ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

**Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση**

Τόμ. 1 (2003)

2ο Συνέδριο Σύρου στις ΤΠΕ

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΡΥΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕΣΩ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ INTERACTIVE PHYSICS

*Άλκηστις Ζερβοπούλου , Αθανάσιος Καλφαγιάννης*

**Βιβλιογραφική αναφορά:**

Ζερβοπούλου Ά., & Καλφαγιάννης Α. (2025). ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΡΥΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕΣΩ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ INTERACTIVE PHYSICS . *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 435–446. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/7082

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΡΥΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕΣΩ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ INTERACTIVE PHYSICS

***Ζερβοπούλου Άλκηστις***
***Σχολικός σύμβουλος ΠΕ4***
***Ν. Θεσσαλονίκης***
***alogot@skiathos.physics.auth.gr***

***Καλφαγιάννης Αθανάσιος***
***Επιμορφωτής Τ.Π.Ε. ΠΕ4***
***Ν. Θεσσαλονίκης***
***akalfag@de.sch.gr***

***Νικολαΐδου Φωτεινή***
***Φυσικός, Εκπαιδευτικός***
***Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης***
***foniko@in.gr***

***Ξανθόπουλος Ηρακλής***
***Φυσικός, Εκπαιδευτικός***
***Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης***

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

*Η αδυναμία μαθητών να κατανοήσουν και να αντιμετωπίσουν ιδιαίτερα σύνθετες ασκήσεις μας οδήγησε στην αναζήτηση νέων διδακτικών προσεγγίσεων. Στόχος μας δεν ήταν η αντικατάσταση του παραδοσιακού τρόπου διδασκαλίας αλλά η ενίσχυσή του. Στην εργασία που ακολουθεί χρησιμοποιείται το λογισμικό Interactive Physics με τη βοήθεια του οποίου δημιουργήθηκε πείραμα προσομοίωσης για την αντιμετώπιση της άσκησης 3.100 από το βιβλίο Φυσικής της Β Λυκείου για την Θετική και Τεχνολογική κατεύθυνση. Η άσκηση πραγματεύεται την κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε κεκλιμένο επίπεδο, κάτω από την σύγχρονη δράση ομογενούς βαρυτικού πεδίου και ανομογενούς ηλεκτρικού πεδίου οφειλόμενου σε ακλόνητο ηλεκτρικό φορτίο. Με τη βοήθεια της προσομοίωσης οι μαθητές είναι σε θέση να παρατηρήσουν την κίνηση του σωματιδίου, τις μεταβολές των διανυσμάτων των δυνάμεων, να πάρουν μετρήσεις μεγεθών από καταμετρητές, να παρατηρήσουν μεταβολές μεγεθών διαγραμματική, και να επαναλάβουν την όλη διαδικασία όσες φορές κρίνουν απαραίτητο προκειμένου να οδηγηθούν σε συμπεράσματα.*

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η εισαγωγή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση και ιδιαίτερα η χρήση λογισμικών όπως αυτό του *Interactive Physics*, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός πειραμάτων προσομοίωσης, δίνει την δυνατότητα μιας καλύτερης διδακτικής προσέγγισης θεμάτων Φυσικής τα οποία παρουσιάζουν αυξημένες δυσκολίες κατανόησης στους μαθητές.

Αφορμή για την παρούσα εργασία έδωσε η Άσκηση 3.100 από το βιβλίο της Β΄Λυκείου *Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης* των Α.Ιωάννου, Γ.Ντάνου, Α.Πήττα, Σ.Ράπτη, εκδ. Ο.Ε.Δ.Β., 2002, σελ.140. Η άσκηση αυτή πραγματεύεται την κίνηση φορτισμένου σωματιδίου πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο κάτω από την σύγχρονη

δράση του βαρυτικού πεδίου της γης και ενός ανομογενούς ηλεκτρικού πεδίου, το οποίο οφείλεται σε σημειακό ηλεκτρικό φορτίο στερεωμένο στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου. Τα ερωτήματα στα οποία καλούνται οι μαθητές να απαντήσουν είναι αυτά του υπολογισμού της μέγιστης ταχύτητας του σωματιδίου και της μέγιστης απομάκρυνσης στην οποία φτάνει.

## ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η διδακτική εμπειρία έχει δείξει ότι είναι εξαιρετικά δύσκολη η αντιμετώπιση μιας τέτοιας άσκησης από μαθητές της Β΄Λυκείου. Η άσκηση βέβαια είναι αντικειμενικά σύνθετη και η λύση της απαιτεί αρκετή εμπειρία. Οι δυσκολίες προέρχονται κυρίως από την αδυναμία των μαθητών να αντιληφθούν τη δράση των δυνάμεων και τα αποτελέσματα στην κίνηση του φορτισμένου σωματιδίου που επέρχονται από την διαρκή μεταβολή της συνισταμένης δύναμης. Το πλέον δύσκολο σημείο είναι η αλλαγή της φοράς της συνισταμένης δύναμης η οποία επιφέρει την αλλαγή του είδους της κίνησης (επιταχυνόμενη-επιβραδυνόμενη τόσο κατά την άνοδο όσο και κατά την κάθοδο) και την μεγιστοποίηση της ταχύτητας.

Το ενδιαφέρον μας για την άσκηση αυτή, πέρα από το γεγονός ότι πρέπει να αντιμετωπιστεί εφόσον απευθύνεται σε μαθητές που εξετάζονται πανελλαδικά στο αντίστοιχο μάθημα, έγκειται κυρίως στην μεγάλη διδακτική της αξία. Οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν τεχνικές, να αναγνωρίσουν, να θυμηθούν, να εφαρμόσουν και κυρίως να συνδυάσουν μεγέθη, νόμους, φαινόμενα, θέματα προερχόμενα από την ύλη όχι μόνον της φυσικής Β' κατεύθυνσης αλλά και της φυσικής Β' γενικής παιδείας και της Α΄Λυκείου, όπως: μάζα, φορτίο, δύναμη, βαρυτική δυναμική ενέργεια, ηλεκτρική δυναμική ενέργεια, κινητική ενέργεια, μη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση, ανάλυση και σύνθεση δυνάμεων, νόμοι του Νεύτωνα, ηλεκτρικό πεδίο, νόμος Coulomb, συντηρητικό πεδίο, διατήρηση της ενέργειας. Πρέπει επίσης να είναι εξοικειωμένοι με μετατροπές μονάδων και να έχουν ευχέρεια σε αλγεβρικές και αριθμητικές πράξεις προκειμένου να καταλήξουν σε σωστά αποτελέσματα.

Η μέχρι τώρα αντιμετώπιση τόσο της συγκεκριμένης άσκησης όσο και συγγενών θεμάτων γινόταν ακολουθώντας τα εξής βήματα: προτροπή των μαθητών σε προβληματισμό για την περιγραφή του φαινομένου, συζήτηση των δυσκολιών, ανάκληση των σχετικών γνώσεων, αναλυτική περιγραφή του φαινομένου, αναλυτική θεωρητική επίλυση, λεπτομερείς υπολογισμοί, συζήτηση-σχολιασμός των αποτελεσμάτων, επέκταση π.χ., κάθοδος του φορτισμένου σωματιδίου, συνεχής επανάληψη της κίνησης. Όλα τα παραπάνω αποτελούν στοιχεία κανονικής διδασκαλίας τα οποία με κανένα τρόπο δεν θα πρέπει να υποτιμηθούν. Διαπιστώθηκε όμως ότι πολύ συχνά μαθητές απλώς "μάθαιναν" την άσκηση χωρίς βαθύτερη κατανόηση και ειδικά το σημείο όπου ο μηδενισμός της ολικής δύναμης επιφέρει την μεγιστοποίηση της ταχύτητας.

## ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Με δεδομένες τις δυσκολίες που αναφέρθηκαν ήταν εύλογο να αναζητηθούν τρόποι εμπλουτισμού της διδασκαλίας με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και την επακόλουθη αντιμετώπιση και λύση. Η πειραματική προσέγγιση μέσω του συμβατικού

εργαστηρίου δεν είναι δυνατή λόγω των σημειακών φορτισμένων σωματιδίων και βέβαια της αδυναμίας για "οπτική" παρακολούθηση της αλλαγής στο μέτρο και την κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης. Ήταν επόμενο να στραφούμε στο *Interactive Physics* για την δημιουργία του αντίστοιχου πειράματος προσομοίωσης. Μέσω της προσομοίωσης αυτής γίνεται δυνατή όχι μόνον η αντιμετώπιση των δυσκολιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως αλλά ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα ελέγχου και σταδιακής παρατήρησης του φαινομένου μέσω της "*βήμα προς τα εμπρός"* εκτέλεσης του πειράματος. Γίνεται επίσης εφικτή η επανάληψη του φαινομένου, όσες φορές κρίνεται αναγκαία, κάτω ακριβώς από τις ίδιες συνθήκες.

