ΤΟ INTERACTIVE PHYSICS ΕΛΕΓΧΕΙ ΣΤΕΡΕΟΤΥΠΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Βαλαδάκης Ανδρέας Δ.
Καθηγητής Βαρβακείου Σχολής
avaladak@otenet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Επειδή με το λογισμικό Interactive Physics (IP) δημιουργούμε προσομοιώσεις Φυσικής σε συνθήκες εργαστηρίου, είναι δυνατό να ελέγξουμε στερεότυπα παρουσιάσεων θεμάτων φυσικής τα οποία συναντάμε τόσο σε εγχειρίδια διδασκαλίας της φυσικής όσο και σε προφορικές παρουσιάσεις των αντίστοιχων θεμάτων.

Η μελέτη αφορά τα επόμενα θέματα:

1. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της εξαναγκασμένης ταλάντωσης την οποία εκτελεί με τη βοήθεια κινητήρα ένα σώμα κρεμασμένο από ελατήριο;

2. Πώς σχετίζεται η κατεύθυνση της τριβής που ασκείται σε ένα σώμα με την κατεύθυνση κίνησης του σώματος;

3. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του κύματος που διαδίδεται σε σύστημα σφαιρών συνδεδεμένων με ελατήριο;

Συγκεκριμένα εντοπίζουμε πώς αυτά τα θέματα προσεγγίζονται στη βιβλιογραφία και ποια σχετικά πειράματα προτείνονται. Κατόπιν συγκρίνουμε τα προτεινόμενα πειράματα με προσομοιώσεις που δημιουργήσαμε με τη βοήθεια του IP. Με αυτό τον τρόπο ελέγχουμε την ισχύ και την ακρίβεια των προσεγγίσεων και διερευνούμε τα όρια ορθότητάς τους. Συγχρόνως ελέγχεται και η αξιοπιστία του IP.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: *Στερεότυπα διδασκαλίας, Interactive Physics, εξαναγκασμένη ταλάντωση, συντονισμός, τριβή, κύμα.*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

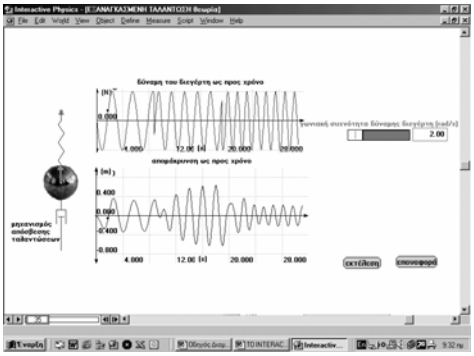
Το IP χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους ολοκλήρωσης για τον προσδιορισμό της κίνησης σύμφωνα με τις εξισώσεις της κλασσικής μηχανικής: $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ και $\tau = I\alpha$ όπου $\mathbf{a} = \mathrm{d}\mathbf{v}/\mathrm{d}t$, $\mathbf{v} = \mathrm{d}\mathbf{x}/\mathrm{d}t$ και $\alpha = \mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t$ (Interactive Physics Version 5.0, User´s Manual 1999). Σε κάθε πρόβλημα γίνεται διαμέριση του χρόνου και ακολουθείται ο εξής αλγόριθμος: Από τις αρχικές συνθήκες του προβλήματος υπολογίζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στα σώματα, από αυτές υπολογίζονται οι επιταχύνσεις των σωμάτων, από τις επιταχύνσεις υπολογίζονται οι ταχύτητες των σωμάτων και από τις ταχύτητες υπολογίζονται οι νέες θέσεις των σωμάτων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται στο επόμενο χρονικό διάστημα στο πλαίσιο των περιορισμών που έχουν τεθεί στο πρόβλημα. Το περιβάλλον των προσομοιώσεων λοιπόν είναι ένα έτοιμο περιβάλλον κλασσικής μηχανικής και από τον χρήστη δεν απαιτείται η εισαγωγή οποιασδήποτε εξίσωσης κίνησης.

Σε αυτό το πλαίσιο είναι δυνατό να ελεγχθούν ως προς την ορθότητά τους όλες οι ιδέες και οι προβλέψεις που αφορούν φαινόμενα της κλασσικής μηχανικής και να προσδιορισθούν τα όρια ισχύος τους. Συγκεκριμένα ερευνάμε τα επόμενα θέματα.

