

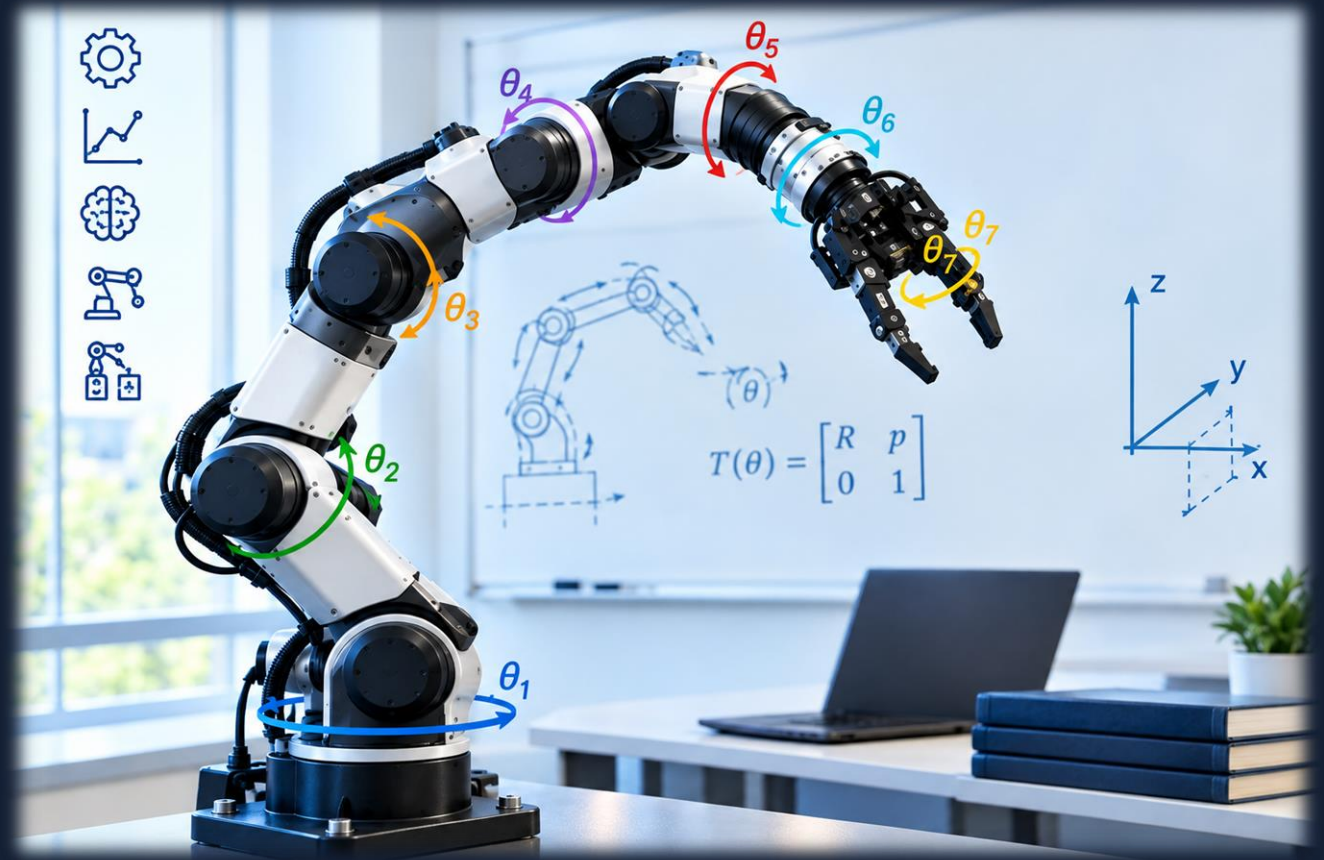
Ρομποτική

Διάλεξη 05

Χώρος Καθηκόντων
Χώρος Εργασίας
Ασκήσεις

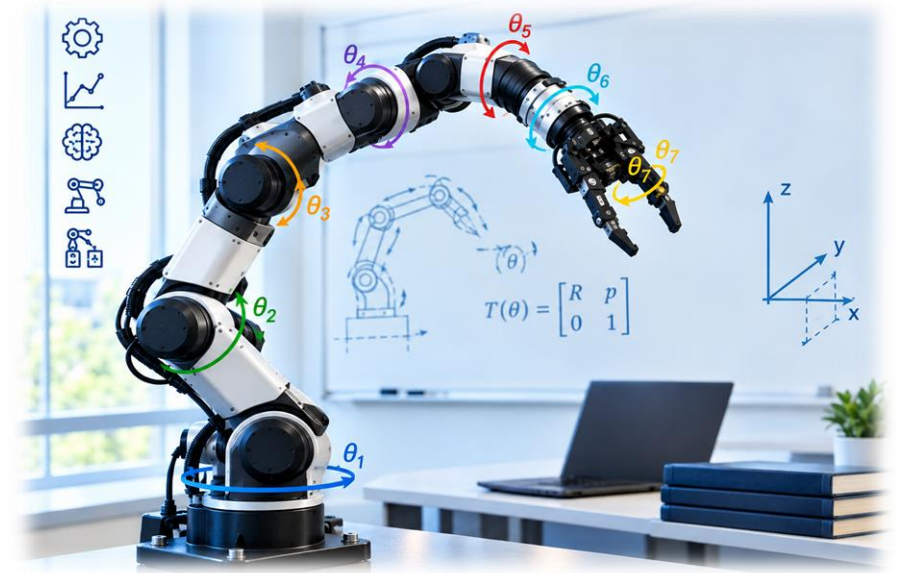
Καθ. Μιχαήλ Γ. Λαγουδάκης

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πολυτεχνείο Κρήτης



Άλλοι Χώροι

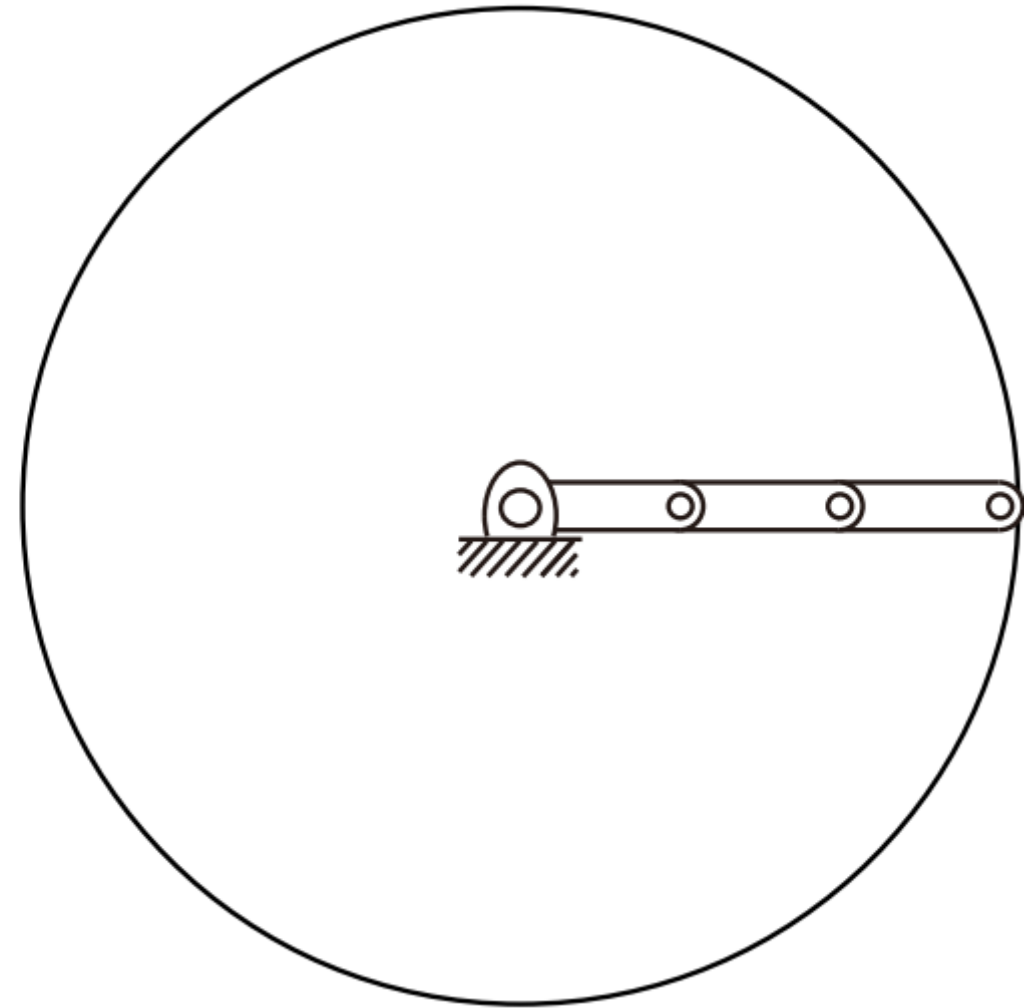
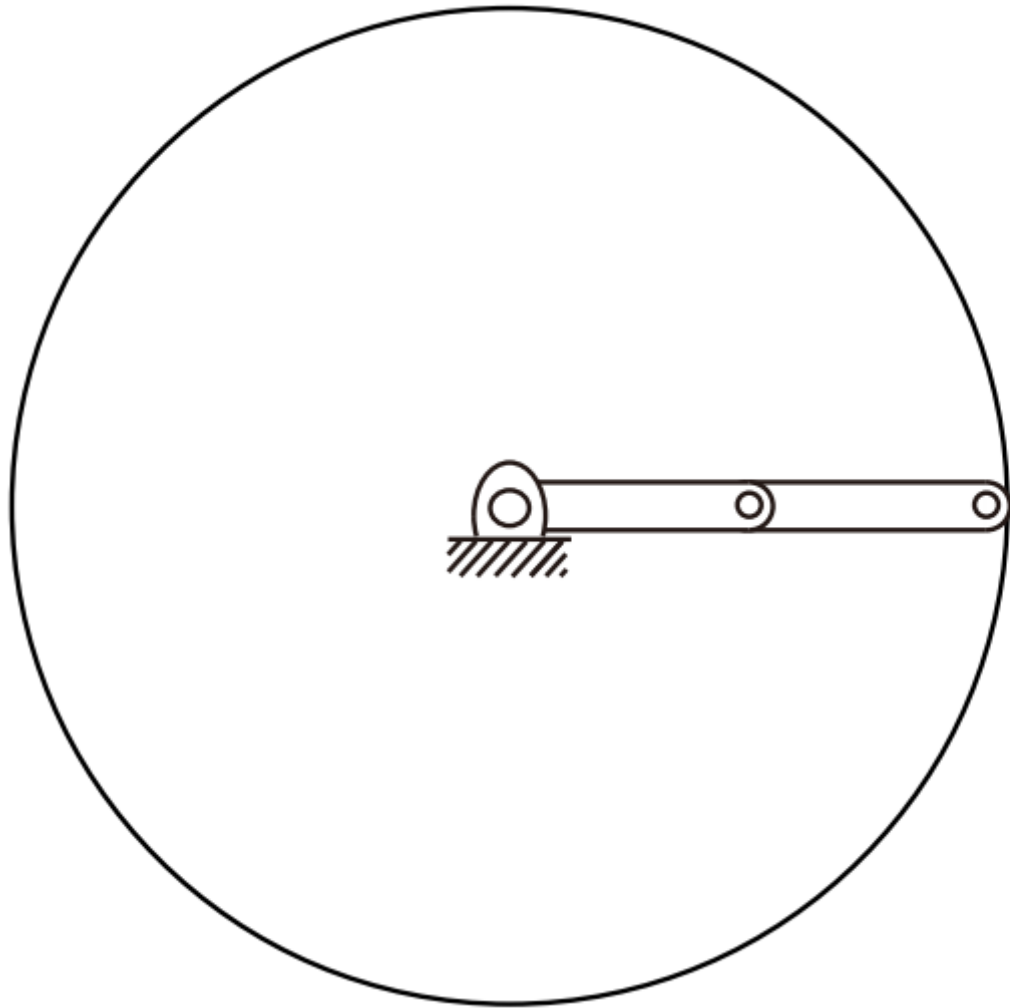
Χώρος Καθηκόντων και Χώρος Εργασίας



