

Σκοτεινή ύλη



ΕΛΙΔΕΚ.
Ελληνικό Ίδρυμα
Έρευνας & Καινοτομίας

Περίληψη

Αν και η σκοτεινή ύλη είναι ένα πολύ αφηρημένο θέμα μερικές από τις βασικές έννοιες βασίζονται σε αποδεικτικά στοιχεία που μπορούν να εξηγηθούν πολύ καλά με πειραματικές επιδείξεις. Θέλοντας λοιπόν να προσεγγίσουμε αυτό το σύνθετο θέμα επιλέξαμε τη διεξαγωγή ενός απλού πειράματος χρησιμοποιώντας τη *συσκευή κεντρομόλου δύναμης* σε κυκλική κίνηση με σκοπό να συνδέσουμε την ταχύτητα ενός αντικειμένου που κινείται σε *κυκλική τροχιά* με τη μάζα του αντικειμένου γύρω από το οποίο περιστρέφονται. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το *νόμο της παγκόσμιας έλξης*, το *2ο νόμο του Νεύτωνα* για την κίνηση και την εξίσωση της κεντρομόλου επιτάχυνσης θα εξάγουμε τη μαθηματική σχέση με την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε τη *μάζα του ήλιου* χρησιμοποιώντας πλανητικές τροχιές.

Λέξεις κλειδιά: *μορφοποίηση, διαμόρφωση σελίδας.*

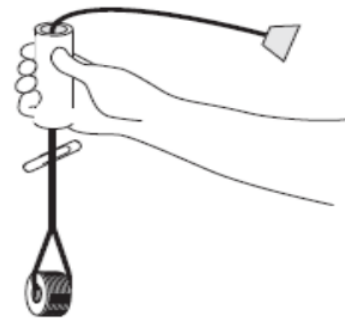
1. Η ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΥΛΗ ΜΕ ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ

- Το 1967 η Vera Rubin παρατήρησε ότι άστρα μέσα στο γαλαξία Ανδρομέδα είχαν μεγαλύτερες από ότι αναμενόταν τροχιακές ταχύτητες
- Οι Φυσικοί έχουν επίσης παρατηρήσει το ίδιο φαινόμενο στον κοντινό γαλαξία Triangulum.
- Μετρώντας τις τροχιακές ταχύτητες άστρων μέσα στον Triangulum και χρησιμοποιώντας τον τύπο $M_{gal} = v^2 r / G$ οι Φυσικοί έχουν υπολογίσει ότι η μάζα του γαλαξία μέσα σε μια ακτίνα $r = 4,0 \times 10^{20} m$ ισοδυναμεί με 46 δισεκατομμύρια Ήλιους.
- Όμως μετρώντας τη λαμπρότητα του Triangulum, έχουν επίσης υπολογίσει ότι η μάζα του μέσα σε μια ακτίνα $r = 4,0 \times 10^{20} m$ ισοδυναμεί με 7 δισεκατομμύρια Ήλιους.
- Η διαφορά ανάμεσα σε αυτά τα δύο αποτελέσματα συνεπάγεται ότι υπάρχουν 39 δισεκατομμύρια ήλιοι από αόρατη μάζα μέσα στον Triangulum. • Αυτή η αόρατη μάζα ονομάζεται «σκοτεινή ύλη».
- Οι Φυσικοί έχουν παρατηρήσει πολλούς άλλους γαλαξίες και οι περισσότεροι έχουν πειστεί ότι, κατά μέσο όρο, η σκοτεινή ύλη υπολογίζεται στο 90% της μάζας από κάθε ένα γαλαξία στο σύμπαν.
- Οι φυσικοί επίσης έχουν ανεξάρτητα αποδεικτικά στοιχεία για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης από παρατηρήσεις παραμορφωμένων εικόνων μακρινών γαλαξιών (βαρυτική καμψη).
- Αν και κανείς δεν γνωρίζει από τι είναι φτιαγμένη η σκοτεινή ύλη, επί του παρόντος οι φυσικοί έχουν ένα αριθμό θεωριών.
- Μια από τις πρώτες θεωρίες για τη σκοτεινή ύλη ήταν ότι αποτελείται εξ ολοκλήρου από συμπαγή ουράνια αντικείμενα όπως οι πλανήτες, τα άστρα νάνοι και οι μαύρες τρύπες. Προσεκτικές παρατηρήσεις έχουν αποκλείσει αυτή τη θεωρία.
- Οι περισσότεροι Φυσικοί σήμερα πιστεύουν ότι η σκοτεινή ύλη αποτελείται από ένα είδος υποατομικού σωματιδίου που ονομάζεται WIMP το οποίο μέχρι σήμερα, ποτέ δεν έχει ανιχνευτεί στο εργαστήριο.

