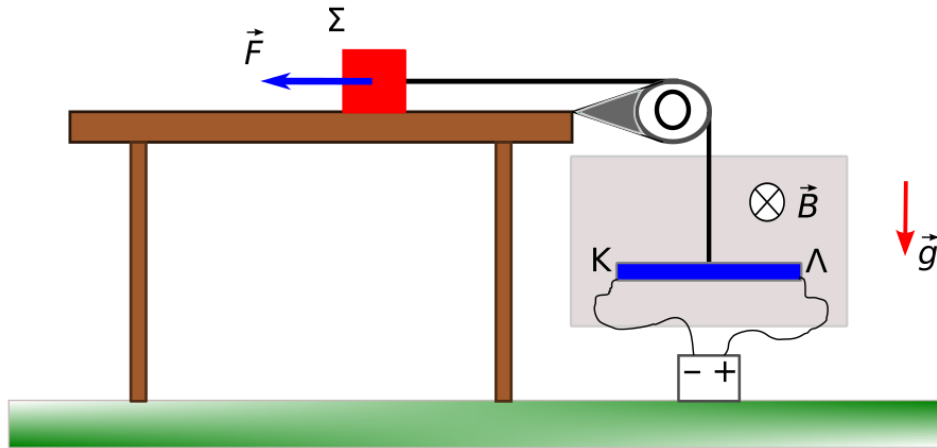


Ισορροπία ρευματοφόρου αγωγού

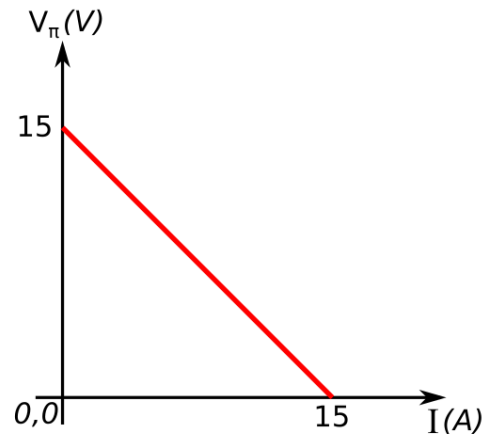
Στο εργαστήριο Φυσικής μία ομάδα μαθητών έχει δημιουργήσει τη διάταξη που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, για να μελετήσει φαινόμενα ισορροπίας.



Στον οριζόντιο πάγκο του εργαστηρίου, τοποθέτησαν ένα σώμα Σ μάζας $m_1 = 500g$ το οποίο παρουσιάζει συντελεστή οριακής τριβής $\mu_s = 0,2$ με τον πάγκο. Με τη βοήθεια ενός αβαρούς και μη εκτατού νήματος το οποίο πέρασαν από μία τροχαλία (αμελητέας μάζας) ισορροπούν ακίνητο και οριζόντιο τον ευθύγραμμο αγωγό ΚΛ, αντίστασης $R_{K\Lambda} = 2\Omega$, μάζας $m_2 = 800g$ και μήκους $\ell = 30cm$.

Τα άκρα του αγωγού τα σύνδεσαν με πηγή συνεχούς τάσης, για την οποία είχαν κατασκευάσει σε προηγούμενο πείραμα την χαρακτηριστική καμπύλη του διπλανού σχήματος. Η πολικότητα της πηγής φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Ο αγωγός ΚΛ είναι τοποθετημένος ολόκληρος εντός ενός οριζόντιου ομογενούς μαγνητικού πεδίου με μέτρο έντασης $B = 0,6T$. Η φορά των δυναμικών γραμμών του πεδίου σημειώνεται στο σχήμα και είναι από τον αναγνώστη προς τη σελίδα.



- A. Να προσδιορίσετε την ηλεκτρεγερτική δύναμη και την εσωτερική αντίσταση της πηγής.
- B. Να βρείτε τη δύναμη Laplace (μέτρο και κατεύθυνση) που δέχεται ο αγωγός ΚΛ από το ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Για να ισορροπήσουν το σύστημα οι μαθητές, χρειάστηκαν να ασκήσουν μία οριζόντια δύναμη $\vec{F}$ στο σώμα Σ προς τα αριστερά, όπως φαίνεται στο σχήμα.