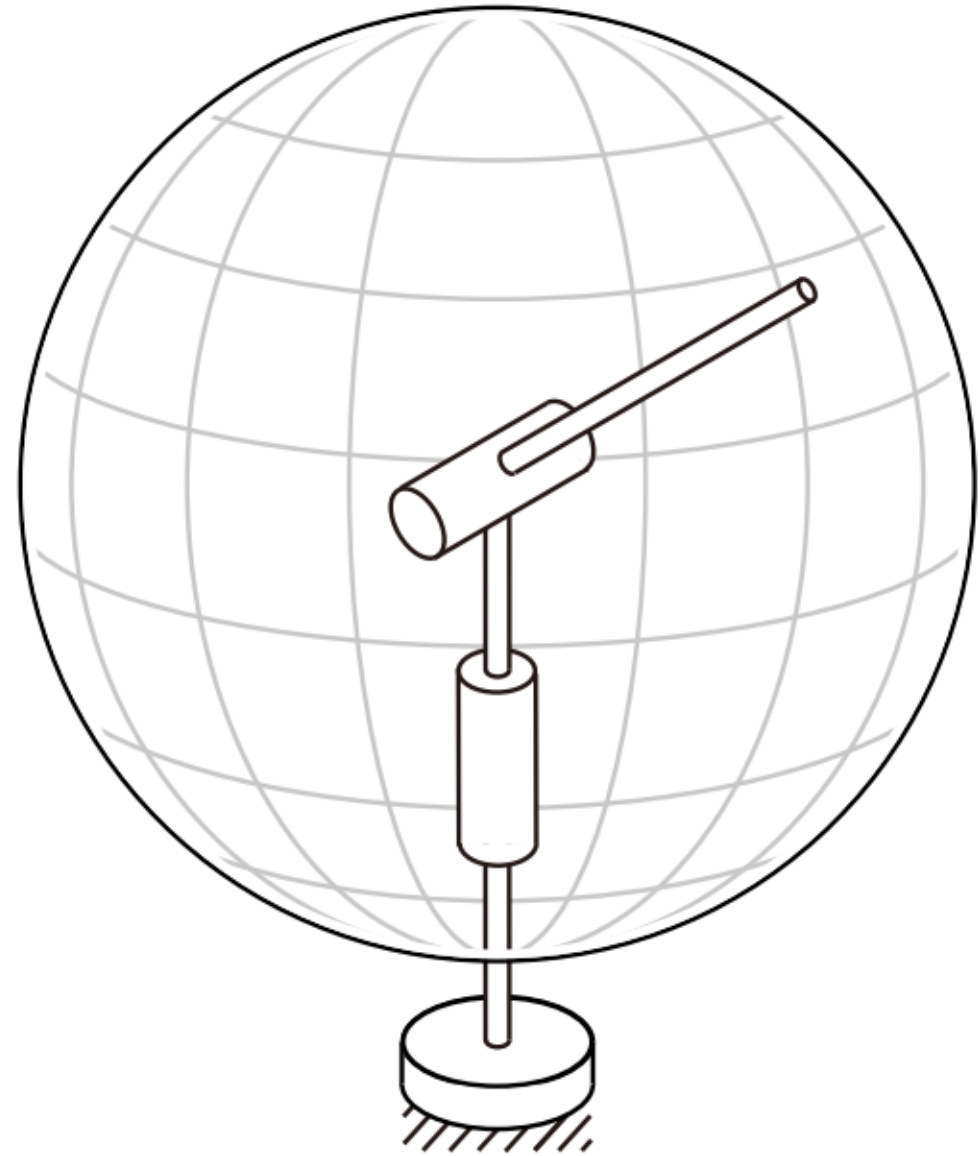
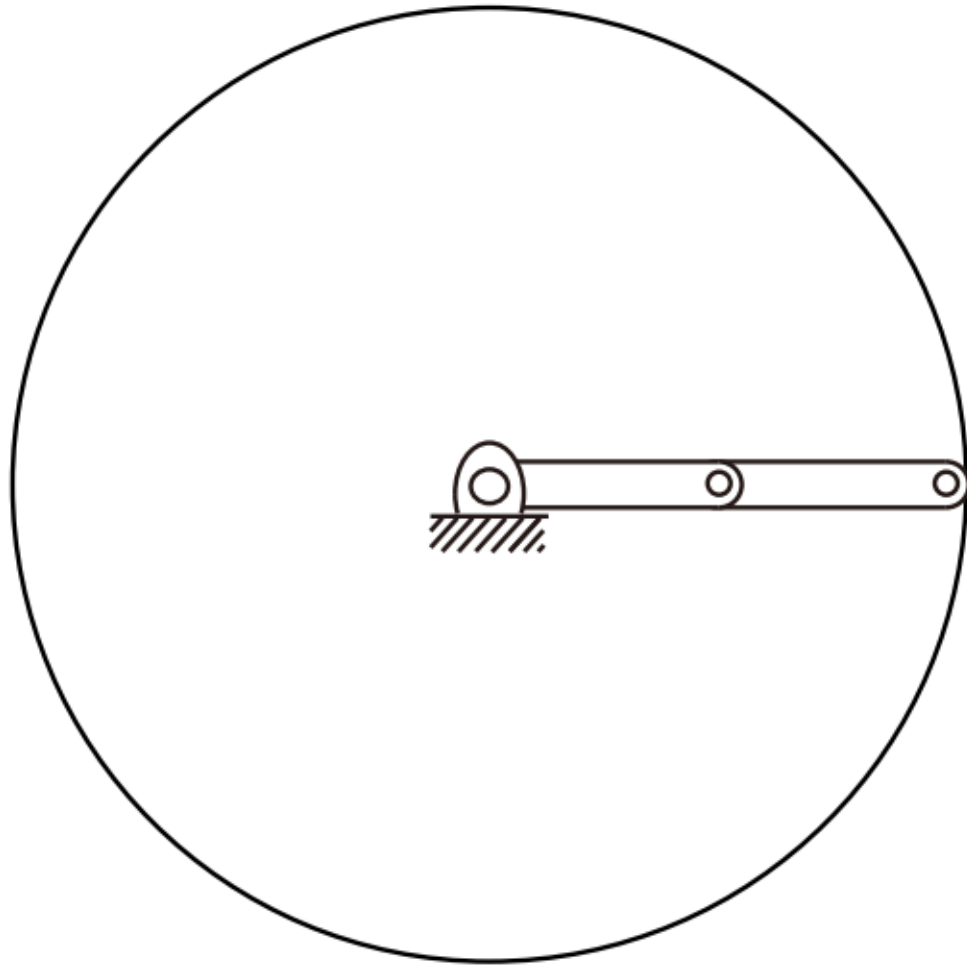
Χώροι Καθηκόντων και Εργασίας

- χώροι που συνδέονται με τη στάση του ακροδέκτη, όχι του συνολικού ρομπότ
- δεν ταυτίζονται απαραίτητα με τον χώρο στάσεων του ρομπότ
- **Χώρος Καθηκόντων (Task Space)**
 - χώρος στον οποίο εκφράζονται τα καθήκοντα που καλείται να εκτελέσει το ρομπότ
 - βασίζεται στο καθήκον και είναι ανεξάρτητος από το ίδιο το ρομπότ
 - παράδειγμα: σχεδίαση με γραφίδα επάνω σε χαρτί/επιφάνεια $\Rightarrow R^2$
 - παράδειγμα: χειρισμός αντικειμένων στον 3D χώρο $\Rightarrow R^3 \times S^2 \times S^1$ (default)
- **Χώρος Εργασίας (Work Space)**
 - προσδιορισμός του χώρου που μπορεί να προσπελάσει ο ακροδέκτης του ρομπότ
 - βασίζεται στη δομή του ρομπότ και είναι ανεξάρτητος από τα καθήκοντα
 - όλα τα σημεία του χώρου εργασίας είναι προσπελάσιμα από τουλάχιστον μία στάση
 - ... ενώ κάποια σημεία του χώρου καθηκόντων ενδέχεται να μην είναι προσπελάσιμα!

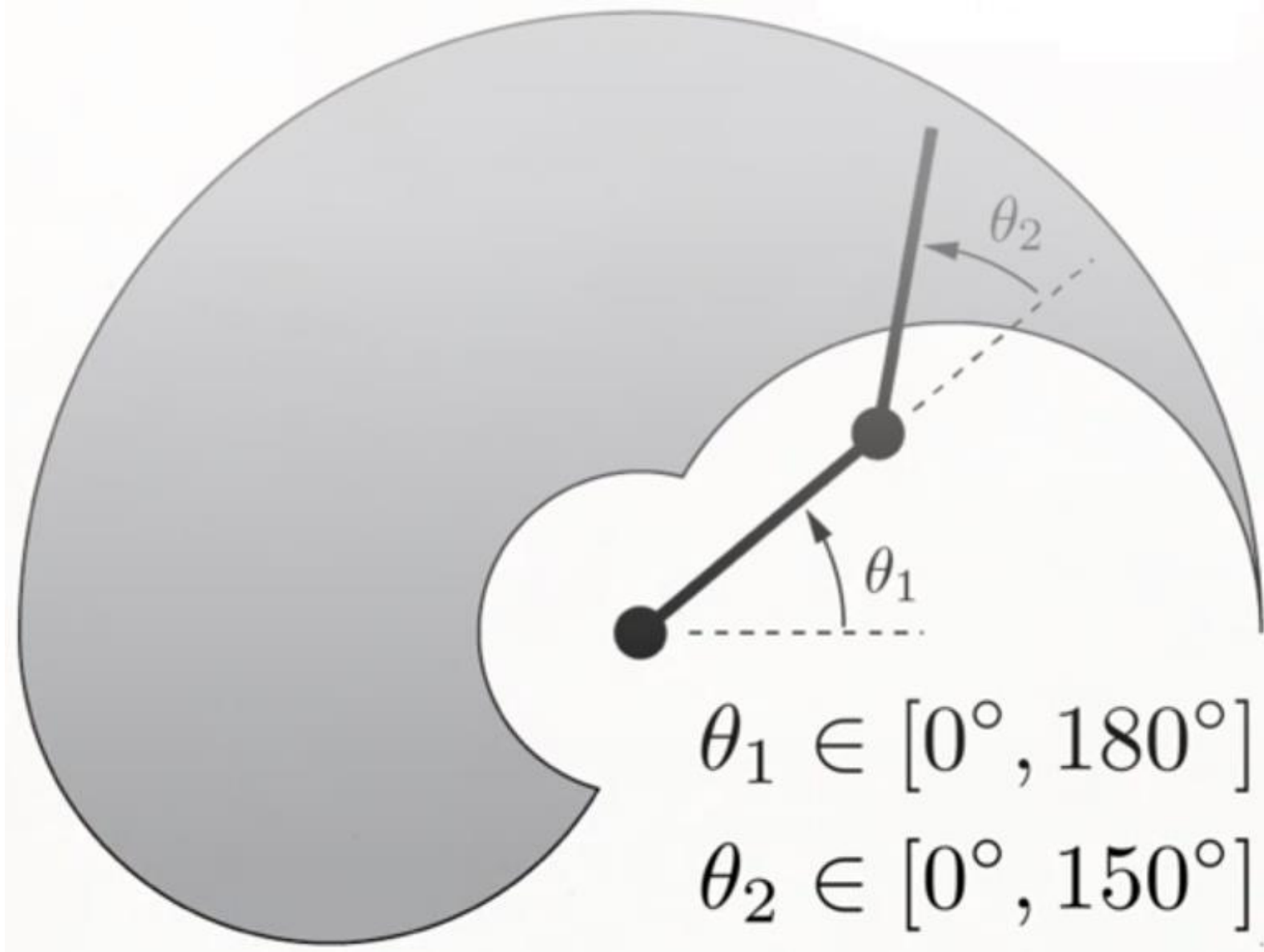
Άλλοι Χώροι Στάσεων – Ίδιοι Χώροι Εργασίας



