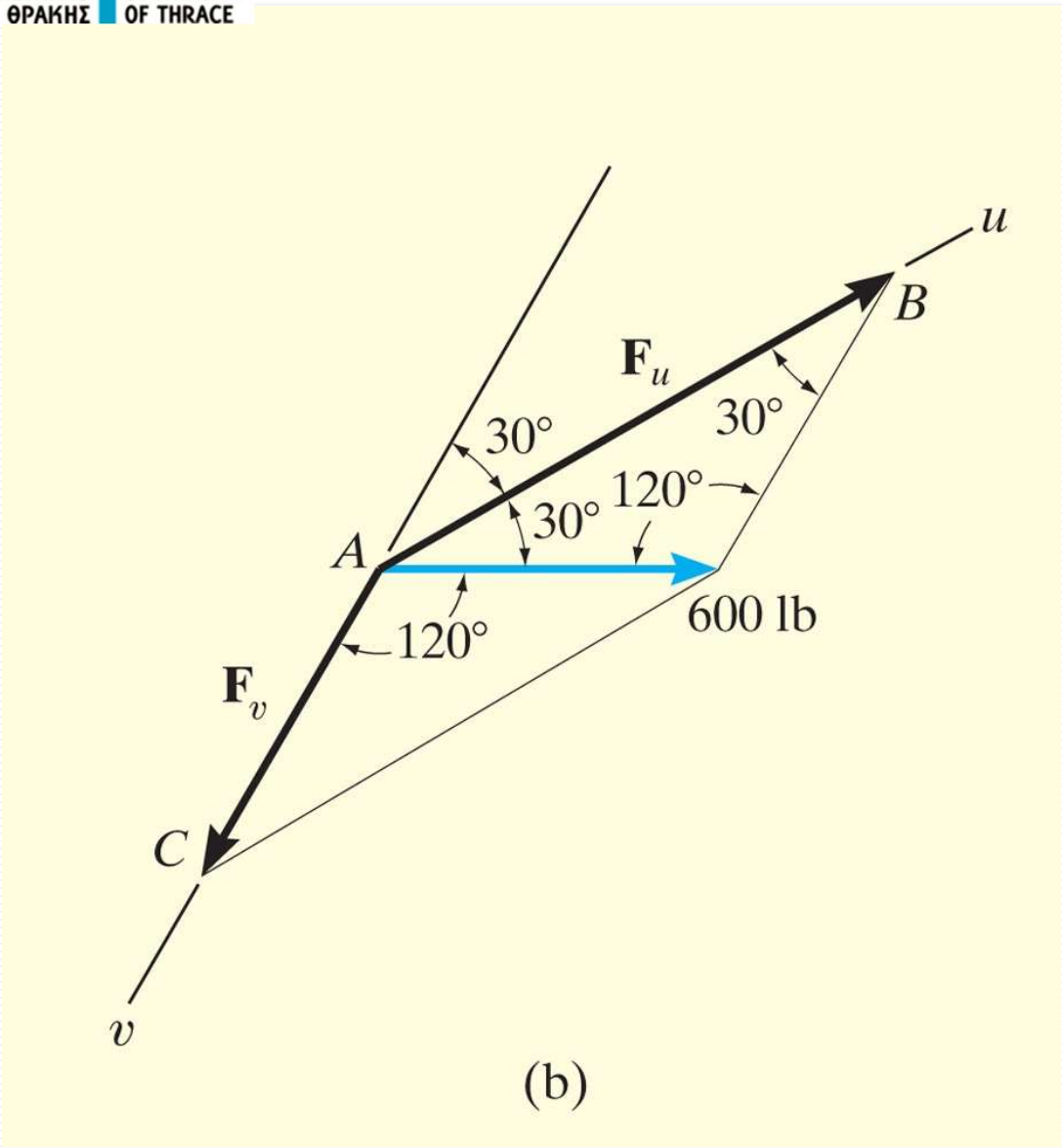
(b)

Μπορείτε να πείτε πόση είναι η Fv με εποπτεία του τριγώνου;

Ανάλυση Διανυσμάτων



Ανάλυση Διανυσμάτων



(b)

$$\frac{F_u}{\sin 120^\circ} = \frac{600 \text{ lb}}{\sin 30^\circ}$$

$$F_u = 1039 \text{ lb}$$

$$\frac{F_v}{\sin 30^\circ} = \frac{600 \text{ lb}}{\sin 30^\circ}$$

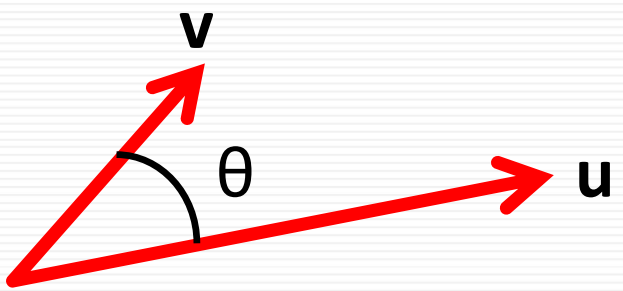
$$F_v = 600 \text{ lb}$$

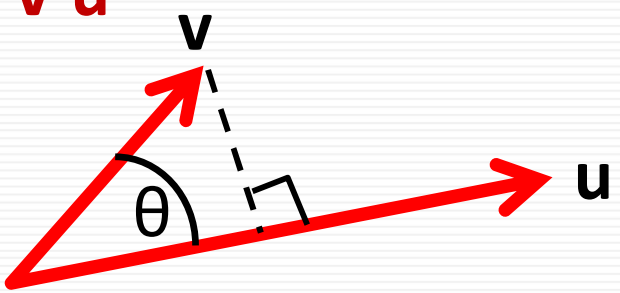
ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ – ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ / ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ

- **όπως γνωρίζουμε από την Αναλυτική Γεωμετρία, μπορούμε να ορίσουμε εσωτερικό (βαθμωτό) γινόμενο διανυσμάτων (βάσει των μηκών τους είτε βάσει των συνιστωσών τους και της μεταξύ τους γωνίας) ως:**

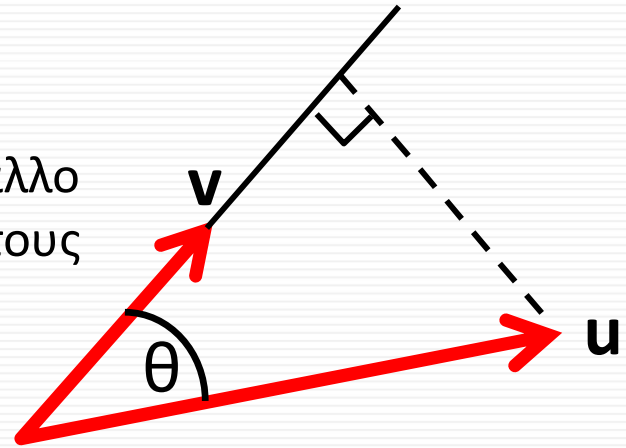
$$\vec{u}\cdot\vec{v} = |\vec{u}||\vec{v}|\cos\theta \equiv u_x v_x + u_y v_y$$

ισχύει η αντιμεταθετική ιδιότητα: **u·v= v·u**

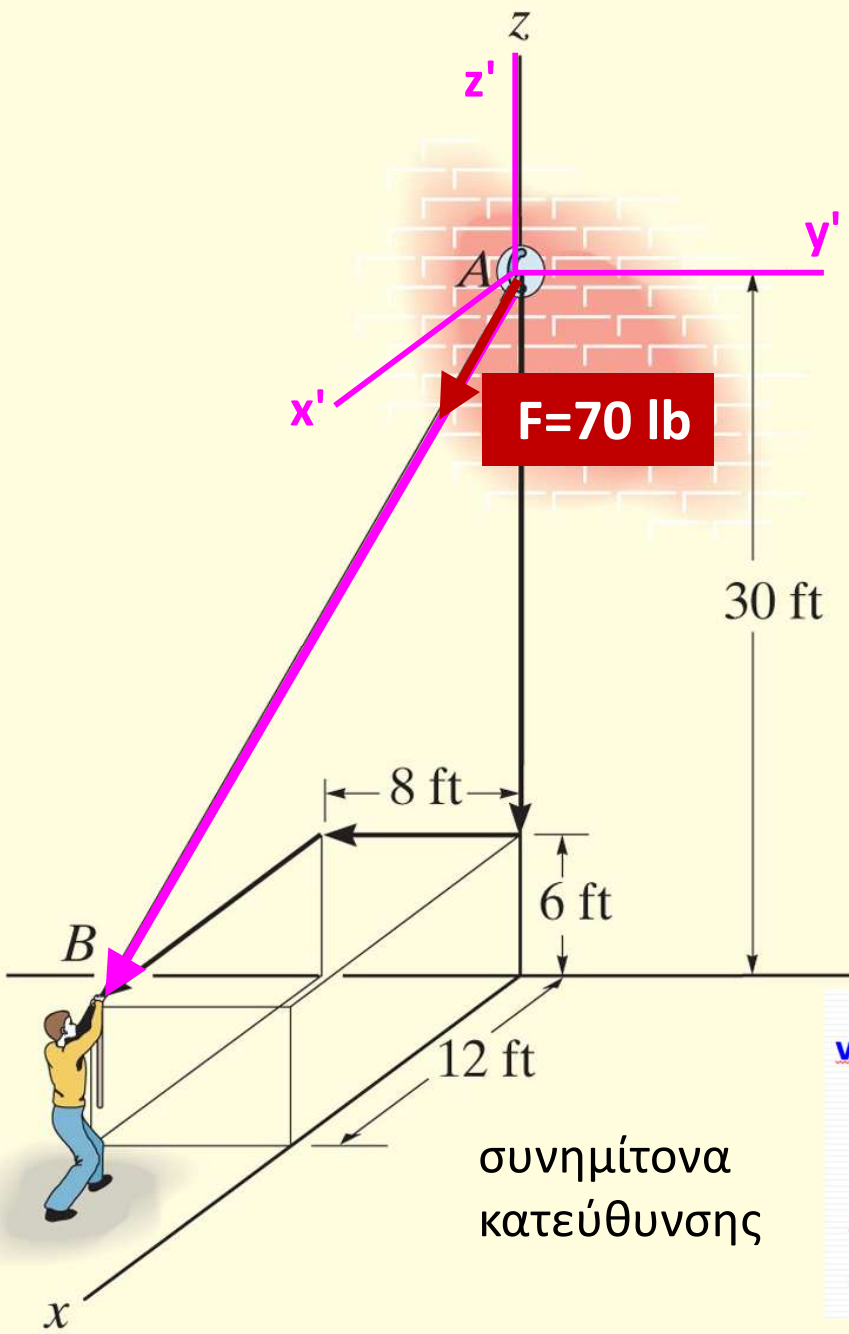




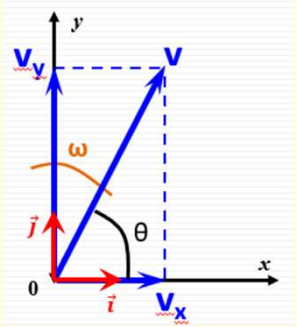
Εάν το ένα διάνυσμα είναι δύναμη (**v=F**) και το άλλο μετατόπιση (**u=r**) τι υπολογίζω με το εσωτερικό τους γινόμενο;



Το **ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ** δύο διανυσμάτων χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μηχανικού, π.χ. στην ανάλυση ενός διανύσματος δύναμης στις συνιστώσες του **παράλληλα** και **κάθετα** σε μια ευθεία (**διάνυσμα κατεύθυνσης**)



συνημίτονα κατεύθυνσης



Παράδειγμα: Ο άνθρωπος του σχήματος τραβά το σκοινί ασκώντας μια δύναμη 70lb (ή 312N).

➔ Διάνυσμα δύναμης $\vec{F}$ με μέτρο 70 lb.

Ζητούμενο: Να βρεθεί η διανυσματική έκφραση της δύναμης $\vec{F}$ καθώς και τα συνημίτονα κατεύθυνσής της και οι αντίστοιχες γωνίες ως προς τους άξονες του ΟΝ συστήματος

Ορίζουμε το βοηθητικό διάνυσμα $\overrightarrow{AB}$ το οποίο εφάπτεται με το διάνυσμα της δύναμης **F** και έχει αρχή το σημείο Α

➔ νέο σύστημα αναφοράς x' – y' – z'

$\overrightarrow{AB}$ (ft)= 12 **i** – 8 **j** – 24 **k**

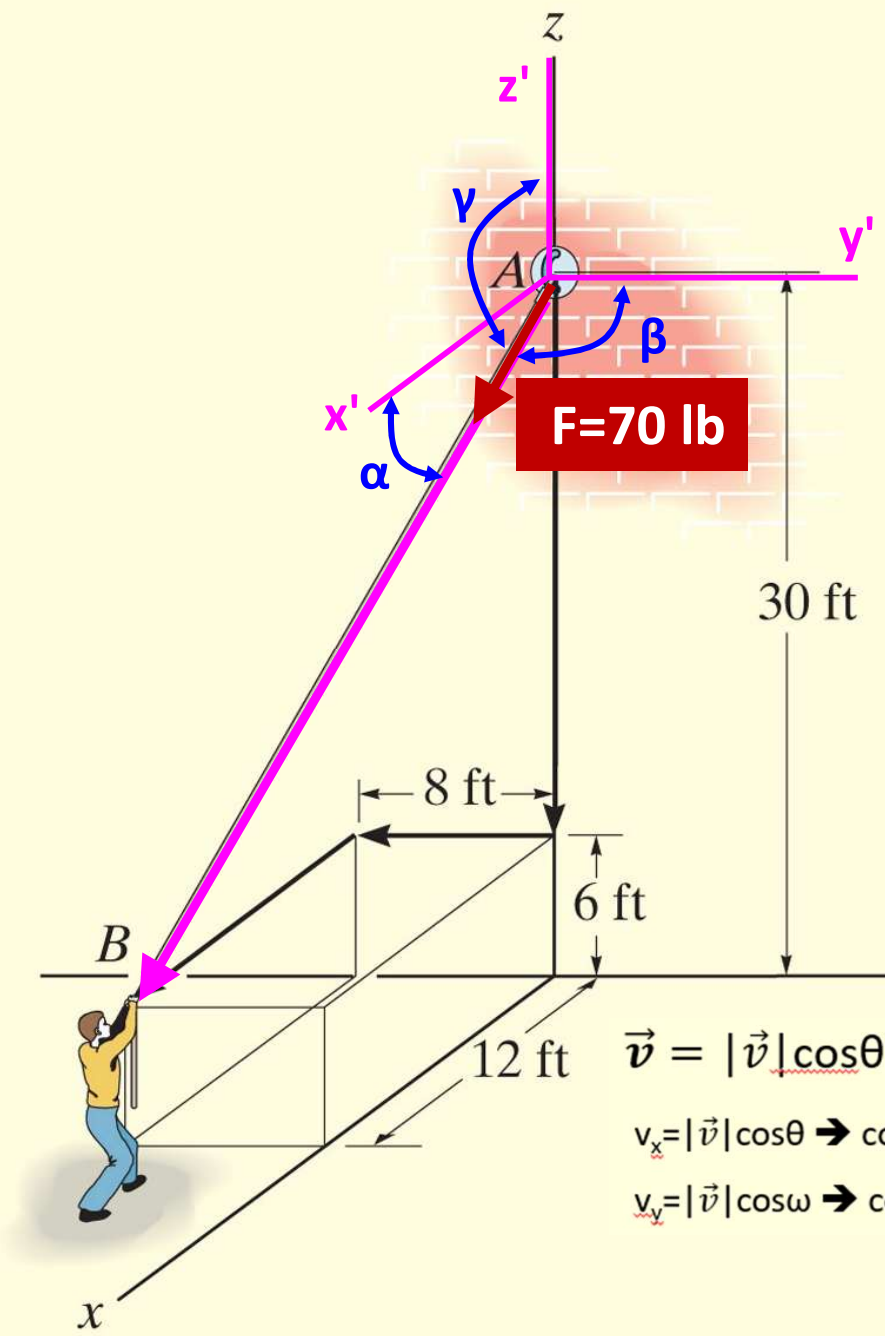
Μέτρο $|AB|=(12^2+8^2+24^2)^{0.5}$ = 28 ft *(1 ft=30.5cm)*

