

## B4. ΣΧΕΔΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

#### A. Τίτλος: Ερευνώ την απώλεια ενέργειας μεταξύ διαδοχικών αναπηδήσεων μιας μπάλας του μπάσκετ

#### B. Γενική Περιγραφή:

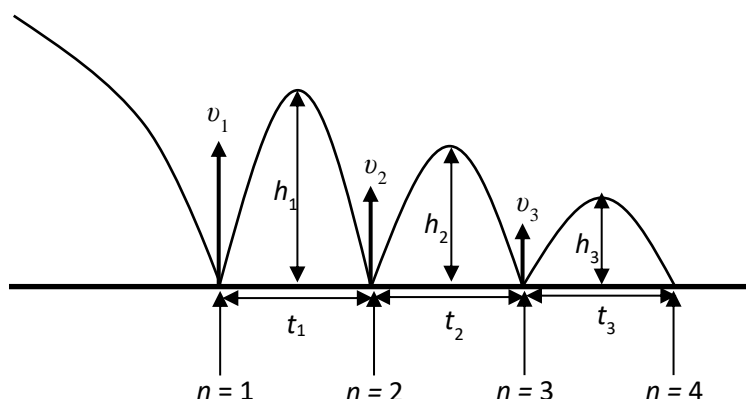
Οι μαθητές και οι μαθήτριες αφήνουν από γνωστό ύψος μία μπάλα του μπάσκετ, να αναπηδήσει πάνω στο δάπεδο της αίθουσας διδασκαλίας και χρησιμοποιώντας μία έξυπνη κινητή συσκευή (ΕΚΣ) με εγκατεστημένη την ελεύθερη εφαρμογή ρηγροχ καταγράφουν τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών κρούσεων της μπάλας με το δάπεδο.

Στη συνέχεια, οι μαθητές και οι μαθήτριες υπολογίζουν το μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει κάθε φορά η μπάλα μετά την κάθε αναπήδηση καθώς και την αντίστοιχη δυναμική ενέργεια. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με τη βοήθεια της σχετικής θεωρίας.

Τέλος, ζητείται από τους μαθητές και τις μαθήτριες να απαντήσουν σε ερωτήματα σχετικά με τη μείωση της μηχανικής ενέργειας της μπάλας μετά από κάθε αναπήδηση και τις πιθανές παραμέτρους που επηρεάζουν το φαινόμενο.

#### Γ. Θεωρία:

Αν αφεθεί μία (αρκετά) ελαστική μπάλα από κάποιο ύψος να πέσει πάνω σε μια σκληρή επιφάνεια αφού συγκρουστεί με αυτή, αναπηδά και στη συνέχεια συγκρούεται ξανά με την επιφάνεια. Με αυτό τον τρόπο ακολουθεί μια σειρά από κρούσεις και αναπηδήσεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Καθεμία από τις διαδοχικές κρούσεις χαρακτηρίζεται από έναν ακέραιο αριθμό  $n$ .



**Σχήμα 1:** Οι διαδοχικές κρούσεις της ελαστικής μπάλας με μια ακλόνητη επιφάνεια. Αν και η κίνηση της μπάλας γίνεται συνεχώς στην ίδια κατακόρυφο, στο σχήμα για την καλύτερη αναπαράσταση η μπάλα εμφανίζεται να αναπηδά έχοντας και μια οριζόντια ταχύτητα. Οι ταχύτητες σημειώνονται με κατακόρυφα διανύσματα όπως πραγματικά συμβαίνει κατά την διεξαγωγή του πειράματος.

Έστω ότι  $v_1$  είναι το μέτρο της ταχύτητας με την οποία αναπηδά η μπάλα μετά την 1<sup>η</sup> κρούση. Στη συνέχεια αφού συγκρουστεί για 2<sup>η</sup> φορά αναπηδά με ταχύτητα μέτρου  $v_2$  κοκ. Έστω επίσης  $t_1$  ο χρόνος μεταξύ 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> κρούσης (χρόνος 1<sup>ης</sup> αναπήδησης),  $t_2$  ο χρόνος μεταξύ 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> κρούσης (χρόνος 2<sup>ης</sup> αναπήδησης) κοκ.

Μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων η επιτάχυνση με την οποία κινείται η μπάλα είναι σταθερή και ίση με  $g$ . Αυτό σημαίνει, ότι για κάθε στιγμή  $t$  μεταξύ 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> κρούσης ( $0 \leq t \leq t_1$ ), και θεωρώντας θετική φορά προς τα πάνω :

α. για την ταχύτητα της μπάλας  $v$  ισχύει η σχέση

$$v = v_1 - g \cdot t$$

β. για το ύψος  $h$  της μπάλας από το έδαφος ισχύει η σχέση

$$h = v_1 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

γ. η μηχανική ενέργεια της μπάλας θα υπολογίζεται από τη σχέση

$$E = K + U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$

Κατά την κίνηση της μπάλας, μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων της στο δάπεδο, η μηχανική ενέργεια θα διατηρείται αν θεωρήσουμε την αντίσταση του αέρα αμελητέα. Προφανώς οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν με κατάλληλη αλλαγή των δεικτών των μεγεθών για δυο οποιεσδήποτε διαδοχικές αναπηδήσεις της μπάλας.

#### Δ. Φύλλο εργασίας:

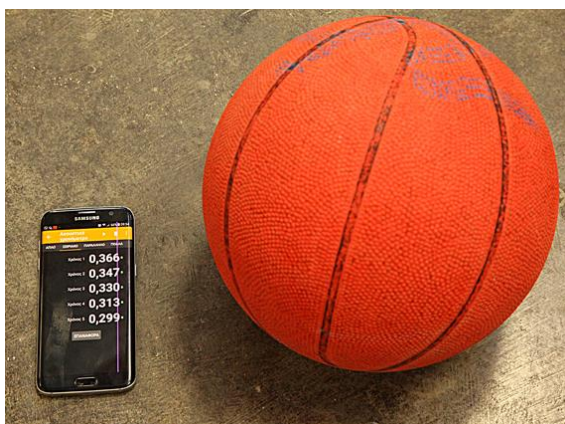
##### Δ1. Όργανα και υλικά:

- Μετροταινία για μέτρηση μήκους έως 1 m.
- ΕΚΣ (Tablets για πειραματισμό στο σχολείο ή έξυπνο κινητό τηλέφωνο για πειραματισμό στο σπίτι) στην οποία έχει εγκατασταθεί η ελεύθερη εφαρμογή ρηγροχ
- Ζυγαριά
- Μια μπάλα του μπάσκετ

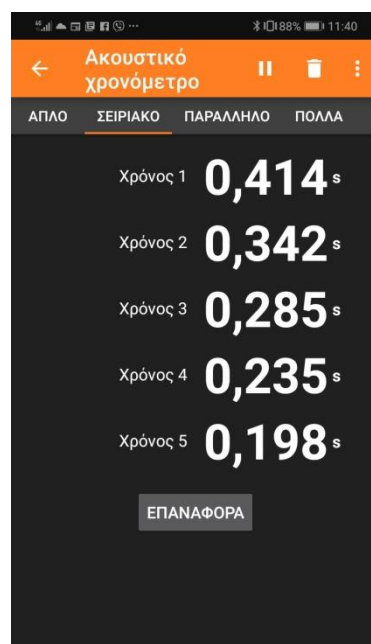
##### Δ2. Πειραματική διαδικασία:

##### Μέρος Α: Οδηγίες για τη λήψη των πειραματικών μετρήσεων

Στην ΕΚΣ θα πρέπει να έχετε εγκαταστήσει την εφαρμογή ρηγροχ και θα εργαστείτε με το ακουστικό χρονόμετρο στη λειτουργία «Σειριακό». Στην Εικόνα 1 φαίνεται μια μπάλα του μπάσκετ και η οθόνη της ΕΚΣ με την εφαρμογή ρηγροχ. Αν αφήσετε την μπάλα από κάποιο ύψος να αναπηδήσει στο πάτωμα τότε με τη λειτουργία «Σειριακό», που αναφέραμε, μπορούμε να καταγράψουμε μέχρι πέντε τιμές χρόνου μεταξύ διαδοχικών ήχων που παράγονται από την κάθε κρούση της μπάλας με το δάπεδο (Εικόνα 2).