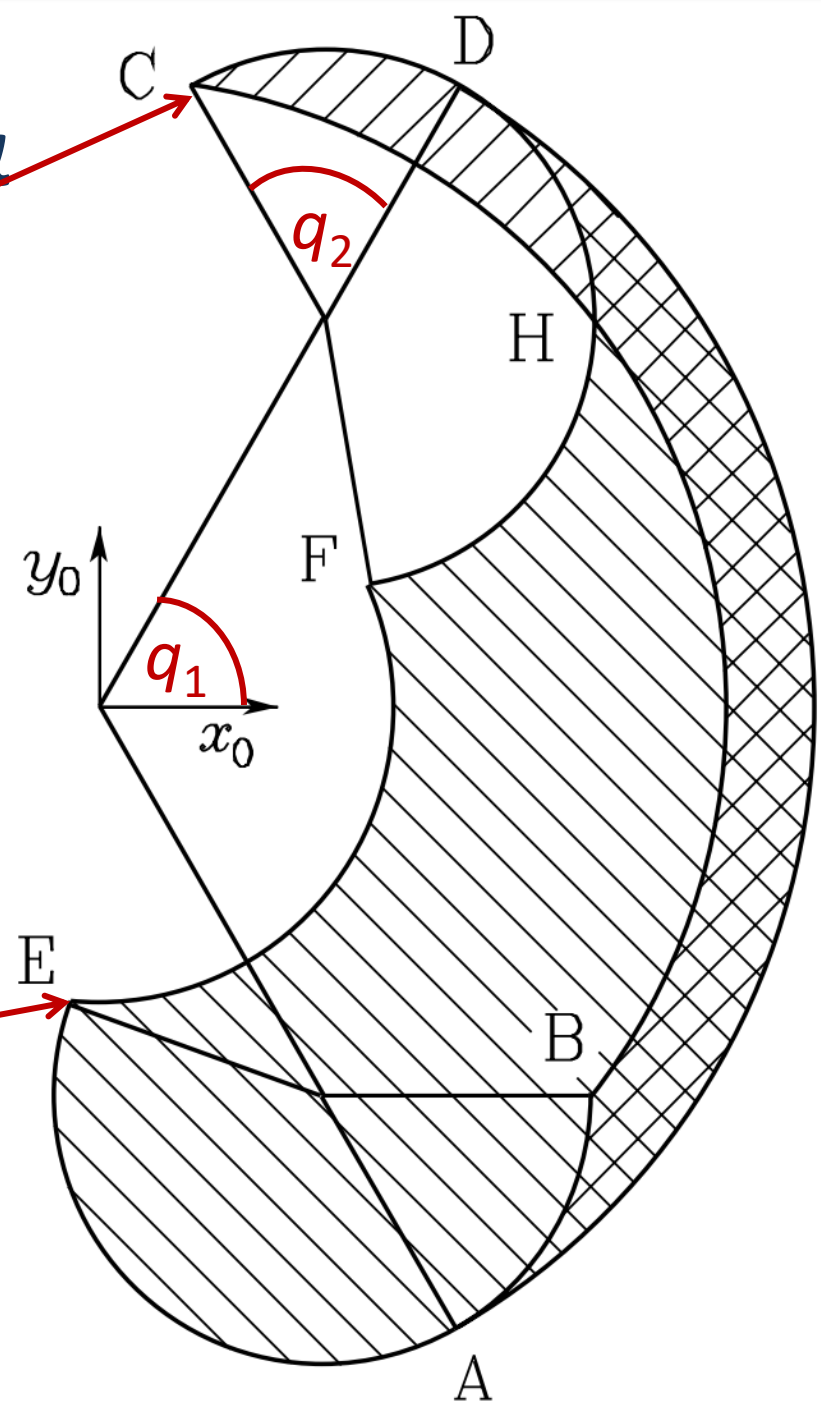
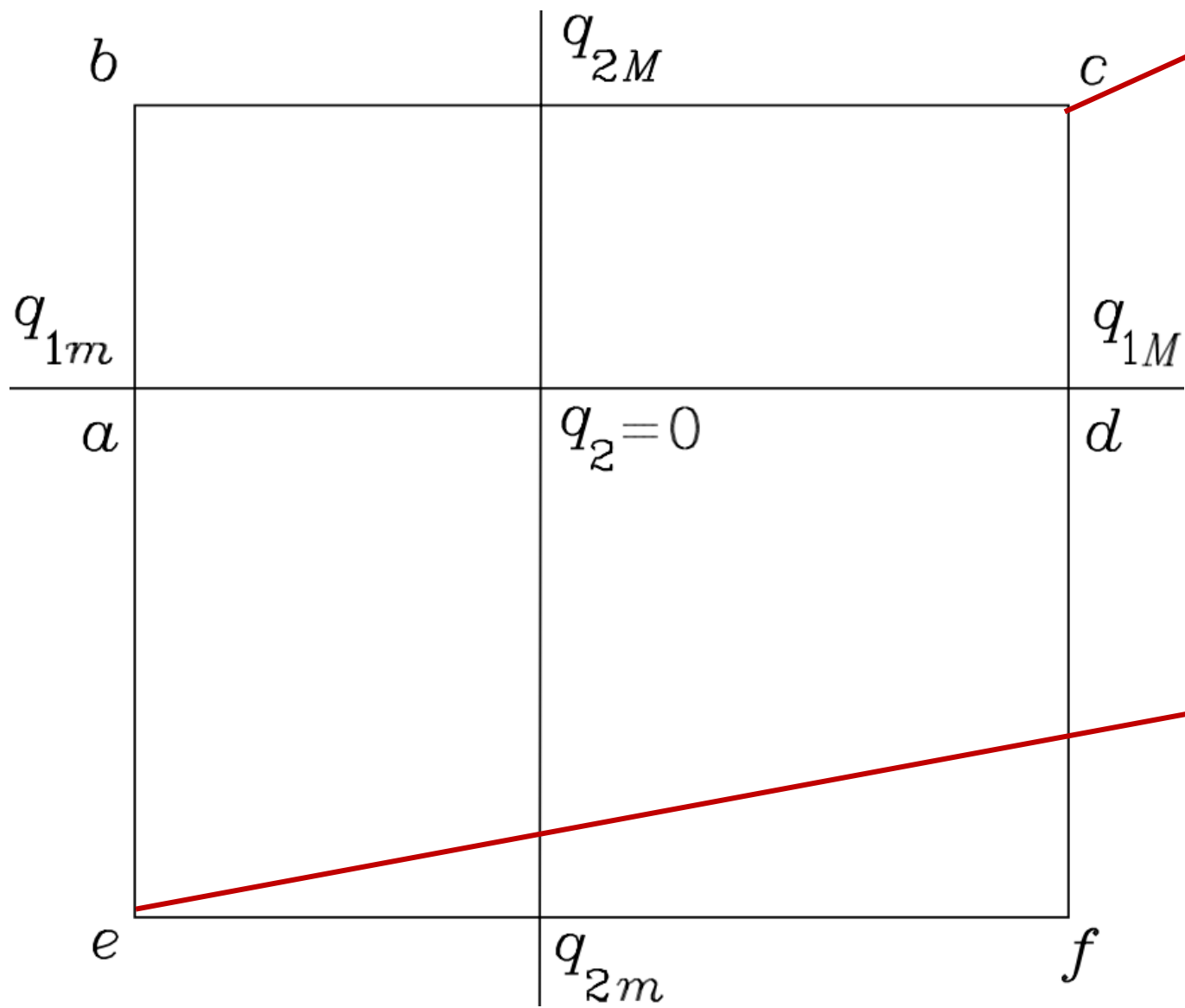
Παρόμοιοι Χώροι Στάσεων – Άλλοι Χώροι Εργασίας