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η δημιουργία της συγκεκριμένης προσομοίωσης παρουσίασε, παρά την φαινομενική της απλότητα, αρκετές δυσκολίες που οφείλονται σε περιορισμούς τους οποίους επιβάλλει το λογισμικό Interactive Physics. Ειδικότερα:

- Η ανάλυση της δύναμης του βάρους σε συνιστώσες, παράλληλα και κάθετα στο κεκλιμένο επίπεδο, δεν ήταν δυνατή. Το πρόγραμμα επιτρέπει την ανάλυση δυνάμεων μόνον σε "συμβατικούς" άξονες χ-ψ (οριζόντιο επίπεδο και διεύθυνση της κατακορύφου).
- Η κάθετη αντίδραση N από το κεκλιμένο επίπεδο δεν εμφανιζόταν με αποτέλεσμα να έχομε λανθασμένη ολική δύναμη στο φορτίο q. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε θεωρώντας την ελαστικότητα ίση με το μηδέν.
- Το πρόγραμμα δεν δίνει την δυνατότητα του άμεσου προσδιορισμού της ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας. Οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν το μέγεθος αυτό θεωρητικά.

Δεν υπάρχει η δυνατότητα επιλογής οποιασδήποτε τιμής για τα μεγέθη φορτίο, μάζα, απόσταση. Για το λόγο αυτό αναγκασθήκαμε να διαφοροποιήσουμε κάποια από τα δεδομένα της άσκησης από αυτά που δίνονται στο βιβλίο. Ειδικότερα η απόσταση d μεταξύ των φορτίων τέθηκε ίση με 4,046m αντί της τιμής 0,4m και η μάζα του q ίση με $4.10^{-6}$ kg αντί της $4,10^{-4}$kg.

Στην προσομοίωση εμφανίζονται τα φορτία (q,m) και Q σε κεκλιμένο επίπεδο. Το Q είναι στερεωμένο στη βάση ενώ το q έχει τη δυνατότητα να κινείται. Στην οθόνη εμφανίζονται σε πλαίσια οι τιμές φορτίου, μάζας (q,m) και το μέτρο της βαρυτικής δύναμης. Ένας μεταβολέας φορτίου δίνει τη δυνατότητα αλλαγής του φορτίου q για επανάληψη του πειράματος με διαφορετικές τιμές και επαλήθευση των συμπερασμάτων. Μεταβολείς της μάζας, του ακίνητου φορτίου, της μεταξύ των φορτίων αρχικής απόστασης θα ήταν επίσης δυνατοί όμως κάτι τέτοιο δεν κρίθηκε απαραίτητο εφόσον πολλές επαναλήψεις και διαρκείς υπολογισμοί απαιτούν πολύ χρόνο και κουράζουν τους μαθητές.

Κατά τη εξέλιξη του πειράματος εμφανίζονται σε πίνακες τιμών για κάθε θέση του q, η απόσταση των δύο φορτίων, η ταχύτητα του q, η δύναμη Coulomb, η συνισταμένη δύναμη κατά τον άξονα κίνησης, η κινητική και η βαρυτική δυναμική ενέργεια του q. Υπάρχουν διαγράμματα ταχύτητας-χρόνου και απόστασης-χρόνου όπου φαίνονται οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις. Σε κάθε θέση του φορτίου q σημειώνονται τα διανύσματα του βάρους, της δύναμης Coulomb και της συνισταμένης δύναμης. Έχει έτσι τη δυνατότητα ο μαθητής να παρατηρήσει τη σταθερότητα του

βάρους, την μείωση της δύναμης Coulomb κατά την άνοδο και την αύξησή της κατά την κάθοδο και κυρίως την μεταβολή στο μέτρο και την κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης.

**ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η προσομοίωση συνοδεύεται από Φ*ύλλο εργασίας* για τους μαθητές. Σε αυτό δίνονται αρχικά *Βασικές γνώσεις* σχετικά με τους τύπους υπολογισμού των δυνάμεων (συνιστώσες του βάρους και δύναμη Coulomb) και των ενεργειών (Κινητική, Βαρυτική δυναμική, Ηλεκτρική δυναμική, ολική ενέργεια) που θα χρησιμοποιηθούν. Ακολουθούν *Χρήσιμες λεπτομέρειες για την προσομοίωση,* όπου ο μαθητής "ξεναγείται" στο περιβάλλον της επιφάνειας της προσομοίωσης και στη συνέχεια *Βήματα για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης*. Στο τμήμα αυτό ο μαθητής καλείται να ακολουθήσει τις εντολές, οι οποίες τον εξοικειώνουν με τον χειρισμό του λογισμικού, τον οδηγούν στη σωστή εκτέλεση της προσομοίωσης και στην συμπλήρωση των στοιχείων που ζητούνται.

Η προσομοίωση εκτελείται αρχικά κανονικά και στη συνέχεια με την διαδικασία *βήμα προς τα εμπρός*. Ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις μεταβολές των διανυσμάτων των δυνάμεων, τους σχετικούς πίνακες τιμών και τα διαγράμματα και να καταγράφει τις τιμές για τα μεγέθη ταχύτητα, απόσταση, δυνάμεις, ενέργειες, που του ζητούνται. Στη συνέχεια καλείται να απαντήσει σε ερωτήσεις, οι απαντήσεις των οποίων στηρίζονται στα αποτελέσματα που έχουν παρατηρηθεί και καταγραφεί, να προβεί σε υπολογισμούς (της ηλεκτρικής δυναμικής και της ολικής ενέργειας) και να σχολιάσει τα αποτελέσματα. Κρίνεται σκόπιμη η επανάληψη του πειράματος με μια νέα τιμή του φορτίου q προκειμένου να επαληθευθεί εκ νέου η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας.

Ένα αντίστοιχο φύλλο με το *Φύλλο εργασίας του μαθητή* με συμπληρωμένους όμως τους πίνακες, με υπολογισμούς και σχόλια απευθύνεται στον διδάσκοντα προκειμένου να γίνεται ευκολότερος ο έλεγχος των εργασιών των μαθητών.

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Η προσομοίωση εντυπώνεται στον μαθητή, παρά την φαινομένη απλότητα της κίνησης, γεγονός που οφείλεται κυρίως στις μεταβολές των διανυσμάτων των δυνάμεων (Coulomb και συνισταμένης). Ο διδάσκων έχει τέλος την δυνατότητα να επεκτείνει την διδασκαλία προτρέποντας τους μαθητές να παρατηρήσουν, κυρίως μέσω των διαγραμμάτων, την περιοδικότητα της κίνησης και να τους εισάγει στην έννοια της ταλάντωσης.

**ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΑΘΗΤΗ**

**Τίτλος ενότητας:** Ηλεκτρικό πεδίο
**Τίτλος μαθήματος:** Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου κάτω από τη σύγχρονη δράση βαρυτικού και ηλεκτρικού πεδίου
**Τάξη:** Β΄ Λυκείου Θετική και Τεχνολογική κατεύθυνση
**Ονοματεπώνυμο μαθητή:** …….
**Τμήμα:** ……..
**Ημερομηνία:** ……...

**Χρησιμοποιούμενη προσομοίωση:**
Προσομοίωση βασισμένη στην άσκηση 3.100 του βιβλίου της Β΄ Λυκείου «Φυσική θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης »των Α. Ιωάννου, Γ. Ντάνου, Α. Πήττα, Σ. Ράπτη εκδ. Ο.Ε.Δ.Β., 2002.

**Βασικές έννοιες και μεγέθη:** Μάζα, επιτάχυνση της βαρύτητας, βαρυτική δύναμη, ηλεκτρικό φορτίο, ηλεκτρική δύναμη, αντίδραση επιπέδου κίνησης, βαρυτική και ηλεκτρική δυναμική ενέργεια, ταχύτητα, απόσταση, διατήρηση της ενέργειας, γωνία θ που σχηματίζει το κεκλιμένο με το οριζόντιο επίπεδο.