$$\vec{v} = |\vec{v}|\cos\theta\vec{i} + |\vec{v}|\cos\omega\vec{j}$$

$v_x=|\vec{v}|\cos\theta$ ➔ $\cos\theta = v_x / |\vec{v}|$

$v_y=|\vec{v}|\cos\omega$ ➔ $\cos\omega = v_y / |\vec{v}|$

Το **ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ** δύο διανυσμάτων χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μηχανικού, π.χ. στην ανάλυση ενός διανύσματος δύναμης στις συνιστώσες του **παράλληλα** και **κάθετα** σε μια ευθεία (**διάνυσμα κατεύθυνσης**)



$\vec{v} = |\vec{v}|\cos\theta\vec{i} + |\vec{v}|\cos\omega\vec{j}$

$v_x = |\vec{v}|\cos\theta \rightarrow \cos\theta = v_x / |\vec{v}|$

$v_y = |\vec{v}|\cos\omega \rightarrow \cos\omega = v_y / |\vec{v}|$

Παράδειγμα: Ο άνθρωπος του σχήματος τραβά το σκοινί ασκώντας μια δύναμη 70lb (ή 312N).

➔ Διάνυσμα δύναμης $\vec{F}$ με μέτρο 70 lb.

Ζητούμενο: Να βρεθεί η διανυσματική έκφραση της δύναμης $\vec{F}$ καθώς και τα συνημίτονα κατεύθυνσής της και οι αντίστοιχες γωνίες ως προς τους άξονες του ΟΝ συστήματος

Ορίζουμε το βοηθητικό διάνυσμα $\overrightarrow{AB}$ το οποίο εφάπτεται με το διάνυσμα της δύναμης **F** και έχει αρχή το σημείο Α

➔ νέο σύστημα αναφοράς x' – y' – z'

$\overrightarrow{AB}$ (ft)= 12 **i** – 8 **j** – 24 **k**

Μέτρο $|AB|=(12^2+8^2+24^2)^{0.5}$ = 28 ft *(1 ft=30.5cm)*

$\overrightarrow{AB}$ = 28 ft (12/28 **i** – 8/28 **j** – 24/28 **k**)

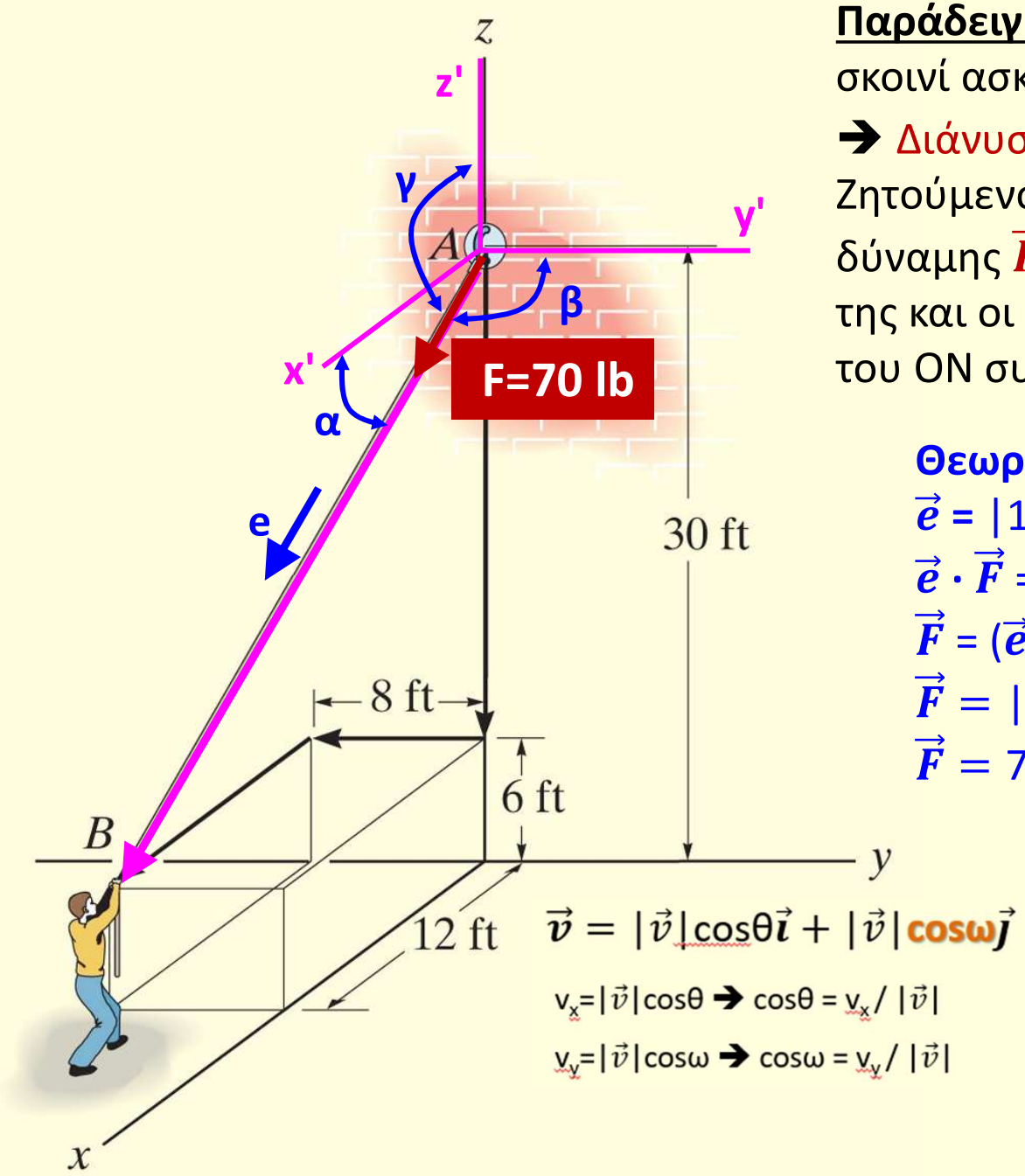
$\alpha = \cos^{-1}(12/28)=64.6^o$

$\beta = \cos^{-1}(-8/28)=107^o$

$\gamma = \cos^{-1}(-24/28)=149^o$

Προφανώς συμπίπτουν οι γωνίες κατεύθυνσης των $\overrightarrow{AB}$ και $\vec{F}$

Το **ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ** δύο διανυσμάτων χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μηχανικού, π.χ. στην ανάλυση ενός διανύσματος δύναμης στις συνιστώσες του **παράλληλα** και **κάθετα** σε μια ευθεία (**διάνυσμα κατεύθυνσης**)



$\vec{v} = |\vec{v}|\cos\theta\vec{i} + |\vec{v}|\cos\omega\vec{j}$

$v_x = |\vec{v}|\cos\theta \rightarrow \cos\theta = v_x / |\vec{v}|$

$v_y = |\vec{v}|\cos\omega \rightarrow \cos\omega = v_y / |\vec{v}|$

Παράδειγμα: Ο άνθρωπος του σχήματος τραβά το σκοινί ασκώντας μια δύναμη 70lb (ή 312N).

➔ Διάνυσμα δύναμης $\vec{F}$ με μέτρο 70 lb.

Ζητούμενο: Να βρεθεί η διανυσματική έκφραση της δύναμης $\vec{F}$ καθώς και τα συνημίτονα κατεύθυνσής της και οι αντίστοιχες γωνίες ως προς τους άξονες του ΟΝ συστήματος

Θεωρώ ένα μοναδιαίο διάνυσμα $\vec{e}$ // $\vec{F}$

$\vec{e}$ = |1|(cos64.6° **i** + cos107° **j** + cos149° **k**)

$\vec{e} \cdot \vec{F}$ = |1|·|F|·cos 0° = |F|

$\vec{F} = (\vec{e} \cdot \vec{F}) \cdot \vec{e}$

$\vec{F}$ = |F||1|(cos64.6° **i** + cos107° **j** + cos149° **k**)

$\vec{F}$ = 70 (lb) (cos64.6° **i** + cos107° **j** + cos149° **k**)

α= $\cos^{-1}(12/28)$=64.6°

β= $\cos^{-1}(-8/28)$=107°

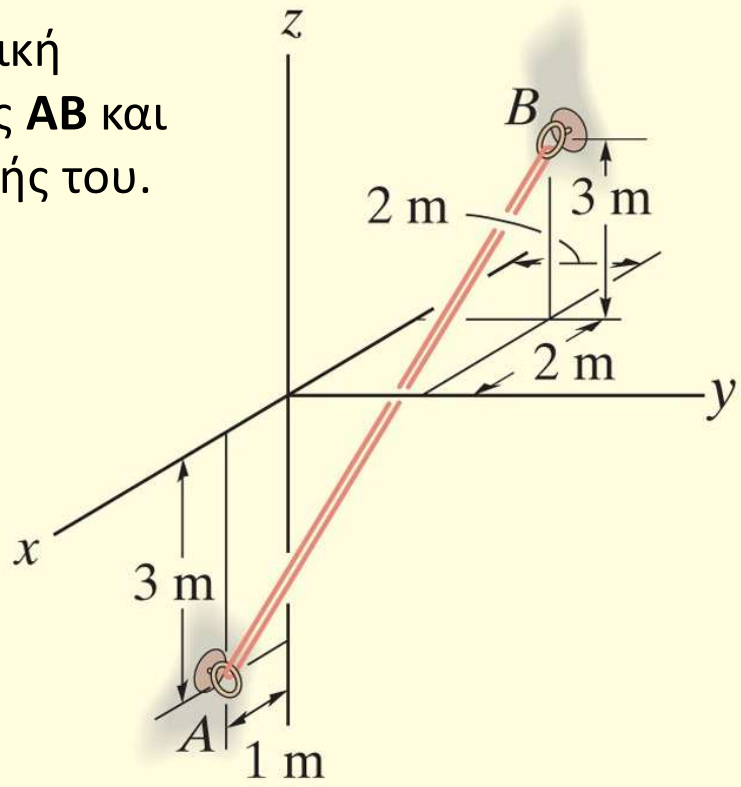
γ= $\cos^{-1}(-24/28)$=149°

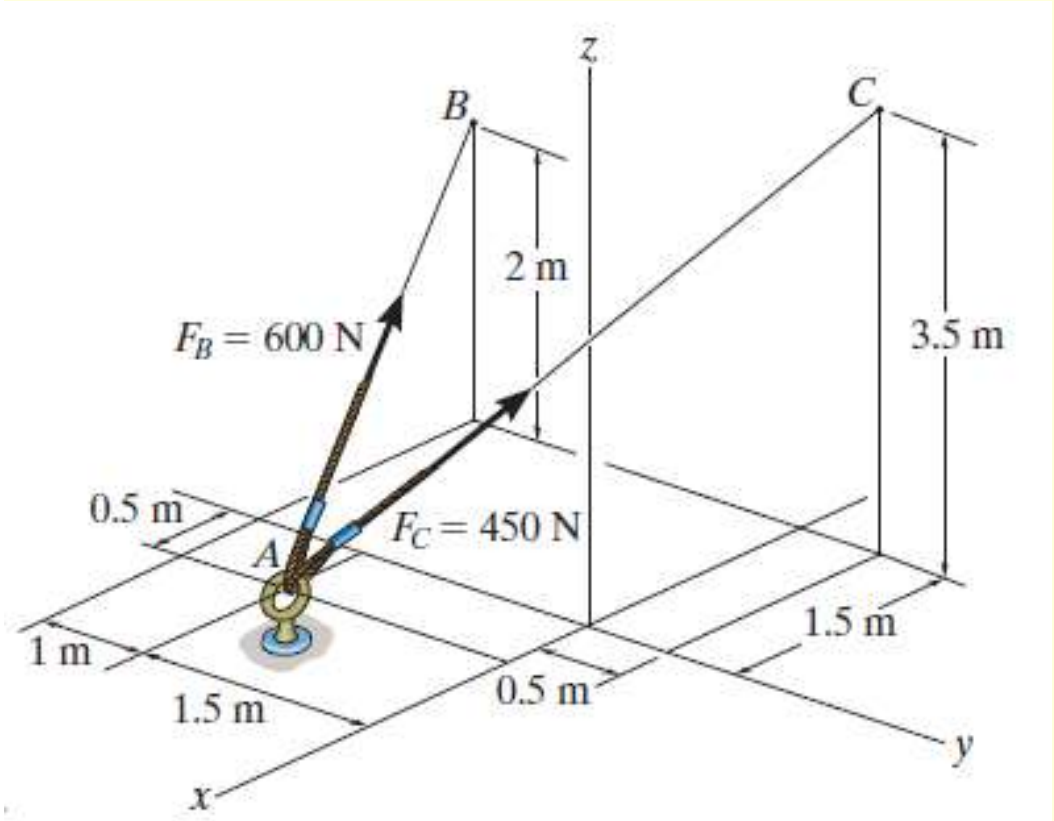
Προφανώς συμπίπτουν οι γωνίες κατεύθυνσης των $\overrightarrow{AB}$ και $\vec{F}$

Εξάσκηση στο σπίτι:

1. Να βρεθεί η διανυσματική έκφραση του διανύσματος **AB** και τα συνημίτονα κατεύθυνσής του.