Παράδειγμα Χώρου Εργασίας 2R με Όρια

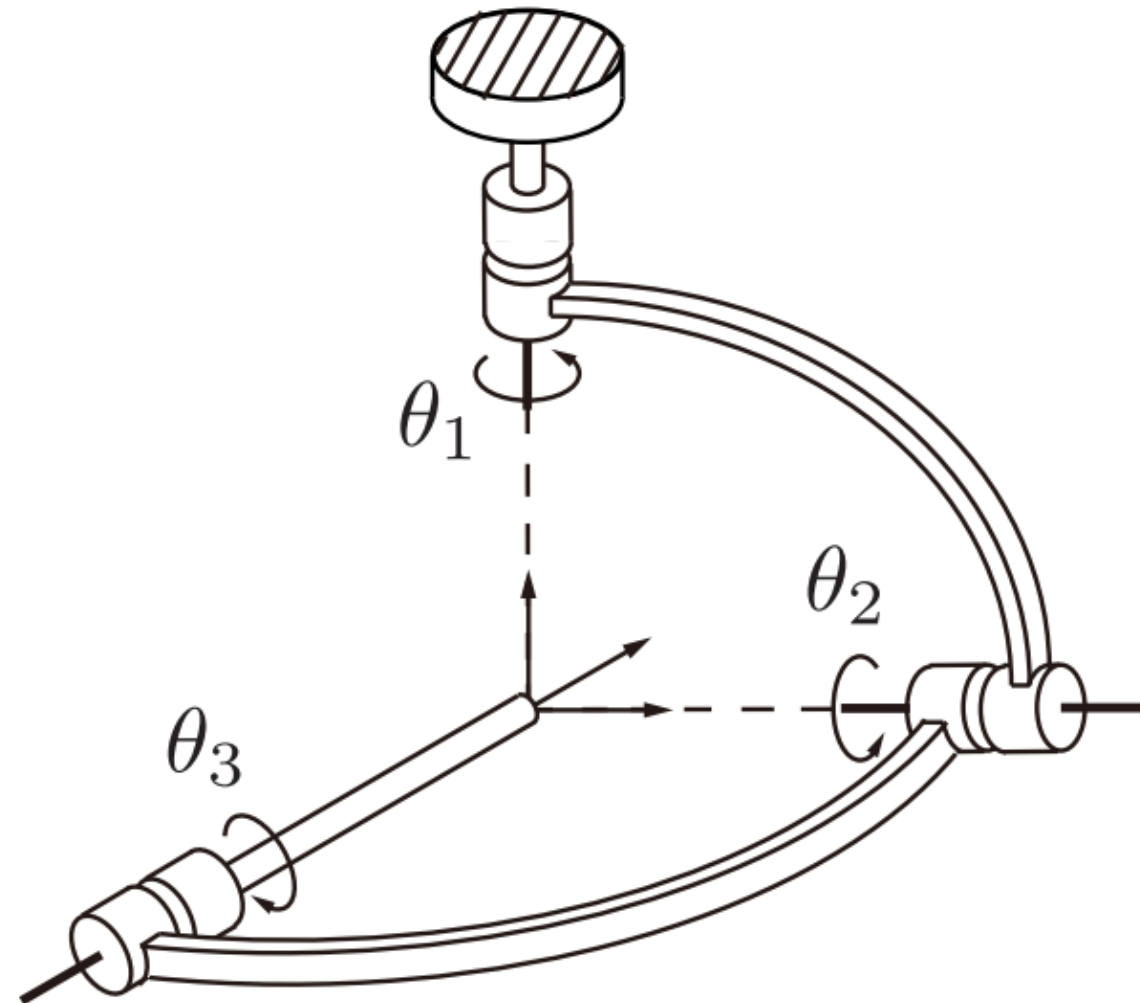


Χώροι Στάσεων/Εργασίας 2R με Όρια



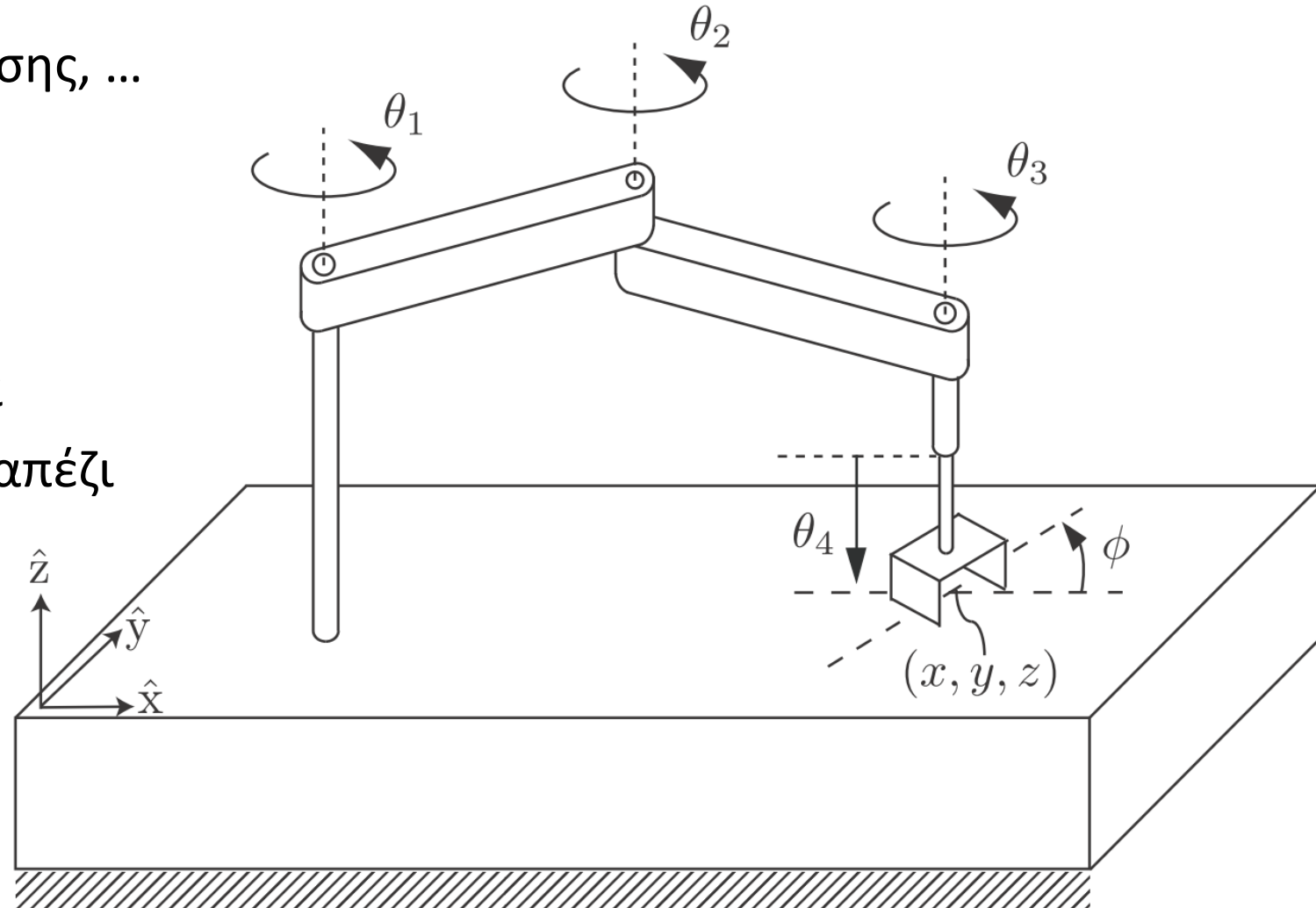
Παράδειγμα 3R

- ανοικτή αλυσίδα 3R («καρπός χειρός»)
- ο ακροδέκτης μπορεί να τεθεί σε οποιονδήποτε προσανατολισμό!
- ωστόσο, η καρτεσιανή του θέση παραμένει πάντα η ίδια (σταθερή)!
- χώρος στάσεων $S^1 \times S^1 \times S^1 = T^3$
- χώρος εργασίας $S^2 \times S^1$
- χώρος καθηκόντων $S^2 \times S^1$ για κατσαβίδι
- χώρος καθηκόντων S^2 για δέσμη laser



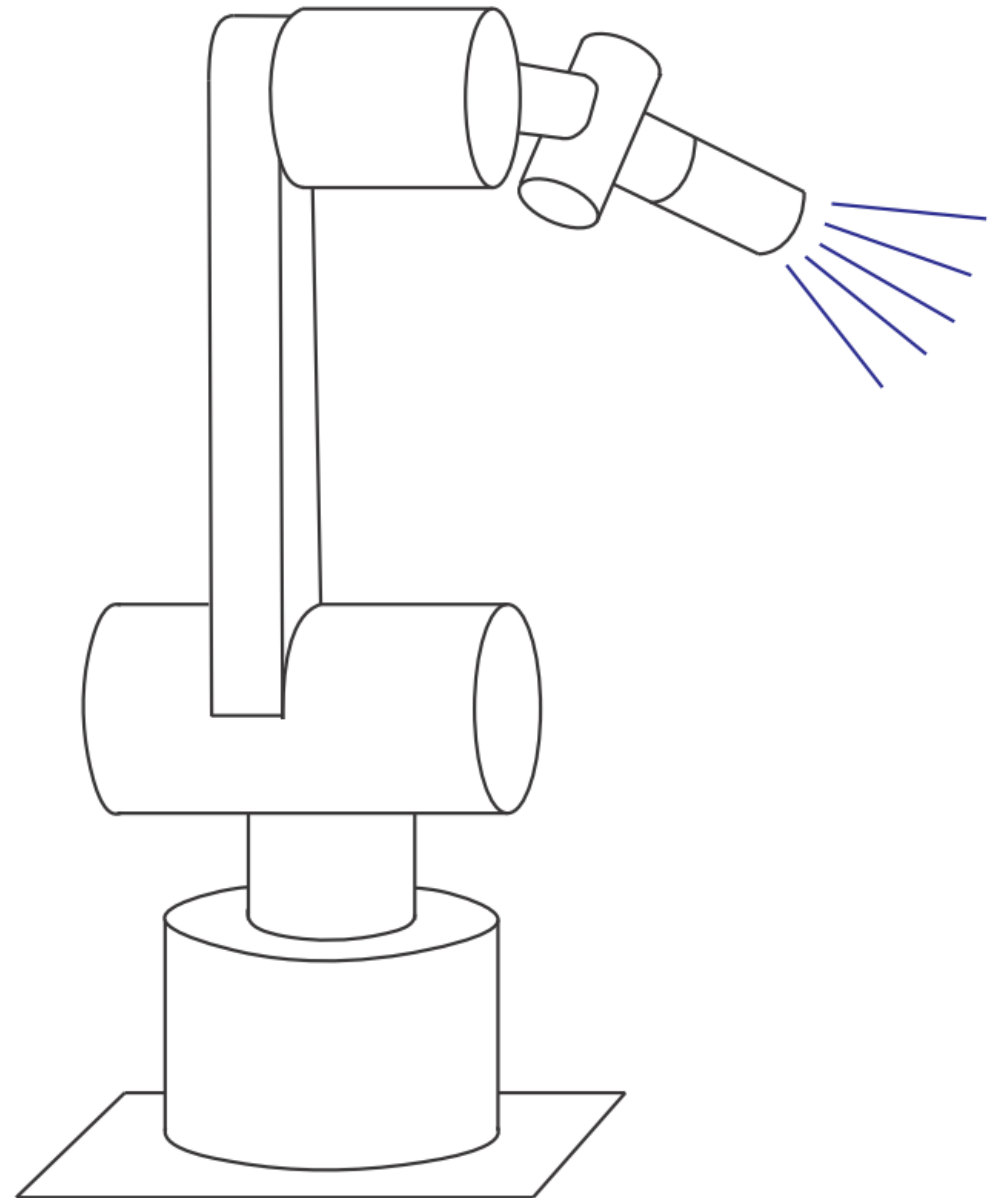
Παράδειγμα SCARA

- ανοικτή αλυσίδα RRRP
- καθήκοντα σύλληψης, τοποθέτησης, ...
- χώρος στάσεων $T^3 \times R^1$
- στάση ακροδέκτη (x, y, z, ϕ)
- χώρος εργασίας $R^3 \times S^1$
- χώρος καθηκόντων $R^3 \times S^1$ γενικά
- χώρος καθηκόντων $R^2 \times S^1$ για τραπέζι



