

**Παιδαγωγική
αναζήτηση**

«Η φύση μάς έδωσε μάτια για να βλέπουμε τα έργα της, αλλά μας έδωσε και νου για να τα κατανοούμε»
G. Galilei

Υπάρχει μια αναλογία ανάμεσα στις πρωτόλειες ιδέες των μαθητών και αυτές των πρώτων επιστημόνων. Αν δώσουμε την ευκαιρία στους μαθητές να ακολουθήσουν το νήμα της σκέψης του Γαλιλαίου μέσα από κοινές αισθησιοκρατούμενες αφετηρίες, τότε μπορούμε ως ένα βαθμό να πετύχουμε την εννοιολογική αλλαγή των μαθητών. Όμως οι παιδαγωγικές έρευνες σε αυτό το σημείο δείχνουν ότι μια διδακτική παρέμβαση του τύπου της περιγραφής ή επίδειξης των πειραμάτων του Γαλιλαίου έχει πενιχρά αποτελέσματα, διότι κοινές παρατηρήσεις ερμηνεύονται διαφορετικά και πάντα μέσα στο ερμηνευτικό θεωρητικό πλαίσιο που έχει ο μαθητής.

Η διδακτική προσέγγιση που προτείνουμε δεν αρκείται σε μια δραστηριότητα παρατήρησης ενός πειράματος και διαπίστωσης των γεγονότων. Αν συμβεί αυτό, ενδέχεται οι μαθητές να εξηγήσουν το φαινόμενο της κίνησης μέσα από τις δικές τους εμπειρικές και προεπιστημονικές αντιλήψεις, ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο την αίσθηση ότι το δικό τους ερμηνευτικό μοντέλο λειτουργεί και εξηγεί τα γεγονότα.

Διαφαίνεται λοιπόν η ανάγκη για μια προσέγγιση περισσότερο εποικοδομητικού τύπου, δηλαδή να δώσουμε την ευκαιρία στους μαθητές να οικοδομήσουν τις νέες έννοιες και να εμπλακούν με ερωτήματα που να νομιμοποιούν τις νοητικές δραστηριότητες που τις δημιουργούν.

Η μετάβαση από το «*παρατήρησε και συλλογίσου*» στο «*συλλογίσου τι θα παρατηρούσαμε*» είναι πιο εύκολη και διδακτικά επιτεύξιμη τώρα. Η εφαρμογή συλλογιστικών σχημάτων που απορρέουν από τη διερεύνηση οριακών καταστάσεων συνδέει Μαθηματικά (τυπική γλώσσα), Φυσική, Επιστημολογία και Ιστορία Επιστημών σε ένα ενιαίο σύγχρονο μαθησιακό περιβάλλον. Η καταγραφή μετρήσεων, οι υπολογισμοί και οι εκτιμήσεις συνεισφέρουν στην κατανόηση μαθηματικών εννοιών, στον ορισμό φυσικών εννοιών και οδηγούν, με την αναζήτηση σχέσεων μεγεθών και την εύρεση λειτουργικών σχέσεων μεταξύ εννοιών, στη διατύπωση των φυσικών νόμων.

Οι δύο δραστηριότητες που ακολουθούν είναι εμπνευσμένες από τα περίφημα πειράματα του Γαλιλαίου με τα κεκλιμένα επίπεδα για τη μελέτη του φαινομένου της κίνησης. Για να είμαστε συνεπείς, όχι ακριβώς για τη μελέτη της κίνησης αλλά για τον έλεγχο προμελετημένων υποθέσεων για την κίνηση. Από τα πειράματα που περιγράφονται στο έργο του “*Δύο Νέες Επιστήμες*”, κρατήσαμε τις κεντρικές ιδέες και σχεδιάσαμε δύο δραστηριότητες σε μορφή διδακτικής ύλης. Αυτές είναι:

- 1) Η έννοια της επιτάχυνσης ως μια πορεία διατύπωσης ενός νόμου για την ελεύθερη πτώση.
- 2) Η θεώρηση της κίνησης ως κατάστασης ενός σώματος, ο δρόμος προς την Αρχή της Αδράνειας.

