

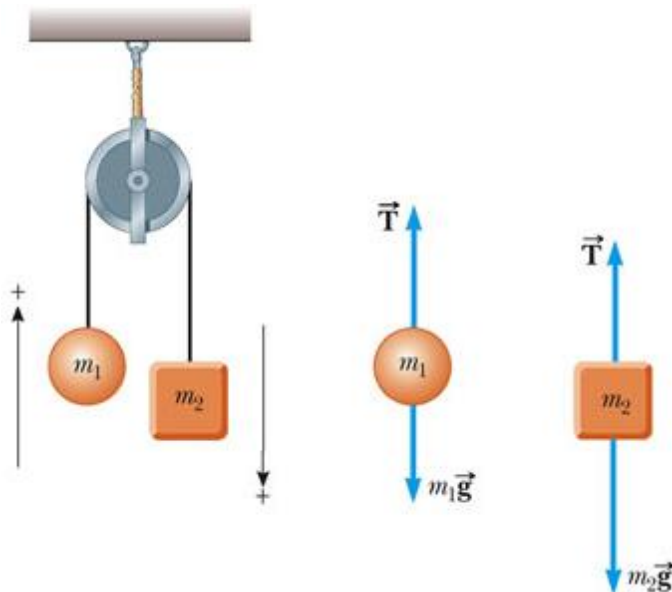


ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ ΓΕΙΤΟΝΑ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
& ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΦΥΣΙΚΗ Α' ΛΥΚΕΙΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ:

ΜΕΛΕΤΗ 2ου ΝΟΜΟΥ NEWTON ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ
ΜΗΧΑΝΗΣ ATWOOD



Επιμέλεια: Μπίλιας Κων/νος
Φυσικός.

ΒΑΡΗ 2012-2013

Ο Δεύτερος Νόμος του Newton & η μηχανή του Atwood

Στο πείραμα αυτό θα εξετάσουμε τον 2^ο Νόμο του Newton χρησιμοποιώντας τη «μηχανή του Atwood».

Θα υπολογίσουμε την επιτάχυνση του συστήματος χρησιμοποιώντας μετρήσεις απόστασης – χρόνου.

Εισαγωγή και Σκοπός του Πειράματος

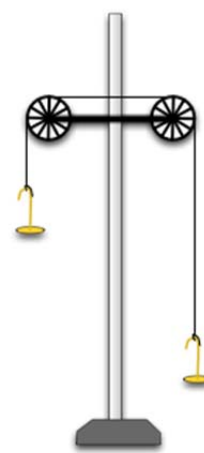
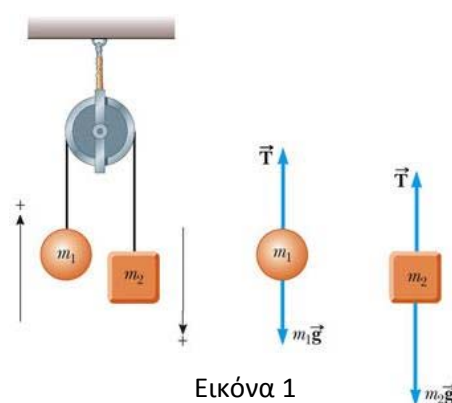
Ο Δεύτερος Νόμος του Νεύτωνα για την κίνηση λέει ότι η επιτάχυνση a ενός σώματος ή ενός συστήματος είναι ευθέως ανάλογη με το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων που δρουν πάνω στο σώμα ΣF και αντιστρόφως ανάλογη με την ολική μάζα του συστήματος ($a \propto \Sigma F/m$). Σε μορφή εξίσωσης γίνεται $a = \Sigma F/m$ ή πιο κοινά: $F=ma$

Αυτή τη σχέση θα μελετήσουμε χρησιμοποιώντας την «μηχανή του Atwood» που αποτελείται από δύο μάζες συνδεδεμένες με ένα σκοινί περασμένο σε μια τροχαλία, απλή ή διπλή (Εικ. 1,2). Η «μηχανή του Atwood» πήρε το όνομά της από τον Βρετανό Φυσικό George Atwood που χρησιμοποίησε τη διάταξη αυτή για να μελετήσει την κίνηση και να υπολογίσει την επιτάχυνση της βαρύτητας g .