**Βασικές γνώσεις**
Εφαρμόζουμε όλες τις δυνάμεις που δρουν στο σωματίδιο μάζας m και φορτίου q για να μπορέσουμε να μελετήσουμε την κίνησή του.
Υπολογίζουμε τη βαρυτική δύναμη $F_G$=m.g η οποία ασκείται στο σωματίδιο μάζας m εξαιτίας του βαρυτικού πεδίου της γης που έχει βαρυτική επιτάχυνση g. Αναλύουμε την $F_G$ σε δύο συνιστώσες στους άξονες x και y, όπου x άξονας παράλληλος με το κεκλιμένο επίπεδο και y άξονας κάθετος στο κεκλιμένο επίπεδο, $F_{G(X)}$ =m.g.sinθ και $F_{G(Y)}$ = m.g.cosθ αντίστοιχα. Υπολογίζουμε το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης $F_E=\frac{k|Qq|}{d^2}$ ,όπου k η ηλεκτρική σταθερά του νόμου του Coulomb, που ασκείται στο φορτίο q εξαιτίας του ακίνητου φορτίου Q που βρίσκεται στερεωμένο στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου και σε απόσταση d από αυτό .
Το φορτισμένο σωματίδιο (q,m) δεν επιταχύνεται στον κάθετο άξονα y διότι η συνισταμένη στον άξονα y, $F_{Ty}$=0 δηλαδή $F_N$= $F_{G(Y)}$ , όπου $F_N$ η αντίδραση του κεκλιμένου επιπέδου. Στον άξονα x στο σωματίδιο ασκείται συνισταμένη δύναμη με μέτρο $F_T=\left|F_{G(X)}-F_E\right|$.
Υπολογίζουμε την βαρυτική δυναμική ενέργεια που έχει το σωματίδιο (q,m), θεωρώντας ως επίπεδο μηδενικής βαρυτικής δυναμικής ενέργειας το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από την αρχική θέση του σωματιδίου (q,m), $U_G$=m.g.y όπου y το ύψος του θεωρούμενου σωματιδίου από το επίπεδο μηδενικής βαρυτικής δυναμικής ενέργειας. Υπολογίζουμε την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του συστήματος των δύο φορτίων Q,q, $U_E=\frac{kQq}{d}$ .
Τέλος υπολογίζουμε την κινητική ενέργεια του σωματιδίου (q,m) $K=\frac{1}{2}mv^2$, όπου v η ταχύτητά του κάθε χρονική στιγμή και την ολική ενέργειά του $E = K+ U_G + U_E$.

## ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Θα ξεκινήσετε μελετώντας την προσομοίωση της κίνησης του φορτισμένου σωματιδίου (q,m) πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο. Στο σωματίδιο επιδρά το βαρυτικό πεδίο της γης και το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργεί ακίνητο φορτίο Q το οποίο είναι στερεωμένο στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου. Η κίνηση του σωματιδίου γίνεται κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου χωρίς τριβές.

Καθώς εκτελείται η προσομοίωση παρατηρούμε ότι στην οθόνη σχηματίζονται δύο διαγράμματα : μέτρου ταχύτητας-χρόνου και απόστασης μεταξύ των δύο φορτίων-χρόνου. Σε πίνακες εμφανίζονται κάθε χρονική στιγμή τα εξής: α) το μέτρο της ταχύτητας του q, $|v|$, β)η απόσταση d μεταξύ των δύο φορτίων Q και q, γ) Το μέτρο της σταθερής δύναμης βαρύτητας $F_G$ , δ)το μέτρο της ηλεκτροστατικής δύναμης Coulomb $F_E$ , ε) το μέτρο της συνολικής δύναμης $F_T$ που ασκείται στο σωματίδιο στ) η κινητική ενέργεια του q, K και ζ) η δυναμική ενέργεια βαρύτητας $U_G$ του q, η) η σταθερή μάζα του φορτίου q και θ) η τιμή του ακίνητου φορτίου Q. Τέλος υπάρχει μεταβολέας με τον οποίο μπορούμε να μεταβάλλουμε την τιμή του φορτίου q.