Ο σχεδιασμός του πειράματος με δύο αντικριστά κεκλιμένα επίπεδα μάς παραπέμπει στη μελέτη οριακών καταστάσεων. Η αλλαγή της κλίσης του πρώτου επιπέδου σε γωνία 90° οδηγεί στη διατύπωση του νόμου της ελεύθερης πτώσης, ενώ η αλλαγή της κλίσης του δεύτερου επιπέδου σε γωνία 0° επιτρέπει τη διατύπωση του νόμου της αδράνειας.

Το περιβάλλον της προσομοίωσης των κεκλιμένων επιπέδων ως μικρόκοσμος μάθησης προσφέρεται για μια σειρά παρόμοιων δραστηριοτήτων που μπορείτε να σχεδιάσετε και να υλοποιήσετε.

Δραστηριότητα 15.1

Οι μαθητές:

Διδακτικοί στόχοι

- Να γνωρίσουν ότι για τη μελέτη ή εξήγηση ενός φαινομένου –όπως αυτό της κίνησης– με αφετηρία κοινές παρατηρήσεις, οδηγούνται σε διαφορετικές απόψεις και κατ' επέκταση σε διαφορετικές μεθοδολογίες μελέτης. Από τη μια ο Αριστοτέλης με την αναζήτηση τελικών αιτίων για την κίνηση και από τη άλλη ο Γαλιλαίος στην αναζήτηση νόμων και τον ορισμό εννοιών για την περιγραφή τους.
- Να γνωρίσουν ότι οι επιστημονικές έννοιες, όπως αυτή της επιτάχυνσης, είναι δημιουργήματα της ανθρώπινης σκέψης.
- Να γνωρίσουν ότι η επιτάχυνση, σύμφωνα με τον ορισμό του Γαλιλαίου, ενός σώματος που εκτελεί ελεύθερη πτώση είναι σταθερή.
- Να γνωρίσουν ότι η μέτρηση για το Γαλιλαίο είναι διαδικασία με πρωταρχική σημασία για τη διατύπωση φυσικών νόμων ή εννοιών. Δίνουμε έμφαση στον όρο προσεκτική μέτρηση και όχι στην ακρίβεια των μετρήσεων αφού πάντα θα υπάρχει ένα τεχνολογικό όριο ακρίβειας. Έτσι, προμελετημένα οι ψηφιακοί μετρητές στην προσομοίωση παρέχουν στρογγυλοποιημένες τιμές χρόνου, απόστασης και ταχύτητας.
- Να ερμηνεύσουν το πρόσημο του $\Delta v/\Delta t$ και του $\Delta v/\Delta s$ κατά την κίνηση στο κεκλιμένο και οριζόντιο επίπεδο

Επισημάνσεις

- Οι μαθητές, κατά τη διαδικασία των μετρήσεων της ταχύτητας, να διαχειριστούν τόσο το χρόνο όσο και το διάστημα ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Έτσι η επιλογή του ορισμού της επιτάχυνσης ως μεταβολή της ταχύτητας στο χρόνο φέρνει στο προσκήνιο τη γαλιλαϊκή αποκάλυψη πως η αληθινή μεταβλητή της κίνησης είναι ο χρόνος.
- Στην *Παρουσίαση 2* παρέχονται οι γραφικές παραστάσεις $v-t$ και $v-s$ μέσω των οποίων μπορούν να επιβεβαιωθούν και να ενισχυθούν τα αποτελέσματα των υπολογισμών και των συμπερασμάτων των μαθητών, αφού καταγράφεται καθαρά ότι στην περίπτωση του διαγράμματος $v-t$ η ταχύτητα μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο, ενώ στην περίπτωση του διαγράμματος $v-s$ η μεταβολή της ταχύτητας είναι μη γραμμική.