A: (1, 0, -3)
B: (-2, 2, 3)

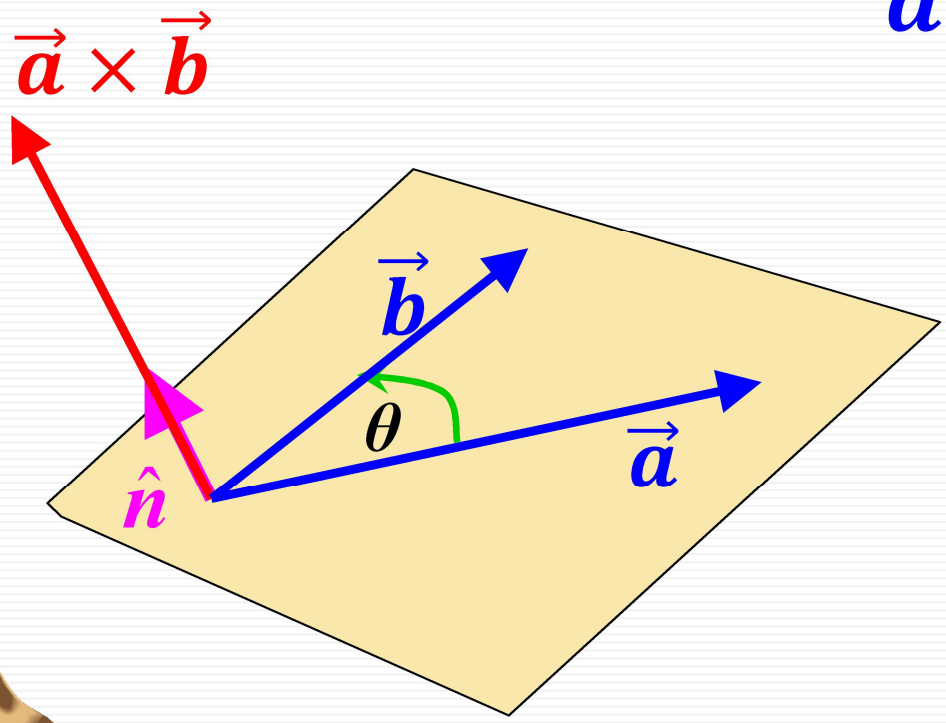




2. Να βρεθούν οι διανυσματικές εκφράσεις των δυνάμεων του σχήματος.
Ακολούθως να υπολογισθεί το μέτρο στης συνισταμένης, τα συνημίτονα κατεύθυνσης και οι αντίστοιχες γωνίες

ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ – ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ / ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ

$$\vec{a} \times \vec{b} \equiv (ab \sin\theta)\, \hat{n}$$





Μοναδιαίο $\hat{n}$

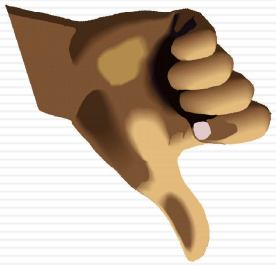
Προσδιορίζει τη διεύθυνση και τη φορά του εξωτερικού γινομένου

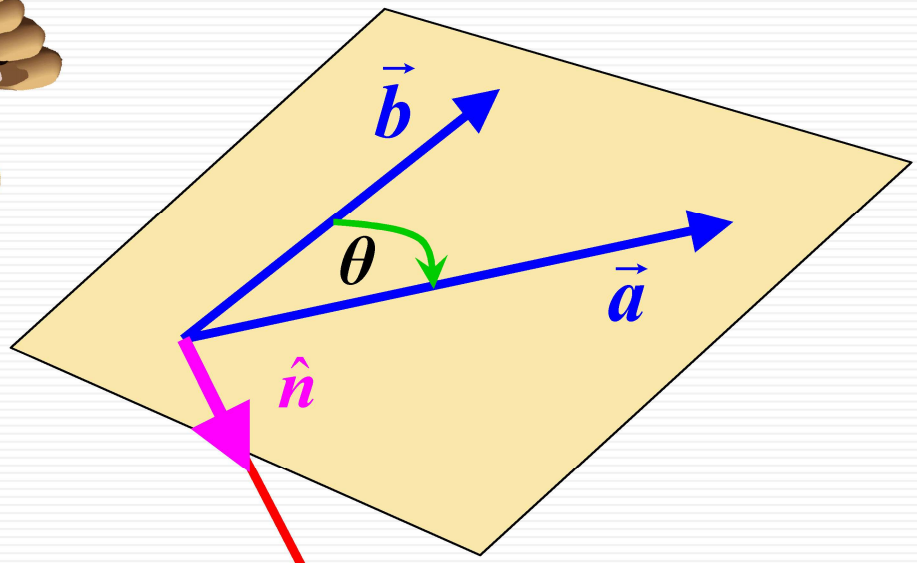
Προκύπτει με το κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία

Το εξωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων είναι διάνυσμα, κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν τα δύο διανύσματα

ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ – ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ / ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ

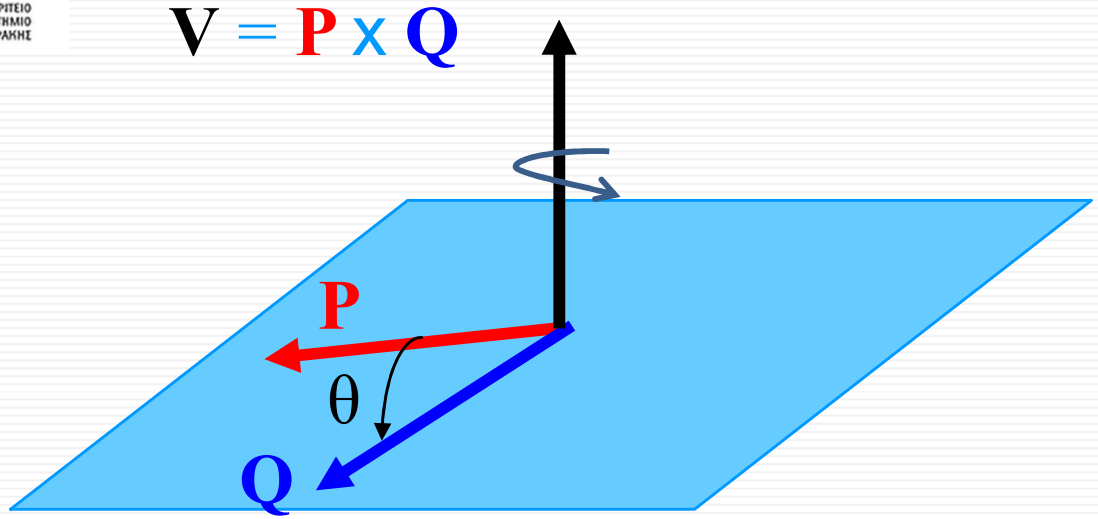
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ $\vec{b} \times \vec{a} = ???$





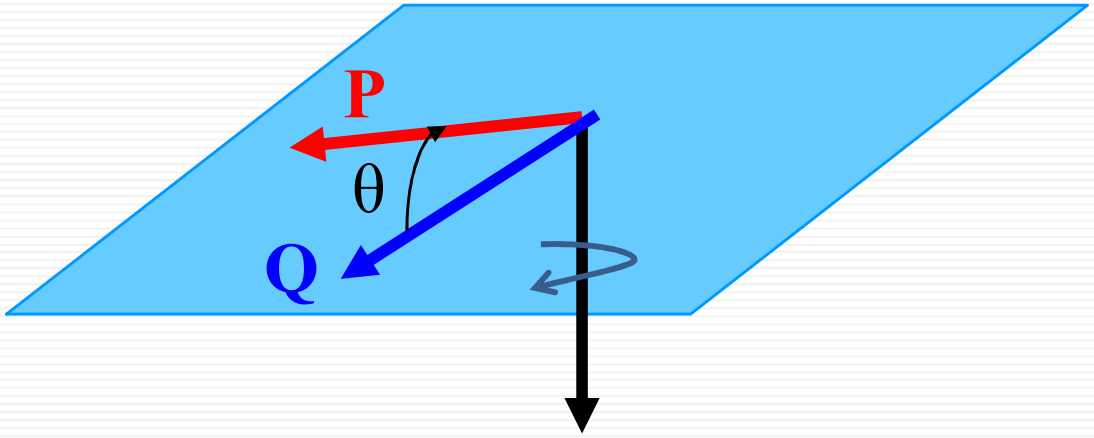
$$\vec{b} \times \vec{a} = -\vec{a} \times \vec{b}$$

$\mathbf{V = P \times Q}$



Το εξωτερικό γινόμενο
δεν είναι αντιμεταθετικό

$$\mathbf{Q \times P = -(P \times Q)}$$



Το **εξωτερικό γινόμενο** δύο διανυσμάτων **P, Q** είναι διάνυσμα, **V**:

$$\mathbf{V = P \times Q}$$

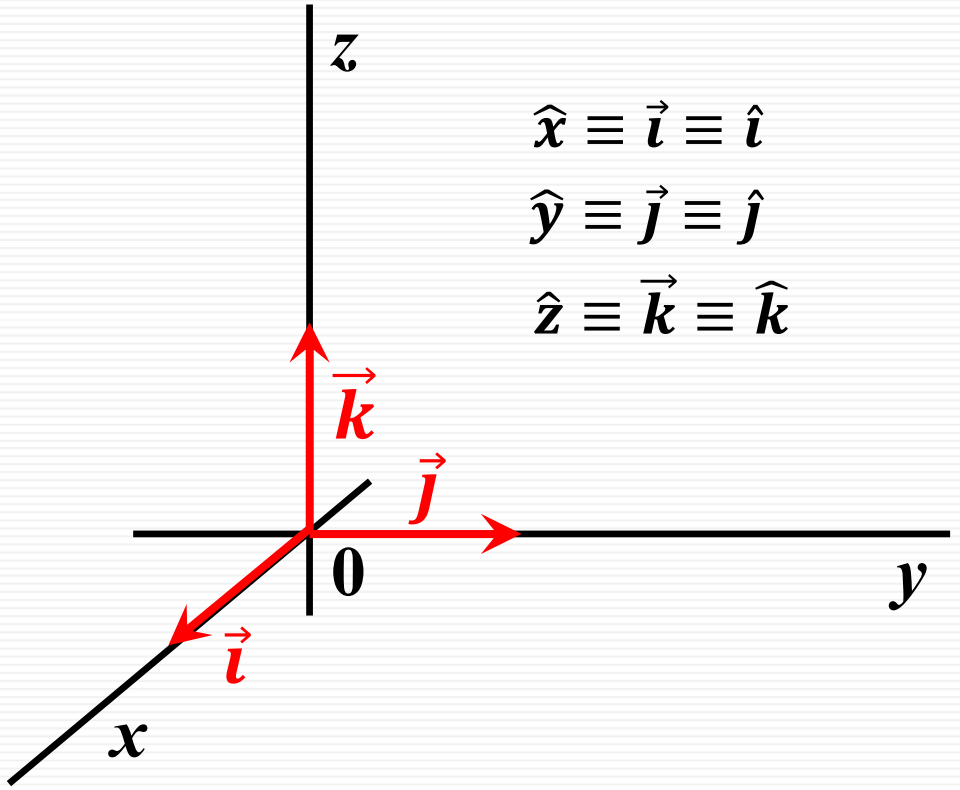
- με διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο των **P** και **Q**
- με Φορά τέτοια ώστε η τριάδα διανυσμάτων P και Q και V να είναι δεξιόστροφη (κοχλίας)
- μέτρο ίσο με :

$$V = PQ \sin\theta$$

ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ – ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ / ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ

$$\vec{a} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath} + a_z\hat{k}$$

$$\vec{b} = b_x\hat{\imath} + b_y\hat{\jmath} + b_z\hat{k}$$



$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} =$$

Εάν το ένα διάνυσμα είναι δύναμη (F) και το άλλο θέσης (r) τι υπολογίζω;

$$=(\alpha_y b_z - \alpha_z b_y)\,\hat{\imath} - (\alpha_x b_z - \alpha_z b_x)\,\hat{\jmath} + (\alpha_x b_y - \alpha_y b_x)\,\hat{k}$$

Περιστροφή επιπέδου yz γύρω από τον x

Περιστροφή επιπέδου xz γύρω από τον y

Περιστροφή επιπέδου xy γύρω από τον z

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (\alpha_y b_z - \alpha_z b_y)\,\hat{\imath} - (\alpha_x b_z - \alpha_z b_x)\,\hat{\jmath} + (\alpha_x b_y - \alpha_y b_x)\,\hat{k}$$

$$U = 3i + 2j$$

$$V = 2i + 4j$$

U x V

$$U \times V = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 3 & 2 & 0 \\ 2 & 4 & 0 \end{vmatrix} = i((2)(0) - (4)(0)) - j((3)(0) - (2)(0))$$