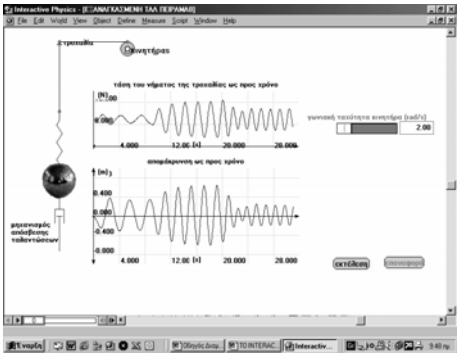
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΝΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ ΤΟΥ

Επειδή τα χαρακτηριστικά του φαινόμενου του συντονισμού υπεισέρχονται σχεδόν σε κάθε περιοχή της Φυσικής (Feynman, 1975), είναι χρήσιμο ο μαθητής να διαθέτει κατάλληλες προσλαμβάνουσες παραστάσεις σχετικά με αυτό το φαινόμενο. Πειράματα λοιπόν στα οποία αναδεικνύονται τα κύρια χαρακτηριστικά του φαινόμενου είναι πάντοτε ευπρόσδεκτα.

Στις εξαναγκασμένες μηχανικές ταλαντώσεις η δύναμη του διεγέρτη μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο ενώ το πλάτος της δύναμης μένει σταθερό. Σε αυτή την περίπτωση η συνεισφορά της δύναμης απόσβεσης ελαττώνεται συνεχώς και το πλάτος της ταλάντωσης προσεγγίζει μια σταθερή τιμή (Synge, Griffith, 1970, Berkeley, 1979α, Gaffney, Kagan, 2002). Με το ΙΡ είναι δυνατό να προσομοιώσουμε αυτό το φαινόμενο διότι αφ΄ ενός μας παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής σωμάτων, ελατηρίων και μηχανισμών απόσβεσης, αφ΄ ετέρου είναι δυνατό να εισάγουμε δυνάμεις οι οποίες δεν προέρχονται από συγκεκριμένο σώμα. Επίσης είναι δυνατό να μεταβάλλουμε τις παραμέτρους του συστήματος και μάλιστα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της προσομοίωσης. Στην Εικόνα 1 φαίνεται στιγμιότυπο της οθόνης του υπολογιστή κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας προσομοίωσης. Η δύναμη του διεγέρτη δεν προέρχεται από συγκεκριμένο σώμα και της έχουμε επιβάλλει τη μορφή $F = F_0$ ημωt. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε ώστε η μορφή της δύναμης του διεγέρτη να μην επηρεάζεται από την κίνηση του ταλαντωτή. Μεταβάλλοντας με τον μεταβολέα τη γωνιακή συχνότητα ω της δύναμης στη γραφική παράσταση της απομάκρυνσης της σφαίρας ως προς το χρόνο παρατηρούμε τα χαρακτηριστικά του φαινόμενου του συντονισμού: όσο η γωνιακή συχνότητα του διεγέρτη αυξάνεται το πλάτος της ταλάντωσης αρχικά αυξάνεται, παίρνει μια μέγιστη τιμή και κατόπιν αρχίζει να ελαττώνεται.



Εικόνα 1: *Προσομοίωση εξαναγκασμένης ταλάντωσης με την επίδραση δύναμης που μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο ενώ το πλάτος της δύναμης μένει σταθερό. Παρατηρούμε ότι όταν η συχνότητα μεταβολής της δύναμης αυξάνεται αρχικά το πλάτος της ταλάντωσης αυξάνεται, κατόπιν παίρνει μια μέγιστη τιμή και τέλος αρχίζει να ελαττώνεται.*



Εικόνα 2: *Προσομοίωση διάταξης δημιουργίας εξαναγκασμένης ταλάντωσης. Παρατηρούμε ότι όταν η γωνιακή συχνότητα του κινητήρα αυξάνεται, το πλάτος της ταλάντωσης αρχικά αυξάνεται, παίρνει μια μέγιστη τιμή και κατόπιν αρχίζει να ελαττώνεται (φαινόμενο συντονισμού). Ωστόσο το πλάτος της δύναμης του διεγέρτη δε μένει σταθερό.*