Εικόνα 1. Η ΕΚΣ και μία μπάλα.



Εικόνα 2. Η λειτουργία του σειριακού ακουστικού χρονομέτρου.

Συγκεκριμένα:

- **Χρόνος 1** (ας τον συμβολίσουμε  $t_1$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> κρούσης της μπάλας με το δάπεδο.
- **Χρόνος 2** (ας τον συμβολίσουμε  $t_2$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> κρούσης της μπάλας με το δάπεδο.
- **Χρόνος 3** (ας τον συμβολίσουμε  $t_3$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> κρούσης της μπάλας με το δάπεδο.
- **Χρόνος 4** (ας τον συμβολίσουμε  $t_4$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ της 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> κρούσης της μπάλας με το δάπεδο.

- Χρόνος 5 (ας τον συμβολίσουμε  $t_5$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ της 5<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> κρούσης της μπάλας με το δάπεδο.

### Μέρος Β: Οι υπολογισμοί με βάση τη θεωρία

Θεωρώντας ως δεδομένα την επιτάχυνση της βαρύτητας  $g$  και τους χρόνους  $t_1$  να εξάγετε μία σχέση από την οποία θα υπολογίζετε το μέγιστο ύψος  $h_1$  στο οποίο φτάνει η μπάλα ανάμεσα στην 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup> κρούση. Να γενικεύσετε την σχέση ώστε να υπολογίζετε από αυτή το μέγιστο ύψος  $h_2$  στο οποίο φτάνει η μπάλα ανάμεσα στη 2<sup>η</sup> και την 3<sup>η</sup> κρούση (συναρτήσει του χρόνου  $t_2$ ), καθώς και τα επόμενα μέγιστα ύψη.

Θα μελετήσουμε την άνοδο και κάθοδο της μπάλας ξεχωριστά για να προσδιορίσουμε τη σχέση που συνδέει τον χρόνο ανόδου  $t_{αν}$ , με τον χρόνο καθόδου  $t_{καθ}$ .

#### Άνοδος

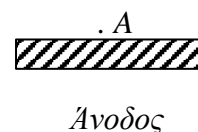
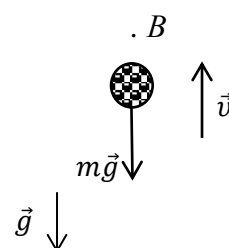
Η μπάλα εκτελεί κατακόρυφη βολή προς τα πάνω στο βαρυτικό πεδίο της Γης οπότε η επιτάχυνση της θα είναι ίση με εκείνη της βαρύτητας  $g$ . Η μπάλα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση με αρχική ταχύτητα αυτή που απέκτησε ακριβώς μετά την αναπήδηση, έστω  $v_0$ . Από την εξίσωση της ταχύτητας για τον χρόνο ανόδου  $t_{αν}$  που η μπάλα φτάνει στο μέγιστο ύψος(θέση Β) με  $(AB) = h_1$  έχουμε:

$$v_B = v_0 - g \cdot t_{αν} \text{ ή } 0 = v_0 - g \cdot t_{αν} \text{ ή } v_0 = g \cdot t_{αν} \quad (1)$$

Αντικαθιστώντας την (1) στην εξίσωση κίνησης:

$$h_1 = v_0 \cdot t_{αν} - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{αν}^2 \text{ ή } h_1 = g \cdot t_{αν}^2 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{αν}^2$$

$$\text{ή } h_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{αν}^2 \text{ οπότε, } t_{αν} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_1}{g}} \quad (2)$$