*Παρατήρηση.* Οι τιμές των μεγεθών που είναι γινόμενα ενός αριθμού επί μια δύναμη του 10 εμφανίζονται στην προσομοίωση με διαφορετική μορφή από αυτή που συνήθως χρησιμοποιούμε. Π.χ. ο αριθμός της προσομοίωσης 4.00e-006 ισοδυναμεί στον αριθμό $4.10^{-6}$.

Επίσης μερικά από τα σύμβολα που εμφανίζονται στην προσομοίωση και στο φύλλο εργασίας δεν αντιστοιχούν στα σύμβολα που συνήθως χρησιμοποιούνται στα σχολικά βιβλία. Για το σκοπό αυτό παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας .

| Φυσικό μέγεθος | Σύμβολο στο σχολ. βιβλίο | Σύμβολο στην οθόνη του Interactive Physics |
|---|---|---|
| Ηλεκτρική δύναμη Coulomb | Fc | $F_E$ |
| Βαρυτική δύναμη | B ή W | $F_G$ |
| Αντίδραση κεκλιμ. επιπέδου | N | $F_N$ |
| Συνισταμένη δύναμη | ΣF | $F_T$ |

## ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Έστω ότι το σωματίδιο έχει μάζα $m=4.10^{-6}$kg και φορτίο $q=2.10^{-8}$C.Το ακίνητο φορτίο Q έχει τιμή $Q=4.10^{-6}$C και η μεταξύ τους αρχική απόσταση είναι d=4,042m. Κάντε κλικ στην εκτέλεση της προσομοίωσης (κίτρινο ►στις γραμμές εργαλείων) και παρατηρείστε την κίνηση του σωματιδίου και τις μεταβολές των διανυσμάτων $F_E$ και $F_T$ καθώς και τα διαγράμματα μέτρου ταχύτητας-χρόνου και απόστασης μεταξύ των δύο φορτίων-χρόνου. Κάντε κλικ στην επαναρρύθμιση ( πράσινο ▌◄◄ στις γραμμές εργαλείων) και επαναλάβετε την εκτέλεση της προσομοίωσης μέσα από τη διαδικασία «βήμα προς τα εμπρός». Μπορείτε έτσι να παρατηρήσετε κάθε χρονική στιγμή τη θέση του σωματιδίου, τις τιμές των διαφόρων μεγεθών που εμφανίζονται στους πίνακες καθώς και τις γραφικές παραστάσεις.

1. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

| | d (m) | v (m/s) | $F_{G(X)}$ (N) | $F_E$ (N) | $F_T$ (N) | K (J) | $U_G$ (J) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | | | | | | | |
| Θέση της $v_{max}$ | | | | | | | |
| Ακραία θέση | | | | | | | |
| Τυχαία θέση | | | | | | | |

2. Συμπληρώστε τα παρακάτω κενά:

Οι δυνάμεις που ενεργούν στο σωματίδιο (q,m) είναι οι εξής: …… …….

Στη θέση, όπου παρατηρείται η μέγιστη ταχύτητα $v_{max}$ , η συνισταμένη δύναμη $F_T$ είναι ίση με ……

Η ταχύτητα μηδενίζεται στις θέσεις ……

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) από την αρχή μέχρι τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας είναι ……. διότι …… …… ……

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) στη συνέχεια από τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας μέχρι την ακραία θέση $d_{max}$ είναι …… διότι …… …… ……

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) από την ακραία θέση $d_{max}$ μέχρι τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας είναι ……διότι …… …… ……

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) στη συνέχεια από τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας μέχρι την αρχική θέση είναι …… διότι …… …… ……

3. Να υπολογίσετε την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $U_E$ και την ολική ενέργεια Ε στις θέσεις που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

| | K (J) | $U_E$ (J) | $U_G$ (J) | $E_{ολ}$ (J) |
|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | | | | |
| Θέση της $v_{max}$ | | | | |
| Ακραία θέση | | | | |
| Τυχαία θέση | | | | |

Να σχολιάσετε και να δικαιολογήσετε τα αποτελέσματα.

