**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1**

**Σύνοψη βίντεο**



1. Ποιο από τα παραπάνω διαγράμματα αναπαριστά τη σχέση μεταξύ ταχύτητας (v) και ακτίνας (r) για πλανήτες που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο;

α) Α β) Β γ) C δ) D

1. Ποιο από τα παραπάνω διαγράμματα αναπαριστά τη σχέση μεταξύ ταχύτητας (v) και ακτίνας (r) που παρατηρήθηκε για άστρα που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από το κέντρο του γαλαξία;

 α) Α β) Β γ) C δ) D

1. Οι Φυσικοί μπορούν να υπολογίσουν τη μάζα του Ήλιου χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της ακτίνας

α) του Ήλιου και της ταχύτητας του Ήλιου.

β) της τροχιάς του Ήλιου και της ταχύτητας του Ήλιου.

γ) ενός πλανήτη και της ταχύτητας του πλανήτη.

δ) της τροχιάς ενός πλανήτη και της ταχύτητας του πλανήτη.

1. Όταν οι αστρονόμοι μετρούν την μάζα του γαλαξία Triangulum χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φωτεινότητας το αποτέλεσμα που παίρνουν είναι πολύ μικρότερο από το αποτέλεσμα που παίρνουν όταν τη μετρούν με την τροχιακή μέθοδο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα από το γεγονός ότι:

α) Τα άστρα στον Triangulum αποτελούνται από φωτεινότερα στοιχεία από εκείνα του Ήλιου.

β) Η τροχιακή μέθοδος υποτιμά τη μάζα του Triangulum.

γ) Ο Triangulum περιέχει μεγάλη ποσότητα σκοτεινής ύλης.

δ) Ο Triangulum περιέχει μόνο μάζα που εκπέμπει ορατό φώς

1. Παρατηρήσεις που δείχνουν την παρουσία της σκοτεινής ύλης έχουν γίνει:

α) Μόνο στους γαλαξίες Ανδρομέδα και Triangulum

β) Μόνο στους γαλαξίες Ανδρομέδα, Triangulum και σε αυτόν που ανήκουμε.

γ) Κάθε γαλαξίας έχει ερευνηθεί για την ύπαρξη σκοτεινής ύλης.

δ) Πολλοί αλλά όχι όλοι οι γαλαξίες έχουν ερευνηθεί για την ύπαρξη σκοτεινής ύλης.

1. Οι αποδείξεις για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης προέρχονται από παρατηρήσεις:

α) της τροχιάς της Σελήνης γύρω από τη Γή και της βαρυτικής παραμόρφωσης.

β) των τροχιών των άστρων και της βαρυτικής παραμόρφωσης.

γ) της τροχιάς της Σελήνης γύρω από τη Γή και των τροχιών των άστρων

δ) των τροχιών των άστρων, της τροχιάς της Σελήνης γύρω από τη Γή και της βαρυτικής παραμόρφωσης.

1. Η μάζα που υπολογίστηκε με τη βαρυτική παραμόρφωση συμφωνεί με την ποσότητα μάζας που βρέθηκε από:

α) τις τροχιακές μεθόδους.

β) τις μεθόδους φωτεινότητας.

γ) και από τις δύο παραπάνω.

δ) από καμιά από τις παραπάνω.

1. Η σκοτεινή ύλη ονομάζεται «σκοτεινή» επειδή:

α) Εκπέμπει μόνο ακτινοβολία υψηλής ενέργειας όπως οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γ.

β) Εκπέμπει μόνο ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας όπως τα μικροκύματα και τα ράδιοκύματα

γ) Ανακλά το φώς αλλά δεν εκπέμπει άλλη ακτινοβολία όπως τα άστρα.

δ) Δε εκπέμπει ή ανακλά κανενός είδους ακτινοβολία ή φώς

1. Οι περισσότεροι Φυσικοί πιστεύουν ότι η περισσότερη σκοτεινή ύλη αποτελείται από:

α) WIMPS (weakly interacting massive particles) δηλαδή: ασθενώς αλληλεπιδρώντα σωμάτια μεγάλης μάζας ή axions δηλαδή: υποθετικά στοιχειώδη σωμάτια που αν υπάρχουν έχουν μικρή μάζα.