#### Κάθοδος

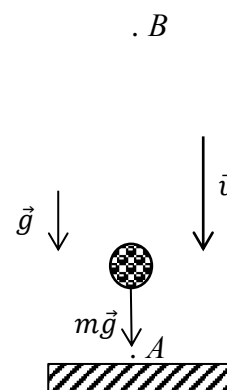
Η μπάλα εκτελεί ελεύθερη πτώση. Αν  $t_{καθ}$  η χρονική διάρκεια της πτώσης μέχρι την επόμενη κρούση χρησιμοποιούμε την εξίσωση της κίνησης για να την υπολογίσουμε:

$$h_1 = \frac{1}{2} g \cdot t_{καθ}^2 \text{ οπότε, } t_{καθ} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_1}{g}} = t_{αν} \quad (3)$$

Σύμφωνα με την (3) θα ισχύει:

$$t_1 = t_{αν} + t_{καθ} = 2 \cdot t_{καθ} \text{ ή } t_{καθ} = \frac{t_1}{2} \quad (4)$$

Άρα με χρήση της (4) στο πείραμα μας μπορεί να υπολογιστεί το μέγιστο ύψος  $h_1$ :



Κάθοδος

$$h_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{καθ}^2 = \frac{1}{2} g \cdot \left(\frac{t_1}{2}\right)^2 \text{ ή } h_1 = \frac{1}{8} \cdot g \cdot t_1^2 \quad (5)$$

Γενικεύοντας έστω ότι ο χρόνος  $i$  (ας τον ονομάσουμε  $t_i$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ της  $i^{ης}$  και  $(i+1)^{ης}$  κρούσης της μπάλας με το δάπεδο. Αντίστοιχα με την (4) θα ισχύει:

$$t_i = t_{αν} + t_{καθ} = 2 \cdot t_{καθ} \text{ ή } t_{καθ} = \frac{t_i}{2} \quad (6)$$

Άρα με χρήση της (6) στο πείραμα μας μπορούμε κάθε φορά να υπολογίζουμε το μέγιστο ύψος  $h_i$  που φτάνει η μπάλα μεταξύ δύο διαδοχικών αναπηδήσεων μετρώντας με την εφαρμογή rhyrhox στην Εξυπνη Κινητή Συσκευή μας (Tablet για Πειραματισμό στο σχολείο και Tablet ή κινητό τηλέφωνο για πειραματισμό στο σπίτι) τον αντίστοιχο χρόνο  $t_i$ :

$$h_i = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{καθ}^2 = \frac{1}{2} g \cdot \left(\frac{t_i}{2}\right)^2 \text{ ή } h_i = \frac{1}{8} \cdot g \cdot t_i^2 \quad (7)$$

**Στη συνέχεια να εξάγετε μία σχέση για την μηχανική ενέργεια της μπάλας στη διάρκεια της κίνησης που εκτελεί ανάμεσα στην 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup> κρούση με τον δάπεδο. Θεωρήστε γνωστή τη μάζα  $m$  της μπάλας και χρησιμοποιήστε τη σχέση που έχετε βρει για το μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει η μπάλα. Να γενικεύσετε τη σχέση ώστε να υπολογίζετε τη μέγιστη δυναμική ενέργεια ανάμεσα σε δυο οποιεσδήποτε διαδοχικές κρούσεις.**

Κατά την κίνηση της μπάλας, μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων της στο δάπεδο, η μηχανική ενέργεια θα διατηρείται αν θεωρήσουμε την αντίσταση του αέρα αμελητέα. Θεωρώντας ως επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας το δάπεδο η μηχανική ενέργεια, τη στιγμή που η μπάλα φθάνει στο μέγιστο ύψος  $h_1$  (θέση Β) θα είναι ίση με την δυναμική ενέργεια (μέγιστη) καθώς εκεί η κινητική ενέργεια μηδενίζεται στιγμιαία :

$$E_B = K_B + U_B = 0 + m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_1 \quad (8)$$