Στο πείραμα που θα εκτελέσουμε, η κοινή επιτάχυνση των μαζών θα χρησιμοποιηθεί για την μελέτη του Δεύτερου Νόμου του Newton. Αφού η επιτάχυνση a του συστήματος εξαρτάται από δύο μεταβλητές (ΣF και m) μία από τις μεταβλητές θα διατηρείται σταθερή και η άλλη θα μεταβάλλεται. Μεταβάλλοντας τη δύναμη και την ολική μάζα του συστήματος μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση πειραματικά μετρώντας χρόνο και απόσταση και να τη συγκρίνουμε με τις προβλέψεις του 2^{ου} Νόμου του Newton.

Όργανα και Υλικά

- Διπλή τροχαλία μικρής ροπής αδράνειας.
- Ράβδοι στήριξης και σύνδεσμοι.
- Δύο δίσκοι για να κρεμάμε τα βαρίδια.
- Σετ βαριδιών 10, 20, και 50g.
- Κανόνας 1m.
- Χρονόμετρο.
- Χαρτί μιλιμετρέ και υπολογιστής τσέπης.



Θεωρία

Το ελαφρύ σκοινί (πετονιά ψαρέματος) θεωρείται αβαρές. Με τις μάζες m_1 και m_2 να ανεβαίνουν και να κατεβαίνουν αντίστοιχα, η βαρυτική δύναμη της διαφοράς μάζας επιταχύνει το σύστημα δρώντας ως συνισταμένη δύναμη:

$$\Sigma F = m_2 g - m_1 g = (m_2 - m_1)g \quad (1)$$

Η τριβή και η ροπή αδράνειας της τροχαλίας μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα οπότε, με βάση τον 2^ο Νόμο του Newton:

$$\Sigma F = ma = (m_2 + m_1)a \quad (2)$$

Όπου $m = m_2 + m_1$ είναι η ολική μάζα του κινούμενου συστήματος.

Εξισώνοντας τις (1) και (2) παίρνουμε:

$$(m_2 - m_1)g = (m_2 + m_1)a \quad \text{ή}$$

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2} \quad (\text{Θεωρητική επιτάχυνση}) \quad (3)$$

Για να προσδιορίσουμε την επιτάχυνση πειραματικά, ώστε να συγκριθεί με την από την θεωρία προβλεπόμενη τιμή, μετρούμε τον χρόνο t για την κατερχόμενη μάζα ώστε να διανύσει μία δεδομένη απόσταση y . Στη συνέχεια, και χρησιμοποιώντας την κινηματική εξίσωση :

$$y = u_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

με τη μάζα να ξεκινά από την ηρεμία ($u_0 = 0$) και $y_0 = 0$, $t_0 = 0$ έχουμε:

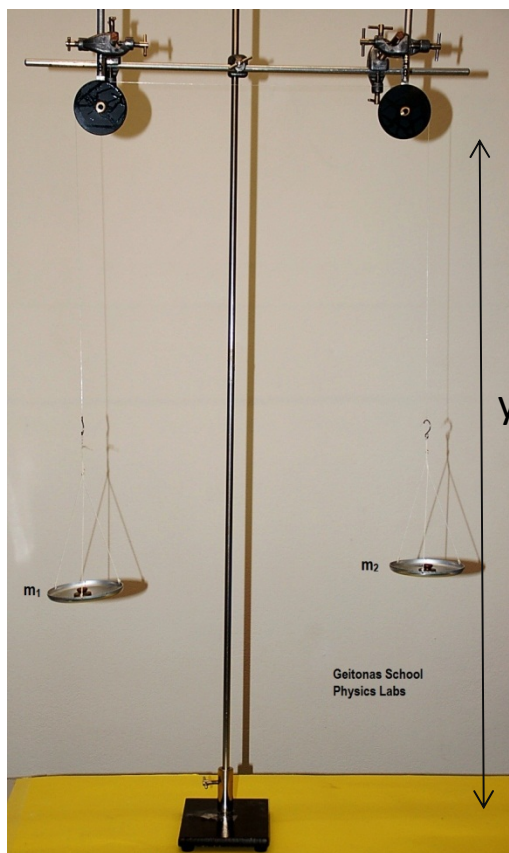
$$y = \frac{1}{2} at^2 \quad \text{ή}$$

$$a_{\pi} = \frac{2y}{t^2} \quad (\text{Πειραματική επιτάχυνση}).$$

Στον πειραματικό υπολογισμό της επιτάχυνσης χρησιμοποιήσαμε μετρήσεις χρόνου και απόστασης, στην πραγματικότητα όμως στο πείραμα **εμπλέκονται τριβές στη τροχαλία αλλά, και η ροπή αδρανείας της που αμφότερα τα θεωρήσαμε αμελητέα**. Έτσι, ενδέχεται να υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ των τιμών της θεωρητικής και πειραματικής τιμής της επιτάχυνσης. Ο βασικός σκοπός του πειράματος είναι να δείξει την εξάρτηση της επιτάχυνσης ενός συστήματος από τη συνισταμένη δύναμη και τη μάζα.

Πειραματική Διαδικασία (Α).**Μεταβάλλοντας την ολική μάζα, (ΣF σταθερή).**

1. Κατασκεύασε τη μηχανή Atwood όπως φαίνεται στην εικόνα. Αρχικά μη βάλεις extra μάζες στα δισκάκια. Χρησιμοποίησε αρκετό σκοινί ώστε η διαδρομή (y) να είναι λίγο μικρότερη από ένα μέτρο για αξιόπιστες μετρήσεις. Μέτρησε και κατέγραψε την απόσταση (y) στον Πίνακα (Α). Ζύγισε επίσης τα άδεια δισκάκια.
2. Ξεκίνα βάζοντας 60g στο δισκάκι που θα κατέβει ώστε να δημιουργήσεις μια βαρυτική δύναμη εξ' αιτίας της διαφοράς μάζας. Η δύναμη αυτή θα αναγκάσει το σύστημα να επιταχυνθεί από την ηρεμία. Κάνε μερικές δοκιμές να δεις πως συμπεριφέρεται το σύστημα πριν πάρεις τις κανονικές μετρήσεις.
Θεωρώντας την κατερχόμενη μάζα ως m_2 κατέγραψε τις τιμές των μαζών m_1 και m_2 στον πίνακα (Α).
3. Κάνε τρεις (3) ανεξάρτητες μετρήσεις για τον χρόνο που χρειάζεται η μάζα m_2 να διανύσει την απόσταση y από την ηρεμία. Κατέγραψε τις μετρήσεις αυτές στον πίνακα (Α).
4. Πρόσθεσε 40g σε κάθε δισκάκι. Επανάλαβε τη διαδικασία (3) και κατέγραψε πάλι όλες τις μετρήσεις στον πίνακα (Α).
5. Επανάλαβε τη διαδικασία (3) για δύο ακόμα φορές προσθέτοντας από 40g για κάθε φορά. Μη ξεχνάς να σημειώνεις τις μετρήσεις σου στον πίνακα (Α).

**Παρατήρηση**

Οι μάζες πρέπει να ξεκινούν από την ηρεμία κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Μια καλή τεχνική είναι η εξής:

- α) Κράτησε τη m_1 κάτω στο έδαφος.
 - β) Ταυτόχρονα ελευθέρωσε την m_1 και ξεκίνα το χρονόμετρο.
 - γ) Σταμάτα το χρονόμετρο τη στιγμή ακριβώς που η m_2 φθάνει στο έδαφος.
- Καλύτερες μετρήσεις θα επιτευχθούν αν το ίδιο άτομο χειρίζεται το χρονόμετρο και ελευθερώνει την μάζα m_1 .