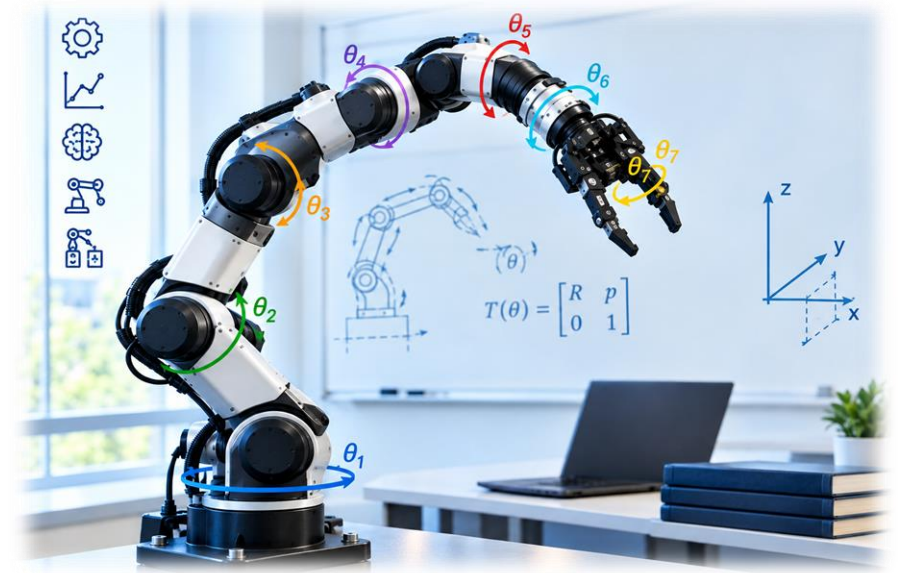
Παράδειγμα PUMA

- ανοικτή αλυσίδα $3R + 3R = 6R$
- καθήκοντα ψεκασμού, συγκόλλησης, ...
- χώρος στάσεων $T^3 \times S^2 \times S^1$
- στάση ακροδέκτη $(x, y, z, \varphi, \vartheta, \omega)$
- χώρος εργασίας $R^3 \times S^2 \times S^1$ γενικά
- χώρος εργασίας $R^3 \times S^2$ για βαφή
- χώρος εργασίας R^3 απλοποιημένος
- χώρος καθηκόντων $R^3 \times S^2$ συνήθως



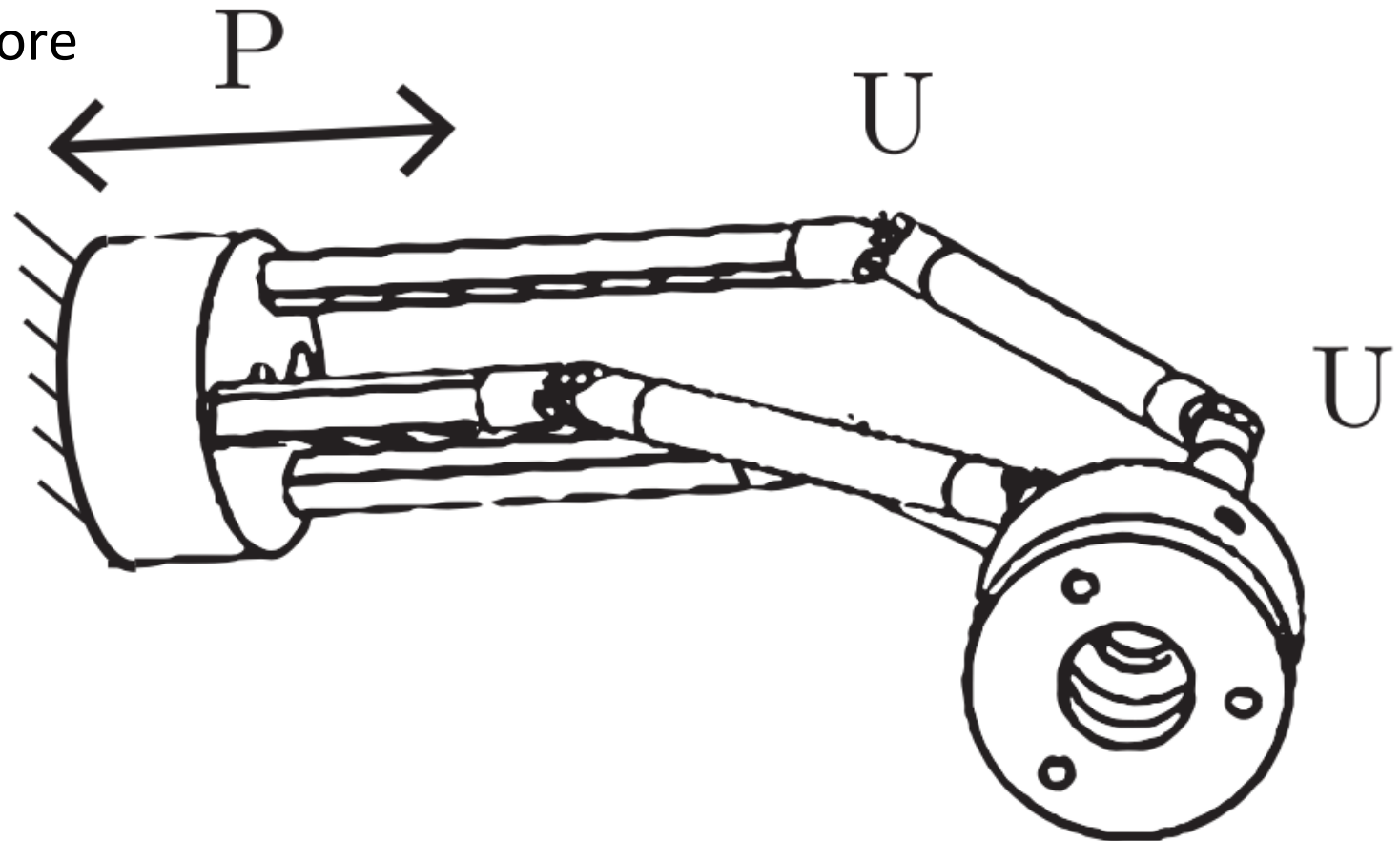
Ασκήσεις

Βαθμοί Ελευθερίας, Περιορισμοί
Χώροι Στάσεων, Καθηκόντων, Εργασίας



Άσκηση 1

- Πόσοι βαθμοί ελευθερίας;
 - πειραματικό χειρουργικό χειριστήριο
 - National University of Singapore
 - παράλληλος μηχανισμός
 - 3 ίδιοι άξονες PUU

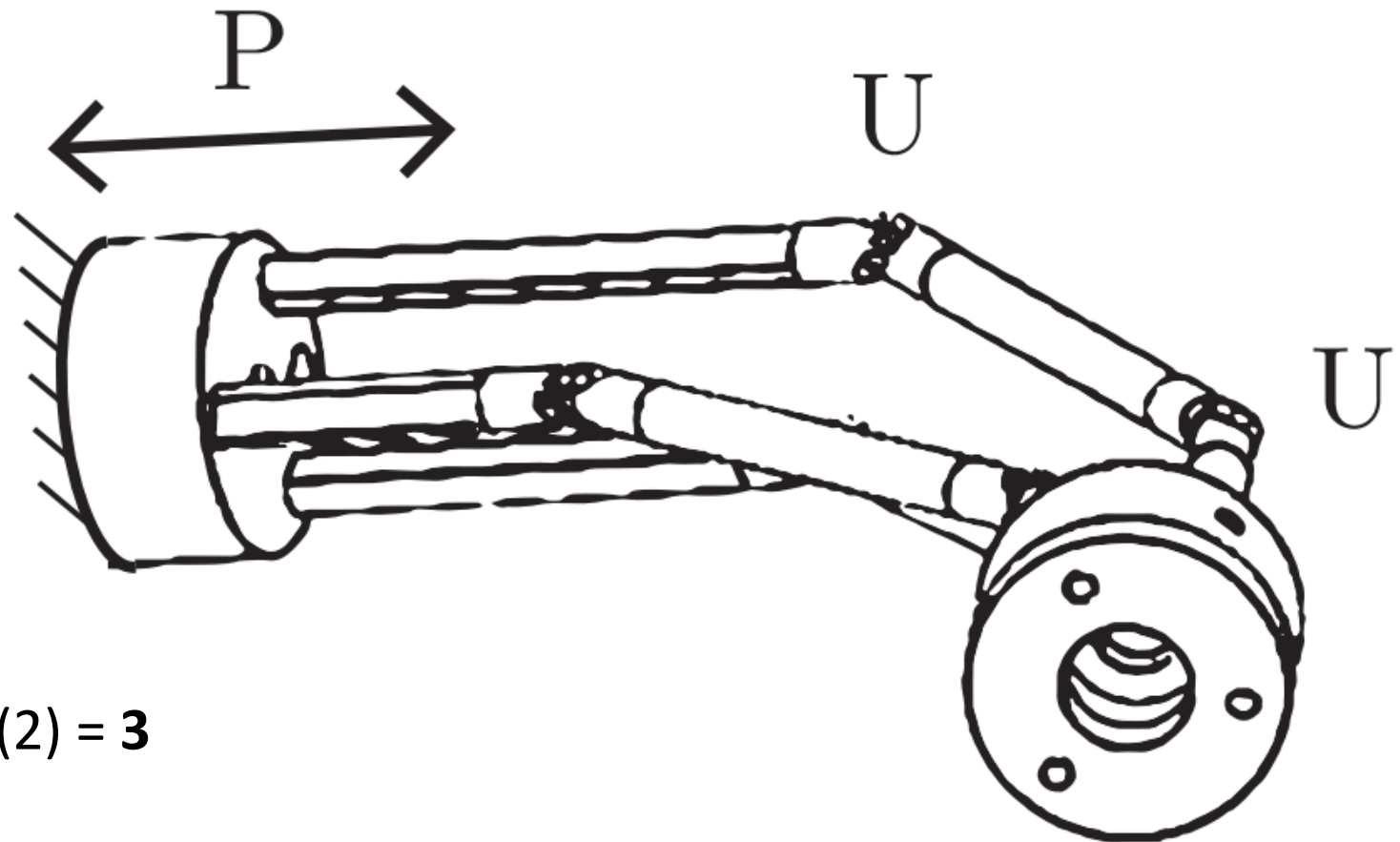


Άσκηση 1 - Λύση

$$\text{dof} = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i$$

- **Τύπος Grübler**

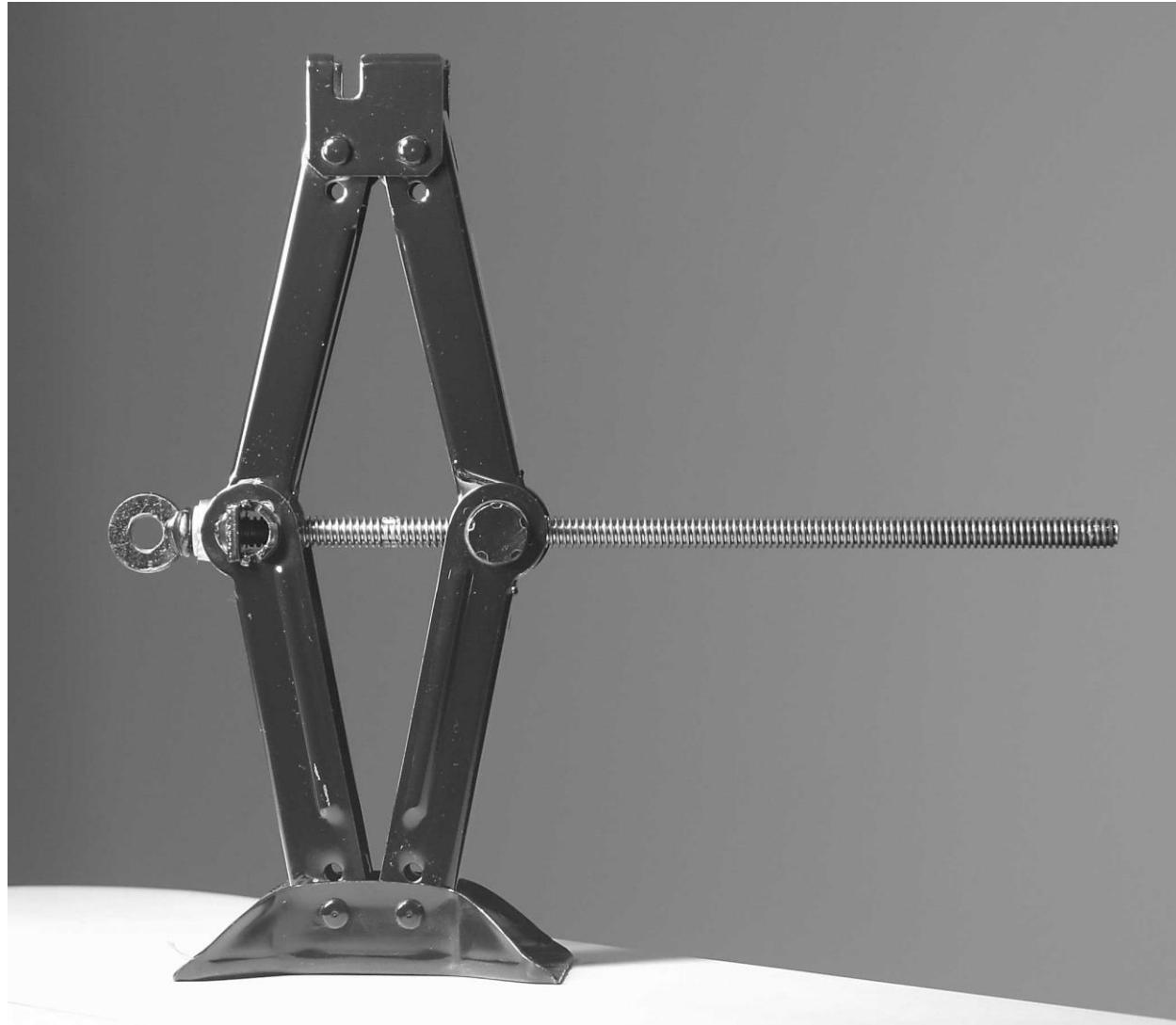
- $m = 6$
- $N = 8$
- $J = 9$
 - 3 P, 6 U
- P: 1 dof
- U: 2 dof