Μπορεί να εξαχθεί μία σχέση για τη μηχανική ενέργεια (που είναι εύκολο να υπολογιστεί ως η δυναμική ενέργεια της μπάλας, ως προς το έδαφος, στο μέγιστο ύψος  $h_1$ ) στην κίνηση που εκτελεί ανάμεσα στην 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup> κρούση, με χρήση της (8) ως εξής:

$$\text{ή } E_1 = m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{8} \cdot m \cdot g^2 \cdot t_1^2 \quad (9)$$

Λαμβάνοντας την επιτάχυνση της βαρύτητας ίση με  $9,8 \text{ m/s}^2$  ή (6) γίνεται:

$$E_1 = 12 \cdot m \cdot t_1^2 \quad (10)$$

Γενικεύοντας για τη μηχανική ενέργεια (που είναι εύκολο να υπολογιστεί ως η δυναμική ενέργεια της μπάλας, ως προς το έδαφος, στο μέγιστο ύψος  $h_i$ ) στην κίνηση που εκτελεί ανάμεσα στην  $i^{η}$  και την  $(i+1)^{η}$  κρούση, προκύπτει:

$$E_i = 12 \cdot m \cdot t_i^2 \quad (11)$$

**Υπολογίστε στη συνέχεια το % ποσοστό απωλειών της μηχανικής ενέργειας της μπάλας κατά τη 2<sup>η</sup> κρούση συναρτήσει των χρόνων  $t_1$  και  $t_2$ . Να γενικεύσετε τη σχέση ώστε να υπολογίζετε από αυτή το % ποσοστό**

απωλειών της ενέργειας της μπάλας κατά την 3<sup>η</sup> κρούση (συναρτήσει των χρόνων  $t_2$  και  $t_3$ ), κατά την 4<sup>η</sup> κρούση (συναρτήσει των χρόνων  $t_3$  και  $t_4$ ) και κατά την 5<sup>η</sup> κρούση ( $t_4$  και  $t_5$ ).

Υπολογίζουμε το % ποσοστό απωλειών της μηχανικής ενέργειας της μπάλας κατά τη 1<sup>η</sup> κρούση συναρτήσει των χρόνων  $t_1$  και  $t_2$ :

$$\frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\% = \frac{t_1^2 - t_2^2}{t_1^2} \times 100\% \quad (12)$$

Γενικεύοντας, υπολογίζουμε το % ποσοστό απωλειών της μηχανικής ενέργειας της μπάλας κατά τη  $(i+1)^{\text{η}}$  κρούση συναρτήσει των χρόνων  $t_i$  και  $t_{i+1}$ :

$$\frac{E_i - E_{i+1}}{E_i} \times 100\% = \frac{t_i^2 - t_{i+1}^2}{t_i^2} \times 100\% \quad (13)$$

### Μέρος Γ: Τα ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερωτήματα που προτείνεται να απαντηθούν από τους μαθητές είναι:

- Γ1)** Η απώλεια της μηχανικής ενέργειας της μπάλας από κρούση σε κρούση είναι ίδια, αυξάνεται ή μειώνεται;
- Γ2)** Υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ των % ποσοστών μείωσης της μηχανικής ενέργειας της μπάλας από κρούση σε κρούση;
- Γ3)** Οι σχέσεις που διαπιστώσατε στα προηγούμενα ερωτήματα εξαρτώνται από το αρχικό ύψος που αφέθηκε η μπάλα;

### Μέρος Δ: Λήψη πειραματικών μετρήσεων

Ζυγίστε τη μπάλα και καταγράψτε τη μάζα της.