β) Άστρα καφέ νάνοι (η μάζα τους είναι μικρότερη από 0,08 μάζες Ήλιου και μεγαλύτερη από 13 μάζες του Δία)

γ) Μαύρες τρύπες ή πλανήτες

δ) Άστρα όπως ο Ήλιος

1. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι αληθής:

α) Οι Φυσικοί γνωρίζουν με ακρίβεια από τι αποτελείται η σκοτεινή ύλη.

β) Οι Φυσικοί δεν έχουν ιδέα από τι αποτελείται η σκοτεινή ύλη.

γ) Μόνο μερικοί Φυσικοί γνωρίζουν από τι αποτελείται η σκοτεινή ύλη.

δ) Οι Φυσικοί έχουν κάποιες θεωρίες σχετικά με τη σκοτεινή ύλη, οι οποίες τώρα εξετάζονται με πειραματικό έλεγχο.

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2**

**Βασικές έννοιες**

Χρήσιμες σχέσεις

   



1. Ο Άρης διαγράφει ομαλή κυκλική κίνηση γύρω από τον Ήλιο. Η ακτίνα της τροχιάς του Άρη είναι  και η τροχιακή του ταχύτητα .



α) Σχεδιάστε το διανυσματικό διάγραμμα δυνάμεων του Άρη και χρησιμοποιήστε το για να βρείτε τη σχέση της μάζας του Ήλιου με την τροχιακή ταχύτητά του Άρη, την ακτίνα της τροχιάς του Άρη και τη σταθερά παγκόσμιας έλξης.

β) Χρησιμοποιήστε τη σχέση του ερωτήματος (α) για να υπολογίσετε τη μάζα του Ήλιου.

1. Το παρακάτω διάγραμμα περιγράφει την τροχιακή ταχύτητα των πλανητών σε συνάρτηση της ακτίνας των τροχιών τους.



α) Ποια δύναμη κρατά τους πλανήτες στις τροχιές τους

β) Γιατί οι «εξωτερικοί» πλανήτες κινούνται πιο αργά από τους «εσωτερικούς»;

γ) Επαναϋπολογίστε τη σχέση που βρήκατε στο ερώτημα (1α) για να βρείτε την εξίσωση του παραπάνω διαγράμματος .

1. Οι αστρονόμοι έχουν μελετήσει το γαλαξία UGC 128 για πολλά χρόνια. Έχουν μετρήσει τη φωτεινότητα του και έχουν υπολογίσει τη μάζα των άστρων που βρίσκονται μέσα σε ακτίνα  από το κέντρο του σε . Τα άστρα που περιστρέφονται στην ακτίνα αυτή έχουν υπολογιστεί να έχουν ταχύτητα . Τι ποσοστό της μάζας μέσα στην ακτίνα αυτή είναι σκοτεινή ύλη;
2. Στη Μινεσότα των ΗΠΑ υπάρχει ένας ανιχνευτής σκοτεινής ύλης γνωστός ως Cryogenic Dark Matter Search (CDMS) που βρίσκεται σε βάθος 700 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης σε ένα εγκαταλελειμμένο ορυχείο. Εκεί υπάρχουν 250g κρυστάλλων Γερμανίου (Ge) που ψύχονται σε θερμοκρασία λίγο παραπάνω από το απόλυτο μηδέν (-2730C).

Σύμφωνα με τη θεωρία «ασθενώς αλληλεπιδρώντα σωμάτια μεγάλης μάζας» (WINPS) δισεκατομμύρια (WINPS) από το διάστημα πέφτουν σαν βροχή κάθε δευτερόλεπτο στη γη. Παρόλο που συνήθως περνούν δια μέσου στερεών αντικειμένων σαν να μην υπάρχουν αυτά, υπάρχει μια μικρή πιθανότητα ένα WINP να συγκρουστεί με ένα πυρήνα ατόμου μέσα σε οποιοδήποτε υλικό συμβεί να διαπεράσει.

