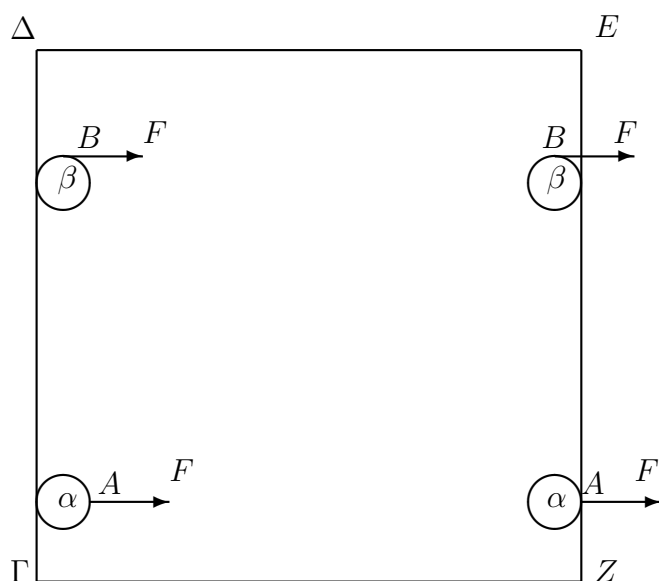


## Δεύτερο Θέμα Φυσικής - Εισήγηση Προς της ΕΕΦ

### A) Το πρόβλημα των Μαθητών

Θα δικαιολογήσουμε με ένα απλό αντιπαράδειγμα γιατί το δεύτερο ερώτημα στο δεύτερο θέμα Φυσικής στις εξετάσεις του 2005 έχει πρόβλημα με βάση τη θεωρία του ΣΧΟΛΙΚΟΥ βιβλίου.

Έστω λοιπόν ότι το μήκος του τραπέζιού είναι τέτοιο ώστε και ο δεύτερος δίσκος φθάνει στην άκρη του με το σημείο B ακριβώς πάνω από το κέντρο μάζας του όπως ακριβώς και στην αρχική θέση (Βλέπε σχήμα).



Ας ξεκινήσουμε τη λύση από το Β Νόμο του Newton.

$$F = ma_{cm} \iff a_{cm} = \frac{F}{m} \quad (1)$$

Η επιτάχυνση αυτή θα είναι κοινή και για τους δύο δίσκους. Ο χρόνος ο οποίος ο κάθε δίσκος χρειάζεται για να διανύσει το συγκεκριμένο διάστημα θα είναι

$$s = \frac{at^2}{2} \iff t = \sqrt{\frac{2s}{a}} \quad (2)$$

Και τελικά η ταχύτητα και των δύο δίσκων θα είναι (κοινή ταχύτητα)

$$v = a_{cm}t = \sqrt{2as} \quad (3)$$

Η κινητική ενέργεια λόγω μεταφοράς την οποία οι δύο δίσκοι θα αποκτήσουν καθώς έχουν κοινή ταχύτητα θα είναι:

$$K_{met} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m2as}{2} = mas = Fs \quad (4)$$

‘Όμως το σχολικό βιβλίο αναφέρει ρητά (στη σελίδα 113) ‘ Αν σε ένα ΕΛΕΥΘΕΡΟ σώμα ασκηθεί δύναμη που ο φορέας της διέρχεται από το κέντρο μάζας του το σώμα δεν περιστρέφεται (θα εκτελέσει μεταφορική κίνηση). Αν όμως ο φορέας της δύναμης δεν διέρχεται από το κέντρο μάζας του, το σώμα μαζί 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 τη δύναμη και το κέντρο μάζας του σώματος ‘. Άρα ο δεύτερος δίσκος θα εκτελέσει και περιστροφική κίνηση. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να έχει και μία ενέργεια κινητική λόγω περιστροφής η οποία θα δίνεται από:

$$K_{per} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (5)$$

Κατά συνέπεια στην περίπτωση του δεύτερου δίσκου το έργο της δύναμης δεν θα είναι πια

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs \quad (6)$$

αλλά μεγαλύτερο. Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε κατάφορη αντίθεση με τον ορισμό του έργου που τα παιδιά έχουν μάθει και που είναι