Σε μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση θα πρέπει να φαίνεται ο διεγέρτης, δηλαδή το σώμα που ασκεί την περιοδική δύναμη. Ακολουθώντας τη διάταξη που επανέρχεται από παλιά στη βιβλιογραφία (Αλεξόπουλος, 1960α, Βλάχος Ι., Ζάχος Κ., Κόκκοτας Π., Τιμοθέου Γ. 1994, Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ., 2001) κατασκευάσαμε την προσομοίωση που φαίνεται στην Εικόνα 2. Λόγω της περιστροφής της κινητήρα ασκείται μέσω του νήματος περιοδική δύναμη και η κρεμασμένη σφαίρα εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση. Με αυτή την προσομοίωση αποκαλύπτονται τα όρια μέσα στα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί το εν λόγω πείραμα για τη μελέτη του φαινόμενου του συντονισμού. Κατ' αρχάς παρατηρούμε ότι και σε αυτό το σύστημα εμφανίζεται συντονισμός. Ωστόσο τα φυσικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης διαφέρουν από το σύστημα που μελετάμε θεωρητικά. Στο πλαίσιο της θεωρητικής μελέτης στον ταλαντωτή ασκούνται τρεις δυνάμεις: η δύναμη επαναφοράς (στην προσομοίωση της Εικόνας 1 η δύναμη επαναφοράς είναι η συνισταμένη του βάρους της σφαίρας και της δύναμης του ελατηρίου), η δύναμη της απόσβεσης και η δύναμη του διεγέρτη. Αντιθέτως στην περίπτωση της πειραματικής διάταξης στο σώμα δεν ασκείται απ' ευθείας δύναμη από τον διεγέρτη (κινητήρα). Σε αυτό το σημείο είναι δυνατό να τροποποιήσουμε την προτεινόμενη διάταξη ώστε το νήμα να συνδέεται κατ΄ευθείαν με το σώμα και όχι με το ελατήριο (Berkeley, 1979β). Επίσης αν και στο θεωρητικό πρόβλημα η δύναμη του διεγέρτη μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο και με σταθερό πλάτος, στην περίπτωση της πειραματικής διάταξης η προσομοίωση αποκαλύπτει ότι το πλάτος της δύναμης

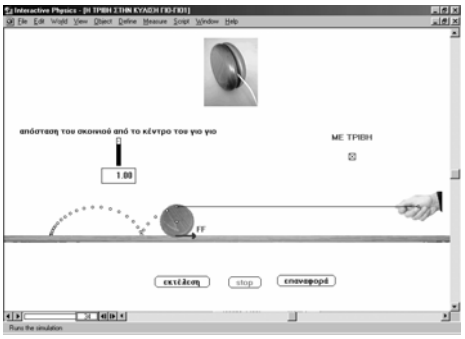
του διεγέρτη μεταβάλλεται με τη συχνότητα. Μάλιστα το εν λόγω πλάτος είναι μέγιστο όταν το σύστημα βρίσκεται σε συντονισμό. Φαίνεται λοιπόν ότι μόνο ποιοτικά μπορούμε να μελετήσουμε το φαινόμενο του συντονισμού με τη διάταξη που φαίνεται στην Εικόνα 2 και η οποία προτείνεται από τη βιβλιογραφία.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

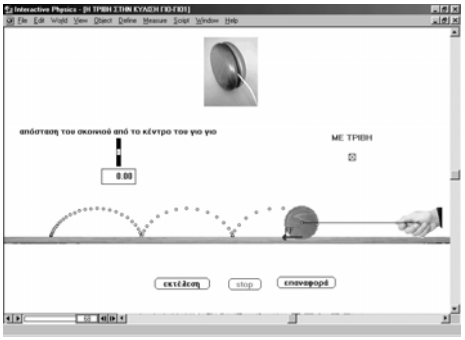
Αν και η έννοια της τριβής εισάγεται σχετικά νωρίς σε μια σειρά μαθημάτων Φυσικής, σε ορισμένες περιπτώσεις ο προσδιορισμός της κατεύθυνσής της δυσκολεύει τους μαθητές. Η κύρια σύγχυση προέρχεται από την λανθασμένη πεποίθηση ότι η τριβή πάντα αντιστέκεται στην κίνηση του σώματος στο οποίο ασκείται (Arons, 1992). Για την αντιμετώπιση αυτής της πρωτογενούς αντίληψης βοηθά η παρουσίαση δύο εφαρμογών. Στο πλαίσιο της πρώτης εφαρμογής μελετάμε την κατεύθυνση της τριβής όταν το σώμα βρίσκεται πάνω σε άλλο επιταχυνόμενο σώμα. Σε αυτή την περίπτωση επειδή η τριβή επιταχύνει το πρώτο σώμα έχει την κατεύθυνση της κίνησής του. Στο πλαίσιο μιας άλλης περισσότερο πολύπλοκης αλλά πιο διδακτικής εφαρμογής μελετάμε την κατεύθυνση της τριβής που ασκείται σε έναν τροχό που κυλάει με την επίδραση οριζόντιας δύναμης πάνω σε οριζόντιο δάπεδο. Σε αυτή την περίπτωση η κατεύθυνση της τριβής εξαρτάται από την απόσταση της δύναμης από το κέντρο του τροχού.