Στο CDMS δηλαδή υπάρχει μια πολύ μικρή πιθανότητα ένα WIMP να συγκρουσθεί με τον πυρήνα ενός ατόμου Γερμανίου μέσα στον ανιχνευτή όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



α) Στο παραπάνω σχήμα ένα WIMP μάζας  και αρχική ταχύτητα 230m/s συγκρούεται με ένα σταθερό πυρήνα Γερμανίου μάζας  . Αν το WIMP σκεδαστεί και η ταχύτητά του μειωθεί στα 75km/s προσδιορίστε την ενέργεια που μεταφέρεται στον πυρήνα χρησιμοποιώντας την αρχή διατήρησης της κινητικής ενέργειας. (Αυτή είναι ή ενέργεια που οι επιστήμονες πρέπει να ανιχνεύσουν με κάποιο τρόπο). Για τους υπολογισμούς σας υποθέστε ότι η σύγκρουση είναι ελαστική.

β) Πόσες φορές μικρότερη είναι η ενέργεια αυτή από την ενέργεια που απαιτείται για την ανύψωση ενός κόκκου άμμου κατά ένα χιλιοστό  ;

1. Ένας φίλος σου στέλνει ένα e-mail στο οποίο εκφράζει το σκεπτικισμό του σχετικά με την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης. «Νόμιζα ότι η επιστήμη ασχολιόταν με την παρατήρηση αντικειμένων που μπορείς να δεις; Πως μπορείς να ισχυρίζεσαι ότι η σκοτεινή ύλη υπάρχει όταν κανείς δεν μπορεί να τη δει;». Γράψε μια απάντηση πέντε ως δέκα προτάσεων που να περιγράφει τα στοιχεία (αποδείξεις) και να υπερασπίζεται την άποψη ότι δεν είναι αναγκαίο κάτι να είναι ορατό για να γίνεται κατανοητό από την επιστήμη. Στην απάντησή σου δώσε ένα παράδειγμα της καθημερινής ζωής για κάτι που υπάρχει αλλά δεν είναι ορατό.

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3**

**Βαρύτητα και τροχιακή κίνηση**

Για να μοντελοποιήσετε την τροχιακή κίνηση θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε ένα μεγάλο τετράγωνο κομμάτι ελαστικού υφάσματος . Τραβήξτε το ύφασμα προς τα κάτω στο κέντρο του υφάσματος χρησιμοποιώντας ένα βαρίδι ή ένα άτομο που θα το τραβάει προς το μέρος του ενώ βρίσκεται από κάτω. Η πρόκληση είναι να κυλίσετε μια σφαίρα πάνω στο ύφασμα έτσι ώστε να περιστρέφετε σε αυτό όσες πιο πολλές φορές γίνεται. Δεν θα πρέπει να μετακινήσετε το ύφασμα για να διατηρήσετε τη περιστροφή.

1. α) **Προβλέψτε και εξηγήστε**: Ποιες μεταβλητές μπορεί να επηρεάσουν την ικανότητα της μπάλας να διαγράψει τροχιά;

β**) Παρατηρήστε και εξηγήστε**: Ποιος συνδυασμός μεταβλητών πρέπει να είναι ο κατάλληλος για την κίνηση της μπάλας σε κυκλική τροχιά;

γ) **Επεκτείνατε και εξηγήστε**: Γιατί η σελήνη δεν πέφτει στη γη;

1. α) **Προβλέψτε και εξηγήστε**: Πως η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς θα επηρεάσει την περίοδο;

 β) **Παρατηρήστε και εξηγήστε**: Κάντε σύγκρισή των περιόδων για μπάλες που περιστρέφονται σε διαφορετικές ακτίνες

γ) **Επεκτείνατε και εξηγήστε :**  Τα παρακάτω πλανητικά δεδομένα συμφωνούν με τις παρατηρήσεις σας;

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Πλανήτης** | **Ακτίνα τροχιάς (x1010m)** | **Περίοδος (μέρες)** |
| Ερμής | 5,97 | 88 |
| Αφροδίτη | 10,8 | 225 |
| Γη | 14,9 | 365 |
| Άρης | 22,8 | 688 |

1. α) **Προβλέψτε και εξηγήστε**: Πως η μάζα μιας μπάλας επηρεάζει την περίοδο.

