

Χαράλαμπος Παπαθεοδώρου

Φυσική Γ΄ Λυκείου
Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών

Α΄ ΤΟΜΟΣ



Θέση υπογραφής δικαιούχου δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας,
εφόσον η υπογραφή προβλέπεται από τη σύμβαση

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις της ελληνικής νομοθεσίας (Ν. 2121/1993, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής αδείας του εκδότη κατά οποιονδήποτε τρόπο ή μέσο (ηλεκτρονικό, μηχανικό ή άλλο) αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Εκδόσεις Πατάκη – Εκπαίδευση

Χαράλαμπος Παπαθεοδώρου, *Φυσική Γ΄ Λυκείου, Ομάδας προσανατολισμού
θετικών σπουδών – Α΄ τόμος*

Επιστημονική επιμέλεια: Σοφία Λιανού

Διορθώσεις: Νάντια Κουτσοουρούμπα

Υπεύθυνος έκδοσης: Βαγγέλης Μπακλαβάς

DTP: Κέλλυ Καραμανλή, Αγγελική Κουτσούκου

Φιλμ – μοντάζ: Μαρία Ποιοιού-Ρένεση

Copyright © Σ. Πατάκης ΑΕΕΔΕ (Εκδόσεις Πατάκη), Χαράλαμπος Παπαθεοδώρου,
Αθήνα, 2015

Πρώτη έκδοση από τις Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Κ.Ε.Τ. Α074 – Κ.Ε.Π. 802/15

ISBN (set) 978-960-16-6544-1

ISBN (vol. 1) 978-960-16-6465-1

Επικοινωνία με τον συγγραφέα Χαράλαμπο Παπαθεοδώρου:

τηλ.: 210 6130139, 6937559171, e-mail: fidelso@yahoo.gr, papatheo.b@gmail.com



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΠΑΤΑΚΗ**

ΠΑΝΑΓΗ ΤΣΑΛΔΑΡΗ (ΠΡΩΗΝ ΠΕΙΡΑΙΩΣ) 38, 104 37 ΑΘΗΝΑ,

ΤΗΛ.: 210.36.50.000, 210.52.05.600, 801.100.2665, ΦΑΞ: 210.36.50.069

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ: ΕΜΜ. ΜΠΕΝΑΚΗ 16, 106 78 ΑΘΗΝΑ, ΤΗΛ.: 210.38.31.078

ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΗΜΑ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ: ΚΟΡΥΤΣΑΣ (ΤΕΡΜΑ ΠΟΝΤΟΥ – ΠΕΡΙΟΧΗ Β΄ ΚΤΕΟ),

570 09 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, Τ.Θ. 1213, ΤΗΛ.: 2310.70.63.54, 2310.70.67.15, ΦΑΞ: 2310.70.63.55

Web site: <http://www.patakis.gr> • e-mail: info@patakis.gr, sales@patakis.gr

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	7
Βασικές γνώσεις	9

Ενότητα πρώτη: Κρούσεις

Κεφάλαιο 1: Ελαστική κρούση	15
Κεφάλαιο 2: Ανελαστική και πλαστική κρούση	58
1ο Κριτήριο Αξιολόγησης	88
2ο Κριτήριο Αξιολόγησης	92
3ο Κριτήριο Αξιολόγησης	95

Ενότητα δεύτερη: Ταλαντώσεις

Κεφάλαιο 3: Απλή αρμονική ταλάντωση	101
Κεφάλαιο 4: Φθίνουσες μηχανικές ταλαντώσεις	255
Κεφάλαιο 5: Εξαναγκασμένες μηχανικές ταλαντώσεις	270
Κεφάλαιο 6: Σύνθεση ταλαντώσεων	286
Κεφάλαιο 7: Διακροτήματα	302
1ο Κριτήριο Αξιολόγησης	313
2ο Κριτήριο Αξιολόγησης	316
3ο Κριτήριο Αξιολόγησης	319
4ο Κριτήριο Αξιολόγησης	323
5ο Κριτήριο Αξιολόγησης	326

Ενότητα τρίτη: Κύματα

Κεφάλαιο 8: Μηχανικά κύματα	331
Κεφάλαιο 9: Συμβολή κυμάτων	384
Κεφάλαιο 10: Στάσιμα κύματα	436
Επαναληπτικά προβλήματα κυμάτων	483
1ο Κριτήριο Αξιολόγησης	488
2ο Κριτήριο Αξιολόγησης	491
3ο Κριτήριο Αξιολόγησης	494
4ο Κριτήριο Αξιολόγησης	497
5ο Κριτήριο Αξιολόγησης	500