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fscos(\theta) \leq Fs \quad (7)$$

Με αυτό το απλό αντιπαράδειγμα μπορούμε να αναδείξουμε σε όλο του το βάθος το πρόβλημα που είχε το συγκεκριμένο θέμα για τους μαθητές της Γ Λυκείου. Οι δύο τρόποι με τους οποίους ο μαθητής έμαθε κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς να λύνει τα προβλήματα φυσικής είναι εντελώς ασύμβατοι και καταλήγουν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Θα πρέπει λοιπόν ο μαθητής κατά την διάρκεια της εξέτασης η οποία κρίνει το μέλλον του καθώς η Φυσική Κατεύθυνσης είναι μάθημα αυξημένης βαρύτητας να πιθανολογήσει ποιος από τους δύο τρόπους μπορεί να είναι αυτός που η επιτροπή των εξετάσεων θέλει και με βάση αυτό να απαντήσει. Γιατί το να κρίνει ποιά από τις δύο μεθόδους είναι η σωστή είναι αδύνατον γιατί δεν έχει τις απαιτούμενες γνώσεις. Ο μαθητής έχει διδαχθεί στη Α Λυκείου ότι ο Β νόμος του Newton βγαίνει από τη σχέση

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \stackrel{m=const}{=} ma \quad (8)$$

όπου  $p$  η ορμή του σώματος. Πολλοί μάλιστα συνάδελφοι στο σχολείο τους στην προσπάθεια τους να βοηθήσουν τους μαθητές να καταλάβουν τη διαφορά έχουν αναφέρει και το κλασικό παράδειγμα με το φορτηγό με την ανοιχτή καρότσα στη βροχή. Κατά συνέπεια οι μαθητές γνωρίζουν ότι ο Β νόμος του Newton δεν ισχύει πάντα αλλά υπό προϋποθέσεις. Όταν μάλιστα στη φυσική γενικής παιδείας διδάχθηκαν πως η μάζα δεν είναι τίποτα άλλο παρα ενέργεια συμπυκνωμένη αυτό ενίσχυσε την πολύ σωστή αντίληψη τους ότι οι νόμοι του Newton ισχύουν κάτω από προϋποθέσεις. Από την άλλη πλευρά ξέρουν ότι η διατήρηση της ενέργειας ισχύει ΠΑΝΤΑ, χωρίς καμία προϋπόθεση. Αυτή η αντίληψη των μαθητών η οποία είναι ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ απόλυτα σωστή τους οδήγησε στο άτοπο γιατί πολύ απλά δεν μπορούσαν να καταλάβουν τι κίνηση κάνει το σώμα όπως θα αναφέρω αναλυτικά παρακάτω.

## **B) Επιστημονική Άρση του προβλήματος**

Από το βιβλίο των Κ. Αλεξόπουλου και Δ. Μαρίνου με τίτλο "Γενική Φυσική: Τόμος Πρώτος - Μηχανική" σελίδα 92 αντιγράφω:

"1. Έστω ότι από την αναγωγή των δυνάμεων ως προς το κέντρο μάζας βρίσκουμε ότι υπάρχει μόνο συνισταμένη δύναμη (δηλ.  $M = 0$  (Μ =ροπή) ). Σε αυτή την περίπτωση το σώμα θα εκτελέσει μόνο μεταφορική κίνηση.

2. Αν από την αναγωγή των δυνάμεων ως προς το κέντρο μάζας προκύψει μόνο συνισταμένη ροπή (δηλ.  $F = 0$  ) το σώμα θα εκτελέσει στροφορική κίνηση γύρω από άξονα που περνάει από το κέντρο μάζας

3. Αν από την αναγωγή των δυνάμεων προκύψει και συνισταμένη δύναμη αλλά και συνισταμένη ροπή το σώμα θα εκτελέσει σύνθετη κίνηση που μπορεί να αναλυθεί σε μεταφορική κίνηση του σώματος και σε στροφορική του κίνηση γύρω από το κέντρο μάζας."