Πειραματική Διαδικασία (B).**Μεταβάλλοντας τη ΣF (Ολική μάζα συστήματος σταθερή).**

1. Ξεκίνησε αφήνοντας τα δύο δισκάκια χωρίς extra μάζες. Σιγουρέψου ότι το σύστημα ισορροπεί και πάλι.
2. Τοποθέτησε 50g (5 μικρές μάζες των 10g), στο ένα δισκάκι και 50g στο άλλο.
3. Μετέφερε 10g από το ένα δισκάκι στο άλλο, έτσι ώστε να προκύψει πάλι διαφορά μάζας άρα βαρυτική δύναμη που θα επιταχύνει το σύστημα. Ζύγισέ τα και κατέγραψε τις μάζες τους στον ΠΙΝΑΚΑ (B). Η διαφορά είναι τώρα ότι **η συνολική τους μάζα θα παραμένει σταθερή**.
4. Όπως και στη πειραματική διαδικασία (A), μέτρησε το χρόνο που χρειάζεται η μάζα m_2 να διανύσει την απόσταση y .
 - α) Μετέφερε 10 g ακόμα από το δισκάκι m_1 στο δισκάκι m_2 για την μέτρηση 6.
 - β) Μετέφερε 10 g ακόμα από το δισκάκι m_1 στο δισκάκι m_2 για την μέτρηση 7.
 - γ) Μετέφερε 10 g ακόμα από το δισκάκι m_1 στο δισκάκι m_2 για την μέτρηση 8.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α

Σκοπός: Να μελετηθεί το $a=F/m$ κρατώντας το F σταθερό.

		Μετρήσεις			
		1	2	3	4
Κατερχόμενη μάζα m_2 (Kg)					
Ανερχόμενη μάζα m_1 (Kg)					
Απόσταση που διανύει y (m)					
Χρόνος t (s)	δοκιμή 1				
	δοκιμή 2				
	δοκιμή 3				
	Μέση τιμή				
Μετρηθείσα Επιτάχυνση $a_{\pi} = 2y/t^2$ (m/s ²)					
Συνολική Μάζα $m_{ολ} = m_1 + m_2$ (Kg)					
Συνισταμένη Δύναμη $\Sigma F = (m_2 - m_1)g$ (N)					
Θεωρητική Επιτάχυνση $a_{\theta} = \frac{\Sigma F}{m_{ολ}}$ (m/s ²)					
% Διαφορά μεταξύ a_{π} και a_{θ}					

ΠΙΝΑΚΑΣ Β

Σκοπός: Να μελετηθεί το $a=F/m$ κρατώντας το m σταθερό.

		Μετρήσεις			
		5	6	7	8
Κατερχόμενη μάζα m_2 (Kg)					
Ανερχόμενη μάζα m_1 (Kg)					
Απόσταση που διανύει y (m)					
Χρόνος t (s)	δοκιμή 1				
	δοκιμή 2				
	δοκιμή 3				
	Μέση τιμή				
Μετρηθείσα Επιτάχυνση $a_{\pi=2y/t^2}$ (m/s ²)					
Συνολική Μάζα $m_{ολ} = m_1 + m_2$ (Kg)					
Συνισταμένη Δύναμη $\Sigma F = (m_2 - m_1) g$ (N)					
Θεωρητική Επιτάχυνση $a_{\theta} = \frac{\Sigma F}{m_{ολ}}$ (m/s ²)					
% Διαφορά μεταξύ a_{π} και a_{θ}					

Ερωτήσεις - Επεξεργασία

1. Όταν η συνισταμένη δύναμη (βαρυτική δύναμη της διαφοράς μάζας) αυξάνει (με την ολική μάζα του συστήματος σταθερή) η επιτάχυνση του συστήματος.....

2. Όταν η ολική μάζα που επιταχύνεται αυξάνεται (συνισταμένη δύναμη σταθερή) η επιτάχυνση του συστήματος.....

3. Πως μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας g χρησιμοποιώντας την «μηχανή Atwood» ;

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τον πίνακα (B) σχεδιάσε τη γραφική παράσταση της επιτάχυνσης των δύο σωμάτων σε συνάρτηση με τη διαφορά: $(m_2 - m_1)$ σε χαρτί μιλλμετρέ. (Σχεδιάζοντας τη ευθεία που περνάει με βέλτιστο τρόπο από τα δεδομένα).