- Καθοδηγούμε τους μαθητές να σκεφτούν ότι δε χρειάστηκε να εκτελεστεί ένα πραγματικό πείραμα για το «σταθερό» της επιτάχυνσης στην ελεύθερη πτώση ενός σώματος, αλλά προέκυψε ως λογική προέκταση ενός ιδεατού πειράματος, αφού η επιβεβαίωση μέσω ενός τέτοιου πραγματικού πειράματος ήταν τεχνολογικά ανέφικτη αλλά και τελικά μη απαραίτητη.
- Πρέπει στο τέλος της δραστηριότητας να επισημάνετε στους μαθητές ότι στα συμπεράσματα αυτά κατέληξε ο Γαλιλαίος μετά από μακροχρόνιους προβληματισμούς. Το πείραμα αυτό το σχεδίασε για να επιβεβαιώσει την προμελετημένη διατύπωση της υπόθεσης ότι η επιτάχυνση στην ελεύθερη πτώση είναι σταθερή.

Δραστηριότητα 15.2

Οι μαθητές:

Διδακτικοί στόχοι

- Να κατανοήσουν την Αρχή της Αδράνειας του Γαλιλαίου.
- Να γνωρίσουν παράλληλα στιγμές-σταθμούς στην ιστορία της επιστημονικής σκέψης και τη μεθοδολογία που αναπτύσσει η επιστημονική αναζήτηση.
- Να εξασκηθούν σε λογικούς συλλογισμούς και να προεκτείνουν συμπεράσματα που προκύπτουν από πραγματικά πειράματα σε ιδεατές καταστάσεις.
- Να αντιληφθούν ότι σε ένα πείραμα υπάρχουν οι διακριτές φάσεις εξαγωγής συμπερασμάτων: Από τη μια συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρατήρηση (βεβαίωση γεγονότων) και από την άλλη η διαδικασία για την εξαγωγή ενός συμπεράσματος που προκύπτει από τα γεγονότα.
- Να μεταβούν από τον αισθησιοκρατούμενο τρόπο σκέψης σε έναν τρόπο που απαιτεί αφηρημένους εννοιολογικούς συλλογισμούς.

Επισημάνσεις

- Πρέπει να βοηθάμε τους μαθητές σε κάθε ενότητα της δραστηριότητας, ώστε να προσανατολίζονται σε ποιο στάδιο της αναζήτησης βρίσκονται και να μη χάνονται.
- Το θέμα της αναζήτησης των συγκεκριμένων δυνάμεων που δρουν στο σύστημα των κεκλιμένων επιπέδων δε μας απασχολεί σε αυτή τη δραστηριότητα, γι' αυτό και αποφεύγεται η χρήση του όρου «Δύναμη» και χρησιμοποιείται ο όρος «Δράση». Η θεώρηση για την κίνηση γίνεται σύμφωνα με τις απόψεις του Γαλιλαίου και όχι με τη Νευτώνεια Μηχανική. Άλλωστε ο Γαλιλαίος είχε την εσφαλμένη αντίληψη ότι το βάρος είναι ιδιότητα χαρακτηριστική του σώματος και όχι εξωτερική δύναμη και ότι η ομαλή κίνηση των σωμάτων είναι η κυκλική.
- Σημαντικό είναι να τους εφιστούμε την προσοχή ώστε να μην κάνουν αυθαίρετες ερμηνείες, ιδιαίτερα στο σημείο που τους ζητείται να διατυπώσουν τις προβλέψεις τους για την κίνηση της σφαίρας σε λείο και οριζόντιο επίπεδο, πριν από το πείραμα με τα δύο κεκλιμένα επίπεδα. Η διαπίστωση ότι η σφαίρα θα κινείται συνεχώς παρόλο που είναι φανερή, δεν παύει να είναι αυθαίρετη.

- Διευκρινίζουμε ότι ο συντελεστής τριβής που χρησιμοποιείται στο μοντέλο δε διαφοροποιείται από την κινητική κατάσταση του σώματος (στατική τριβή και τριβή ολίσθησης). Έτσι, όταν η κλίση του επιπέδου είναι μικρή σε σχέση με το συντελεστή τριβής μ , το σώμα δεν εκκινεί βάσει της γνωστής σχέσης $\mu = \tan\theta$ για κεκλιμένο επίπεδο.