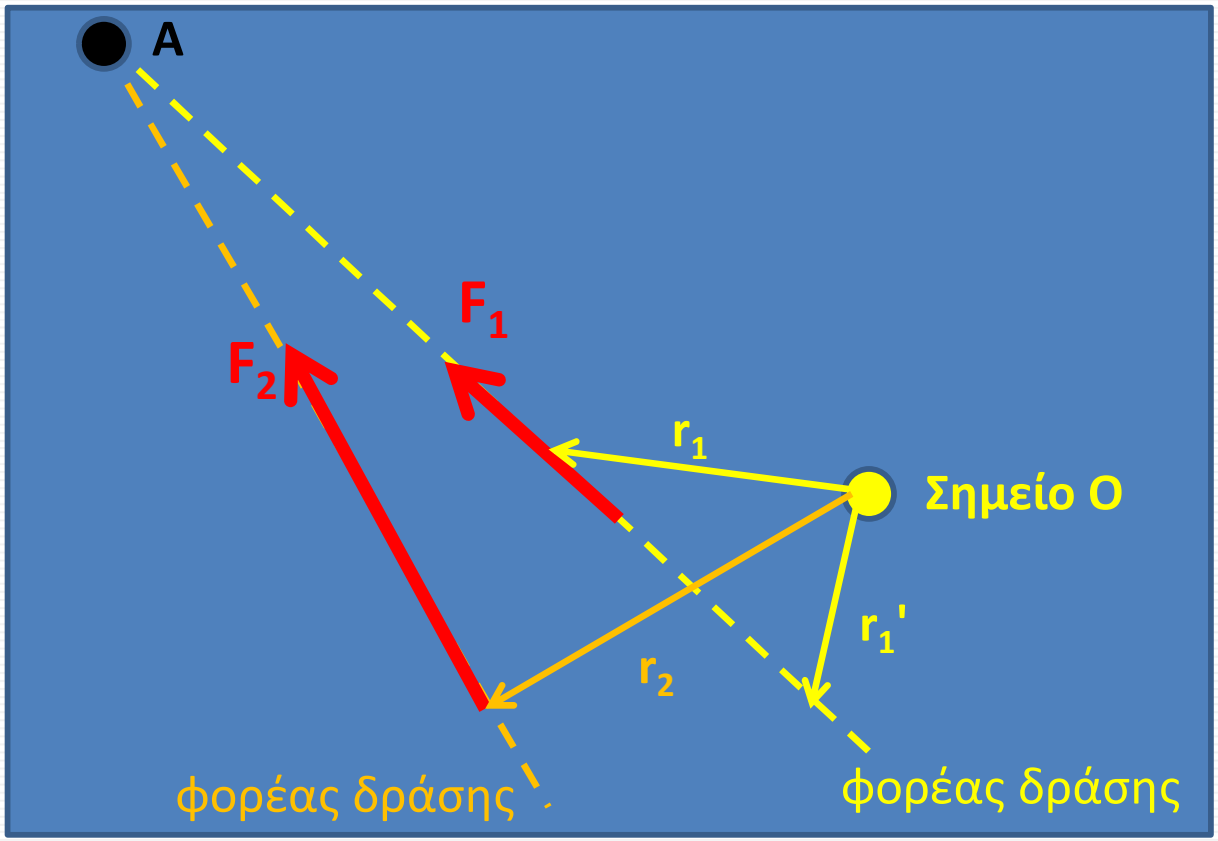
$$+ k((3)(4) - (2)(2)) = 8k$$

V x U

$$V \times U = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 2 & 4 & 0 \\ 3 & 2 & 0 \end{vmatrix} = i((4)(0) - (2)(0)) - j((2)(0) - (3)(0))$$

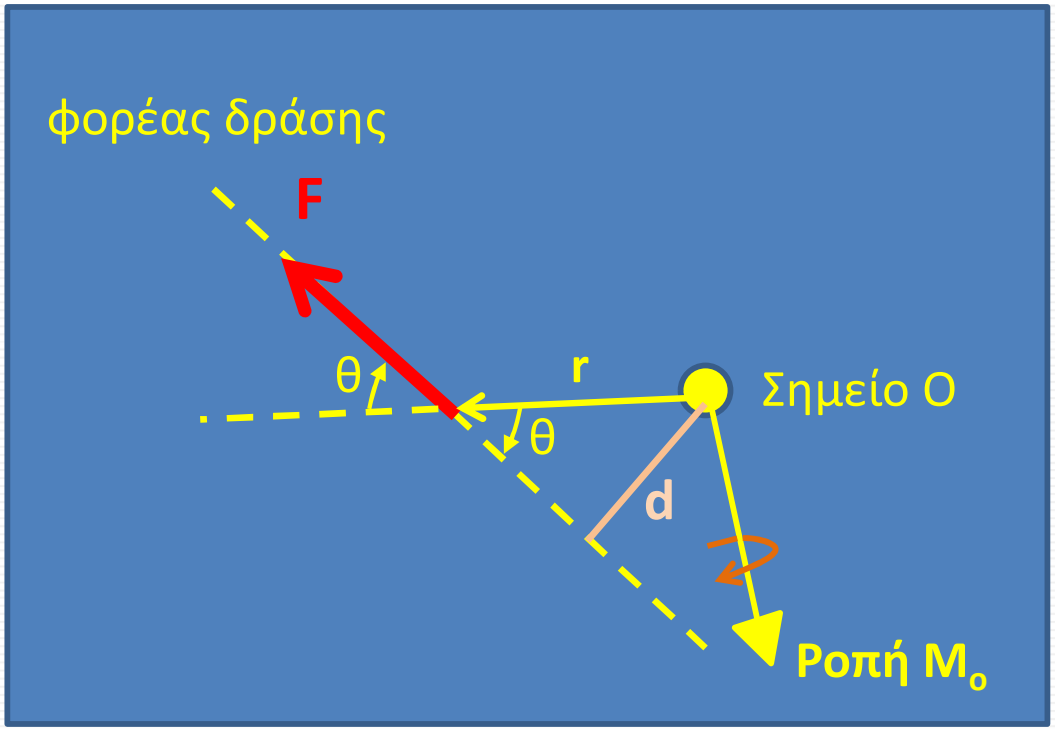
$$+ k((2)(2) - (3)(4)) = -8k$$

Σύνθεση δυνάμεων στερεού σώματος



Για να συνθέσουμε δυνάμεις που ασκούνται σε διαφορετικά σημεία ενός στερεού ως προς ένα δεδομένο σημείο του σώματος (**σημείο Ο**) πρέπει να λάβουμε υπόψην και το **διάνυσμα θέσης** $\mathbf{r_1}$ (ή $\mathbf{r_2}$) **του σημείου Ο** (εκτός του φορέα της δύναμης) **ως προς οποιαδήποτε θέση επί του φορέα δράσης της δύναμης** F_1 **(ή** F_2**)**

Σύνθεση δυνάμεων στερεού σώματος



Για να συνθέσουμε δυνάμεις που ασκούνται σε διαφορετικά σημεία ενός στερεού ως προς ένα δεδομένο σημείο του σώματος (έστω σημείο Ο) πρέπει να ορίσουμε το **διάνυσμα της Ροπής M_o** ως το εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων **θέσης r** & **δύναμης F**:

$M_o = r \times F$

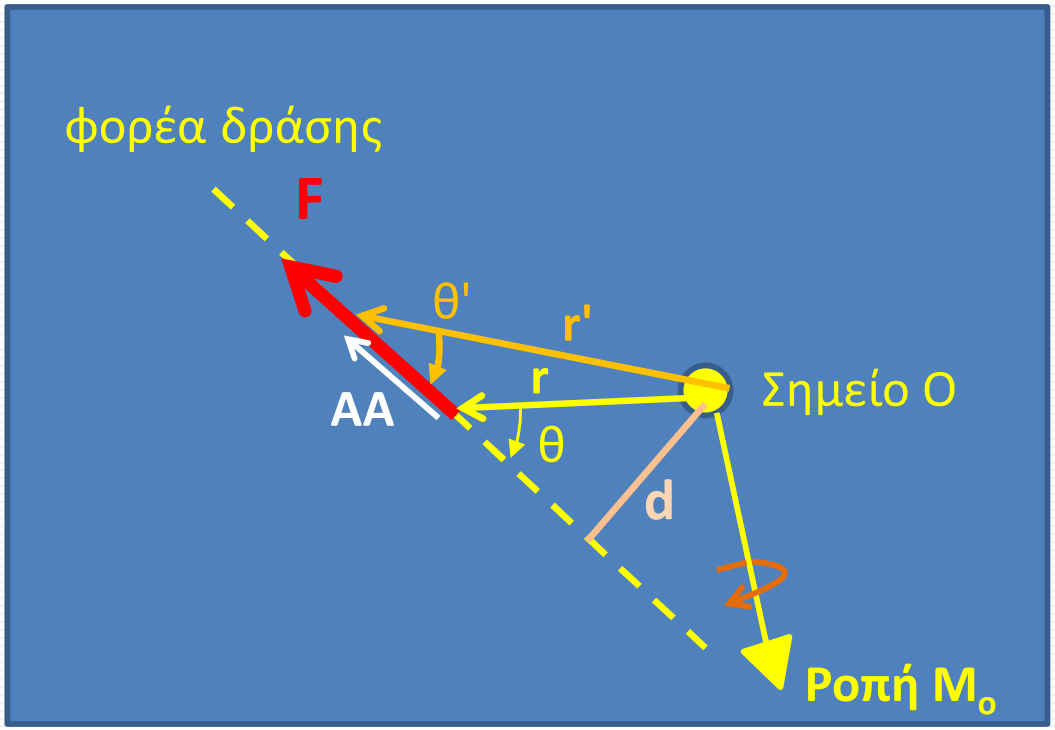
Όπου **r** το διάνυσμα θέσης από το σημείο Ο σε ΚΑΘΕ ΘΕΣΗ του φορέα δράσης της δύναμης F

Η δύναμη ως προς το σημείο Ο προκαλεί περιστροφή του σώματος.

Το μέτρο του $M_o = r\,F\sin\theta = F\,(r\sin\theta)$

$= F\,d$, **d η κάθετη απόσταση του Ο από τον φορέα δύναμης (μοχλοβραχίονας)**

Σύνθεση δυνάμεων στερεού σώματος



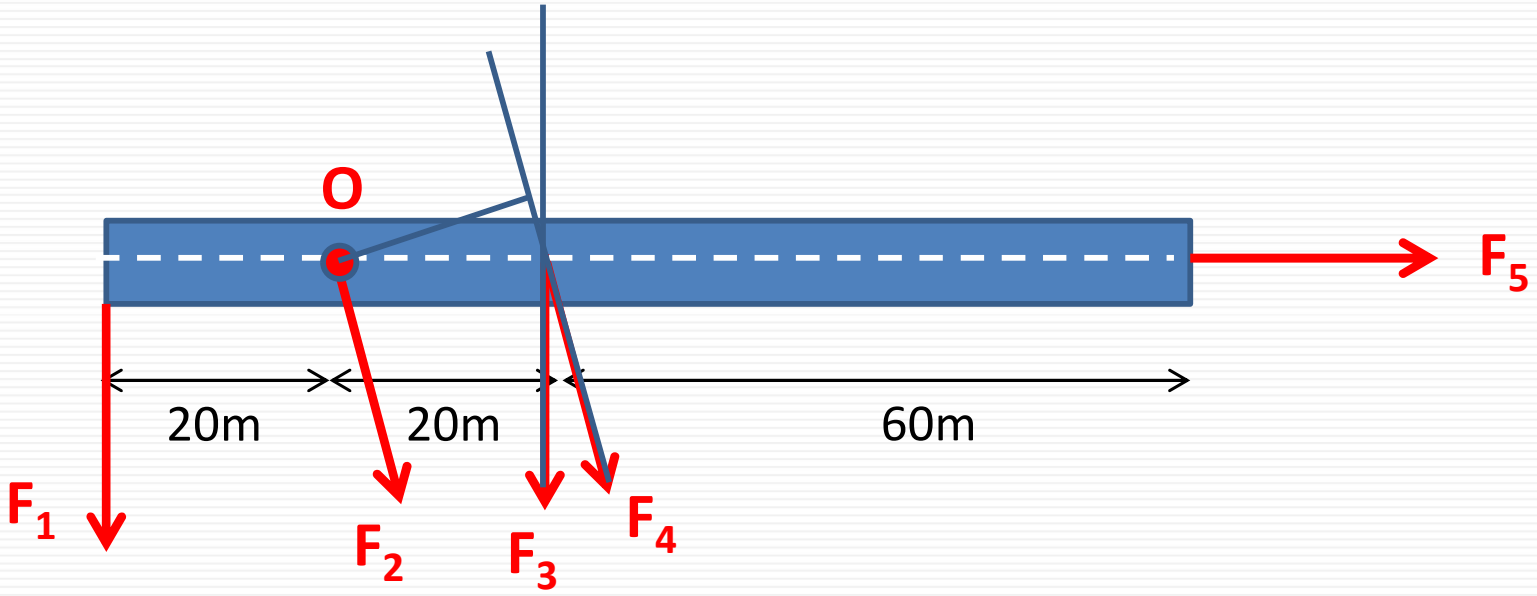
Για να συνθέσουμε δυνάμεις που ασκούνται σε διαφορετικά σημεία ενός στερεού ως προς ένα δεδομένο σημείο του σώματος (έστω σημείο Ο) πρέπει να ορίσουμε το **διάνυσμα της Ροπής M_o** ως το εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων **θέσης r** & **δύναμης F**:

$M_o = r \times F$

Όπου r το διάνυσμα θέσης από το σημείο Ο σε ΚΑΘΕ ΘΕΣΗ του φορέα δράσης της δύναμης F

$M_o' = r' \times F = (r+AA) \times F = r \times F + AA \times F = r \times F \rightarrow M_o' = M_o$

Τα συγγραμμικά διανύσματα AA & F έχουν εξωτερικό γινόμενο 0



Όλες οι δυνάμεις έχουν το ίδιο μέτρο. Κατατάξτε τις δυνάμεις σύμφωνα με το μέτρο της ροπής που προκαλούν ως προς το σημείο Ο

$M_1 = 20F$

$M_2 = 0$

$M_3 = 20F$

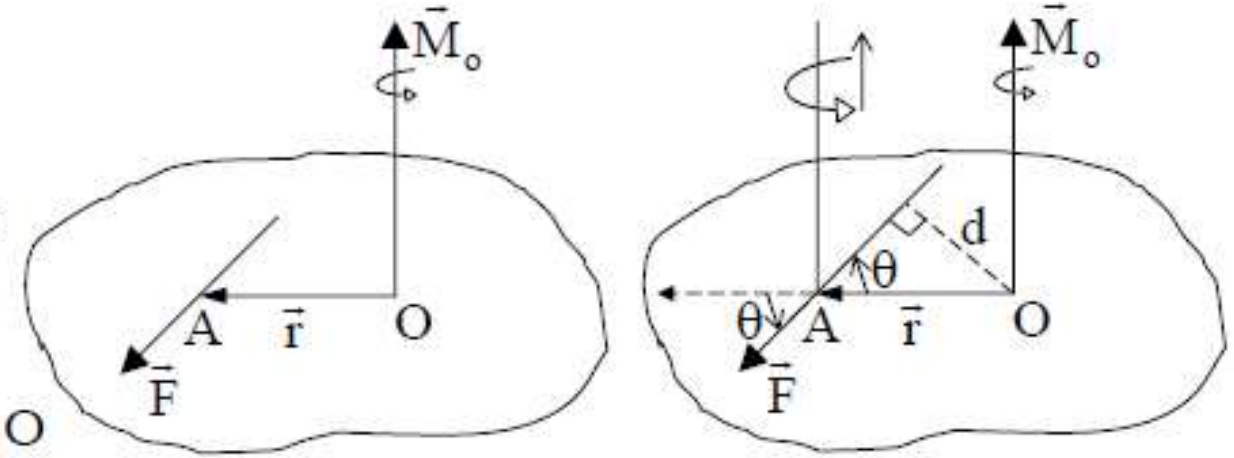
$M_4 < 20F$

$M_5 = 0$

Απάντηση:

$M_1 = M_3 = 20F > M_4 > M_2 = M_5 = 0$

Διάνυσμα Ροπής Δύναμης Μ



- Η ροπή είναι διανυσματικό μέγεθος και δίνεται από τη σχέση:

$\vec{M}_o = \vec{r} \times \vec{F}$

όπου $\vec{r} \equiv$ διάνυσμα θέσης από το σημείο Ο σε κάθε σημείο της γραμμής δράσης της $\vec{F}$.