β) **Παρατηρήστε και εξηγήστε**: Συγκρίνατε τις περιόδους για μπάλες με διαφορετικές μάζες

γ) **Επεκτείνατε και εξηγήστε :** Πώς τα παρακάτω δεδομένα υποστηρίζουν τις παρατηρήσεις σας

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Φυσικοί και τεχνητοί δορυφόροι της Γης** | **Μάζα (kg)** | **Ακτίνα τροχιάς****(x10 6m)** | **Περίοδος**  **(μέρες)** |
| ISS | 4,17x105 | 6.73 | 0.063 |
| Hubble Διαστημικό τηλεσκόπιο | 1.11x104 | 6.94 | 0.067 |
| GPS Δορυφόρος | 2.37x103 | 26.6 | 0.5 |
| Σελήνη | 7.35x1022 | 384 | 27.3 |

Συγκρίνατε τα δεδομένα για αντικείμενα που περιστρέφονται γύρω από τη γη με δεδομένα για αντικείμενα που περιστρέφονται γύρω από το Δια. Πως τα δεδομένα δείχνουν ότι η περίοδος δεν εξαρτάται από τη μάζα του κεντρικού αντικειμένου;

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Δορυφόροι του Δία**  | **Μάζα** **(x1022kg)** | **Ακτίνα τροχιάς****(x10 8m)** | **Περίοδος**  **(μέρες)** |
| Ιώ | 8,93 | 4,22 | 1,77 |
| Ευρώπη | 4,80 | 6,71 | 3,55 |
| Γανυμήδης  | 14,8 | 10,7 | 7,15 |
| Καλλιστώ | 10,8 | 18,8 | 16,7 |

1. Είστε μια ομάδα μαθητών που σκοπεύετε να αναπαραστήσετε την περιστροφή των δορυφόρων του Δια. Ποιες μεταβλητές χρειάζεται να λάβετε υπόψη σας για να είναι η αναπαράσταση ακριβής. Πως συγκρίνονται τα μέτρα των ταχυτήτων των δορυφόρων.
2. Η μάζα της Γης, του Δία και του Ήλιου είναι αντίστοιχα 5,98x1024kg, 1.90x1027kg, και 1.99x1030kg. Οι γονείς σας αναρωτιούνται πως οι αστρονόμοι μετρούν τη μάζα των αστρονομικών αντικειμένων. Περιγράψτε πως θα τους το εξηγήσετε.

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4**

**Η σκοτεινή ύλη μέσα σε ένα γαλαξία**

Χρήσιμοι τύποι

   

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Τροχιακή ακτίνα άστρων (x1020m)** | **Ταχύτητα που μετρήθηκε (x105m/s)** | **Ταχύτητα από υπολογισμούς (x105m/s)** | **Βαρυτική μάζα (x1041kg)** | **Μάζα που λείπει (%)** |
| 1,85 | 2,47 | 2,36 | 1,69 | 8,99 |
| 2,75 | 2,40 |  |  |  |
| 3,18 | 2,37 |  |  |  |
| 4,26 | 2,25 |  |  |  |
| 6,48 | 2,47 |  |  |  |

Οι αστρονόμοι έχουν αναλύσει τα άστρα στο γαλαξία UGC 11748. Βρήκαν ότι τα περισσότερα άστρα βρίσκονται μέσα σε μια ακτίνα από το κέντρο του r=1.64x1020m και ότι η συνολική μάζα μέσα σε αυτή την ακτίνα είναι 1.54x1041kg, ή 77,4 δισεκατομμύρια φορές η μάζα του Ήλιου.