4. Κάντε κλικ στην επαναρρύθμιση. Από το μεταβολέα του φορτίου επιλέξατε την τιμή του φορτίου $q=1,8.10^{-8}C$ για το σωματίδιο. Κάντε κλικ στην εκτέλεση και παρατηρείστε την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επαναλάβετε την προσομοίωση μέσα από τη διαδικασία «βήμα προς τα εμπρός» και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα

| | d (m) | v (m/s) | $F_{G(X)}$ (N) | $F_E$ (N) | $F_T$ (N) | K (J) | $U_G$ (J) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | | | | | | | |
| Θέση της $v_{max}$ | | | | | | | |
| Ακραία θέση | | | | | | | |
| Τυχαία θέση | | | | | | | |

Επαληθεύστε την αρχή διατήρησης της ενέργειας αφού συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα για την νέα τιμή του φορτίου q.

| | K (J) | $U_E$ (J) | $U_G$ (J) | $E_{ολ}$ (J) |
|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | | | | |
| Θέση της $v_{max}$ | | | | |
| Ακραία θέση | | | | |
| Τυχαία θέση | | | | |

**ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗ**

5. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

| | d (m) | v (m/s) | $F_{G(X)}$ (N) | $F_E$ (N) | $F_T$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | *4,046* | *0* | $2.10^{-5}$ | $4,399.10^{-5}$ | $2,399.10^{-5}$ |
| Θέση της $v_{max}$ | *6,015* | *3,072* | $2.10^{-5}$ | $1,990.10^{-5}$ | $1,025.10^{-7}$ |
| Ακραία θέση | *8,898* | *0,012* | $2.10^{-5}$ | $9,094.10^{-6}$ | $1,091.10^{-5}$ |
| Τυχαία θέση | *7,307* | *2,665* | $2.10^{-5}$ | $1,349.10^{-5}$ | $6,514.10^{-5}$ |

| | K (J) | $U_G$ (J) |
|---|---|---|
| Αρχική θέση | *0* | *0* |
| Θέση της $v_{max}$ | *1,888.10$^{-5}$* | *3,895.10$^{-5}$* |
| Ακραία θέση | *2,907.10$^{-10}$* | *9,661.10$^{-5}$* |
| Τυχαία θέση | *1,421.10$^{-5}$* | *6,478.10$^{-5}$* |

6. Συμπληρώστε τα παρακάτω κενά:

Οι δυνάμεις που ενεργούν στο σωματίδιο (q,m) είναι οι εξής: *η ηλεκτρική δύναμη $F_E$, η βαρυτική δύναμη $F_G$ και η αντίδραση του κεκλιμένου επιπέδου $F_N$* .

Στη θέση, όπου παρατηρείται η μέγιστη ταχύτητα $v_{max}$ , η συνισταμένη δύναμη $F_T$ είναι ίση με *μηδέν*

Η ταχύτητα μηδενίζεται στις θέσεις *όπου η απόσταση d είναι μέγιστη ή ελάχιστη.*

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) από την αρχή μέχρι τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας είναι *ευθύγραμμη επιταχυνόμενη* διότι *ενεργεί στο σωματίδιο συνισταμένη δύναμη* με *μέτρο* $F_T = \left|F_{G(X)} - F_E\right| = \left|\frac{kQq}{d^2} - mg\sin\theta\right|$ *κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση και είναι ομόρροπη της ταχύτητας.*

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) στη συνέχεια από τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας μέχρι την ακραία θέση $d_{max}$ είναι *ευθύγραμμη επιβραδυνόμενη* διότι *ενεργεί στο σωματίδιο συνισταμένη δύναμη* με *μέτρο* $F_T = \left|F_{G(X)} - F_E\right| = \left|\frac{kQq}{d^2} - mg\sin\theta\right|$ *κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση και είναι αντίρροπη της ταχύτητας .*

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) από την ακραία θέση $d_{max}$ μέχρι τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας είναι *ευθύγραμμη επιταχυνόμενη* διότι *ενεργεί στο σωματίδιο συνισταμένη δύναμη* με *μέτρο* $F_T = \left|F_{G(X)} - F_E\right| = \left|\frac{kQq}{d^2} - mg\sin\theta\right|$ *κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση.*

Η κίνηση του σωματιδίου (q,m) στη συνέχεια από τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας μέχρι την αρχική θέση είναι *ευθύγραμμη επιβραδυνόμενη* διότι *ενεργεί στο σωματίδιο*