Μάζα μπάλας ( $m$ ): 0,576 Kg

Αφήστε την μπάλα από αρχικό ύψος  $H = 30 \text{ cm}$  και κρατώντας την ΕΚΣ κοντά στην περιοχή αναπήδησης της μπάλας καταγράψτε τους χρόνους κίνησης της μπάλας μεταξύ των διαδοχικών κρούσεων, όπως στην εικόνα 2. Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή η μπάλα δεν είναι υλικό σημείο αλλά έχει διαστάσεις, το αρχικό ύψος  $H$  είναι η απόσταση που διανύει το κέντρο της μπάλας από την στιγμή που η μπάλα αφήνεται ελεύθερη μέχρι να έρθει σε επαφή με το δάπεδο. Αυτό το ύψος ταυτίζεται με την απόσταση μεταξύ του δαπέδου και του χαμηλότερου σημείου της μπάλας ως προς αυτό, όταν αυτή αφήνεται και προτείνεται να μετρηθεί με αυτόν τον τρόπο.

Να μεταφέρετε στον Πίνακα 1 τις τιμές του χρόνου που καταγράψατε με την ΕΚΣ.

**Πίνακας 1. Χρόνοι αναπήδησης (χρόνοι μεταξύ κρούσεων)**

$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_4$ (s)	$t_5$ (s)
0.462	0.412	0.366	0.329	0.296

### Μέρος Ε: Επεξεργασία μετρήσεων

Με τις τιμές του Πίνακα 1 συμπληρώστε τους Πίνακες 2, 3 και 4.

**Πίνακας 2. Μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει η μπάλα**

Μεταξύ 1 <sup>ης</sup> και 2 <sup>ης</sup> κρούσης $h_1$ (m)	Μεταξύ 2 <sup>ης</sup> και 3 <sup>ης</sup> κρούσης $h_2$ (m)	Μεταξύ 3 <sup>ης</sup> και 4 <sup>ης</sup> κρούσης $h_3$ (m)	Μεταξύ 4 <sup>ης</sup> και 5 <sup>ης</sup> κρούσης $h_4$ (m)	Μεταξύ 5 <sup>ης</sup> και 6 <sup>ης</sup> κρούσης $h_5$ (m)
0,26	0,21	0,16	0,13	0,11

**Πίνακας 3. Μείωση της μηχανικής ενέργειας της μπάλας**

2 <sup>η</sup> κρούση $E_1-E_2$ (J)	3 <sup>η</sup> κρούση $E_2-E_3$ (J)	4 <sup>η</sup> κρούση $E_3-E_4$ (J)	5 <sup>η</sup> κρούση $E_4-E_5$ (J)
0,30	0,25	0,18	0,14

**Πίνακας 4. Το % ποσοστό της μείωση της μηχανικής ενέργειας της μπάλας**

2 <sup>η</sup> κρούση $(E_1-E_2)/E_1$	3 <sup>η</sup> κρούση $(E_2-E_3)/E_2$	4 <sup>η</sup> κρούση $(E_3-E_4)/E_4$	5 <sup>η</sup> κρούση $(E_4-E_5)/E_4$
20%	21%	19%	19%

Αφήστε τώρα την ίδια μπάλα από ύψος  $H = 20\text{ cm}$  και συμπληρώστε τους Πίνακες 5, 6, 7 και 8 κατ' αναλογία με τους Πίνακες 1,2, 3 και 4.

**Πίνακας 5. Χρόνοι αναπήδησης**

$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_4$ (s)	$t_5$ (s)
0,381	0,340	0,304	0,273	0,244

**Πίνακας 6. Μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει η μπάλα**

Μεταξύ 1 <sup>ης</sup> και 2 <sup>ης</sup> κρούσης $h_1$ (m)	Μεταξύ 2 <sup>ης</sup> και 3 <sup>ης</sup> κρούσης $h_2$ (m)	Μεταξύ 3 <sup>ης</sup> και 4 <sup>ης</sup> κρούσης $h_3$ (m)	Μεταξύ 4 <sup>ης</sup> και 5 <sup>ης</sup> κρούσης $h_4$ (m)	Μεταξύ 5 <sup>ης</sup> και 6 <sup>ης</sup> κρούσης $h_5$ (m)
0,18	0,14	0,11	0,09	0,07