Αναμένεται ότι τα άστρα που βρίσκονται έξω από αυτή την ακτίνα θα διαγράφουν τροχιές με τον ίδιο τρόπο που οι πλανήτες περιστρέφονται γύρω από τον ήλιο. Στη δραστηριότητα αυτή θα αναλύσετε την κίνηση των αστεριών που βρίσκονται στις εξωτερικές περιοχές του UGC 11748.

1. Χρησιμοποιήστε τις τιμές από τον παραπάνω πίνακα για να σχεδιάσετε το διάγραμμα του μέτρου της ταχύτητας που μετρήθηκε σε συνάρτηση της τροχιακής ακτίνας. Ονομάστε την καμπύλη που θα προκύψει «ταχύτητα που μετρήθηκε».



1. α) Για κάθε ακτίνα του παραπάνω πίνακα υπολογίστε την ταχύτητα αν η μάζα στο κέντρο του γαλαξία έχει βρεθεί από τη φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπει να είναι 1,54x1041kg. Καταγράψτε τις απαντήσεις σας στη στήλη «ταχύτητα από υπολογισμούς».

β) Δώστε ένα παράδειγμα των υπολογισμών σας.

γ) Σχεδιάσετε το διάγραμμα του μέτρου της ταχύτητας από υπολογισμούς σε συνάρτηση της τροχιακής ακτίνας. Ονομάστε την καμπύλη που θα προκύψει «ταχύτητα από υπολογισμούς»

1. Συγκρίνατε την «ταχύτητα που μετρήθηκε» και την «ταχύτητα από υπολογισμούς». Συζητήστε μια πιθανή εξήγηση για τις όποιες διαφορές.
2. α) Χρησιμοποιήστε τις ταχύτητες που μετρήθηκαν για να υπολογίσετε τη μάζα του γαλαξία που περιέχεται στο εσωτερικό κάθε ακτίνας . Καταγράψτε τις απαντήσεις σας στη στήλη «Βαρυτική μάζα» .

β) ) Δώστε ένα παράδειγμα των υπολογισμών σας.

1. Για κάθε ακτίνα υπολογίστε τη διαφορά μεταξύ της βαρυτικής μάζας που βρίσκεται μέσα στην ακτίνα και της συνολικής μάζας των ορατών άστρων (1.54x1041kg). Ξαναπαρουσιάστε αυτή τη διαφορά ως ποσοστό της βαρυτικής μάζας στο εσωτερικό των ακτίνων. Κατά γράψτε τις απαντήσεις σας στη στήλη «Μάζα που λείπει».
2. Τα αποτελέσματα που βρήκατε υποστηρίζουν τη δήλωση που ακολουθεί; «Είναι λογικό να περιμένουμε ότι τα άστρα περιστρέφονται γύρω από τη βαρυτική μάζα που περιέχεται στην ακτίνα της τροχιάς τους με τον ίδιο τρόπο που οι πλανήτες περιστρέφονται γύρω από τον ήλιο;» . Συζητήστε.
3. **Εξηγήστε** την καμπύλη που σχεδιάσατε για την ταχύτητα που μετρήθηκε συναρτήσει της ακτίνας.

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 5**

**Προχωρημένη Μαθηματική ανάλυση**

Α. Βαρυτική κάμψη

Μερικά από τα πιο πειστικά στοιχεία για τη σκοτεινή ύλη προέρχονται από ένα φαινόμενο που είναι γνωστό με το όνομα «βαρυτική κάμψη». Το φαινόμενο αυτό για πρώτη φορά προβλέφθηκε από τον Αϊνστάιν στη θεωρία της σχετικότητας που διατύπωσε. Στη θεωρία αυτή προβλέπεται ότι οι μεγάλες μάζες στο διάστημα, όπως συστάδες γαλαξιών, προκαλούν κάμψη στις ακτίνες φωτός που διέρχονται κοντά τους. Συνεπώς όταν το φως που προέρχεται από ένα μακρινό άστρο περνάει κοντά από μια μεγάλη μάζα η τροχιά του κάμπτεται λόγω βαρυτικής έλξης. Η βαρυτική κάμψη για πρώτη φορά παρατηρήθηκε το 1919 όταν ο Φυσικός Arthur Eddington παρατήρησε την κάμψη του φωτός ενός μακρινού άστρου από τον Ήλιο.