Ενότητα τέταρτη: Φαινόμενο Doppler

Κεφάλαιο 11: Φαινόμενο Doppler	505
1ο Κριτήριο Αξιολόγησης	543
2ο Κριτήριο Αξιολόγησης	547
Απαντήσεις Ερωτήσεων – Λύσεις Ασκήσεων	551

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο βιβλίο αυτό παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο οι ενόπτες «Κρούσεις», «Ταλαντώσεις», «Κύματα» και «Φαινόμενο Doppler» της διδακτέας ύλης της *Φυσικής Ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών* της Γ' Λυκείου.

Σε κάθε κεφάλαιο περιέχονται:

- Θεωρία, όπου δίνεται έμφαση σε απαιτητικά σημεία, ώστε ο μαθητής να κατανοήσει τις έννοιες της Φυσικής και να εμβαθύνει σε αυτές.
- Παρατηρήσεις που βοηθούν τον μαθητή να κατανοήσει βασικά σημεία και να αποφύγει τυχόν «παγίδες» που θα τον οδηγήσουν σε λανθασμένη επίλυση. Οι παρατηρήσεις αυτές θα βοηθήσουν τον μαθητή ιδιαίτερα στην επανάληψη που θα κάνει για τις εξετάσεις του Ιουνίου.
- Βασικές ασκήσεις υποδειγματικά λυμένες. Στη διαδικασία της επίλυσης παρουσιάζονται σε πλαίσιο «σημεία-κλειδιά» που βοηθούν τον μαθητή να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει για τη λύση των ασκήσεων.
- Ερωτήσεις που καλύπτουν όλο το φάσμα της διδακτέας ύλης και βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της θεωρίας.
- Ασκήσεις και προβλήματα προς λύση, των οποίων το πλήθος και η πολυμορφία εξασφαλίζουν τη σωστή προετοιμασία του μαθητή.
- Κριτήρια αξιολόγησης, για να ελέγξει ο μαθητής τις γνώσεις του.

Στο τέλος του βιβλίου βρίσκονται οι απαντήσεις στις ερωτήσεις και οι λύσεις των ασκήσεων, των προβλημάτων και των κριτηρίων αξιολόγησης.

Ευχαριστώ όλους τους συναδέλφους και τους μαθητές μου, που με τις παρατηρήσεις τους βοήθησαν στη συγγραφή του βιβλίου αυτού, και ευελπιστώ στις υποδείξεις τους για την περαιτέρω βελτίωσή του.

Ο συγγραφέας

*Στα παιδιά μου
Στάθη, Στέλλα, Σοφία*

ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση: Είναι κάθε ευθύγραμμη κίνηση στην οποία το διάνυσμα της ταχύτητας \vec{v} παραμένει σταθερό. Ισχύει: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

Ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση: Είναι κάθε ευθύγραμμη κίνηση στην οποία το διάνυσμα της επιτάχυνσης \vec{a} παραμένει σταθερό.

Ισχύουν: $v = v_0 + at$, $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

Ελεύθερη πτώση: Είναι η κίνηση που κάνει ένα σώμα μόνο με την επίδραση του βάρους του. Ισχύουν: $a = g$ (σταθερό), $v = gt$, $h = \frac{1}{2} gt^2$

Νόμοι του Νεύτωνα

1ος Νόμος: Όταν η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα είναι μηδέν, τότε το σώμα είτε είναι ακίνητο είτε κινείται ευθύγραμμα ομαλά.

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} v = 0 \text{ ή} \\ \vec{v} = \text{σταθερό} \end{array} \right.$$

2ος Νόμος: Η επιτάχυνση \vec{a} ενός σώματος είναι ανάλογη της συνισταμένης δύναμης $\Sigma \vec{F}$ που ασκείται στο σώμα και αντιστρόφως ανάλογη της μάζας m του σώματος.

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}$$

3ος Νόμος: Όταν το σώμα Α ασκεί δύναμη \vec{F} στο σώμα Β, τότε και το σώμα Β ασκεί στο σώμα Α δύναμη \vec{F}' ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς με την \vec{F} (Νόμος δράσης – αντίδρασης).

Ορμή: Είναι ένα φυσικό διανυσματικό μέγεθος με μέτρο που δίνεται από τη σχέση $p = mv$ και κατεύθυνση ίδια με αυτή της ταχύτητας.