Με βάση την αναφορά αυτή θα πρέπει να κάνουμε αναγωγή στο κέντρο μάζας. Μεταφέρουμε δηλαδή την  $\Phi$  στο κέντρο μάζας και προσθέτουμε και μία αντίθετη της. Άρα θα έχουμε ότι

$$\begin{aligned} F &= ma_{cm} \neq 0 \\ FR &= I\alpha \neq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

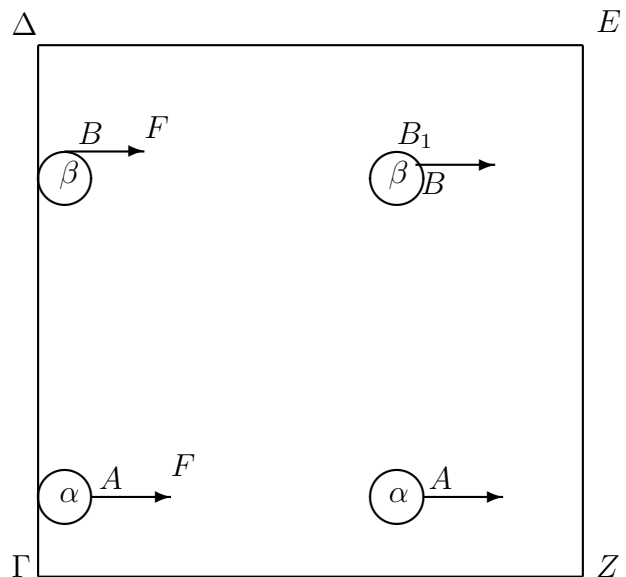
όπου  $\alpha$  η γωνιακή επιτάχυνση της κίνησης. Άρα σε κάθε περίπτωση το σύστημα εκτελεί περιστροφική κίνηση.

*Περίπτωση Πρώτη: Η δύναμη να εξασκείται πάντα στο σημείο B (δηλαδή μέσω ενός σκοινιού δεμένου στο σημείο B).*

Αυτή είναι η περίπτωση που αφήνει να εννοηθεί η εκφώνηση της άσκησης καθώς αναφέρει ότι η δύναμη εξασκείται πάντα στο σημείο B και όχι στη θέση B. Καθώς το σώμα κινείται η δύναμη  $F$  παραμένει πάντα παράλληλη στην ταχύτητα. Όπως όμως το σώμα περιστρέφεται η ροπή της αλλάζει και όταν το σημείο B περάσει από τον άξονα της ταχύτητας του κέντρου μάζας η ροπή μηδενίζεται. Στη συνέχεια η ροπή αρχίζει να αυξάνει με αποτέλεσμα την επιβράδυνση της στροφορικής κίνησης του συστήματος μέχρι τη χρονική στιγμή στην οποία το η ακτίνα που συνδέει το B με την ταχύτητα του κέντρου μάζας θα σχηματίσουν γωνία 90 μοιρών οπότε και η στροφορική κίνηση θα σταματήσει.

Η κίνηση που περιγράφω παραπάνω είναι ένα ΣΤΡΟΦΙΚΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ το οποίο δεν ανήκει στην  $\Upsilon\Lambda\text{H}$  του Λυκείου. Αν αυτή όντως είναι η κίνηση του σώματος τότε το θέμα είναι απαράδεκτο. Και αυτό γιατί ενώ οι μαθητές υποτίθεται ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιαδήποτε επιστημονική γνώση διαθέτουν για την λύση μιας άσκησης όσοι από αυτούς διαλέξουν ακόμα και σαν επαλήθευση να μελετήσουν το σύστημα ενεργειακά, μη γνωρίζοντας την θεωρία του στροφορικού εκκρεμούς πολύ λογικά θα οδηγηθούν σε άτοπο.

Με την γνώση ότι η κίνηση είναι σύνθετη, δηλαδή ευθυγραμμια ομαλά επιταχυνόμενη και ταυτόχρονα στροφορική ταλάντωση το ενεργειακό πρόβλημα λύνεται πολύ απλά. Η επιπλέον ενέργεια που έχει το σύστημα εκτός από τη μεταφορική οφείλεται



στο επιπλέον έργο της δύναμης  $F$ .