- Πολυάριθμα πειράματα που προσπαθούν να ανιχνεύσουν ένα από αυτά τα σωματρία είναι σε εξέλιξη σήμερα παγκοσμίως.
- Η σκοτεινή ύλη δεν συνδέεται με τη σκοτεινή ενέργεια. Η σκοτεινή ενέργεια αναφέρεται στο μυστηριώδη μηχανισμό που ωθεί το σύμπαν σε διαστολή.

2. Πειραματική διάταξη

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της τροχιακής μεθόδου είναι ότι χρησιμοποιείται η εξίσωση $M = \frac{rv^2}{G}$ η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μάζας του κεντρικού υλικού σημείου της διάταξης τους διπλανού σχήματος (Σχήμα 2). Αυτό όμως μας οδηγεί στην ακόλουθη ερώτηση: Χρησιμοποιώντας αυτή την εξίσωση για ένα γαλαξία, δεν αποδεχόμαστε σιωπηρά ότι η μάζα του γαλαξία είναι συγκεντρωμένη στο κέντρο του; Η απάντηση στην ερώτηση είναι ότι δεν κάνουμε αυτή την αποδοχή. Η συγκεκριμένη εξίσωση εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε σφαιρικά συμμετρική κατανομή της μάζας, συμπεριλαμβάνει εκτεταμένες και εντοπισμένες κατανομές. Συνεπώς, εφαρμόζεται σε ένα γαλαξία στο οποίο η μάζα εκτείνεται σε μεγάλη έκταση (όγκο). Ο λόγος για τον οποίο η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε σφαιρικά συμμετρική κατανομή της μάζας είναι ότι τέτοιες κατανομές παράγουν, έξω από την ακτίνα τους βαρυτικό πεδίο που είναι ταυτόσημο με το πεδίο που θα παραγόταν αν όλη η μάζα ήταν εντοπισμένη στο κέντρο της κατανομής. Έτσι το εξωτερικό βαρυτικό πεδίο μιας μάζας σαν αυτή είναι ανεξάρτητο της κατανομής της μάζας και εξαρτάται μόνο από τη συνολική μάζα M που περιέχει η κατανομή (Εγκλειστη μάζα).



Σχήμα 1

3. Σύντομη περιγραφή δραστηριότητας

Στη δραστηριότητα αυτή θα διερευνήσουμε τη σχέση ανάμεσα στη μάζα ενός αριθμού ροδελών και στην τροχιακή ταχύτητα ενός ελαστικού πώματος που περιστρέφεται γύρω από τις ροδέλες. Η δραστηριότητα αποδεικνύει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μέτρο της ταχύτητας ενός περιστρεφόμενου σώματος για να βγάλουμε συμπεράσματα για τη μάζα που είναι υπεύθυνη για την περιστροφή. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας αυτή τη σχέση θα αναλύσουμε την κίνηση αστρονομικών αντικειμένων και τελικά να βρούμε αποδεικτικά στοιχεία για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης.

4. Πειραματικές μετρήσεις

α/α	Αριθμός ροδελών	Μάζα ροδελών (g)	Χρόνος 10 περιστροφών - 10T (s)	Ταχύτητα πώματος (m/s) $u=2\pi r/T$

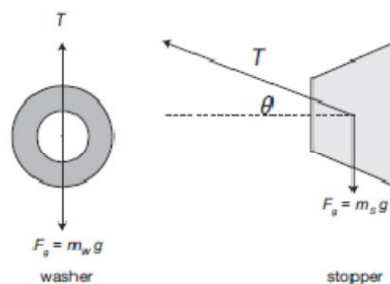
1	8	43.2	7.4	4.60
2	10	53.9	33.3	5.14
3	12	64.7	29.6	5.63
4	14	75.5	29.6	6.08
5	16	86.3		6.50

Πίνακας 1: πειραματικές μετρήσεις

- Μάζα λαστιχένιου πώματος= 12 g
- Μάζα 16 ροδελών = 86,3 g
- Άγνωστη μάζα Μάζα όπως μετρήθηκε στο ζυγό = 54,0 g
- Χρόνος 10 περιστροφών = 7,68 s
- Ταχύτητα πώματος = 5,07 m/s
- Απόσταση της κορυφής του σωλήνα από το μέσο του πώματος = 62 cm.

5. Μαθηματική επεξεργασία

Το m_p αναπαριστά τη μάζα των ροδελών. Έστω ότι με m_π αναπαρίσταται η μάζα του πώματος, με T_N το μέτρο της τάσης του νήματος, με g η επιτάχυνση της βαρύτητας και με θ η γωνία κατά την οποία το τμήμα του νήματος μεταξύ κορυφής του σωλήνα και πώματος αποκλίνει από την οριζόντια διεύθυνση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυνάμεις που ασκούνται στη διάταξη:



Σχήμα 2: Διανυσματικό διάγραμμα δυνάμεων

Καθώς το πώμα περιστρέφεται στο οριζόντιο επίπεδο, το μέτρο της συνισταμένης δύναμης που ασκείται σε αυτό ισούται με την οριζόντια συνιστώσα της τάσης του νήματος. Από το διανυσματικό διάγραμμα δυνάμεων (Σχήμα 1) για το πώμα, μπορούμε να δούμε ότι αυτή η συνιστώσα ισούται με $T_N \sin \theta$. Θεωρώντας $\theta=0$ αυτή περιορίζεται σε T . Καθώς το πώμα κάνει ομαλή κυκλική κίνηση, η επιτάχυνσή του δίνεται από τη σχέση

$$a_k = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

Όπου r η απόσταση μεταξύ του πώματος και της κορυφής του σωλήνα. Σύμφωνα με το 2^ο νόμο του Νεύτωνα για την κίνηση του πώματος έχουμε:

$$\Sigma F_{ακτ} = m_\pi a_k \stackrel{(1)}{\Rightarrow} T_N = m_\pi \frac{v^2}{r} \quad (2)$$

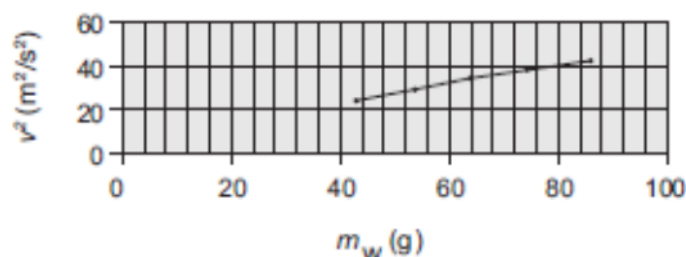
για τις ροδέλες ισχύει ότι φαίνεται ότι

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow T_N = m_\rho g \stackrel{(2)}{\Rightarrow} m_\pi \frac{v^2}{r} = m_\rho g \Rightarrow v^2 = \frac{gr}{m_\pi} m_\rho$$

Έτσι, το τετράγωνο της ταχύτητας του πώματος είναι ανάλογο με τη μάζα των ροδελών, με τη σταθερά αναλογίας: $\frac{gr}{m_\pi}$ (4)

6. Διάγραμμα $v^2 = f(m_\rho)$

Υπολογισμός της κλίσης της καμπύλης:



$$\text{κλίση} = \frac{\Delta(v^2)}{\Delta(m_\rho)} = \frac{(40 - 30)(m^2/s^2)}{(0.080 - 0.06)(kg)} = 5m^2(kg/s^2)$$

Από την εξίσωση (4) η κλίση του διαγράμματος $v^2 = f(m_\rho)$ εξαρτάται από τη μάζα του πώματος, την ακτίνα περιστροφής και την επιτάχυνση της βαρύτητας. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα: $m_\pi = 12.4g$, $r = 62\text{ cm}$ και $g = 9.8m/s^2$ έχουμε:

$$\frac{gr}{m_\pi} = 4.9m^2(kg/s^2)$$

Συνεπώς η μετρημένη κλίση είναι 2% μεγαλύτερη από την τιμή που προβλέπεται από το Σχήμα 1 (θεωρητική τιμή).

Χρησιμοποιώντας το δείγμα δεδομένων $r = 62\text{ cm}$ και $v = 5,07\text{ m/s}$ και τον τύπο

$$v^2 = \frac{gr}{m_\pi} m_\rho \Rightarrow m_\rho = 0.053\text{ kg}$$

Όποτε η τιμή της άγνωστης μάζας, όπως υπολογίσθηκε από την περιστροφή του πώματος είναι 53g. Η διαφορά από την τιμή της μάζας που μετρήθηκε με το ζυγό είναι μόλις 2%.

7. προεκτάσεις και συμπεράσματα χρησιμοποιώντας αστρονομικές παρατηρήσεις

α) Χρησιμοποιώντας το νόμο της παγκόσμιας έλξης, το 2ο νόμο του Νεύτωνα για την κίνηση και την εξίσωση της κεντρομόλου επιτάχυνσης βρίσκουμε τη μαθηματική σχέση με την οποία μπορεί να υπολογιστεί τη μάζα του ήλιου χρησιμοποιώντας πλανητικές τροχιές.

β) Γνωρίζοντας ότι η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο σε ακτίνα $1.5 \times 10^9\text{ m}$. Προσδιορίζουμε τη μάζα του ήλιου.

γ) Γνωρίζοντας ότι ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από το κέντρο του γαλαξία σε απόσταση $2.56 \times 10^{20}\text{ m}$ με περίοδο 200 εκατομύρια χρόνια. Υπολογίζουμε έτσι τη μάζα του κέντρου του γαλαξία.

δ) Συζητάμε για το πόσο σίγουροι είμαστε ότι οι φυσικοί νόμοι που περιγράφουν την κυκλική κίνηση ενός ελαστικού πώματος δεμένου στην άκρη ενός νήματος μπορούν να επεκταθούν σε συστήματα τόσο μεγάλα όσο οι γαλαξίες.