Μονάδα μέτρησης: $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ (SI)

Ο ρυθμός μεταβολής της ορμής δίνεται από τη σχέση: $\Sigma \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$

Έργο σταθερής δύναμης F : Είναι ένα φυσικό μονόμετρο μέγεθος με μέτρο ίσο με το εσωτερικό γινόμενο της δύναμης \vec{F} επί τη μετατόπιση \vec{s} του σημείου εφαρμογής της.

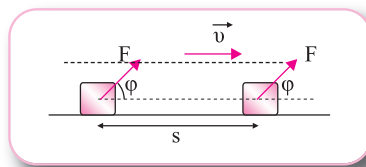
$W_F = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot \text{συν}\varphi$, όπου φ η γωνία που σχηματίζουν τα διανύσματα \vec{F} και \vec{s} .

Αν $\varphi = 0$, $W_F = F \cdot s$

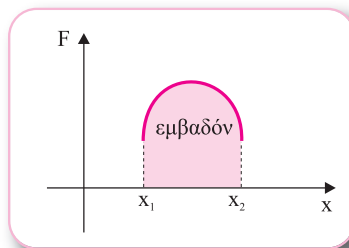
Αν $\varphi = 90^\circ$, $W_F = 0$

Αν $\varphi = 180^\circ$, τότε $W_F = -F \cdot s$

Μονάδα μέτρησης: 1 Joule (SI)



Έργο μεταβλητής δύναμης: Όταν η δύναμη δεν είναι σταθερή, το έργο της δεν μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $W = F \cdot \text{συν}\varphi$. Στην ειδική περίπτωση που η δύναμη έχει σταθερή διεύθυνση και μέτρο που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη μετατόπιση του σώματος, το έργο της είναι ίσο αριθμητικά με το εμβαδόν της γραφικής παράστασης $F = f(x)$.



Θεώρημα έργου - ενέργειας (ΘΜΚΕ): Κατά την κίνηση ενός σώματος η μεταβολή της κινητικής του ενέργειας είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα των έργων των δυνάμεων που δρουν πάνω του ή, ισοδύναμα, είναι ίση με το έργο της συνισταμένης δύναμης.

$$\Delta K = \Sigma W_{\vec{F}} = W_{\Sigma \vec{F}}$$

Το ΘΜΚΕ είναι μία άλλη μορφή της διατήρησης ενέργειας, γι' αυτό δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην εφαρμογή του.

Με το ΘΜΚΕ μπορούμε να υπολογίσουμε:

- την ταχύτητα ενός σώματος,
- το έργο μιας μεταβλητής δύναμης με άγνωστο τύπο,
- το έργο μεταβλητής δύναμης που το μέτρο της δεν μπορεί να γραφτεί σε συνάρτηση με την απομάκρυνση.

Συντηρητική δύναμη: Είναι η δύναμη που έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

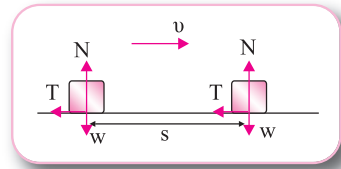
- Σε μια κλειστή διαδρομή το έργο της είναι μηδέν.
- Το έργο της είναι ανεξάρτητο της τροχιάς του σώματος και εξαρτάται **μόνο** απ' την **αρχική** και την **τελική** θέση.
- Το έργο της δίνεται από τη σχέση $W = U_{\text{αρχ}} - U_{\text{τελ}}$ (διαφορά δυναμικής ενέργειας). Συντηρητικές δυνάμεις είναι το βάρος, η ηλεκτροστατική δύναμη και η δύναμη του ελατηρίου.

Αρχή διατήρησης μηχανικής ενέργειας: Όταν σε ένα σώμα ασκούνται μόνο συντηρητικές δυνάμεις ή μη συντηρητικές δυνάμεις που το έργο τους είναι μηδέν, τότε η μηχανική ενέργεια του συστήματος διατηρείται. Η διατήρηση της μηχανικής ενέργειας προκύπτει από το ΘΜΚΕ.

$$K_{\text{τελ}} - K_{\text{αρχ}} = W_{\text{ολ}} = U_{\text{αρχ}} - U_{\text{τελ}} \quad \text{ή} \quad K_{\text{τελ}} + U_{\text{τελ}} = U_{\text{αρχ}} + K_{\text{αρχ}} \quad \text{ή} \\ E_{\text{μηχ(αρχ)}} = E_{\text{μηχ(τελ)}}$$