Στην προσομοίωση που φαίνεται στην Εικόνα 3 χρησιμοποιούμε το παιδικό παιχνίδι γιο γιο ως τροχό το οποίο τραβάμε με το νήμα του πάνω σε οριζόντιο τραπέζι. Με το μεταβολέα είναι δυνατό να μεταβάλλουμε το σημείο εφαρμογής της δύναμης η οποία ασκείται μέσω του νήματος. Παρατηρούμε ότι ανάλογα με την απόσταση της δύναμης από το κέντρο του τροχού, μεταβάλλεται τόσο η κατεύθυνση όσο και το μέτρο της τριβής. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις η τριβή δεν αντιστέκεται στην κίνηση του γιο γιο αλλά έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτή.

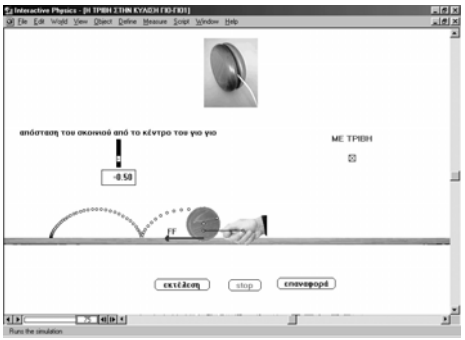
Από την εν λόγω προσομοίωση αποκαλύπτεται επίσης ο τρόπος προσδιορισμού της κατεύθυνσης της τριβής. Αρχικά εξαλείφουμε την τριβή (μηδενίζοντας με τον μεταβολέα-κουμπί) το συντελεστή τριβής (Εικόνα 4). Κατόπιν εκτελούμε το πρόγραμμα παρατηρώντας την κατεύθυνση της κίνησης ως προς το τραπέζι ενός σημείου της περιφέρειας του τροχού, κάθε φορά που αυτό το σημείο φθάνει στην επιφάνεια του τραπεζιού. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζουμε πώς η επιφάνεια του τροχού-γιο γιο που εφάπτεται με το τραπέζι ολισθαίνει σε σχέση με την επιφάνεια του τραπεζιού. Η τριβή, όταν εκδηλωθεί, αντιστέκεται σε αυτή την ολίσθηση. Π.χ. στην Εικόνα 4α όταν το σημείο της περιφέρειας του τροχού που έχουμε σημειώσει, φθάσει στην επιφάνεια του τραπεζιού, το σημείο κινείται προς τα πίσω . Όταν λοιπόν θα εμφανισθεί τριβή, θα κατευθύνεται προς τα εμπρός. Αυτό όντως συμβαίνει όπως φαίνεται στην Εικόνα 3α. Αντιθέτως στην Εικόνα 4δ το σημείο της περιφέρειας του τροχού που έχουμε σημειώσει όταν φθάσει στην επιφάνεια του τραπεζιού κινείται προς τα εμπρός. Η τριβή λοιπόν, όταν εμφανισθεί θα κατευθύνεται προς τα πίσω. Αυτό όντως συμβαίνει όπως φαίνεται στην Εικόνα 3δ.



(α)

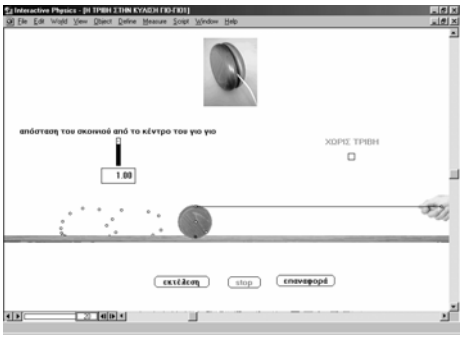


(β)