Βιβλιογραφία

- [1] Arons, A. (1992) «Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής», Εκδόσεις Τροχαλία.
- [2] Einstein, A. & Infeld, L. (1978) «Η εξέλιξη των Ιδεών στη Φυσική», Εκδόσεις Δωδώνη.
- [3] Westfall, R. S. (1995) «Η Συγκρότηση της Σύγχρονης Επιστήμης», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [4] Drake, S. (1995) «*Galileo at Work. His Scientific Biography*», The University of Chicago, Press 1978, Dover Edition.
- [5] Σωτηρόπουλος, Π., Μπακαλίδης, Γ. Ν. & Κέκκερης, Γ. (2000) “Μετασχηματισμός Επιστημολογικών Ερωτημάτων σε Διδακτικές Καταστάσεις με Χρήση Διερευνητικού Περιβάλλοντος: Το Πείραμα των Κεκλιμένων Επιπέδων του Γαλιλαίου για τη Μελέτη της Κίνησης των Σωμάτων”, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο, Η Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και η Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λευκωσία 3-5 Μαΐου 2000.

Από τον ορισμό της έννοιας της επιτάχυνσης στη διατύπωση του νόμου για την ελεύθερη πτώση

Φύλλο Εργασίας 15.1.1

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 15.1: Από τον ορισμό της έννοιας της επιτάχυνσης στη διατύπωση του νόμου για την ελεύθερη πτώση

Ονοματεπώνυμο:

Τάξη:

Ημερομηνία:

Τι θα μελετήσουμε

Σε αυτή τη δραστηριότητα, θα δούμε την πορεία ανάπτυξης της έννοιας της επιτάχυνσης από το Γαλιλαίο, μελετώντας την κίνηση ενός αντικειμένου που αφήνεται ελεύθερο από το ανώτατο σημείο μιας διάταξης κεκλιμένων επιπέδων. Σε μια κίνηση που μεταβάλλεται, θέλουμε να εκφράσουμε τη μεταβολή της ταχύτητας ως προς «κάτι». Αναζητούμε αυτό το «κάτι», δηλαδή ως προς τι θα ήταν καλύτερο να μετράμε τη μεταβολή της ταχύτητας. Μέσα από αυτή τη μελέτη θα δούμε και πως φτάνουμε στη διατύπωση ενός νόμου για την ελεύθερη πτώση των σωμάτων.

Η πειραματική διάταξη

Για να εξετάσουμε από πιο κοντά τα θεμελιώδη γεγονότα της κίνησης, ας θεωρήσουμε δύο αντικριστά κεκλιμένα επίπεδα, όπου στο ανώτατο άκρο του αριστερού κεκλιμένου επιπέδου *OAB* τοποθετούμε μια σφαίρα και την αφήνουμε ελεύθερη. Στην οθόνη του υπολογιστή προσομοιώνεται η κίνηση της σφαίρας σε μια τέτοια πειραματική διάταξη.

Οδηγίες χειρισμού

Με αυτό το κουμπί από το παράθυρο Έλεγχος ενεργοποιείται η προσομοίωση και μπορείτε κατόπιν από τους *ρυθμιστές της διάταξης* να αλλάξετε τις παρακάτω παραμέτρους της πειραματικής διάταξης:

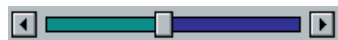
- Την κλίση $u1$ και το ύψος OA του κεκλιμένου επιπέδου OAB .
- Την κλίση $u2$ του κεκλιμένου επιπέδου CDE . Το ύψος ED είναι ίσο με το OA και ρυθμίζεται ταυτόχρονα με τη ρύθμιση του ύψους OA .
- Το μήκος BC του ενδιάμεσου οριζόντιου επιπέδου.
- Το είδος της επιφάνειας των επιπέδων ως προς την στιλπνότητά τους, δηλ. το συντελεστή τριβής n .