Οι βασικές μεταβλητές της έκφρασης της γωνίας εκτροπής θ εξάγονται από θεμελιώδεις αρχές και ανάλυση διαστάσεων. Περιμένουμε μια μεγαλύτερη μάζα Μ να εκτρέπει περισσότερο το φώς ενώ μια μεγαλύτερη απόσταση d να το εκτρέπει λιγότερο συνεπώς η έκφραση της εκτροπής θα περιέχει το λόγο M/d. Ο λόγος G/c2 εκφράζει την ανάλυση διαστάσεων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι καθαρός αριθμός.

Αν λύσουμε το πρόβλημα χρησιμοποιώντας *την αρχή της ισοδυναμίας* παίρνουμε τη Νευτώνεια λύση 

Αν λάβουμε υπόψη την καμπυλότητα του χωροχρόνου που προβλέπει ο Αϊνστάιν έχουμε 

όπου , Μ είναι η μάζα του αντικειμένου (σε kg), d η μικρότερη απόσταση της φωτεινής διαδρομής (ακτίνας) από το κέντρο του αντικειμένου (σε m) και c είναι η ταχύτητα του φωτός.

1. Δίνεται ότι η μάζα του ήλιου είναι 1,99x1030kg και η ακτίνα του είναι 6,96x108m, υπολογίστε τη γωνία εκτροπής του φωτός από ένα μακρινό άστρο που διέρχεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του ήλιου.
2. Μια ακτίνα φωτός που διέρχεται σε απόσταση 16 εκατομμυρίων ετών φωτός από το κέντρο ενός συμπλέγματος γαλαξιών κάμπτεται κατά γωνία 2,0x10-5 rad. Χρησιμοποιήστε τη βαρυτική κάμψη για να υπολογίσετε τη μάζα του συμπλέγματος.
3. Ταξινομήστε τα παρακάτω τρία σενάρια σύμφωνα με τη γωνία απόκλισης (από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη) για φώς που μόλις περνά από τις άκρες των συστάδων γαλαξιών.

α) Συστάδα γαλαξιών μάζας 1014  φορές τη μάζα του ήλιου και ακτίνα 107 έτη φωτός.

β) Συστάδα γαλαξιών μάζας 5x 1014  φορές τη μάζα του ήλιου και ακτίνα 3x 106 έτη φωτός.

γ) Συστάδα γαλαξιών μάζας 2x1014  φορές τη μάζα του ήλιου και ακτίνα 4x106 έτη φωτός.

Β. «Ανιχνεύοντας» τη σκοτεινή ύλη στη γη. Κρούσεις WIMP

Ένα από τα πολλά πειράματα που τώρα διεξάγονται στη Γή για την αναζήτηση σκοτεινής ύλης πραγματοποιείται στην ύπαιθρο της Μινεσότα των Η.Π.Α.. Γίνεται σε βάθος 700m κάτω από την επιφάνεια της Γής σε ένα εγκαταλελειμμένο ορυχείο και ονομάζεται Cryogenic Dark Matter Search (CDMS). Στο πείραμα αυτό μια ποσότητα 250g κρυστάλλων Γερμανίου ψύχεται σε θερμοκρασία λίγο παραπάνω από το απόλυτο μηδέν (-273oC) και έχει σχεδιασθεί για να ανιχνεύσει τη σκοτεινή ύλη αν αποτελείται από ασθενώς αλληλεπιδρώντα σωματίδια μεγάλης μάζας (WIMPs). Μέχρι σήμερα, σ το πείραμα δεν έχουν εντοπιστεί καθόλου WIMPs.

1. Αν η σκοτεινή ύλη αποτελείται από WIMPs τότε δισεκατομμύρια από αυτά τα σωμάτια πέφτουν σαν βροχή από το διάστημα στη Γή κάθε δευτερόλεπτο.