- $\text{dof} = 6(8 - 1 - 9) + 3(1) + 6(2) = 3$

Άσκηση 2

- **Πόσοι βαθμοί ελευθερίας;**
 - γρύλος ανύψωσης
 - δίνει μεγάλο μηχανικό πλεονέκτημα
 - ποια είναι η διαίσθησή μας;
 - συμφωνεί το αποτέλεσμα;
 - αν όχι, γιατί;

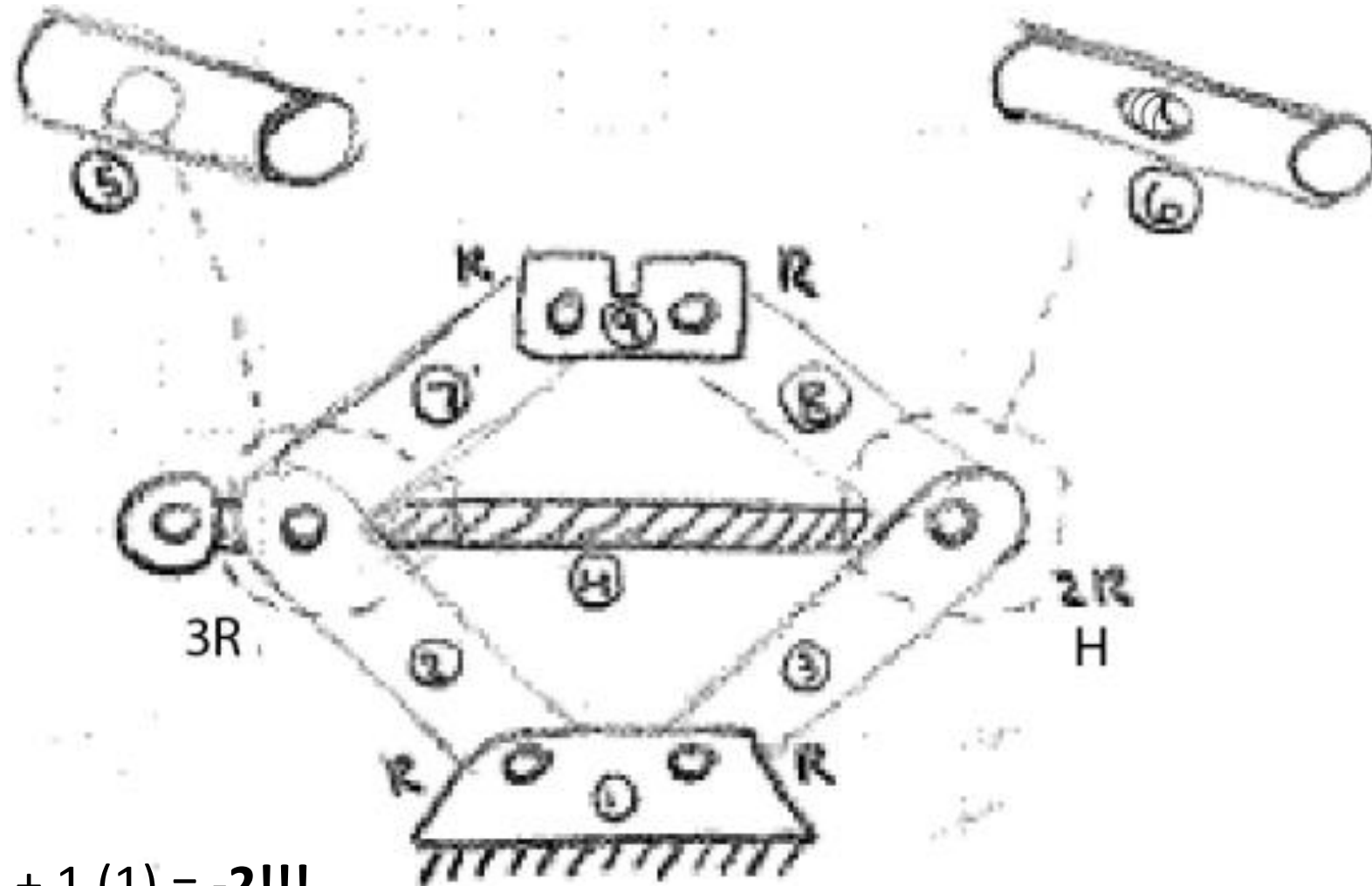


Άσκηση 2 - Λύση

$$\text{dof} = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i$$

- **Τύπος Grübler**

- $m = 6$ (στον χώρο!!!)
- $N = 9$
- $J = 10$
 - 9 R, 1 H
- R: 1 dof
- H: 1 dof



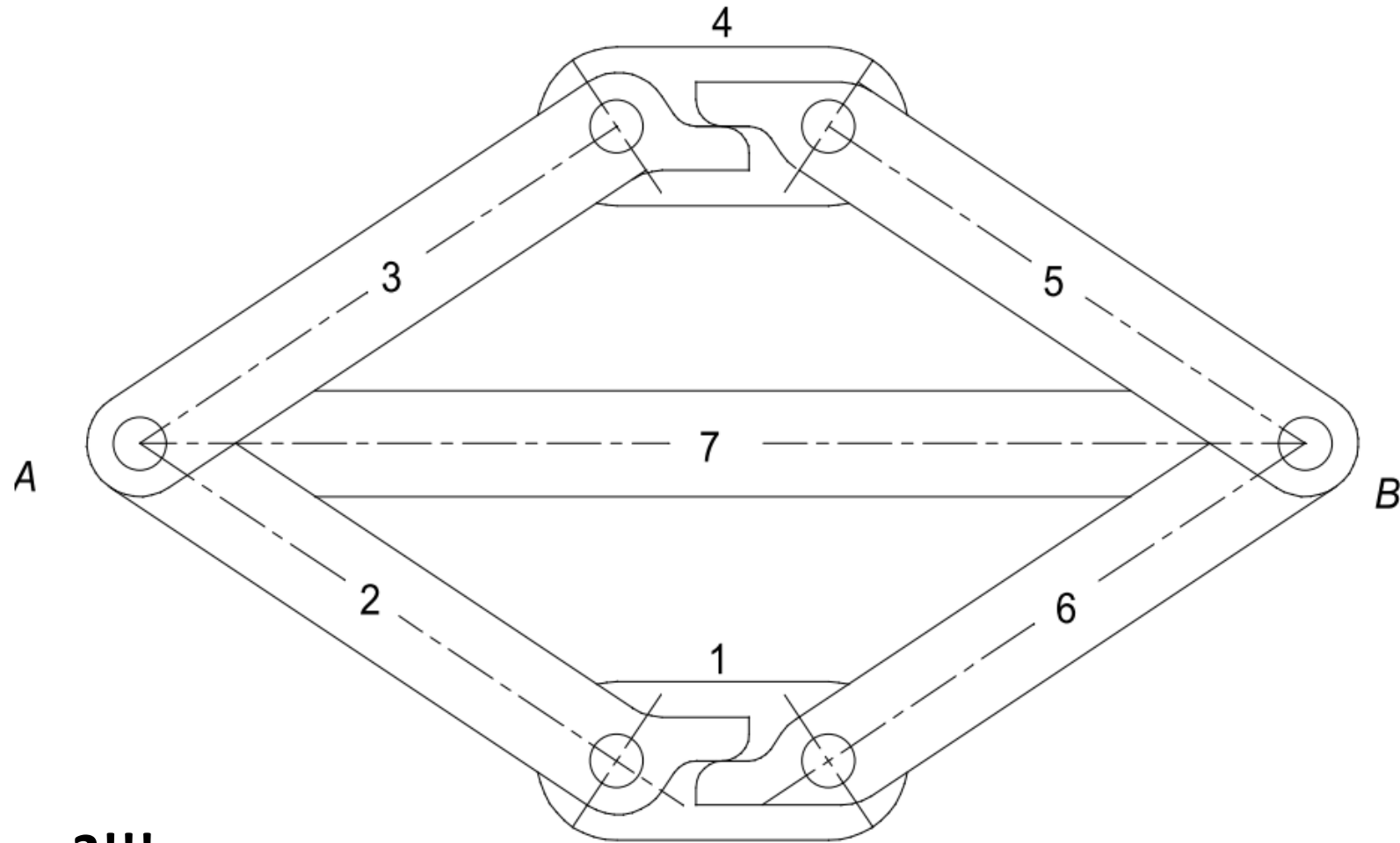
- $\text{dof} = 6(9 - 1 - 10) + 9(1) + 1(1) = -2!!!$
- λόγω συμμετρίας, μη ανεξάρτητοι περιορισμοί, ο τύπος δίνει μόνο κάτω όριο!