- Γ. Να προσδιορίσετε τα όρια του μέτρου της δύναμης $\vec{F}$ για τα οποία το σύστημα ισορροπεί.
- Δ. Να κατασκευάσετε τη γραφική παράσταση της αλγεβρικής τιμής της τριβής που ασκείται στο σώμα Σ σε συνάρτηση με τη δύναμη F , όταν το σύστημα ισορροπεί. Να θεωρήσετε θετική φορά προς τα αριστερά.

Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Λύση

Α. Η χαρακτηριστική καμπύλη μίας πηγής αποτελεί γραφική παράσταση της σχέσης (συνάρτηση της πολικής τάσης με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την πηγή) $V_{\pi} = E - Ir$. Από τη γραφική παράσταση αντιλαμβανόμαστε ότι όταν η πηγή δεν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, τότε η τάση στους πόλους της ισούται με 15 V . Επομένως, η ΗΕΔ της πηγής είναι ίση με

$$\boxed{E = 15 \text{ V}}$$

Από την χαρακτηριστική καμπύλη επίσης βλέπουμε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με 15 A . Επομένως

$$I_{\beta} = \frac{E}{r} \Rightarrow r = \frac{E}{I_{\beta}} \Rightarrow \boxed{r = 1 \Omega}$$

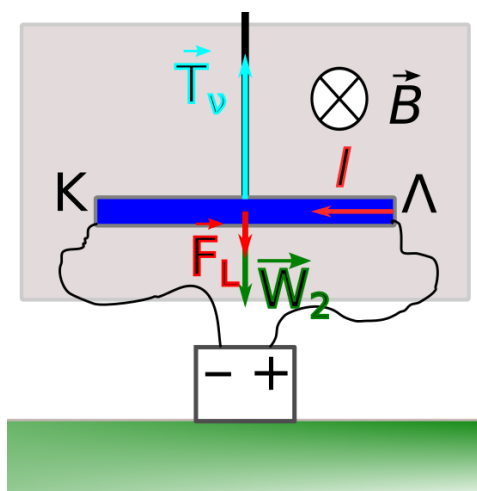
Β. Η (συμβατική) φορά του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό ΚΛ είναι από το Λ προς το Κ, με βάση την πολικότητα της πηγής. Η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει σύμφωνα με το νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα, είναι

$$I = \frac{E}{R_{\text{ολ}}} = \frac{E}{R_{\text{ΚΛ}} + r} \Rightarrow I = \frac{15}{2 + 1} \text{ A} \Rightarrow \Rightarrow I = 5 \text{ A}$$

Άρα, το μέτρο της δύναμης Laplace που του ασκείται ισούται με

$$F_L = BI\ell \Rightarrow F_L = 0,6 \cdot 5 \cdot 0,3 \text{ N} \Rightarrow \boxed{F_L = 0,9 \text{ N}}$$

Σύμφωνα με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού, η δύναμη αυτή είναι κατακόρυφη (κάθετη στον αγωγό) και με φορά προς τα κάτω.



Γ. Στον αγωγό ασκείται προς τα κάτω το βάρος του και η δύναμη Laplace. Έτσι, λόγω της ισορροπίας του, το μέτρο της τάσης του νήματος θα ισούται με:

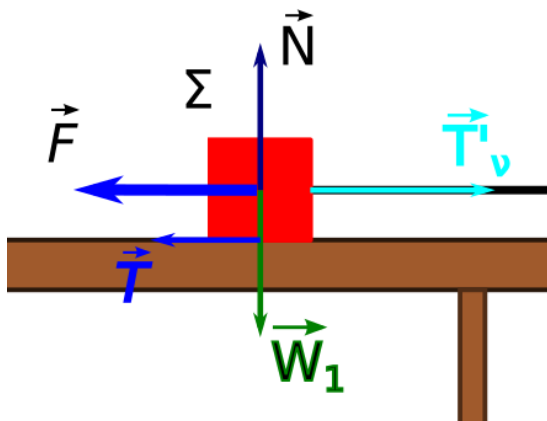
$$\begin{aligned}\Sigma F = 0 &\Rightarrow T_v = W_2 + F_L = m_2 g + F_L \Rightarrow \\ &\Rightarrow T_v = 0,8 \cdot 10 N + 0,9 N = 8,9 N\end{aligned}$$