Είναι προφανές ότι η δύναμη που ασκείται στο σώμα  $B$  έχει μετατοπίσει το σημείο εφαρμογής της παράλληλα στον άξονα της περισσότερο από ότι η δύναμη που ασκείται στο σώμα  $\alpha$ . Η διαφορά αυτή στη μετατόπιση οφείλεται στην οριζόντια μετατόπιση του σημείου  $B$  στο σύστημα του δίσκου λόγω της στροφικής ταλάντωσης. Αυτή η διαφορά στη μετατόπιση έχει σαν αποτέλεσμα η δύναμη  $F$  που ασκείται στο σώμα  $B$  να παράγει περισσότερο έργο από ότι η δύναμη  $A$  και αυτό το έργο να εμφανίζεται σαν ενέργεια περιστροφικής κίνησης στο στροφικό εκχρεμές.

Στην περίπτωση που αναφέρεται στο σχήμα 1 (δηλαδή στο άτοπο στο οποίο κατέληξαν οι μαθητές) επειδή η δύναμη έχει ξαναφθάσει στην ανώτερη θέση όπως εμείς την βλέπουμε η κινητική ενέργεια της στροφικής κίνησης είναι μηδέν με αποτέλεσμα το έργο των δυνάμεων και στα δύο σώματα να είναι το ίδιο όπως και η κινητική τους ενέργεια αλλά και η ταχύτητά τους.

*Περίπτωση Δεύτερη: Η δύναμη να εξασκείται πάντα στη θέση  $B$  (δηλαδή μέσω ενός σκοινιού το οποίο ξετυλίγεται στο σημείο  $B$ , κάτι σαν ένα οριζόντιο γιο-γιο).*

Στην περίπτωση αυτή τα πράγματα είναι πιο απλά και πιο κατανοητά από ένα μαθητή αλλά προσωπικά δεν νομίζω ότι η επιτροπή αναφερόταν σε αυτή την περίπτωση. Όπως το σκοινί ξετυλίγεται η δύναμη που εξασκείται στην άκρη του σκοινιού μετατοπίζει πολύ περισσότερο το σημείο εφαρμογής της από όσο μετακινείται το κέντρο μάζας του σώματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το έργο της δύναμης  $F$  στο δεύτερο σώμα να είναι πολύ μεγαλύτερο από το έργο της ίσης της δύναμης στο πρώτο σώμα. Η διαφορά των έργων αυτών εμφανίζεται σαν κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής στο σώμα  $\beta$ . Αν αυτή είναι η περίπτωση που ζητούσε η επιτροπή τότε θα έπρεπε να ορίσει ξεκάθαρα ότι η δύναμη  $F$  στο δεύτερο σώμα εξασκείται δια μέσου σκοινιού ώστε να μπορεί ο καλά διαβασμένος μαθητής ο οποίος ΞΕΡΕΙ ότι από τη στιγμή που στο σώμα εφαρμόζεται ροπή αυτό θα περιστραφεί και άρα θα αποκτήσει κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής να μη

θεωρήσει το αποτέλεσμα του Β νόμου του Newton ΦΥΣΙΚΑ ΑΣΥΜΒΑΤΟ με την ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ της Ενέργειας.

Και με τις δύο περιπτώσεις η πραγματικότητα είναι ότι το θέμα αυτό είναι ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΟ γιατί οδηγεί τους καλά διαβασμένους μαθητές σε δύο λύσεις βασισμένες σε θεμελιώδεις νόμους της Φυσικής που εκ πρώτης όψης είναι ΑΣΥΜΒΑΤΕΣ μεταξύ τους. Και όχι μόνο αυτό αλλά δυστυχώς η λύση που στηρίζεται στον ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΣΤΕΡΟ νόμο, που είναι η Διατήρηση της Ενέργειας, λόγω της έλλειψης γνώσης της πραγματικής κίνησης από τον μαθητή είναι και η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΝΘΡΩΣΜΕΝΗ.

Δρ. Βασίλης Καράβολας  
Θεωρητικός Φυσικός