Άσκηση 2α - Λύση

$$\text{dof} = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i$$

- **Τύπος Grübler**

- $m = 3$ (στο επίπεδο)
- $N = 7$
- $J = 8$
 - 8 R
- R: 1 dof



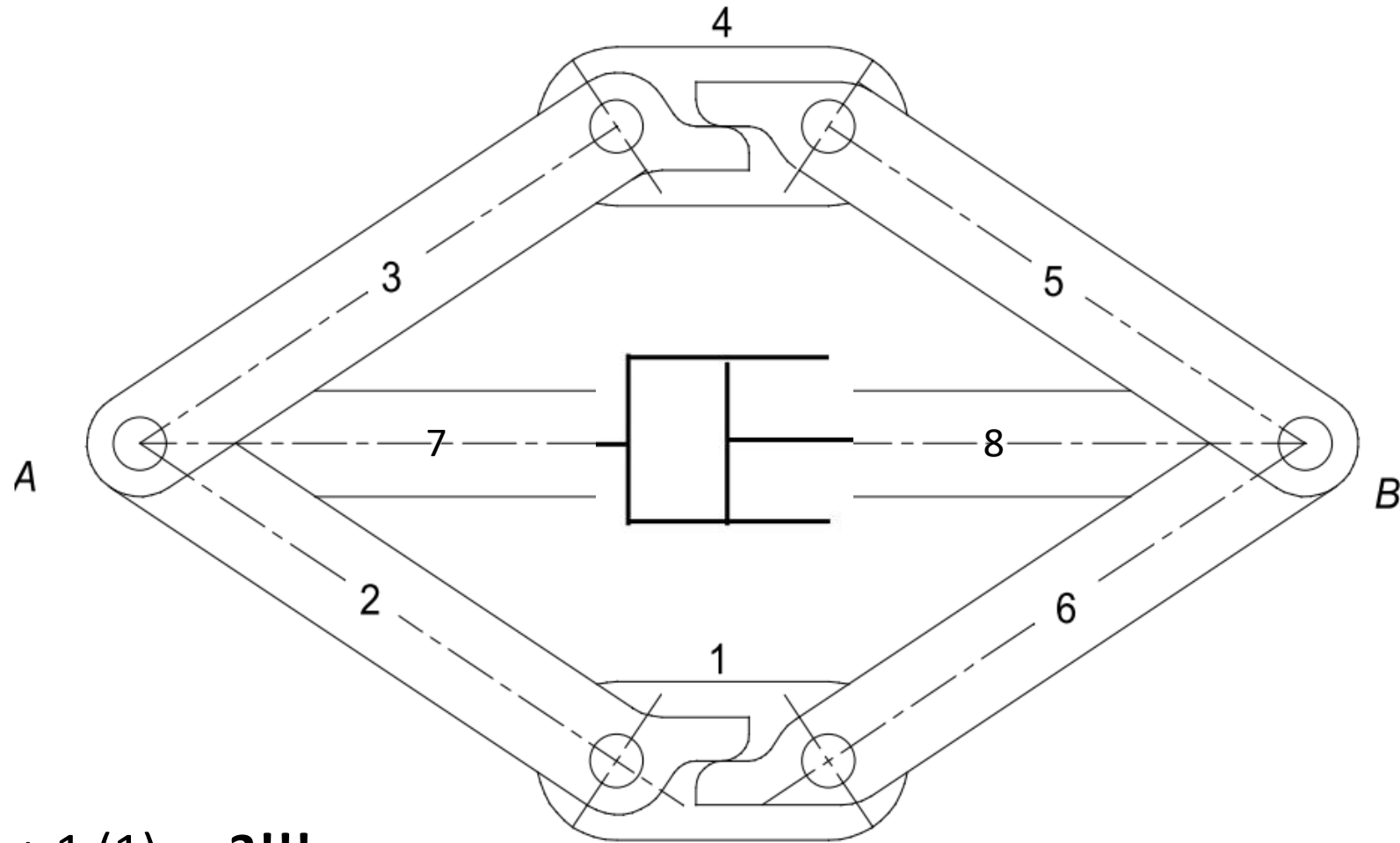
- $\text{dof} = 3(7 - 1 - 8) + 8(1) = -2!!!$
- λόγω συμμετρίας, μη ανεξάρτητοι περιορισμοί, ο τύπος δίνει μόνο κάτω όριο!

Άσκηση 2β - Λύση

$$\text{dof} = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i$$

- **Τύπος Grübler**

- $m = 3$ (στο επίπεδο)
- $N = 8$
- $J = 9$
 - 8 R, 1 P
- R: 1 dof
- P: 1 dof



- $\text{dof} = 3(8 - 1 - 9) + 8(1) + 1(1) = -3!!!$
- λόγω συμμετρίας, μη ανεξάρτητοι περιορισμοί, ο τύπος δίνει μόνο κάτω όριο!

Άσκηση 3

- **Χώρος στάσεων;**
 - μονόκυκλο σε ράβδο
 - κίνηση χωρίς ολίσθηση
 - μένει πάντα όρθιο
 - (α) 2D κίνηση στη διεύθυνση της ράβδου
 - (β) 3D κίνηση πάνω σε λεπτή ράβδο



Άσκηση 3 - Λύση

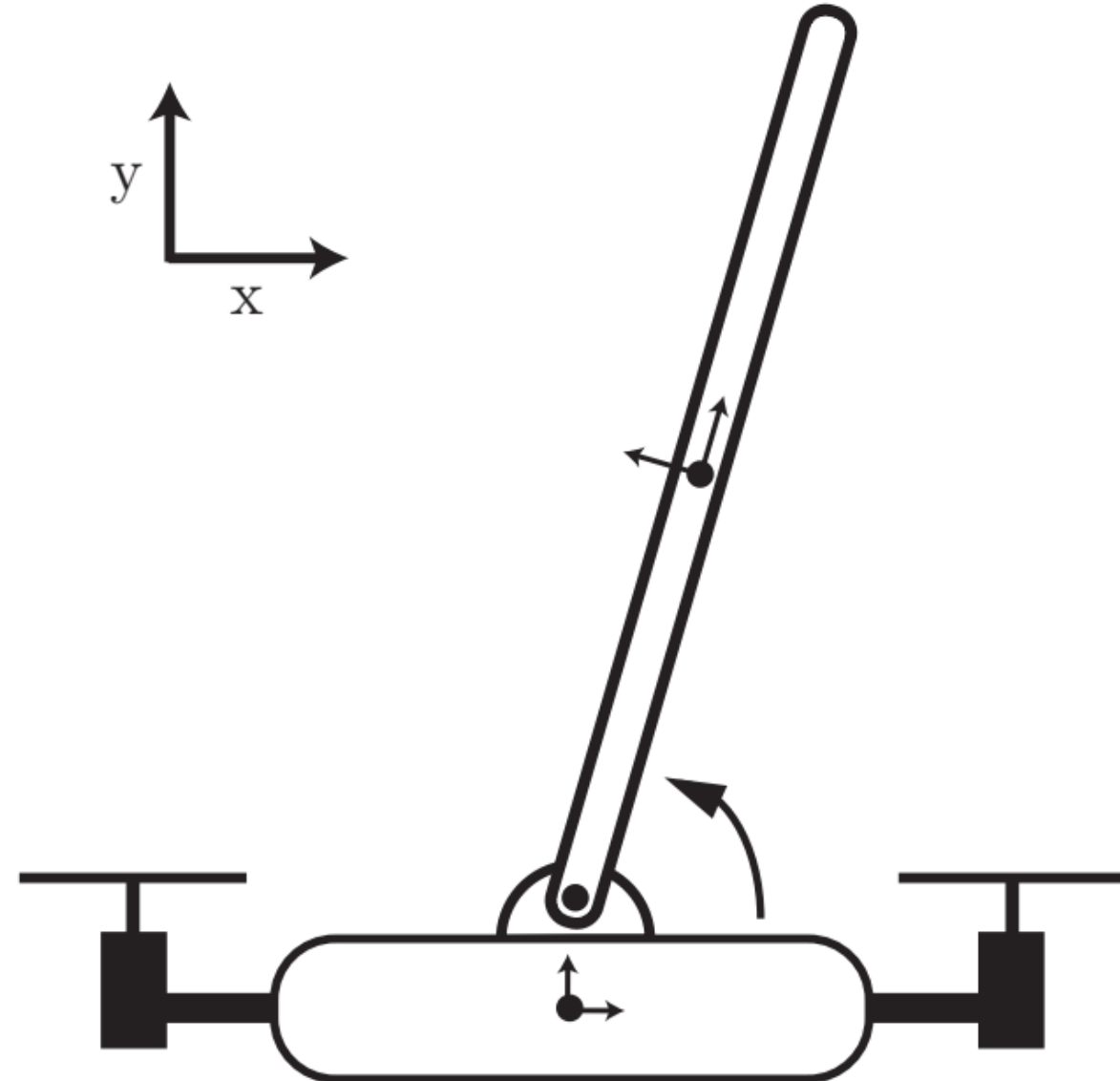
- **Χώρος στάσεων;**
 - μονόκυκλο σε ράβδο
 - κίνηση χωρίς ολίσθηση
 - μένει πάντα όρθιο
 - (α) 2D κίνηση στη διεύθυνση της ράβδου
 - **I : μόνο το σημείο επαφής στο εύρος της ράβδου**
 - **... ορίζει και την περιστροφή του τροχού**
 - (β) 3D κίνηση πάνω σε λεπτή ράβδο
 - **$I^2 \times T^2$: σημεία επαφής στα εύρη της ράβδου**
 - **... και προσανατολισμός του τροχού**
 - **... και περιστροφή του τροχού (σημείο επαφής)**



Άσκηση 4

- **Περιορισμοί;**
 - 2D quadcopter και ράβδος
 - ισορρόπηση της ράβδου σε όρθια θέση
 - μήκος ράβδου = $2l$
 - διαστάσεις copter $2w, 2h$
 - στάσεις ράβδου: (x_r, y_r, θ_r)
 - στάσεις copter: (x_q, y_q, θ_q)
 - (α) περιορισμοί στάσεων;
 - (β) περιορισμοί τύπου Pfaff για

$$q = [x_q \ y_q \ \theta_q \ x_r \ y_r \ \theta_r]^T$$



Άσκηση 4 – Λύση

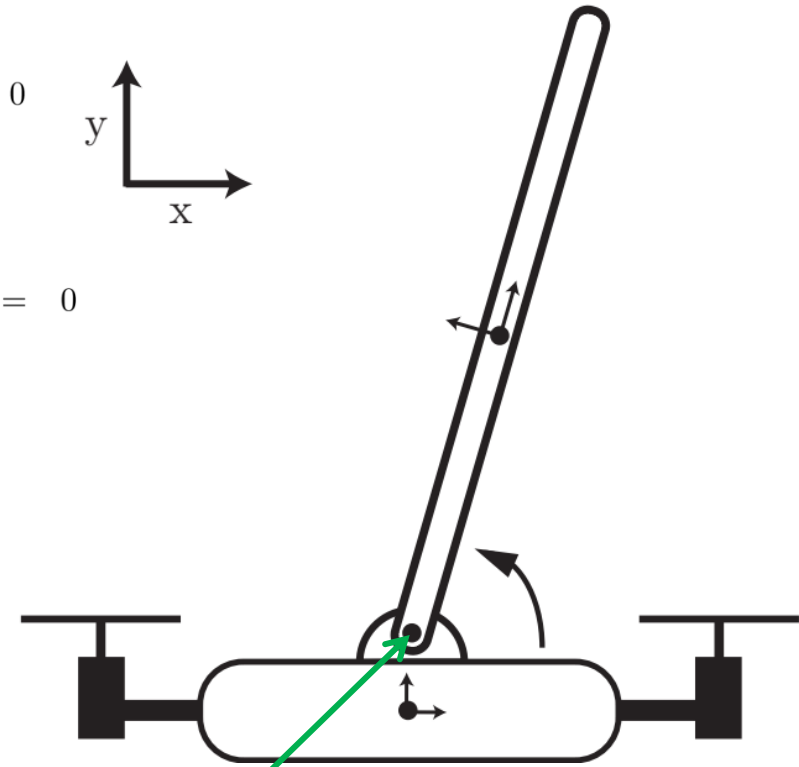
• Περιορισμοί;