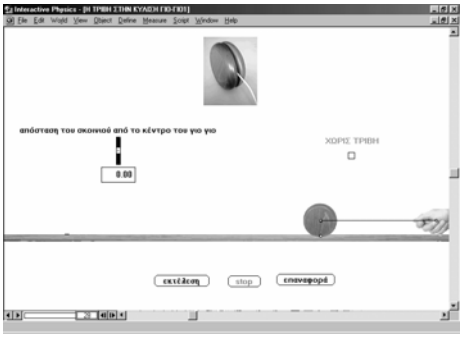


(γ)

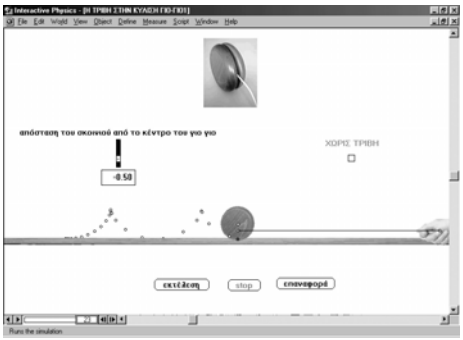
Εικόνα 3: *Κίνηση του γιο γιο με τριβή.*



(α)

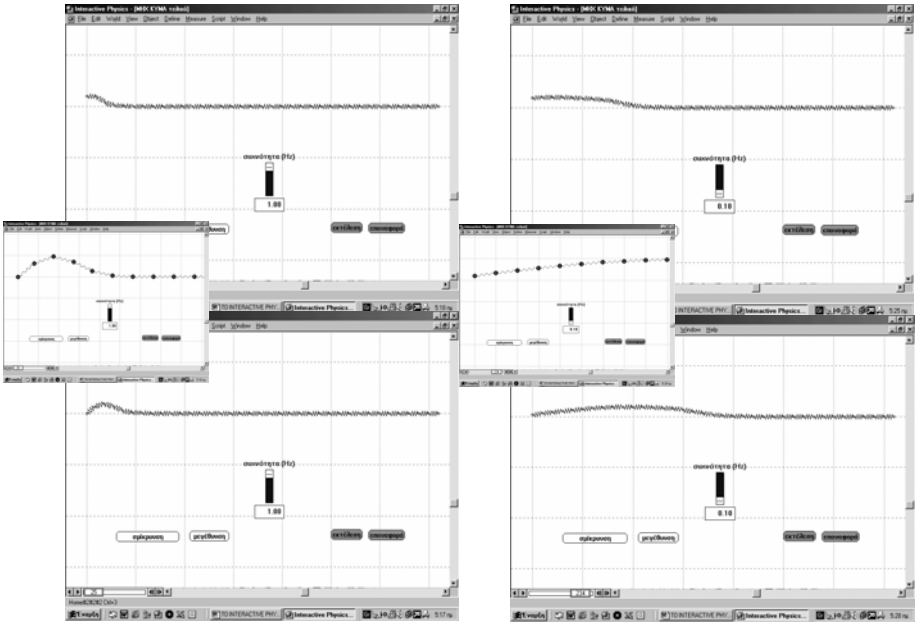


(β)



(γ)

Εικόνα 4: *Κίνηση του γιο γιο χωρίς τριβή.*



Εικόνα 5: *Διάδοση διαταραχής σε σύστημα σφαιρών συνδεδεμένων μεταξύ τους με ελατήρια.*

ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΥΜΑ

Συχνά η διάδοση του κύματος σε ελαστικό μονοδιάστατο μέσο παρουσιάζεται με τη βοήθεια μιας σειράς σφαιρών που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με ελατήρια (Αλεξόπουλος, 1960β, Αντωνίου, Δημητριάδης, Καμπούρης, Παπατσίμπα, Παπαμιχάλης, 2001). Σύμφωνα με την περιγραφή που συνοδεύει τις εν λόγω παρουσιάσεις αν η πρώτη σφαίρα κινηθεί προς τα πάνω παρασύρει τη δεύτερη επίσης προς τα πάνω, η δεύτερη την τρίτη κ.ο.κ. Με αυτό τον τρόπο εγκάρσιο κύμα διαδίδεται κατά μήκος του συστήματος των σφαιρών. Ελέγχοντας ωστόσο αυτή την ιδέα με τη βοήθεια του προγράμματος IP (Εικόνα 5) διαπιστώνουμε ότι δεν ανταποκρίνεται πάντα στην πραγματικότητα.