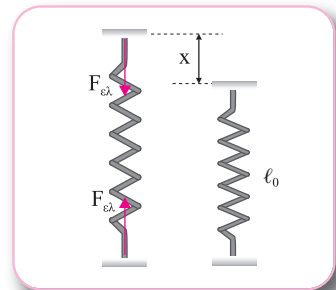
Έργο τριβής ολίσθησης: Για την τριβή ολίσθησης ($T = \mu N$) ισχύουν τα παρακάτω:

- Εάν η τριβή είναι σταθερή, τότε $W_T = -T \cdot s$. Το έργο της τριβής είναι αρνητικό, γιατί αντιτίθεται στην κίνηση του σώματος. (Αυτό ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις, όχι όμως πάντοτε.)
- Η τριβή δεν είναι συντηρητική δύναμη, άρα το έργο της εξαρτάται από την τροχιά του σώματος.

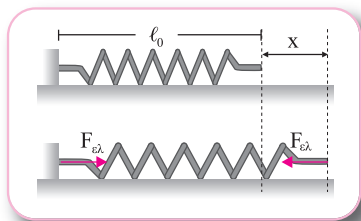


Ιδανικό ελατήριο: Είναι το ελατήριο για το οποίο ισχύουν τα παρακάτω:

- Δε γίνονται μόνιμες παραμορφώσεις.
- Ισχύει ο νόμος του Hooke: $F = kx$, όπου k είναι η σταθερά ελατηρίου, που εξαρτάται από τη φύση του ελατηρίου και έχει μονάδα 1 N/m , και x είναι η **επιμήκυνση** ή η **συσπείρωση** του ελατηρίου, δηλαδή η απομάκρυνσή του από τη θέση του φυσικού μήκους.



- Η δύναμη του ελατηρίου τείνει πάντοτε να επαναφέρει το ελατήριο στο φυσικό του μήκος.
- Η δύναμη του ελατηρίου ασκείται και στα δύο άκρα του.



Δυναμική ενέργεια ελατηρίου:

- Όταν το ελατήριο επιμηκώνεται ή συσπειρώνεται προσωρινά κατά x , έχει δυναμική ενέργεια $U = \frac{1}{2} kx^2$.
- Όταν το ελατήριο είναι στη θέση του φυσικού μήκους, τότε δεν έχουμε αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια στο ελατήριο, δηλαδή $U = 0$.

Έργο δύναμης ελατηρίου: Για τη δύναμη του ελατηρίου $\vec{F}_{ελ}$ ισχύουν τα παρακάτω:

- Είναι συντηρητική δύναμη, οπότε:
 - ✓ Το έργο της δίνεται από τη σχέση: $W = U_{αρχ} - U_{τελ} = \frac{1}{2} kx_{αρχ}^2 - \frac{1}{2} kx_{τελ}^2$
 - ✓ Σε μία κλειστή διαδρομή το έργο της είναι μηδέν.
- Δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση $W = F \cdot \text{συνφ}$, γιατί η δύναμη $F_{ελ}$ δεν είναι σταθερή. Επειδή όμως $F_{ελ} = kx$, το έργο της μπορεί να υπολογιστεί και από το εμβαδόν της γραφικής παράστασης $F_{ελ} = f(x)$.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1

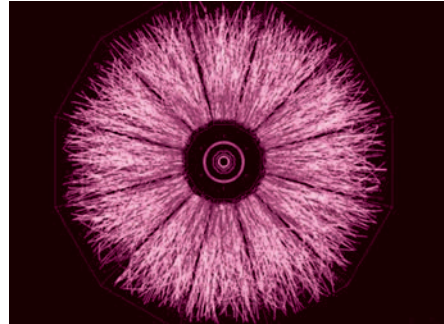
ΚΡΟΥΣΕΙΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΡΟΥΣΗ

Κρούση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν δύο ή περισσότερα σώματα έρχονται σε επαφή, η κινητική κατάσταση ενός τουλάχιστον απ' αυτά μεταβάλλεται απότομα. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται στις ισχυρές δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα σώματα που συγκρούονται κατά τη διάρκεια της επαφής τους. Οι δυνάμεις αυτές εμφανίζονται μεταξύ των μορίων των σωμάτων εξαιτίας της παραμόρφωσης των σωμάτων και τείνουν να επαναφέρουν τα μόρια στις αρχικές τους θέσεις. Η έννοια της κρούσης επεκτείνεται και στον μικρόκοσμο και συμπεριλαμβάνει και φαινόμενα στα οποία τα «συγκρουόμενα» σωματίδια δεν έρχονται σε επαφή. Ειδικά στον μικρόκοσμο, κρούση ονομάζεται και κάθε φαινόμενο στο οποίο τα «συγκρουόμενα» σωματίδια αλληλεπιδρούν με σχετικά μεγάλες δυνάμεις για πολύ μικρό χρόνο. Το φαινόμενο αυτό στη σύγχρονη φυσική ονομάζεται και **σκέδαση**.