- 2D quadcopter και ράβδος
- ισορρόπηση της ράβδου σε όρθια θέση
- μήκος ράβδου = $2l$
- διαστάσεις copter $2w, 2h$
- στάσεις ράβδου: (x_r, y_r, θ_r)
- στάσεις copter: (x_q, y_q, θ_q)
- (α) περιορισμοί στάσεων;
- (β) περιορισμοί τύπου Pfaff για

$$q = [x_q \ y_q \ \theta_q \ x_r \ y_r \ \theta_r]^T \rightarrow A(q)\dot{q} = 0, \text{ where } q = [x_q \ y_q \ \theta_q \ x_r \ y_r \ \theta_r]^T, \dot{q} = [\dot{x}_q \ \dot{y}_q \ \dot{\theta}_q \ \dot{x}_r \ \dot{y}_r \ \dot{\theta}_r]^T$$

$$g(\theta) = \begin{bmatrix} g_1(\theta_1, \dots, \theta_n) \\ \vdots \\ g_k(\theta_1, \dots, \theta_n) \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1}(\theta) & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial \theta_n}(\theta) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_k}{\partial \theta_1}(\theta) & \dots & \frac{\partial g_k}{\partial \theta_n}(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \vdots \\ \dot{\theta}_n \end{bmatrix} = 0$$

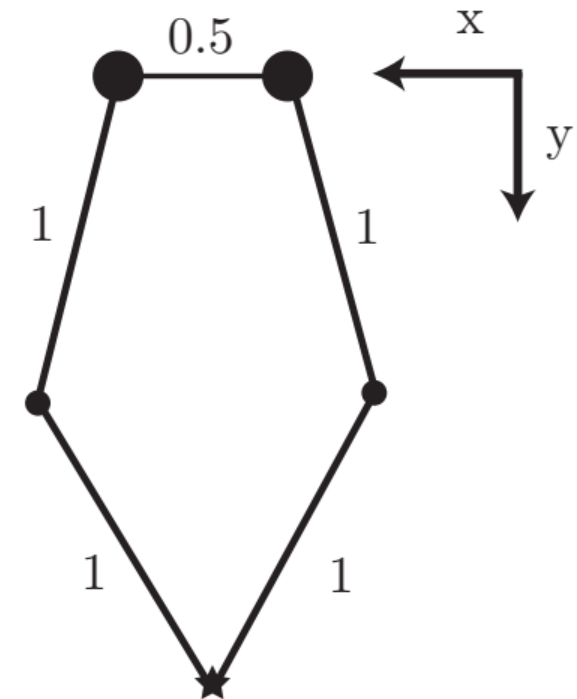
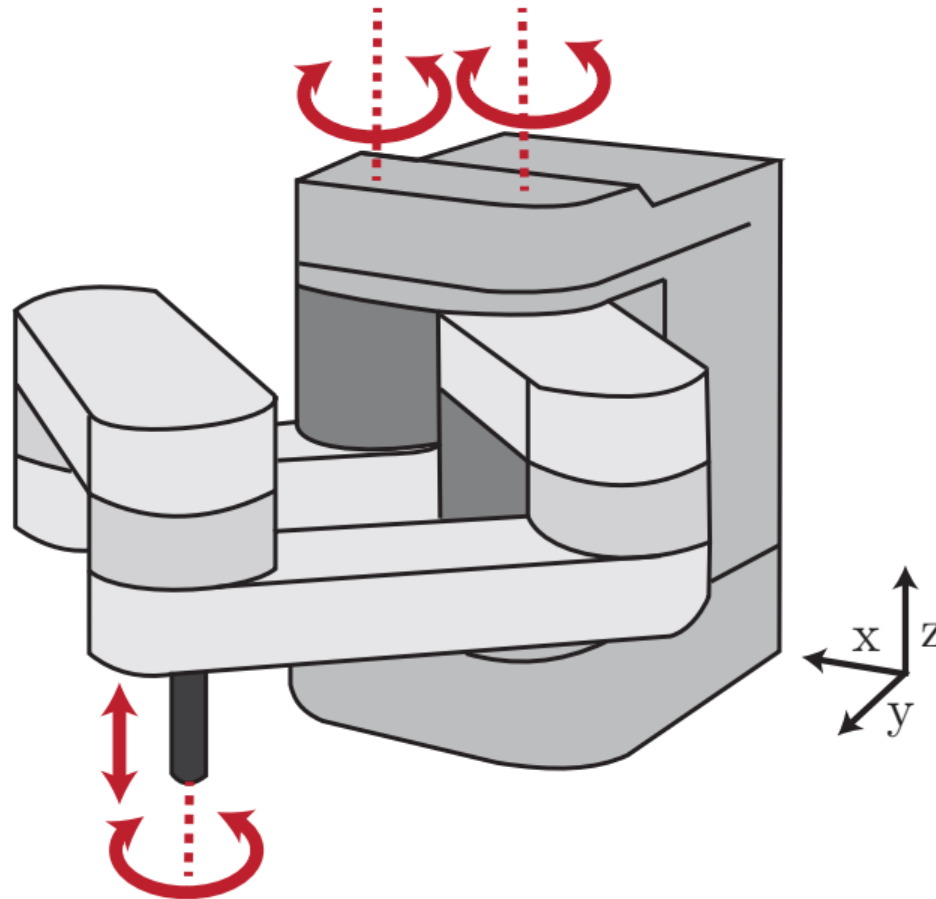


$$\begin{aligned} x_r - l \cos(\theta_r) &= x_q - h \sin(\theta_q) \\ y_r - l \sin(\theta_r) &= y_q + h \cos(\theta_q). \end{aligned}$$

$$A(q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -h \cos(\theta_q) & -1 & 0 & -l \sin(\theta_r) \\ 0 & 1 & -h \sin(\theta_q) & 0 & -1 & l \cos(\theta_r) \end{bmatrix}$$

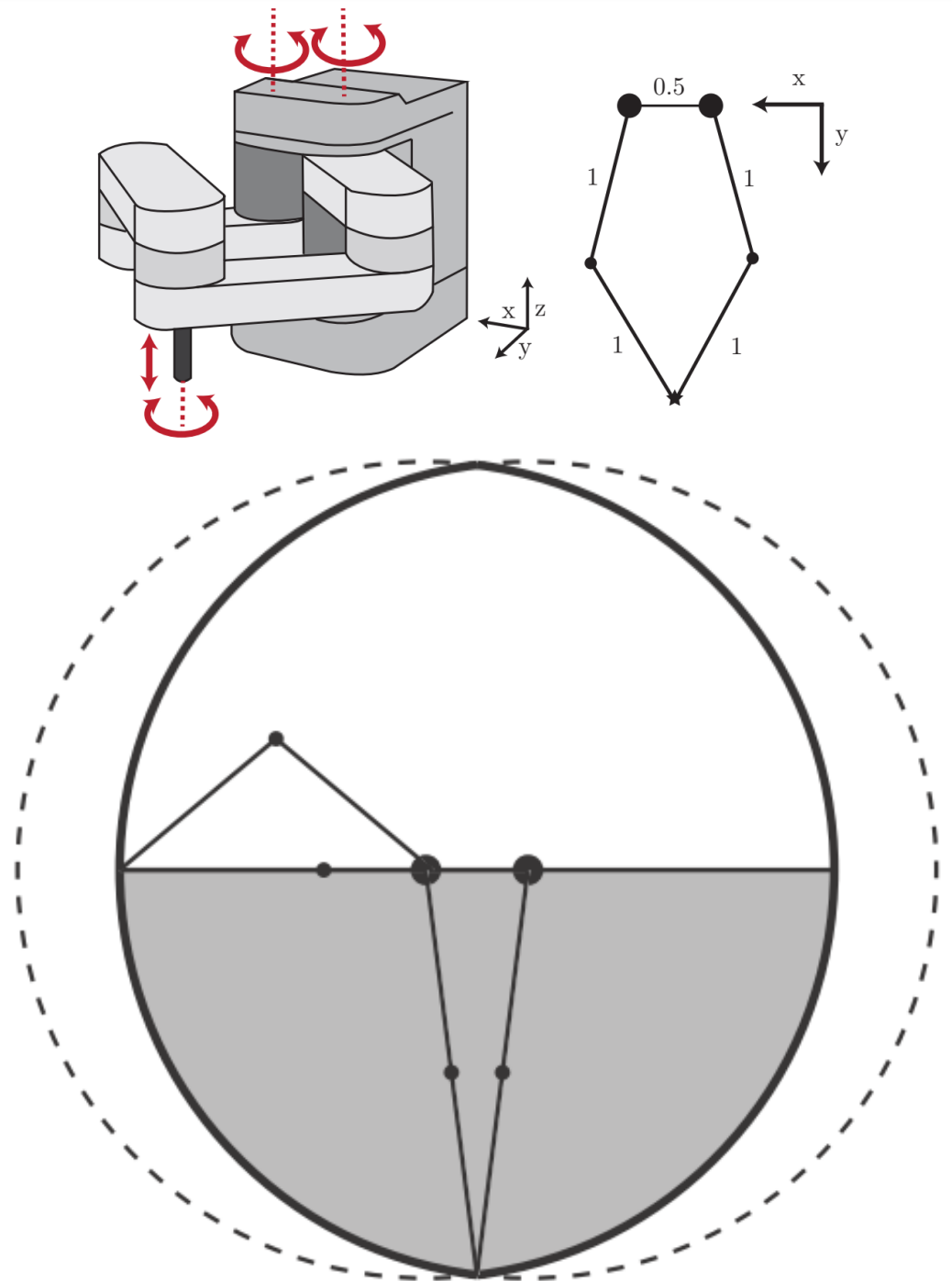
Άσκηση 5

- Χώρος εργασίας;
 - parallel SCARA robot
 - απόσταση βάσεων = 0,5m
 - μήκος συνδέσμων = 1m
 - χωρίς συγκρούσεις
 - ακροδέκτης $y > 0$



Άσκηση 5 – Λύση

- **Χώρος εργασίας;**
 - parallel SCARA robot
 - απόσταση βάσεων = 0,5m
 - μήκος συνδέσμων = 1m
 - χωρίς συγκρούσεις
 - ακροδέκτης $y > 0$
 - η τομή δύο κυκλικών περιοχών
 - μόνο το μπροστά μέρος ($y > 0$)



Ευχαριστίες

- Ελευθέριος Δοϊτσίδης (Αν. Καθ. Σχολής ΜΠΔ Πολυτεχνείου Κρήτης)
- Σάββας Πιπερίδης (ΕΔΙΠ Σχολής ΜΠΔ Πολυτεχνείου Κρήτης)
- Νικόλαος Τσουρβελούδης (Καθ. Σχολής ΜΠΔ Πολυτεχνείου Κρήτης)
- Νικόλαος Βλάσσης (πρ. Καθ. Σχολής ΜΠΔ Πολυτεχνείου Κρήτης)
- Κωνσταντίνος Κυριακόπουλος (Ομ. Καθ. Σχολής ΜΜ, ΕΜΠ)
- Αντώνιος Τζες (πρ. Καθ. Τμήματος ΗΜΤΥ Πανεπιστημίου Πατρών)
- Γεώργιος Φουσκιτάκης (Αν. Καθ. Τμήματος ΗΜ, ΕΛΜΕΠΑ)