Με τη βοήθεια του μεταβολέα αλλάζουμε την συχνότητα ταλάντωσης της πρώτης σφαίρας. (Σε αυτή τη σφαίρα έχουμε επιβάλλει να ταλαντώνεται αρμονικά για χρονικό διάστημα μισής περιόδου και κατόπιν να ακινητοποιείται.) Παρατηρούμε λοιπόν ότι και για τις δύο τιμές της συχνότητας διαταραχή όντως διαδίδεται κατά μήκος του συστήματος των σφαιρών. Ωστόσο όταν η συχνότητα είναι ίση με 1Hz η διαταραχή δεν έχει μορφή εγκάρσιου κύματος διότι όπως φαίνεται στη μεγεθυσμένη εικόνα οι σφαίρες δεν κινούνται μόνο εγκάρσια αλλά και κατά μήκος της διάδοσης της διαταραχής. Αντιθέτως όταν η συχνότητα είναι ίση με 0,1Hz, η διάδοση της διαταραχής μοιάζει περισσότερο με διάδοση εγκάρσιου κύματος. Συγκρίνοντας επίσης τις Εικόνες μεταξύ τους συμπεραίνουμε ότι η διαταραχή διαδίδεται ως εγκάρσιο κύμα όταν το μήκος κύματος είναι πολύ μεγαλύτερο από την απόσταση μεταξύ δύο

διαδοχικών σφαιρών (Berkeley 1979γ). Είναι ενδιαφέρον ότι σε πολύ παλαιότερη σχετική παρουσίαση (Γ. Αθανασιάδης 1929) δεν περιγράφεται σύστημα ελατηρίων και σφαιρών αλλά «μόρια [που] συνέχονται προς άλληλα δι΄ ελαστικών δυνάμεων». Ενδεχομένως ο συγγραφέας είχε επίγνωση των περιορισμών που τίθενται σε ένα σύστημα σφαιρών και ελατηρίων προκειμένου να διαδοθεί σε αυτό εγκάρσιο κύμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επειδή το INTERACTIVE PHYSICS δημιουργεί ένα περιβάλλον προσομοιώσεων που υπακούει στους νόμους και τους περιορισμούς της Κλασσικής Μηχανικής εκτός του ότι είναι ένα αναντικατάστατο εργαλείο για ιδεατά (gedanken) πειράματα που είναι δύσκολο να εκτελεσθούν στο εργαστήριο (π.χ. πειράματα σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας, πειράματα αλλαγής συστήματος συντεταγμένων κτλ) είναι επίσης ένα χρήσιμο εργαλείο ελέγχου των προτεινόμενων πειραμάτων Κλασσικής Μηχανικής. Το IP θέτει ερωτήματα για τα όρια της ισχύος των εν λόγω πειραμάτων και βοηθά στον προσδιορισμό αυτών των ορίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Arons A. (1992), *Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής*, 142, Τροχαλία
2. Berkeley (1979α), *Μαθήματα Φυσικής Πανεπιστημίου του Berkeley*, 114 Εργαστήρια Φυσικής Ε.Μ.Π
3. Berkeley (1979β), *Μαθήματα Φυσικής Πανεπιστημίου του Berkeley*, Εργαστήρια Φυσικής Ε.Μ.Π., 130
4. Berkeley (1979γ), *Μαθήματα Φυσικής Πανεπιστημίου του Berkeley*, Εργαστήρια Φυσικής Ε.Μ.Π., 86
5. Feynman R., (1975), *Lectures on Physics*, (1)23-7, Addison Wesley
6. Gaffney C. A, Kagan D., (2002), *Beats in an Oscillator Near Resonance*, The Physics Teacher, (40) 405
7. *Interactive Physics Version 5.0, User's Manual* (1999), A-5
8. Synge J. L., Griffith, B. A. (1970), *Principles of Mechanics*, 152
9. Αθανασιάδης Γ. (1929), *Επίτομος Φυσική*, 161
10. Αντωνίου Ν., Δημητριάδης Π., Καμπούρης Κ., Παπαμιχάλης Κ., Παπατσίμπα Λ., (2001), *Φυσική Γ΄ Γυμνασίου,* ΟΕΔΒ
11. Αλεξόπουλος Κ. Δ., (1960α), *Γενική Φυσική,* (1)137
12. Αλεξόπουλος Κ. Δ., (1960β), *Γενική Φυσική,* (1)283
13. Βλάχος Ι., Ζάχος Κ., Κόκκοτας Π., Τιμοθέου Γ. (1994) *Φυσική Γ΄Λυκείου*, 389 ΟΕΔΒ
14. Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ., (2001), *Γ΄Λυκείου Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης*, 22