**Πίνακας 7. Μείωση της μηχανικής ενέργειας της μπάλας**

2 <sup>η</sup> κρούση $E_1-E_2$ (J)	3 <sup>η</sup> κρούση $E_2-E_3$ (J)	4 <sup>η</sup> κρούση $E_3-E_4$ (J)	5 <sup>η</sup> κρούση $E_4-E_5$ (J)
--	--	--	--

0,20	0,16	0,12	0,10
------	------	------	------

**Πίνακας 8. Το % ποσοστό της απώλειας της μηχανικής ενέργειας της μπάλας**

2 <sup>η</sup> κρούση ( $E_1-E_2$ )/ $E_1$	3 <sup>η</sup> κρούση ( $E_2-E_3$ )/ $E_2$	4 <sup>η</sup> κρούση ( $E_3-E_4$ )/ $E_4$	5 <sup>η</sup> κρούση ( $E_4-E_5$ )/ $E_4$
20%	20%	19%	20%

Αφήστε τέλος την ίδια μπάλα από ύψος  $H_3=15\text{ cm}$  και συμπληρώστε κατάλληλα τους Πίνακες 9, 10, 11 και 12.

**Πίνακας 9. Χρόνοι αναπήδησης**

$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_4$ (s)	$t_5$ (s)
0,341	0,305	0,272	0,245	0,221

**Πίνακας 10. Μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει η μπάλα**

Μεταξύ 1 <sup>ης</sup> και 2 <sup>ης</sup> κρούσης $h_1$ (m)	Μεταξύ 2 <sup>ης</sup> και 3 <sup>ης</sup> κρούσης $h_2$ (m)	Μεταξύ 3 <sup>ης</sup> και 4 <sup>ης</sup> κρούσης $h_3$ (m)	Μεταξύ 4 <sup>ης</sup> και 5 <sup>ης</sup> κρούσης $h_4$ (m)	Μεταξύ 5 <sup>ης</sup> και 6 <sup>ης</sup> κρούσης $h_5$ (m)
0,14	0,11	0,09	0,07	0,06

**Πίνακας 11. Μείωση της μηχανικής ενέργειας της μπάλας**

2 <sup>η</sup> κρούση $E_1-E_2$ (J)	3 <sup>η</sup> κρούση $E_2-E_3$ (J)	4 <sup>η</sup> κρούση $E_3-E_4$ (J)	5 <sup>η</sup> κρούση $E_4-E_5$ (J)
0,16	0,13	0,10	0,08

**Πίνακας 12. Το % ποσοστό της απώλειας της μηχανικής ενέργειας της μπάλας**

2 <sup>η</sup> κρούση ( $E_1-E_2$ )/ $E_1$	3 <sup>η</sup> κρούση ( $E_2-E_3$ )/ $E_2$	4 <sup>η</sup> κρούση ( $E_3-E_4$ )/ $E_4$	5 <sup>η</sup> κρούση ( $E_4-E_5$ )/ $E_4$
20%	20%	19%	19%

Απαντήστε στα ερευνητικά ερωτήματα με βάση τα δεδομένα της έρευνάς σας.

### **Απάντηση στο Γ1**

Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι από κρούση σε κρούση μειώνεται η απώλεια της μηχανικής ενέργειας της μπάλας.

### **Απάντηση στο Γ2**

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό απωλειών της μηχανικής ενέργειας από κρούση σε κρούση σε όλες τις περιπτώσεις είναι 19% ή 20% και σε μία περίπτωση 21%. Με δεδομένο ότι οι αβεβαιότητες στις τιμές των ενεργειών με βάση τα σημαντικά ψηφία είναι τουλάχιστον της τάξης του 1% μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το ποσοστό απώλειας μηχανικής ενέργειας είναι πρακτικά σταθερό από κρούση σε κρούση.