- Η δύναμη $\vec{F}$ προκαλεί περιστροφή της ράβδου ως προς το σημείο Ο (μέτρο M_o).

- Το μέτρο της ροπής υπολογίζεται από το τύπο: $M_o = rF\sin\theta = F(r\sin\theta) = Fd$

όπου d = βραχίονας ροπής (κάθετη απόσταση από το σημείο Ο στη γραμμή δράσης της F).

- Η κατεύθυνση του $\vec{M}_o$ καθορίζεται από τον κανόνα του μοχλού όπως εφαρμόζεται και στο εξωτερικό γινόμενο $\vec{r} \times \vec{F}$.

- $$\vec{M}_o = \vec{r} \times \vec{F} = (r_y F_z - r_z F_y)\vec{i} - (r_x F_z - r_z F_x)\vec{j} + (r_x F_y - r_y F_x)\vec{k} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

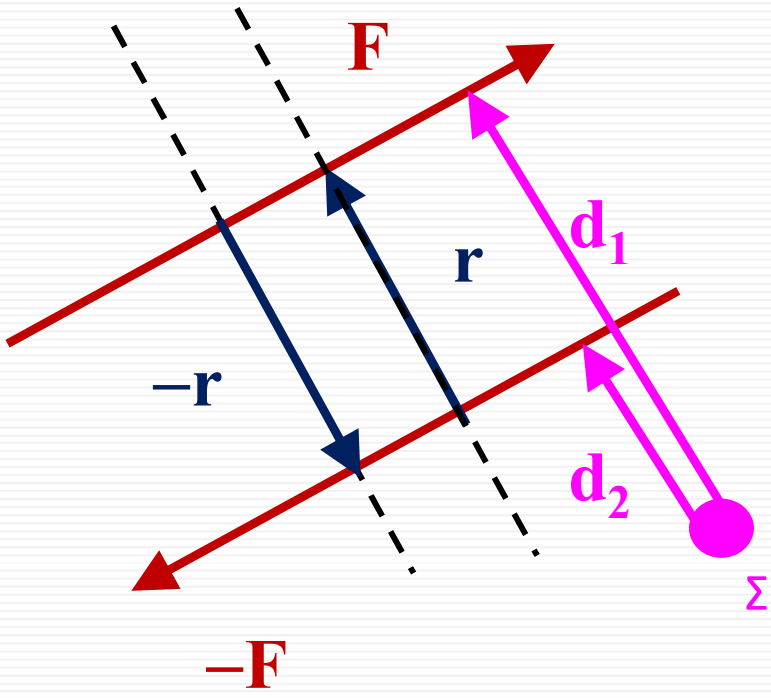
Περιστροφή επιπέδου yz γύρω από τον x: M_x

Περιστροφή επιπέδου xz γύρω από τον y: M_y

Περιστροφή επιπέδου xy γύρω από τον z: M_z

Ζεύγος δυνάμεων ≡ Ροπή

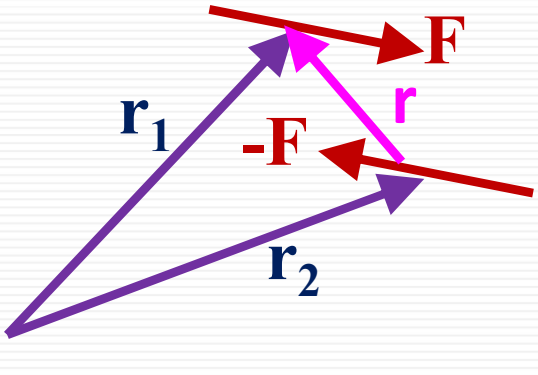
$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \equiv (-\mathbf{r}) \times (-\mathbf{F})$$



Η ροπή του ζεύγους δυνάμεων παραμένει σταθερή ως προς οποιοδήποτε σημείο του χώρου.

$M_O = d_2 \times (-F) + d_1 \times F = (d_1 - d_2) \times F = r \times F$

ή



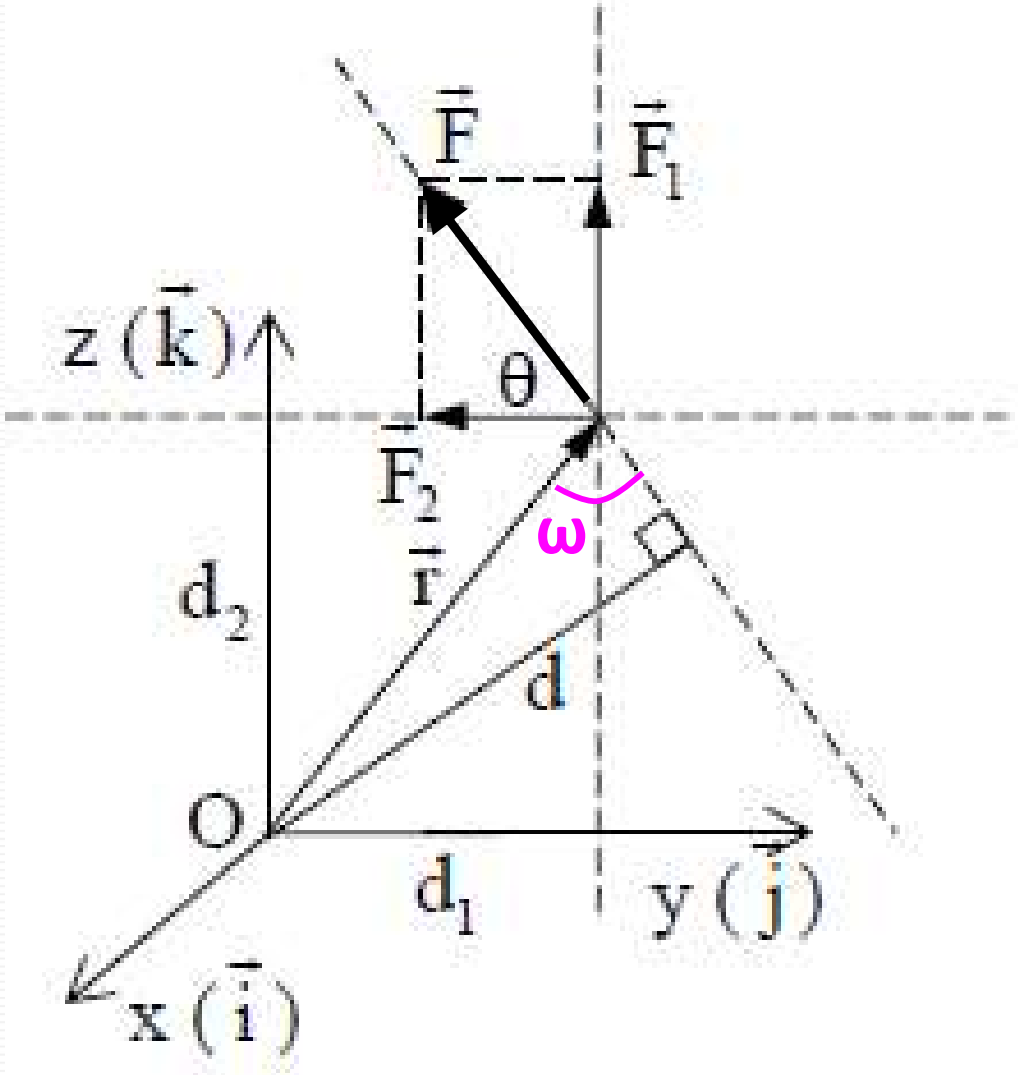
$M_O = M_1 + M_2 = r_1 \times F - r_2 \times F = (r_1 - r_2) \times F = r \times F$

Η ροπή δύναμης $\vec{F}$ ως προς σημείο **O** είναι ίση με το άθροισμα των ροπών των συνιστωσών της $\vec{F_1}$ και $\vec{F_2}$ ως προς το O

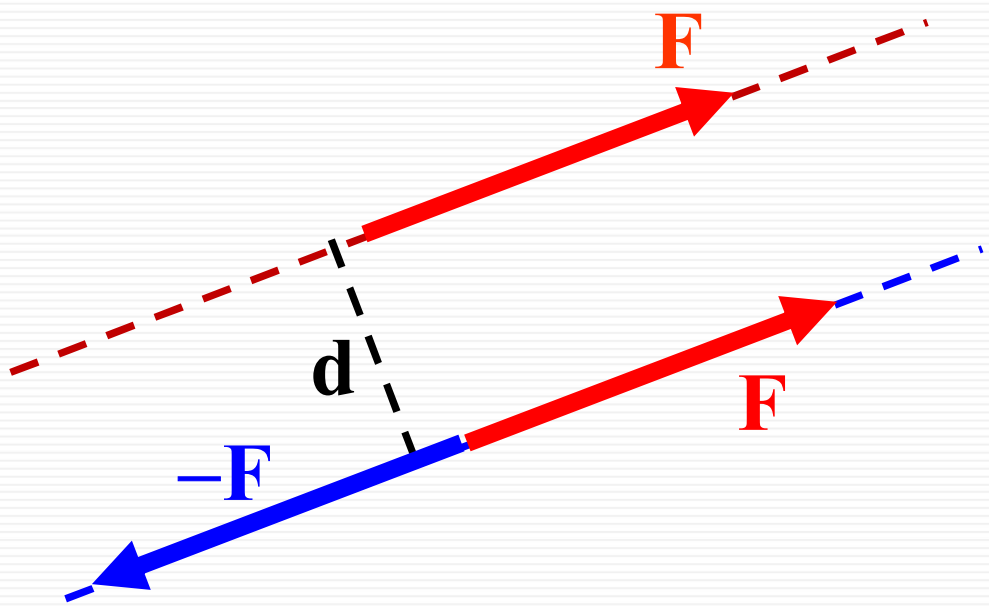
$$\vec{M}_o = \vec{r} \times \vec{F}_1 + \vec{r} \times \vec{F}_2 = \vec{r} \times (\vec{F}_1 + \vec{F}_2) = \vec{r} \times \vec{F}$$

Το μέτρο της ροπής υπολογίζεται ως:

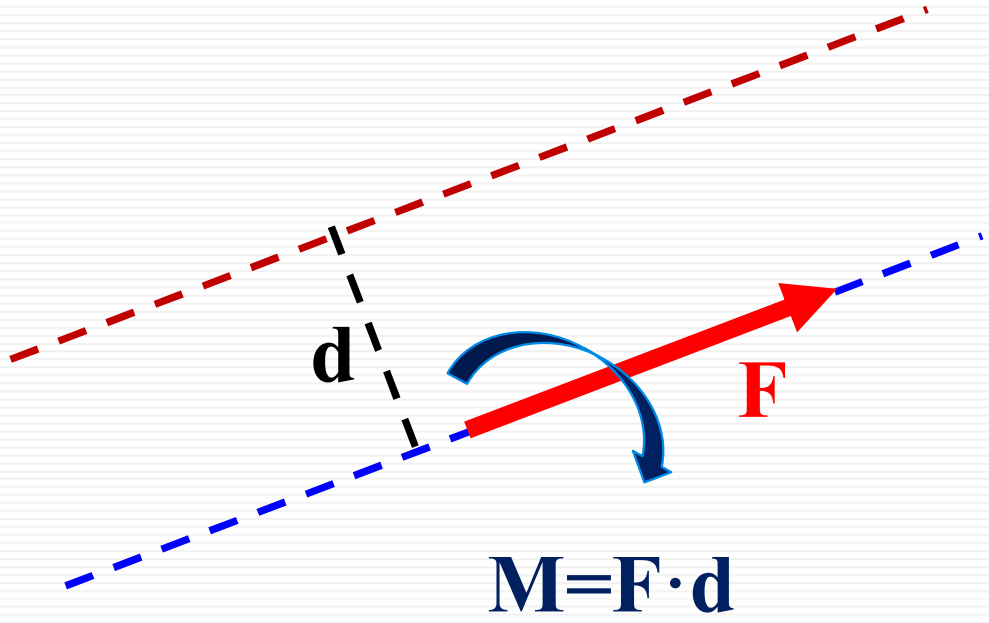
$$|M_o| = F\,(r \sin\omega) = Fd$$
$$= F_1 d_1 + F_2 d_2$$