Παρόλο που συνήθως περνούν δια μέσου στερεών αντικειμένων σαν να μην υπάρχουν αυτά, υπάρχει μια μικρή πιθανότητα ένα WINP να συγκρουστεί με ένα πυρήνα ατόμου μέσα σε οποιοδήποτε υλικό συμβεί να διαπεράσει.

Στο CDMS δηλαδή υπάρχει μια πολύ μικρή πιθανότητα ένα WIMP να συγκρουσθεί με τον πυρήνα ενός ατόμου Γερμανίου μέσα στον ανιχνευτή.

Αυτή η κρούση θα ήταν ελαστική, και απεικονίζεται στο σχήμα.



Έχετε προσληφθεί ως σύμβουλος από το CDMS και μερικοί από τους Φυσικούς σας ζητούν να τους βοηθήσετε στο παρακάτω πρόβλημα:

* Υποθέτουμε ότι ένα WIMP έχει μάζα 1,07x10-25kg και αρχική ταχύτητα 230km/s.
* Συγκρούεται με τον πυρήνα ενός ακίνητου ατόμου Γερμανίου μάζας 1,19x10-25kg.
* Το άτομο Γερμανίου εκτρέπεται με κινητική ενέργεια 10keV (1eV=1.60x10-19J).
* Οι Φυσικοί θα ήθελαν να ξέρουν σε ποια κατεύθυνση θα κινηθεί το άτομο του Γερμανίου μετά τη σύγκρουση.

Βρείτε την απάντηση σε αυτό το πρόβλημα και γράψτε μια σαφή και λεπτομερή εξήγηση για το πώς φτάσατε σε αυτή ώστε να μπορείτε να τη στείλετε στους Φυσικούς του CDMS .

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 6**

**Εργαστήριο σκοτεινής ύλης: Μέτρηση μάζας μέσω κυκλικής κίνησης**

Ένα σώμα που κινείται με ταχύτητα σταθερού μέτρου σε κυκλική τροχιά επιταχύνεται (η κατεύθυνση του διανύσματος της ταχύτητας μεταβάλλεται σταθερά). Η επιτάχυνση οφείλεται σε μια σταθερή δύναμη που έχει κατεύθυνση προς το κέντρο του κύκλου (κεντρομόλος δύναμη). Κάθε αλλαγή στη σταθερή (σταθερό μέτρο) αυτή δύναμη θα επιφέρει αλλαγή στην κυκλική κίνηση του αντικειμένου.

**Προβλέψτε**

Πως θα μεταβληθεί το μέτρο της ταχύτητας ενός σώματος σε κυκλική τροχιά αν διατηρούμε σταθερή την ακτίνα όταν αυξάνεται η εφαρμοζόμενη δύναμη ;

**Απαιτούμενα υλικά**

|  |  |
| --- | --- |
| Λαστιχένιο πώμα | 16 ροδέλες |
| Νήμα | Χρονόμετρο |
| Πλαστικός σωλήνας | Ηλεκτρονικός ζυγός |
| Συνδετήρας | Άγνωστη μάζα |

**Πειραματική διαδικασία**

1. Μετρήστε και καταγράψτε τη μάζα (i) του πώματος (ii) όλων των ροδελών μαζί .
2. Ο καθηγητής σας θα σας δείξει πώς να συναρμολογήσετε τη συσκευή.
3. Ρυθμίστε την ακτίνα περιστροφής του πώματος μεταξύ 40 και 80 cm βάζοντας το συνδετήρα ακριβώς κάτω από την κάτω άκρη του σωλήνα. Καταγράψτε την απόσταση από την πάνω άκρη του σωλήνα μέχρι το μέσο του πώματος.
4. Τοποθετήστε 8 ροδέλες σε ένα δεύτερο συνδετήρα και συνδέστε τον στο ελεύθερο άκρο του νήματος. Θέστε σε περιστροφή το πώμα στο οριζόντιο επίπεδο φροντίζοντας ο πρώτος συνδετήρας να διατηρείται αναρτημένος ακριβώς στην κάτω άκρη του σωλήνα (χωρίς να την ακουμπά). Όταν το πώμα περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό καταγράψτε το χρόνο που απαιτείται για 10 περιστροφές.
5. Επαναλάβατε αυξάνοντας τον αριθμό των ροδελών κατά δύο. Διατηρώντας σταθερή την ακτίνα καταγράψτε το χρόνο των 10 περιστροφών. Επαναλάβατε μέχρι να έχετε αποτελέσματα για 5 διαφορετικές μάζες ( 8, 10, 12, 14, 16 ροδέλες).