Η έναρξη του πειράματος γίνεται από το κουμπί Έναρξη, σύροντας δεξιά. Από το ίδιο κουμπί, σύροντας αριστερά, μπορείτε να τοποθετήτε τη σφαίρα στην αρχική της θέση και να αλλάζετε, εάν επιθυμείτε, τα ύψη, τις κλίσεις και το συντελεστή τριβής των επιπέδων της διάταξης από τους *ρυθμιστές διάταξης*.



Διακόπτεται προσωρινά η προσομοίωση του πειράματος.



Με συνεχή κλικ στα βέλη εκτελείται ξανά, βήμα βήμα, η προσομοίωση του πειράματος, εφόσον τη σταματήσατε ή τελείωσε ο χρόνος εκτέλεσής της.

Η παρατήρηση

Το πείραμα σχεδίασε και εκτέλεσε ο Γαλιλαίος. Ας δεχτούμε μια φανταστική συνάντηση μεταξύ του Αριστοτέλη και του Γαλιλαίου μπροστά σε αυτό το πείραμα, κι εσείς οι βοηθοί τους.

Ρυθμίστε τη διάταξη με τις τιμές: $OA=460$, $u1=40^\circ$, $u2=0^\circ$ και $n=0.30$.

Ξεκινήστε το πείραμα και παρατηρήστε την κίνηση της σφαίρας.

Επαναλάβετε το πείραμα μερικές φορές και περιγράψτε με δικά σας λόγια τις παρατηρήσεις σας για την κίνηση της μπάλας στο αριστερό κεκλιμένο επίπεδο και στο οριζόντιο.

Οι σημειώσεις

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Αριστοτέλης και Γαλιλαίος συζητούν για τις παρατηρήσεις τους.

Οι διαφορετικές απόψεις

Παρακολουθήστε το διάλογο:

Αριστοτέλης: Αυτό που παρατήρησα είναι ότι το σώμα στο κεκλιμένο επίπεδο ξεκινάει από την ηρεμία και η ταχύτητά του αυξάνεται, διότι “βιάζεται” γρήγορα να βρει τη φυσική του θέση. Τα γήινα σώματα πέφτουν και εκτελούν τη φυσική τους κίνηση, επειδή έχουν την τάση να αναζητούν τη φυσική τους θέση, που είναι το κέντρο της γης. Στο οριζόντιο επίπεδο, το κινούμενο σώμα σταματά, όταν η δύναμη που το σπρώχνει, δεν μπορεί πια να δράσει έτσι που να το σπρώχνει μπροστά. Η φυσική του κατάσταση τότε είναι να σταματά. Για να κινείται πρέπει συνεχώς να δρα μία δύναμη.

Γαλιλαίος: Πράγματι αυτό παρατηρώ κι εγώ, αλλά δε με ενδιαφέρει τώρα να διερευνήσουμε την αιτία, δηλαδή τι προκαλεί τη μεταβαλλόμενη κίνηση της σφαίρας. Αυτό που ενδιαφέρει είναι η διερεύνηση ορισμένων ιδιοτήτων της μεταβολής της κίνησης. Γι’ αυτό το σκοπό θα κάνουμε μετρήσεις. Θα κάνουμε μετρήσεις, όπως κάνουν μετρήσεις γωνιών και χρόνων οι αστρονόμοι για να προβλέψουν τις μελλοντικές θέσεις των πλανητών. Κι επειδή δε με ενδιαφέρει πολύ η ακρίβεια αυτών των μετρήσεων, ας τις κάνουν οι μαθητές μας αρκεί να τις κάνουν με μεγάλη προσοχή και να κατανοούν το τι μετράνε.

Αριστοτέλης: Οι μετρήσεις και τα μαθηματικά δεν παίζουν κανένα ρόλο. Αυτές οι εγκόσμιες ασχολίες είναι για τους απλούς πρακτικούς. Η πραγματικότητα και ο φυσικός κόσμος μπορεί να περιγραφεί μόνο ποιοτικά κι όχι με τους ακριβείς και απόλυτους όρους της εξωπραγματικής αλήθειας των μαθηματικών.