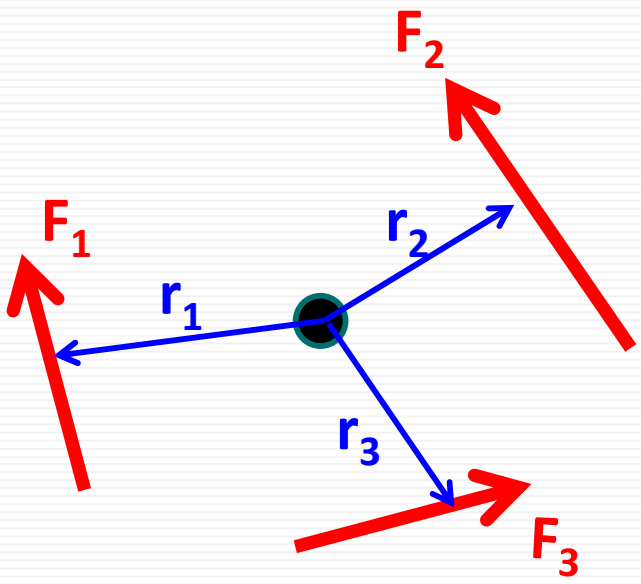


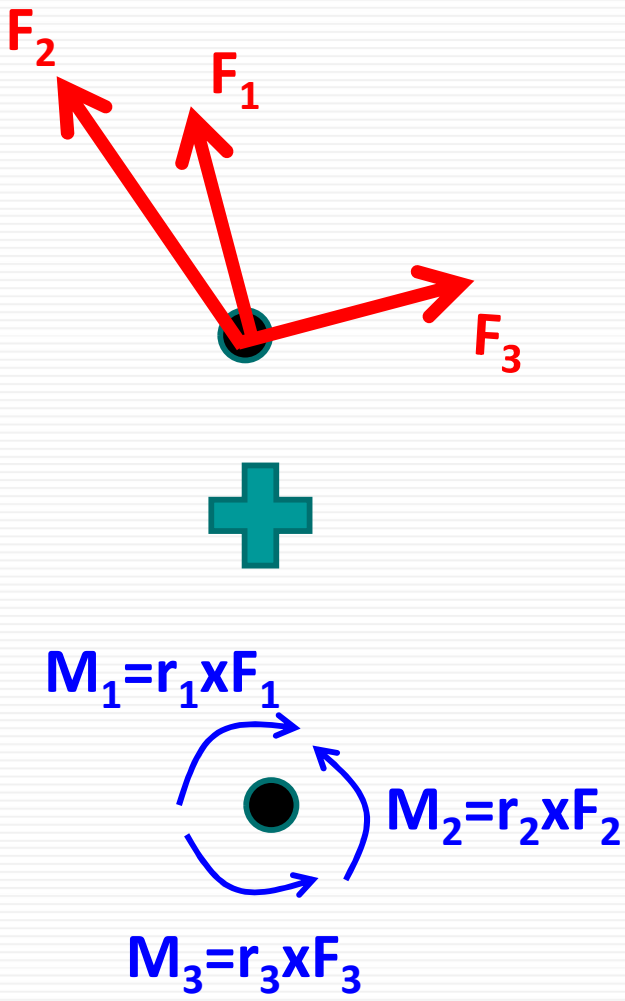
Αλλαγή άξονα δύναμης



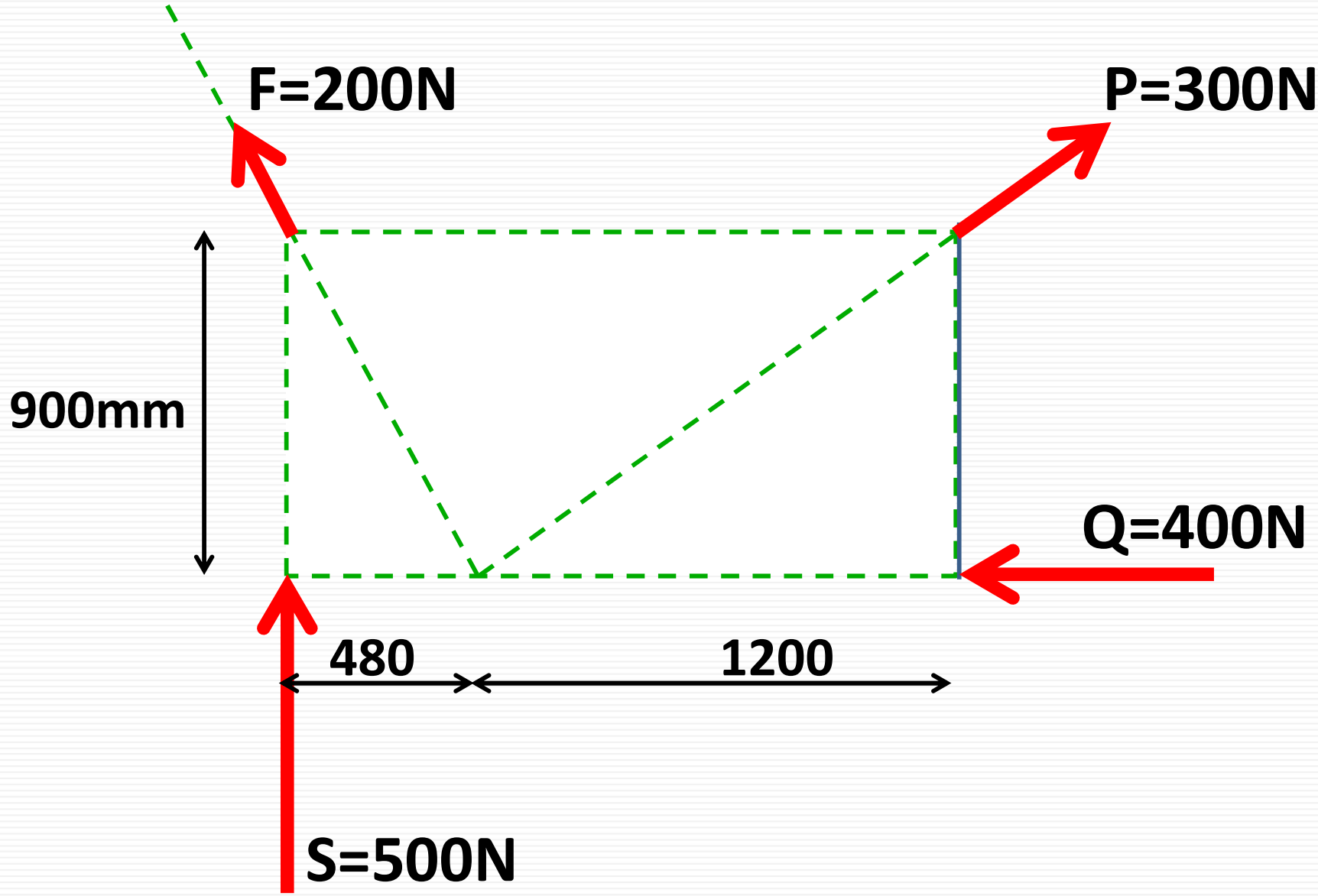
Αλλαγή άξονα δύναμης

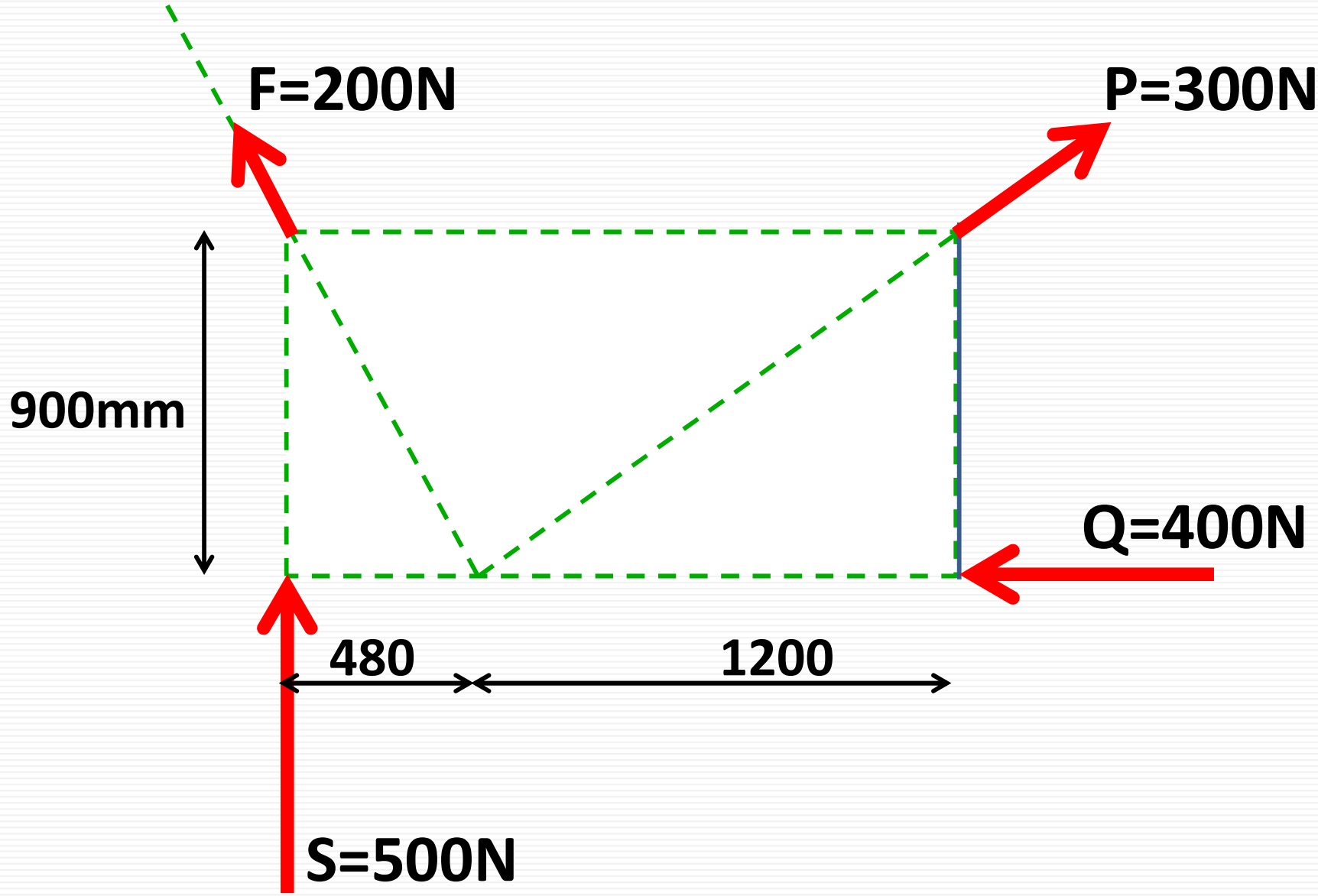


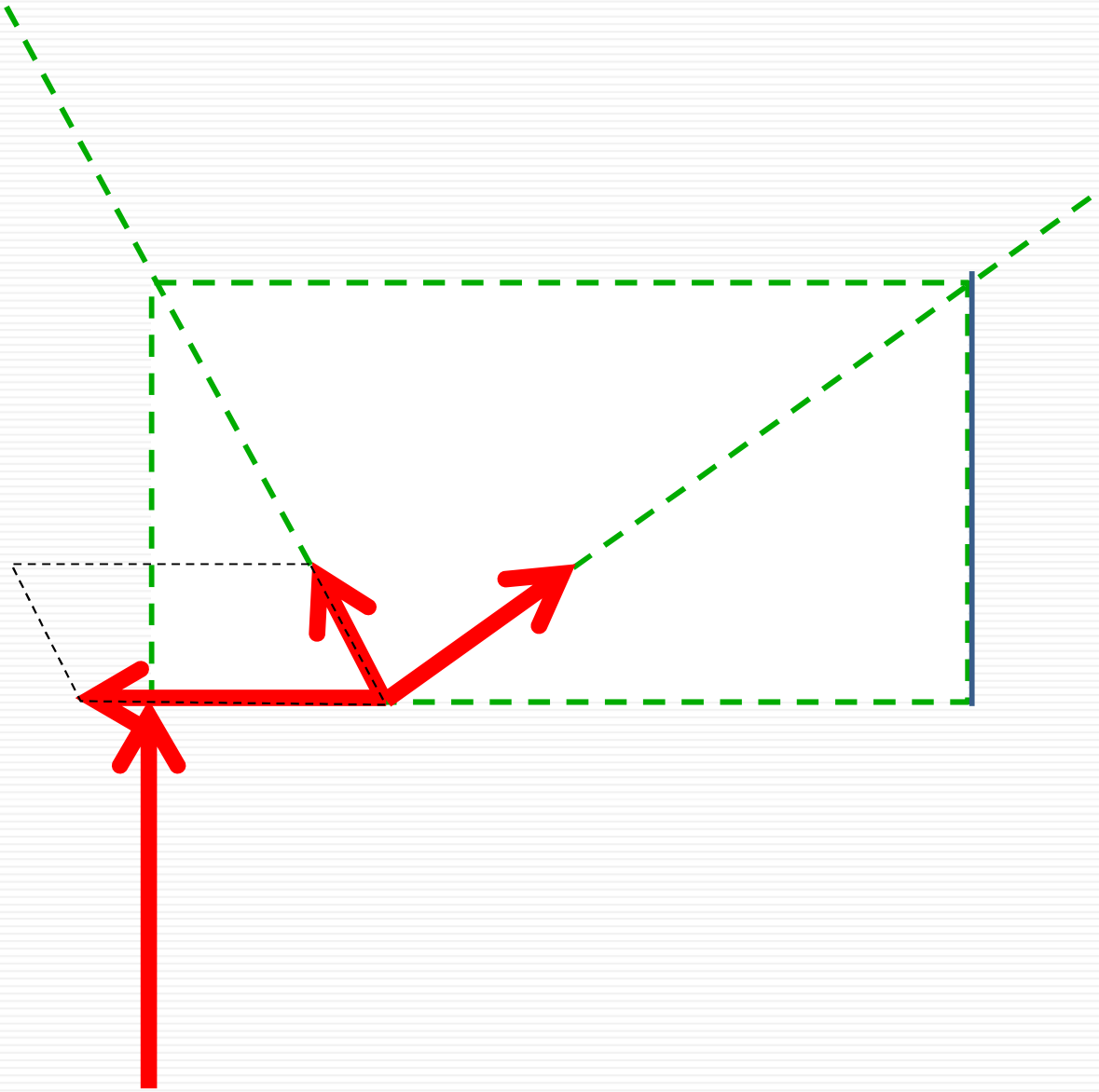

F2
F1
r2
r1
r3
F3

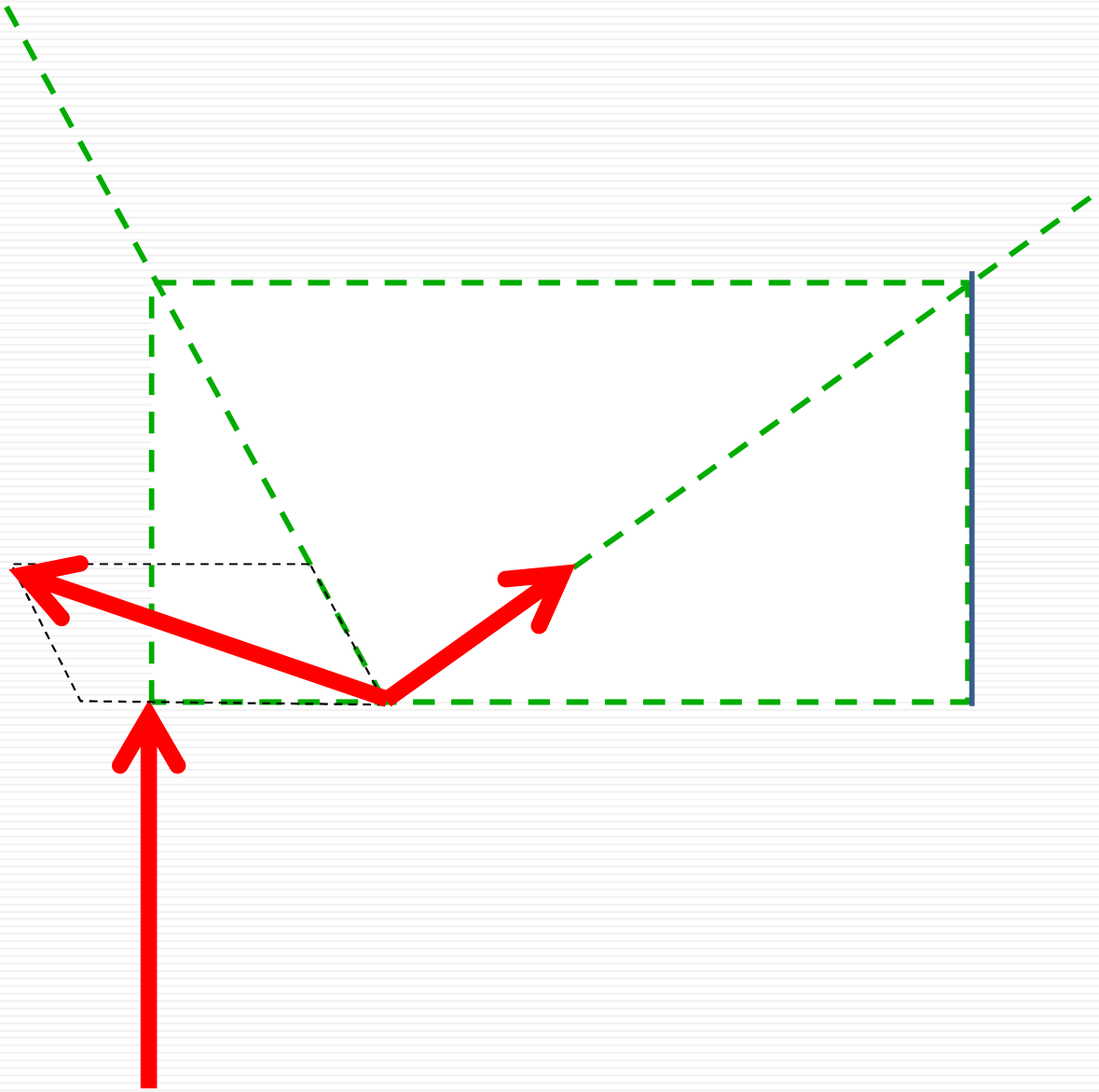

F2
F1
F3
M1=r1xF1
M2=r2xF2
M3=r3xF3

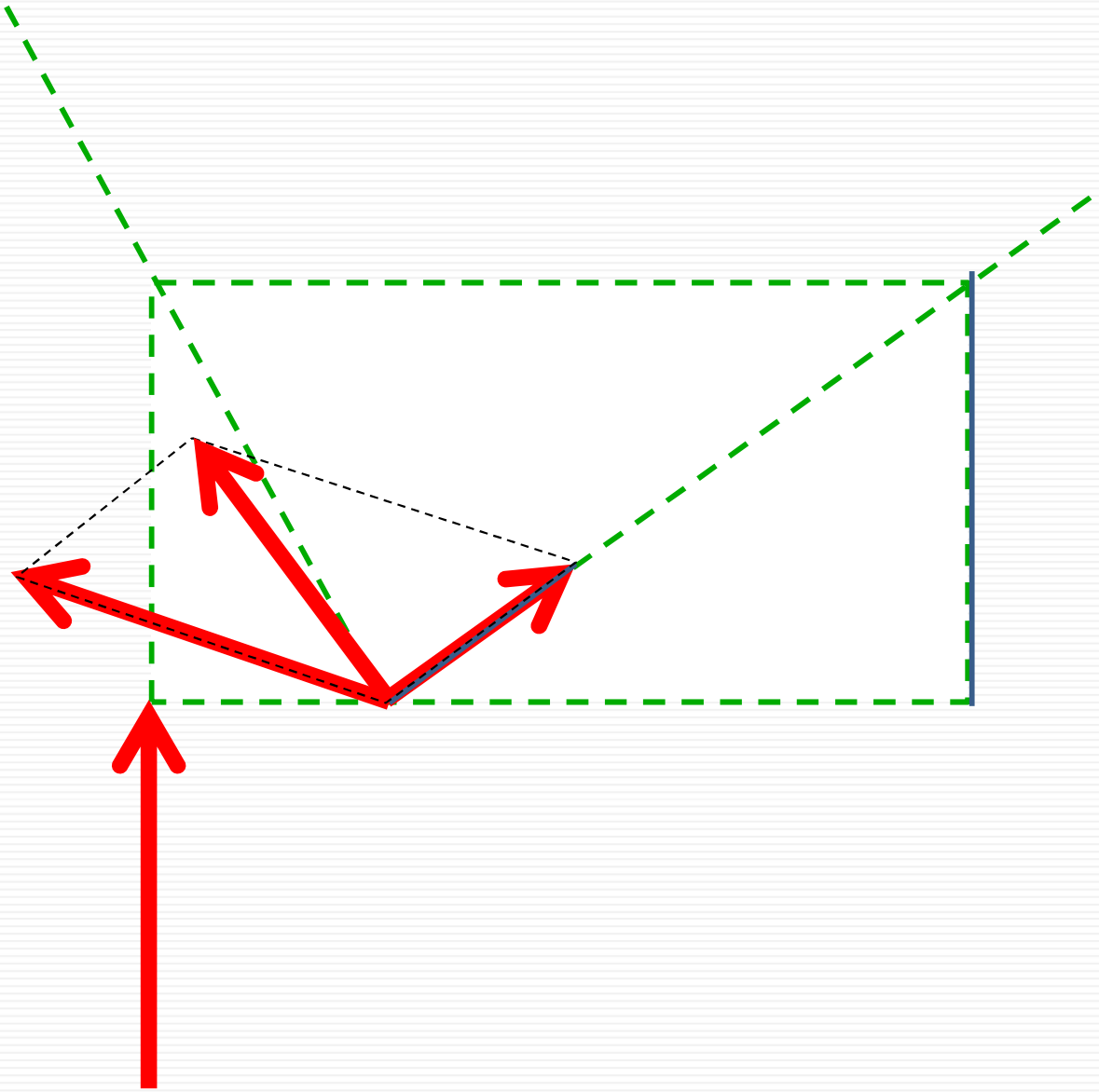
Να υπολογισθεί η συνισταμένη δύναμη ΣF: μέτρο, φορέας δράσης (γωνία ως προς την οριζόντια)