**Εφαρμογή**

Σας δίνεται ένα αντικείμενο άγνωστης μάζας . Ακολουθήστε την παραπάνω διαδικασία και καταγράψτε το χρόνο των 10 περιστροφών.

**Ανάλυση**

1. Σχεδιάστε το διανυσματικό διάγραμμα δυνάμεων για τις ροδέλες και το πώμα.
2. Χρησιμοποιήστε τα διαγράμματα δυνάμεων για να εξαγάγετε μια έκφραση που συνδέει το v2 με το mw. Η γωνία μεταξύ του νήματος και του οριζοντίου επιπέδου είναι πολύ μικρή και για αυτό αγνοήστε τη στους υπολογισμούς σας.
3. Χρησιμοποιήστε τη γεωμετρία της κυκλικής κίνησης για να μετατρέψετε την περίοδο της κίνησης σε γραμμική ταχύτητα του πώματος.
4. Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση του τετραγώνου της ταχύτητας του πώματος (v2) συναρτήσει της μάζας των ροδελών (mw). Υπολογίστε την κλίση της καμπύλης (θυμηθείτε να συμπεριλάβετε τις σωστές μονάδες).
5. Χρησιμοποιήστε την έκφραση που εξαγάγατε στο βήμα 2 για να δώσετε τη φυσική σημασία για την κλίση του διαγράμματος v2=f(mw). Κάντε σύγκρισή της κλίσης που υπολογίσατε στο βήμα 4 με την κλίση που παράχθηκε από τα διαγράμματα δυνάμεων στο βήμα 2.
6. Χρησιμοποιήστε τα αποτελέσματα αυτά για να υπολογίσετε την άγνωστη μάζα. Συγκρίνατε το αποτέλεσμα που βρήκατε με την τιμή της μάζας ζυγίζοντάς τη.

**Ερωτήσεις**

1. Δύο μαθητές περιστρέφουν όμοια πώματα σε τροχιές που έχουν ίσες ακτίνες. Το ένα από τα πώματα περιστρέφεται εμφανώς ταχύτερα από το άλλο. Τι συμπεραίνετε για τον αριθμό των ροδελών που συνδέονται στο ταχύτερο πώμα;
2. Η γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο λόγω της βαρυτικής έλξης, Πως θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε τα δεδομένα της περιστροφής της γης για να μετρήσετε τη μάζα του Ήλιου; Βρείτε τα σχετικά δεδομένα και κάντε τον υπολογισμό.
3. Ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από το κέντρο του γαλαξία σε ακτίνα 8,33kpc (1parsec=3.26 έτη φωτός) και νε ταχύτητα 220km/s. Προσδιορίστε τη μάζα του γαλαξία στο εσωτερικό της τροχιάς του Ήλιου.
4. Οι Φυσικοί κάνουν εκτιμήσεις για την ύλη ενός γαλαξία που εκπέμπει φώς μετρώντας τη φωτεινότητα (λαμπρότητα) του γαλαξία. Όμως έχουν παρατηρήσει ότι άστρα στο εσωτερικό πολλών γαλαξιών περιστρέφονται γύρω από το κέντρο των γαλαξιών με ταχύτητες που το μέτρο τους είναι μεγαλύτερο από ότι αναμενόταν. Χρησιμοποιώντας ιδέες από αυτή την εργαστηριακή δραστηριότητα , δώσε μια εξήγηση για αυτές τις παρατηρήσεις.