5. Δικαιολόγησε τη μορφή της γραφικής παράστασης με βάση την εξίσωση (3).

.....
.....
.....
.....

6. Βρες τη κλίση της καμπύλης και σημείωσε τη τιμή της:

$$\text{κλίση } \kappa = \dots\dots\dots$$

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη κλίση υπολόγισε την επιτάχυνση της βαρύτητας και την % απόκλιση από την πραγματική τιμή ($9,81 \text{ m/s}^2$).

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Βιβλιογραφία:

- Physics Laboratory Experiments (Sixth Edition). Jerry D. Wilson, Cecilia A. Hernandez.
- Laboratory Experiments In College Physics (Seventh Edition). Cicero H. Bernard, Chiold D. Epp.

Ενδεικτικές Μετρήσεις

Πειραματική Διαδικασία Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α

Μάζα δίσκου 1 = 24,9 g Μάζα δίσκου 2 = 25,4 g		Μετρήσεις			
		1	2	3	4
Κατερχόμενη μάζα m_2 (Kg)		0,085	0,125	0,165	0,205
Ανερχόμενη μάζα m_1 (Kg)		0,025	0,065	0,105	0,145
Απόσταση που διανύει y (m)		0,8			
Χρόνος t (s)	δοκιμή 1	0,62	0,76	0,93	1,04
	δοκιμή 2	0,64	0,8	0,95	1,05
	δοκιμή 3	0,62	0,76	0,96	1,06
	Μέση τιμή	0,62	0,77	0,94	1,05
Μετρηθείσα Επιτάχυνση $a_{\pi} = 2y/t^2$ (m/s ²)		4,16	2,7	1,81	1,45
Συνολική Μάζα $m_{ολ} = m_1 + m_2$ (Kg)		0,110	0,190	0,270	0,350
Συνισταμένη Δύναμη $\Sigma F = (m_2 - m_1)g$ (N)		0,59	0,59	0,59	0,59
Θεωρητική Επιτάχυνση $a_{\theta} = \frac{\Sigma F}{m_{ολ}}$ (m/s ²)		5,4	3,1	2,2	1,7
% Διαφορά μεταξύ a_{π} και a_{θ}		22,9	11,3	17,8	14,7

Σημ. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, υπάρχει μια σημαντική απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και πειραματικής τιμής της επιτάχυνσης η οποία οφείλεται στο ότι υπάρχουν δυνάμεις τριβής, που δεν λάβαμε υπ' όψιν, η τροχαλία έχει ροπή αδρανείας που θεωρήσαμε αμελητέα, όπως επίσης θεωρήσαμε αβαρές το σκοινί. Όλα αυτά οδήγησαν σε αυτή την απόκλιση. Παρ' όλα αυτά ο σκοπός του πειράματος είναι να δείξει πως η επιτάχυνση ενός συστήματος εξαρτάται από την συνισταμένη δύναμη και τη μάζα και θεωρώ πως επιτυγχάνεται.