### **Απάντηση στο Γ3**

Το ποσοστό απώλειας της μηχανικής ενέργειας, όπως ήδη προκύπτει από τα ευρήματα που αναφέρθηκαν στην απάντηση του ερωτήματος 2, είναι σταθερό περίπου 20% και ανεξάρτητο από το ύψος. Αυτό, ίσως, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό απώλειας της ενέργειας σε μία ανελαστική κρούση δεν εξαρτάται από τις αρχικές ενέργειες. Θα μπορούσε να γίνει διερεύνηση με μπάλα από διαφορετικό υλικό ώστε να διαπιστωθεί αν αυτό το ποσοστό εξαρτάται από το είδος των σωμάτων.

Σχετικά με την απώλεια ενέργειας από κρούση σε κρούση, όπως είδαμε μειώνεται και μάλιστα το ποσό της μείωσης εξαρτάται από το αρχικό ύψος, δηλαδή από την αρχική ενέργεια. Αυτό είναι συνέπεια και της διαπίστωσης ότι το ποσοστό είναι σταθερό και συνεπώς η απώλεια είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η αρχική ενέργεια.

### **Σχόλια/επεκτάσεις/παρατηρήσεις**

- Επειδή το πείραμα πραγματοποιείται με μία μεγάλη μπάλα (μπάλα του μπάσκετ) προτείνεται το αρχικό ύψος από το οποίο αφήνεται η μπάλα να είναι μικρότερο από 40 cm ώστε οι απώλειες ενέργειας λόγω της αντίστασης του αέρα να είναι μικρές (για να μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες). Το ίδιο προτείνεται αν χρησιμοποιηθεί μπάλα μικρότερου μεγέθους αλλά και σημαντικά μικρότερης μάζας, όπως π.χ. ένα μπαλάκι του πινγκ-πονγκ.
- Σύμφωνα με δοκιμές, η δραστηριότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί εξίσου αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας παιχνίδια χαμηλού κόστους («τρελόμπαλες») που οι περισσότεροι μαθητές διαθέτουν.

### **Βιβλιογραφία Εργαστηριακής αναφοράς**

1. Dahnuss, D., Marwoto, P., Iswari, R.S., & Listiaji, P. (2021). Marbles and smartphone on physics laboratory: an investigation for finding coefficient of restitution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918.
2. Kuhn J and Vogt P 2015 Smartphones and co. in physics education: effects of learning with new media experimental tools in acoustics Multidisciplinary Research on Teaching and Learning (Berlin: Springer)
3. Kateris Alexandros, Lazos Panagiotis, Tsoukos Serafeim, Tzamalīs Pavlos, Velentzas Athanasios, Possible Technical Problems Encountered by The Teacher in the Incorporation of Mobile Phone Sensors in the Physics Lab. *European J of Physics Education Volume 11 Issue 2 ISSN 1309-7202*, (2020)
4. Tsoukos Serafeim, Lazos Panagiotis, Tzamalīs Pavlos, Kateris Alexandros, Velentzas Athanasios, How effectively can students' personal smartphones be used as tools in physics labs? *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)* , Vol. 15, No. 14, 2021, <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i14.22375> eISSN: 1865-7923
5. An educational proposal for students' experimentation in a distance learning environment, Pavlos G Tzamalīs, Alexandros Kateris, Panagiotis Lazos, Serafeim Tsoukos and Athanasios Velentzas. Article in *Physics Education*, Volume 56, Number 6, November 2021 DOI: 10.1088/1361-6552/ac1c49 , 56(6):065010, Online ISSN: 1361-6552, Print ISSN: 0031-9120



6. Τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα ως πρόσφορα εργαλεία για διεξαγωγή έρευνας από μαθητές. Η περίπτωση της διερεύνησης διαδοχικών κρούσεων μιας σφαίρας με το δάπεδο. Τζαμαλής Πάυλος, Κατέρης Αλέξανδρος, Λάζος Παναγιώτης, Τσούκος Σεραφείμ, Βελέντζας Αθανάσιος, Scientix 2022.