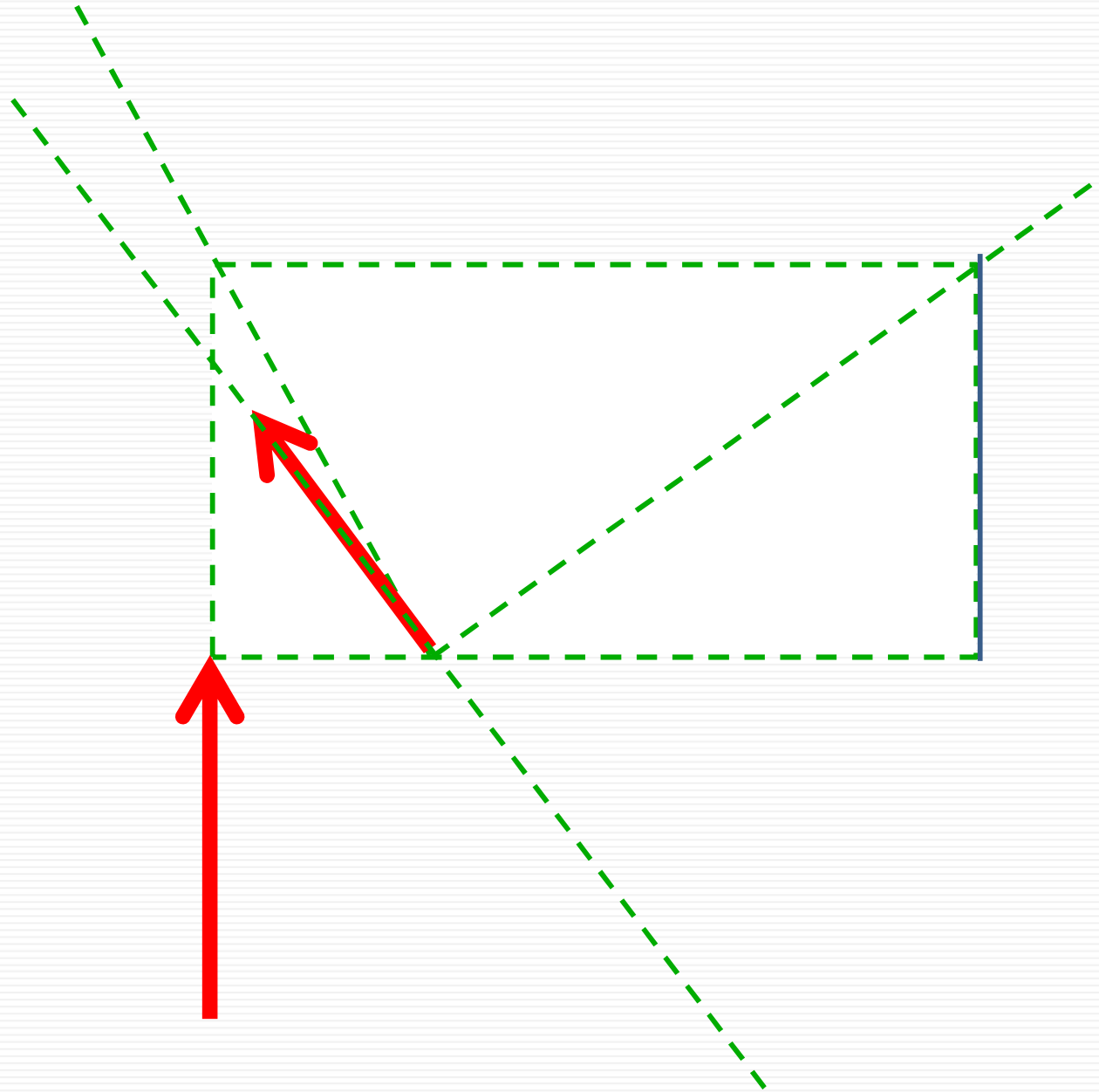


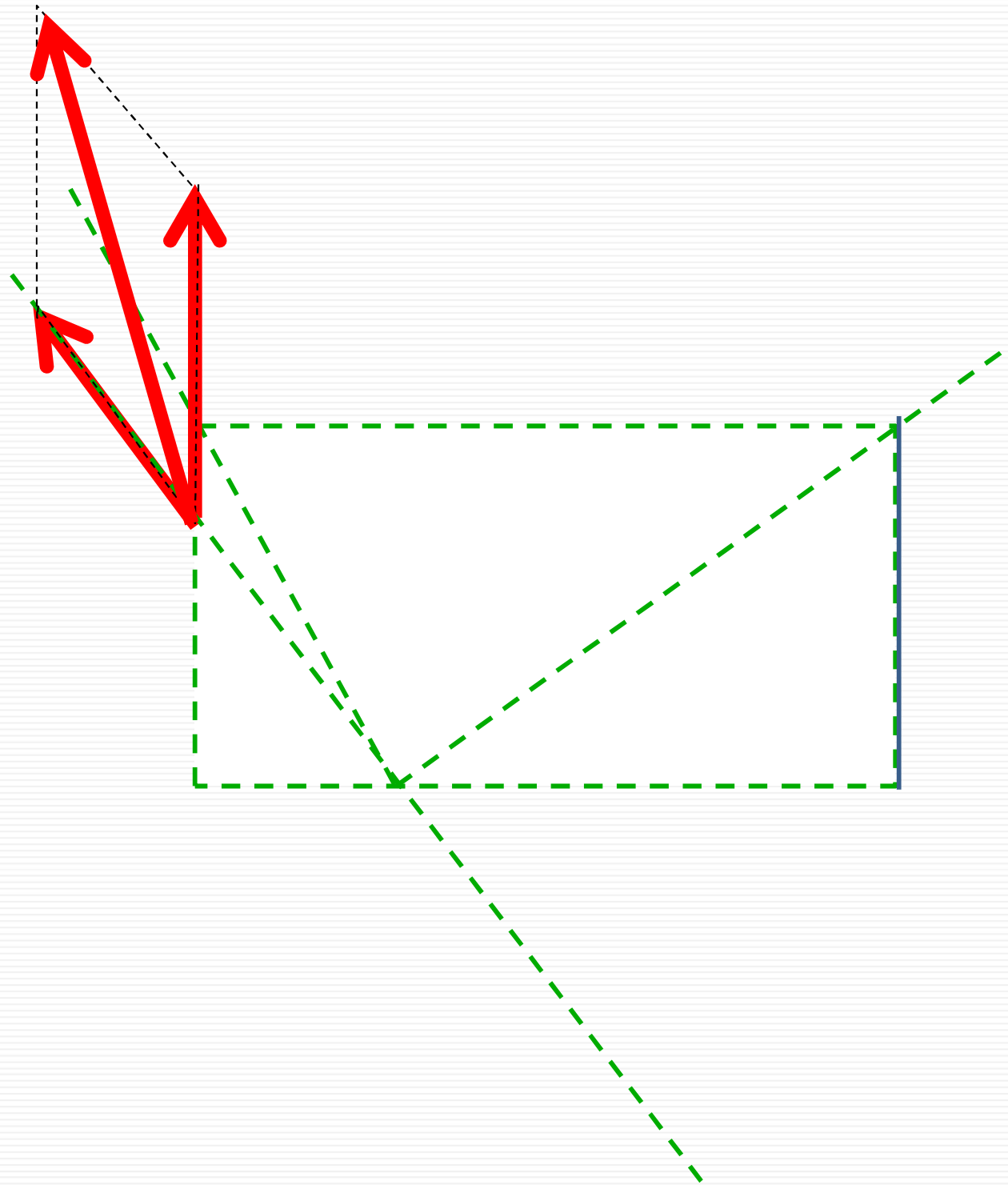

F=200N
P=300N
900mm
Q=400N
480
1200
S=500N

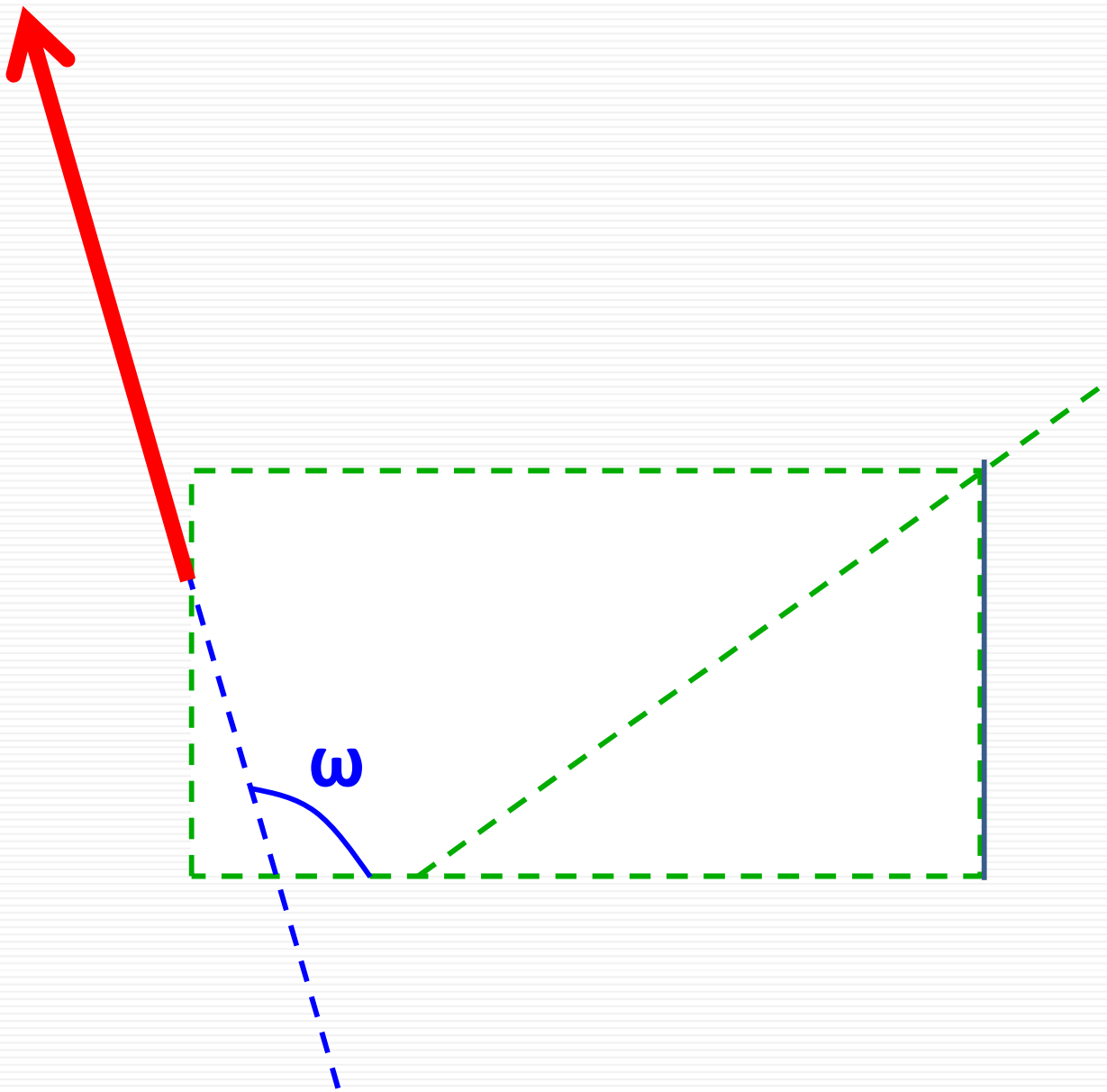






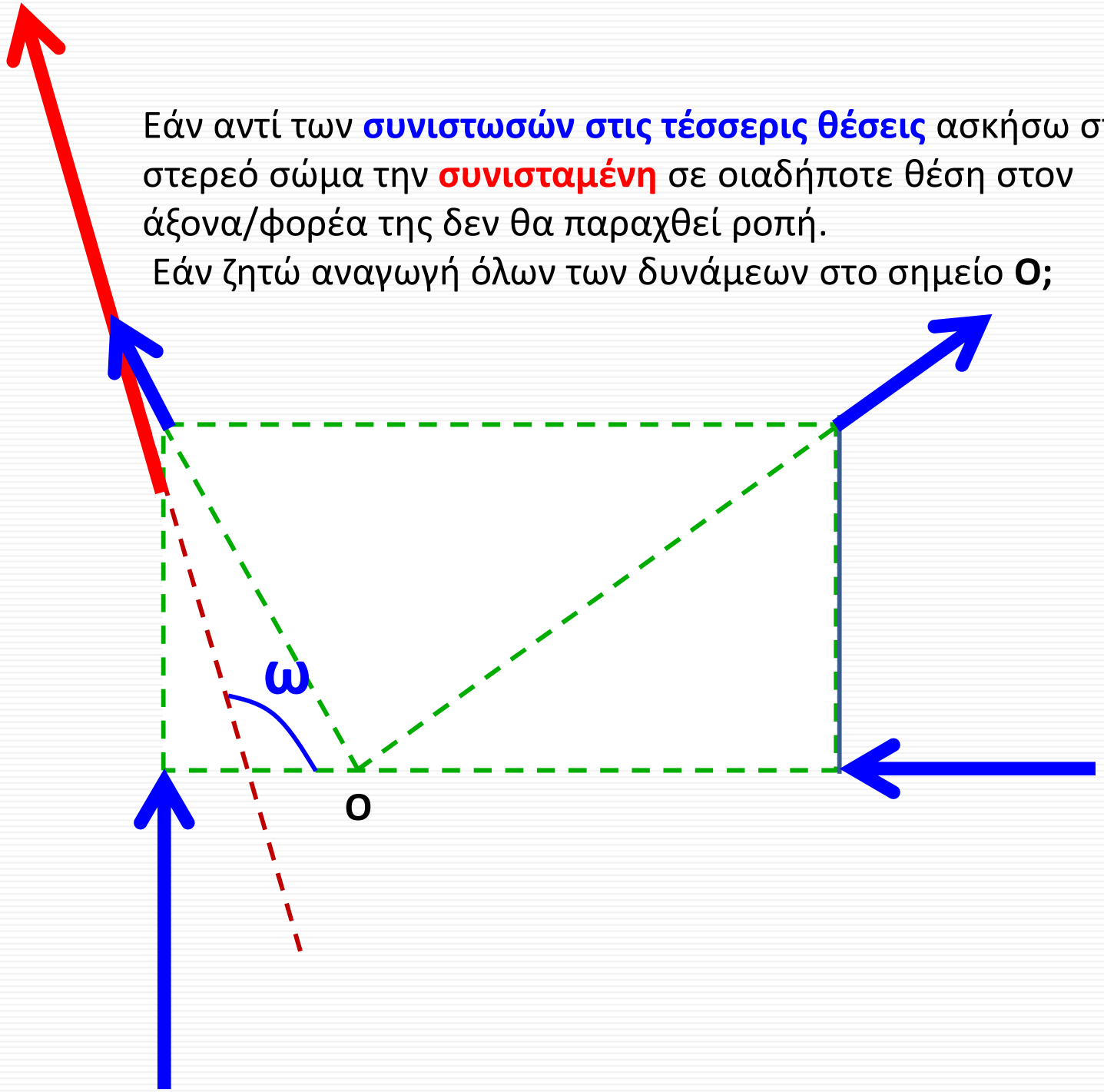





ω

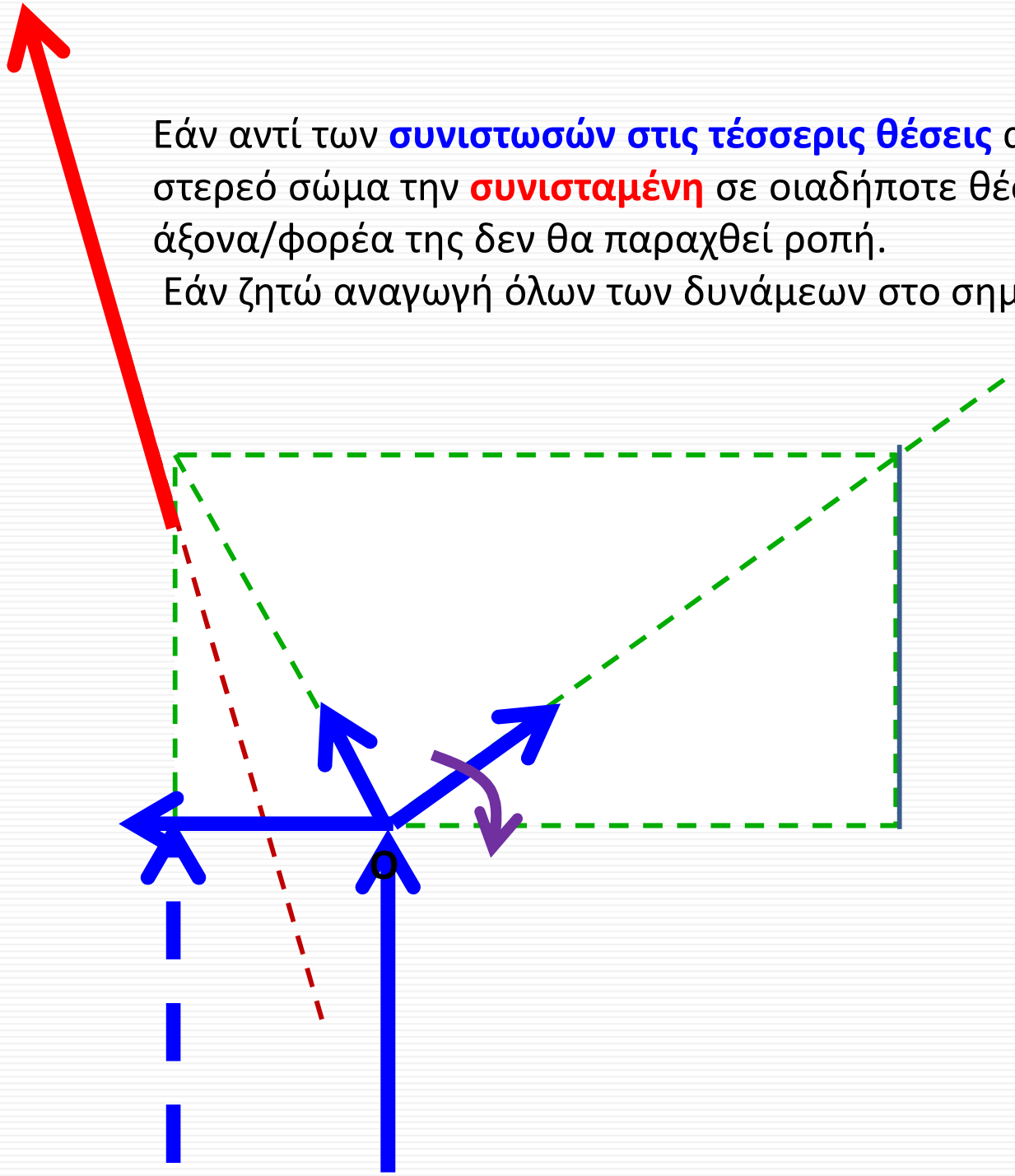
Εάν αντί των **συνιστωσών στις τέσσερις θέσεις** ασκήσω στο στερεό σώμα την **συνισταμένη** σε οιαδήποτε θέση στον άξονα/φορέα της δεν θα παραχθεί ροπή.