Γαλιλαίος προς τους μαθητές: Επειδή φαίνεται, και το διαπιστώνουμε όλοι, ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται τόσο καθώς περνάει ο χρόνος, όσο και καθώς περνάει το σώμα από διαφορετικές θέσεις, θα εξετάσουμε πόση είναι αυτή η μεταβολή της ταχύτητας (Δv) για κάθε μονάδα χρόνου που περνάει (ή για ίσα χρονικά διαστήματα) και ποια είναι η μεταβολή της ταχύτητας για κάθε μονάδα διαστήματος που διανύεται (ή για ίσα διαστήματα).

Οι μετρήσεις

Καθώς το σώμα κατεβαίνει το κεκλιμένο επίπεδο, καταγράψτε την ταχύτητα v στο διάστημα s που διένυσε το σώμα, στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές t και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

Προσέξτε ότι οι ψηφιακοί μετρητές ταχύτητας v και διαστήματος s καταγράφουν τις τιμές των μεγεθών αυτών σε χρονικές στιγμές που διαφέρουν κατά ένα σταθερό (ορισμένο) χρονικό διάστημα Δt και όχι κατά ένα σταθερό (ορισμένο) διανυθέν διάστημα Δs . Θυμηθείτε την εντολή του Γαλιλαίου για προσεκτικές και όχι ακριβείς μετρήσεις. Σας προτείνουμε λοιπόν να καταγράψετε την ταχύτητα σε χρονικές στιγμές που διαφέρουν κατά $\Delta t=2$ και την ταχύτητα σε διανυθείσες αποστάσεις που διαφέρουν κατά $\Delta s=100$.

Για τον υπολογισμό του λόγου $\Delta v/\Delta s$ χρειάζεται λίγη προσοχή, διότι θέλουμε τη μεταβολή της ταχύτητας Δv ανά ίση πάντοτε μεταβολή της θέσης Δs του κινητού.

Χρόνος t	Ταχύτητα v	Λόγος $\Delta v/\Delta t$	Διάστημα s	Ταχύτητα v	Λόγος $\Delta v/\Delta s$
0			0		

Βλέποντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας για τους δύο πιθανούς τρόπους περιγραφής της αλλαγής της ταχύτητας, τι επιλογή (μεταξύ των μεγεθών $\Delta v/\Delta t$ και $\Delta v/\Delta s$) θα κάνατε και με ποια κριτήρια;

.....

Ο ορισμός της επιτάχυνσης

Τελικά ορίστε τη νέα έννοια που **δημιουργήσατε** και ονομάστε την *Επιτάχυνση*. Τι περιγράφει αυτή η έννοια;

.....

Αν αλλάξει η κλίση του αριστερού επιπέδου, η επιτάχυνση θα παραμείνει πάλι σταθερή ως προς το χρόνο;

Εκτελέστε το πείραμα με μεγαλύτερη κλίση $u1$ και δείτε τη γραφική παράσταση ταχύτητας-χρόνου ($v-t$) στην *Παρουσίαση 2*.

Τι θα συμβεί όταν η κλίση του επιπέδου γίνει $u1=90^\circ$, οπότε το σώμα πέφτει πλέον ελεύθερα;

Η διατύπωση ενός νόμου

Ανακεφαλαιώνοντας θυμηθείτε και γράψτε παρακάτω:

Ποιο συμπέρασμα προέκυψε άμεσα με την παρατήρηση;

.....

Τι διαπιστώσατε από τις μετρήσεις και τι από τους υπολογισμούς;

.....

Τι προέκυψε από τους συλλογισμούς σας για την επιτάχυνση που έχει ένα σώμα όταν πέφτει ελεύθερα;

.....

Συζητήστε με τις υπόλοιπες ομάδες για τα συμπεράσματά σας.

Συζητήστε για το πώς αντιμετώπισε ο Αριστοτέλης αυτό το φαινόμενο της κίνησης της σφαίρας και πώς ο Γαλιλαίος. Ποιες είναι οι βασικές διαφορές στη σκέψη τους;