Επειδή το νήμα είναι αβαρές, η τάση του νήματος που ασκείται στο σώμα Σ θα έχει επίσης το ίδιο μέτρο. Δηλαδή

$$T'_v = T_v = 8,9 N$$

Το μέτρο της οριακής τριβής που ασκείται από τον πάγκο του εργαστηρίου στο σώμα Σ ισούται με

$$\begin{aligned}T_{op} = \mu_s N \xrightarrow{\Sigma F_y = 0} T_{op} = \mu_s m_1 g &\Rightarrow \\ \Rightarrow T_{op} = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 10 N &\Rightarrow \\ \Rightarrow T_{op} = 1 N\end{aligned}$$



Η ελάχιστη δύναμη που απαιτείται για την ισορροπία του Σ (άρα και του συστήματος) προκύπτει όταν το σώμα Σ τείνει να κινηθεί προς τα δεξιά ($T'_v > F$) και η στατική τριβή έχει λάβει την μέγιστη της τιμή με φορά προς τα αριστερά. Επομένως, από την ισορροπία του Σ σε αυτή την περίπτωση έχουμε:

$$\begin{aligned}\Sigma F = 0 &\Rightarrow F_{min} + T_{op} = T'_v \Rightarrow F_{min} = T'_v - T_{op} \Rightarrow \\ &\Rightarrow F_{min} = 8,9 N - 1 N = 7,9 N\end{aligned}$$

Αντίστοιχα, η μέγιστη δύναμη που απαιτείται για την ισορροπία του Σ (άρα και του συστήματος) προκύπτει όταν το σώμα Σ τείνει να κινηθεί προς τα αριστερά ($T'_v < F$) και η στατική τριβή έχει λάβει την μέγιστη της τιμή με φορά προς τα δεξιά. Επομένως, από την ισορροπία του Σ σε αυτή την περίπτωση έχουμε:

$$\begin{aligned}\Sigma F = 0 &\Rightarrow F_{max} = T'_v + T_{op} \Rightarrow F_{max} = 8,9 N + 1 N \Rightarrow \\ &\Rightarrow F_{max} = 9,9 N\end{aligned}$$

Οπότε, για να ισορροπεί το σύστημα πρέπει

$$\boxed{7,9 N \leq F \leq 9,9 N}$$

Όταν $F = 7,9 N$ ή $F = 9,9 N$ τότε το σύστημα ισορροπεί οριακά.

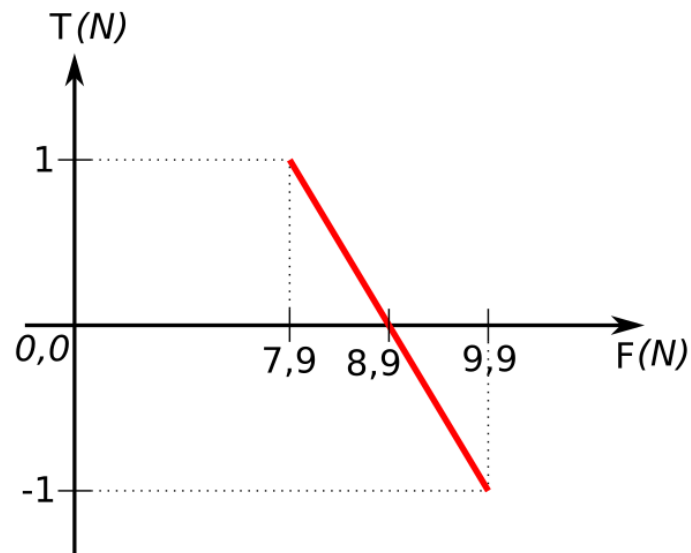
Όταν $7,9 N < F < 9,9 N$ τότε η ασκούμενη τριβή στο Σ είναι στατική (μικρότερη της οριακής τριβής).

Δ. Με θετική φορά προς τα αριστερά και κάνοντας χρήση αλγεβρικών τιμών, από την ισορροπία του Σ έχουμε:

$$\begin{aligned}\Sigma F = 0 &\Rightarrow F + T + T'_y = 0 \Rightarrow F + T - 8,9 = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \boxed{T = 8,9 - F} \text{ (S.I.)}\end{aligned}$$

όπου $7,9N \leq F \leq 9,9N$.

Η γραφική παράσταση της παραπάνω γραμμικής σχέσης φαίνεται στο επόμενο σχήμα



Μίλτος Καδιτζόγλου
miltoskadiltzoglou@gmail.com