Πειραματική Διαδικασία Β**ΠΙΝΑΚΑΣ Β**

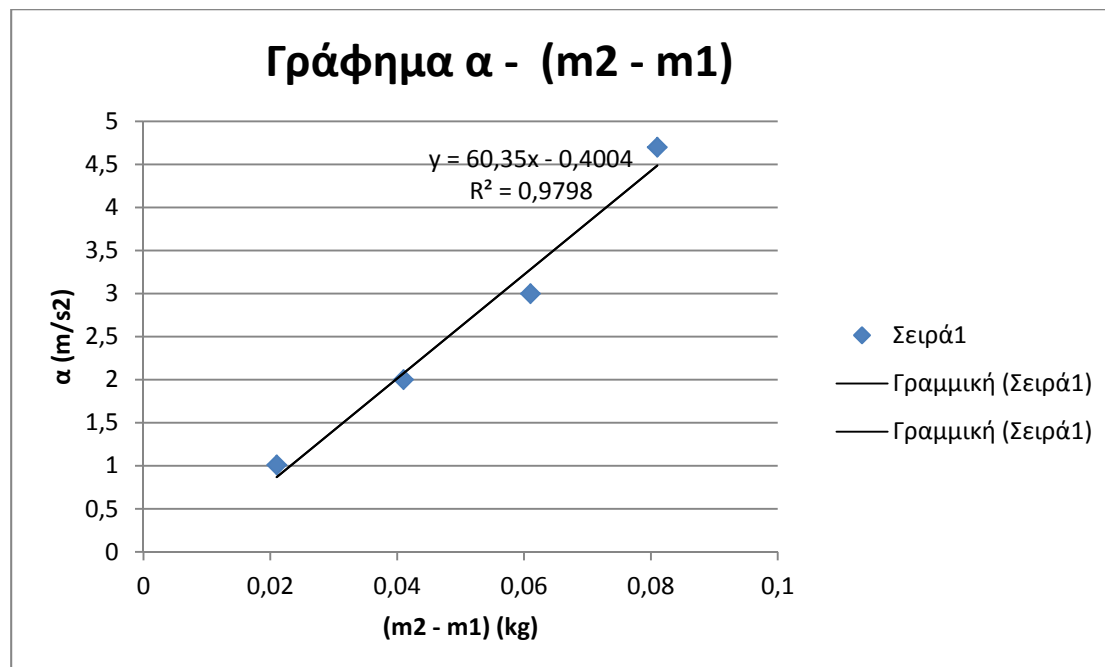
		Μετρήσεις			
		5	6	7	8
Κατερχόμενη μάζα m_2 (Kg)		0,086	0,096	0,106	0,116
Ανερχόμενη μάζα m_1 (Kg)		0,065	0,055	0,045	0,035
Απόσταση που διανύει y (m)		0,8			
Χρόνος t (s)	δοκιμή 1	1,26	0,89	0,7	0,53
	δοκιμή 2	1,27	0,90	0,77	0,56
	δοκιμή 3	1,26	0,89	0,76	0,59
	Μέση τιμή	1,26	0,89	0,73	0,59
Μετρηθείσα Επιτάχυνση $a_{\pi=2y/t^2}$ (m/s ²)		1,0	2,0	3,0	4,7
Συνολική Μάζα $m_{ολ} = m_1 + m_2$ (Kg)		0,151	0,151	0,151	0,151
Συνισταμένη Δύναμη $\Sigma F = (m_2 - m_1) g$ (N)		0,21	0,40	0,60	0,8
Θεωρητική Επιτάχυνση $a_{\theta} = \frac{\Sigma F}{m_{ολ}}$ (m/s ²)		1,36	2,66	3,96	5,3
% Διαφορά μεταξύ a_{π} και a_{θ}		26	24	24	11

Απάντηση στα Ερωτήματα 3,6

Αν κάνουμε μια γραφική παράσταση της επιτάχυνσης με τη διαφορά ($m_2 - m_1$) μπορούμε, υπολογίζοντας τη κλίση της καμπύλης που θα προκύψει να υπολογίσουμε το g . Πράγματι με τη βοήθεια της σχέσης $\alpha = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$ παρατηρούμε πως η κλίση της καμπύλης ισούται με $g/(m_1+m_2)$, οπότε γνωρίζοντας τη κλίση μπορούμε να βρούμε το g .

Έτσι από τα δεδομένα του πίνακα Β φτιάχνουμε ένα πίνακα τιμών και σχεδιάζουμε τη γρ. παράσταση $a-(m_2 - m_1)$:

$(m_2 - m_1)$ (Kg)	a (m/s ²)
0,021	1,0
0,041	2,0
0,061	3,0
0,081	4,7



Επομένως, $g = k(m_2 + m_1) = 60,35 \times 0,151 = \mathbf{9,11 \text{ m/s}^2}$

Αρκετά ικανοποιητική τιμή για τα δεδομένα του πειράματος.