Χιλιάδες σωματίδια εκρήγνυνται από το σημείο σύγκρουσης δύο σχετικιστικών ιόντων χρυσού.

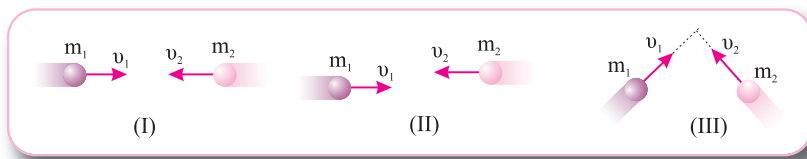
ΚΕΝΤΡΙΚΗ, ΕΚΚΕΝΤΡΗ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΑ ΚΡΟΥΣΗ

Ανάλογα με τη διεύθυνση στην οποία κινούνται τα σώματα πριν από τη σύγκρουση, οι κρούσεις διακρίνονται σε κεντρικές, έκκεντρες και πλάγιες.

Κεντρική (ή **μετωπική**) ονομάζεται η κρούση στην οποία τα διανύσματα των ταχυτήτων των κέντρων μάζας των σωμάτων βρίσκονται στην ίδια ευθεία (σχήμα I). Εάν τα σώματα που συγκρούονται είναι σφαίρες, οι ταχύτητές τους μετά την κρούση θα βρίσκονται επίσης στην ίδια αρχική διεύθυνση.

Έκκεντρη ονομάζεται η κρούση στην οποία οι ταχύτητες των κέντρων μάζας των σωμάτων είναι παράλληλες (σχήμα II).

Πλάγια ονομάζεται η κρούση στην οποία οι ταχύτητες των κέντρων μάζας των σωμάτων βρίσκονται σε τυχαίες διευθύνσεις (σχήμα III).



ΚΡΟΥΣΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

Επειδή το φαινόμενο της κρούσης διαρκεί πολύ λίγο χρόνο, ακόμη και αν υπάρχουν εξωτερικές δυνάμεις, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι ωθήσεις τους ($\Omega_F = F\Delta t$) είναι αμελητέες κατά τη διάρκεια της κρούσης. Επομένως, κατά τη διάρκεια της κρούσης η ορμή του συστήματος διατηρείται. Δηλαδή: $\vec{p}_{\text{αρχ}} = \vec{p}_{\text{τελ}}$.

ΚΡΟΥΣΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά τη σύγκρουση δύο σωμάτων ένα μέρος της μηχανικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Επειδή το φαινόμενο της κρούσης διαρκεί πολύ λίγο χρόνο, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κατά τη διάρκεια της κρούσης η θέση των σωμάτων, άρα και η δυναμική τους ενέργεια, που εξαρτάται από τη θέση τους, δε μεταβάλλεται. Επομένως, οποιαδήποτε αλλαγή στη μηχανική ενέργεια οφείλεται σε αλλαγή της κινητικής ενέργειας των σωμάτων.

Ανάλογα με το αν διατηρείται ή όχι η κινητική ενέργεια του συστήματος, οι κρούσεις διακρίνονται σε ελαστικές και ανελαστικές.

Ελαστική ονομάζεται η κρούση στην οποία διατηρείται η κινητική ενέργεια του συστήματος των συγκρουόμενων σωμάτων. Δηλαδή: $K_{\text{αρχ}} = K_{\text{τελ}}$.

Ανελαστική ονομάζεται η κρούση στην οποία ένα μέρος της αρχικής κινητικής ενέργειας των σωμάτων μετατρέπεται σε θερμότητα.

Η ανελαστική κρούση που οδηγεί στη συγκόλληση των σωμάτων, δηλαδή στη δημιουργία συσσωματώματος, ονομάζεται **πλαστική**.



Επειδή σε όλες τις κρούσεις έχουμε διατήρηση της ορμής, για να βρούμε εάν η κρούση είναι ελαστική ή ανελαστική, ελέγχουμε εάν έχουμε ή όχι διατήρηση της κινητικής ενέργειας του συστήματος κατά τη διάρκεια της κρούσης.