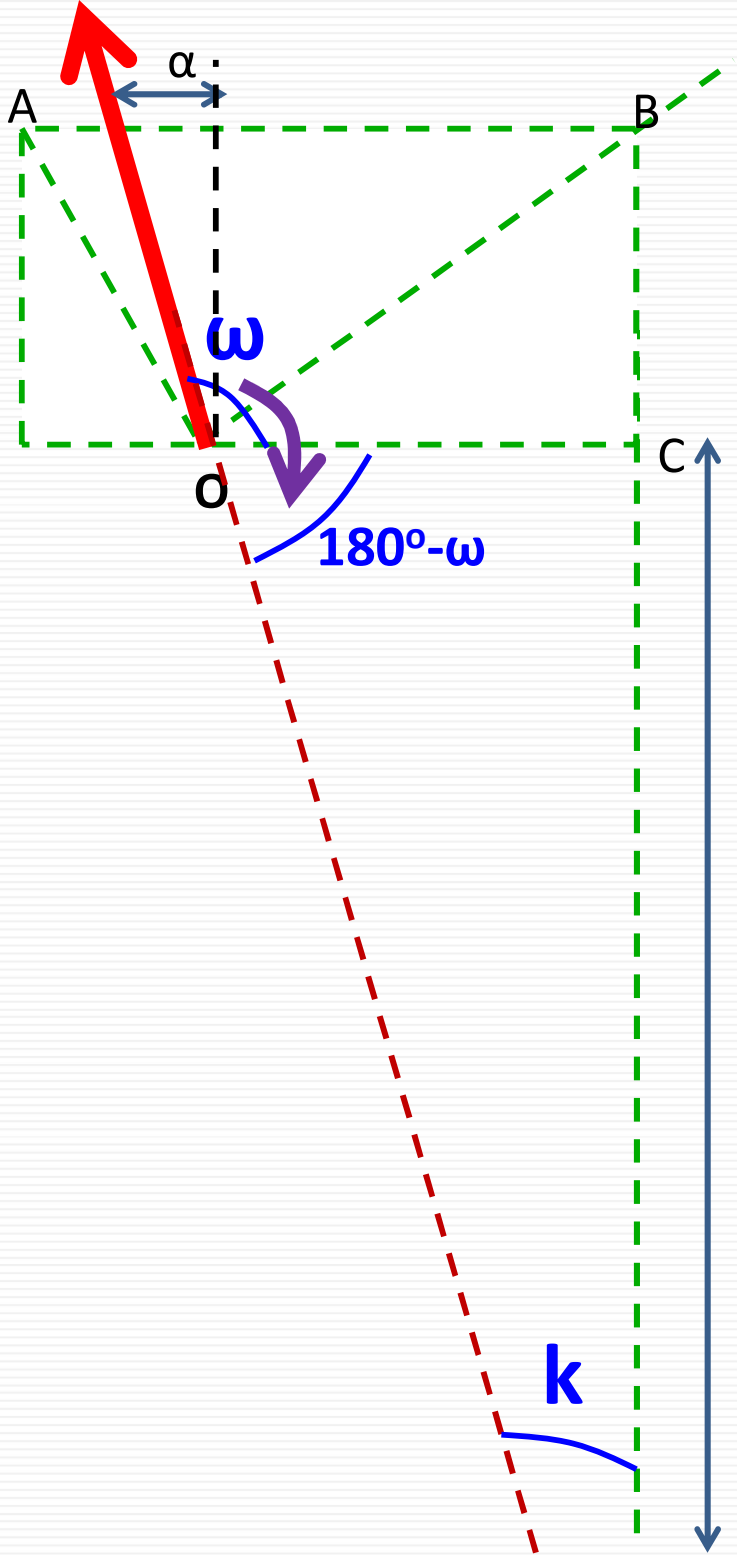
Εάν ζητώ αναγωγή όλων των δυνάμεων στο σημείο **Ο;**



Εάν αντί των **συνιστωσών στις τέσσερις θέσεις** ασκήσω στο στερεό σώμα την **συνισταμένη** σε οιαδήποτε θέση στον άξονα/φορέα της δεν θα παραχθεί ροπή.

Εάν ζητώ αναγωγή όλων των δυνάμεων στο σημείο **Ο;**





Που τέμνει η ΣF τις πλευρές ΑΒ και ΒC;

k=ω-90°