*συνισταμένη δύναμη* με *μέτρο* $F_T = \left|F_{G(X)} - F_E\right| = \left|\frac{kQq}{d^2} - mg\sin\theta\right|$ *κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση και έχει κατεύθυνση αντίθετη από την ταχύτητα .*

7. Να υπολογίσετε την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $U_E$ και την ολική ενέργεια Ε στις θέσεις που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

| | K (J) | $U_E$ (J) | $U_G$ (J) | $E_{ολ}$ (J) |
|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | *0* | *17,795.10$^{-5}$* | *0* | *17,795.10$^{-5}$* |
| Θέση της $v_{max}$ | *1,888.10$^{-5}$* | *11,970.10$^{-5}$* | *3,895.10$^{-5}$* | *17,753.10$^{-5}$* |
| Ακραία θέση | *2,907.10$^{-10}$* | *8,092.10$^{-5}$* | *9,661.10$^{-5}$* | *17,753.10$^{-5}$* |
| Τυχαία θέση | *1,421.10$^{-5}$* | *9,854.10$^{-5}$* | *6,478.10$^{-5}$* | *17,753.10$^{-5}$* |

Να σχολιάσετε και να δικαιολογήσετε τα αποτελέσματα.
*Διαπιστώνουμε ότι τόσο στις ακραίες θέσεις όσο και στη θέση όπου $v_{max}$ καθώς και στην τυχαία θέση η ολική ενέργεια του σωματιδίου (q,m) διατηρείται σταθερή. Σε όλες τις παραπάνω θέσεις το άθροισμα της κινητικής, της ηλεκτρικής δυναμικής και της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας παραμένει σταθερό. Δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας. Η αντίσταση του αέρα καθώς και η τριβή του σωματιδίου στο κεκλιμένο επίπεδο θεωρούνται αμελητέες.*

8. Κάντε κλικ στην επαναρρύθμιση. Από το μεταβολέα του φορτίου επιλέξατε την τιμή του φορτίου q=1,8.10$^{-8}$C για το σωματίδιο. Κάντε κλικ στην εκτέλεση και παρατηρείστε την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επαναλάβετε την προσομοίωση μέσα από τη διαδικασία «βήμα προς τα εμπρός» και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

| | d (m) | v (m/s) | $F_{G(X)}$ (N) x$10^{-5}$ | $F_E$ (N) x$10^{-5}$ | $F_T$ (N) | K (J) | $U_G$ (J) x$10^{-5}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | *4,046* | *0* | *2* | *3,959* | *1,959.10$^{-5}$* | *0* | *0* |
| Θέση όπου $v_{max}$ | *5,686* | *2,588* | *2* | *2,004* | *4,022.10$^{-8}$* | *1,340.10$^{-5}$* | *3,237* |
| Ακραία θέση | *8,008* | *0,055* | *2* | *1,011* | *9,895.10$^{-6}$* | *5,964.10$^{-9}$* | *7,880* |
| Τυχαία θέση | *7,007* | *2,057* | *2* | *1,320* | *6,801.10$^{-6}$* | *8,466.10$^{-6}$* | *5,878* |

Επαληθεύστε την αρχή διατήρησης της ενέργειας αφού συμπληρώστε και τον παρακάτω πίνακα για την νέα τιμή του φορτίου q.

| | Κινητική ενέργεια K (J) | Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $U_E$ (J) | Βαρυτική δυναμική ενέργεια $U_G$ (J) | Ολική ενέργεια E (J) |
|---|---|---|---|---|
| Αρχική θέση | *0* | *16,015.10$^{-5}$* | *0* | *16,015.10$^{-5}$* |
| Θέση της $v_{max}$ | *1,340.10$^{-5}$* | *11,396.10$^{-5}$* | *3,237.10$^{-5}$* | *15,973.10$^{-5}$* |
| Ακραία θέση | *5,964.10$^{-9}$* | *8,091.10$^{-5}$* | *7,880.10$^{-5}$* | *15,972.10$^{-5}$* |
| Τυχαία θέση | *8,466.10$^{-6}$* | *9,248.10$^{-5}$* | *5,878.10$^{-5}$* | *15,972.10$^{-5}$* |