

Η χρήση των προσομοιώσεων πειραμάτων στη διδασκαλία της έννοιας της επιτάχυνσης.

A. Τζιμογιάννης¹ και T. A. Μικρόπουλος²

1 Διδάκτωρ του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Συνεργάτης του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

2 Επίκουρος καθηγητής του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται καταγραφή, ταξινόμηση και διερεύνηση των απόψεων επανεκπαιδευόμενων πτυχιούχων Παιδαγωγικών Τμημάτων εξωτερικού σχετικά με την έννοια της επιτάχυνσης σε απλές ευθύγραμμες κινήσεις. Για την κατανόηση και εφαρμογή της έννοιας της επιτάχυνσης χρησιμοποιούνται οι προσομοιώσεις πειραμάτων, μέσω του πακέτου Interactive Physics. Η συμβολή των προσομοιώσεων στη δημιουργία νοητικών αναπαραστάσεων είναι θετική, παρότι το δείγμα έχει σοβαρές αδυναμίες και ελλείψεις.

1. Εισαγωγή

Η Φυσική και η διδασκαλία της θεωρείται ευρύτερα ως ένα δύσκολο αντικείμενο. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι σε όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες η απόσταση ανάμεσα στη διδασκαλία και σ' αυτά που τελικά μαθαίνουν οι μαθητές και οι σπουδαστές είναι μεγαλύτερη από αυτή που θεωρούν οι διδάσκοντες¹. Αποκτούν και συνήθως διατηρούν, ακόμη και μετά τη διδασκαλία, ένα σύνολο ιδεών και αντιλήψεων για τον κόσμο, που αναφέρονται ως πρωτογενείς αντιλήψεις ή παρανοήσεις (preconceptions). Αυτές είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης με το φυσικό περιβάλλον και έρχονται σε σύγκρουση με τις σχετικές επιστημονικές θεωρίες.

Στην Ελληνική βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί οι αντιλήψεις μαθητών Δημοτικού σχετικά με τις μεταβολές καταστάσεων και τη θερμική ισορροπία², οι απόψεις μαθητών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης σχετικά με τα ηλεκτρικά κυκλώματα³ και οι δυσκολίες μαθητών Γυμνασίου στην κατανόηση της πυκνότητας σωμάτων⁴. Οι ιδέες φοιτητών Παιδαγωγικών Τμημάτων Δημοτικής Εκπαίδευσης (ΠΤΔΕ) για τη Φυσική έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας στη χώρα μας, λόγω των ιδιαίτερων δυσκολιών που συναντώνται. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τη συγκριτική μελέτη των αντιλήψεων φοιτητών ΠΤΔΕ και μαθητών Δημοτικού για την έννοια της άνωσης σε υγρά⁵.

Σε ότι αφορά στην Κινηματική, διάφορες μελέτες έχουν καταγράψει τις δυσκολίες σπουδαστών και μαθητών στην κατανόηση των βασικών εννοιών, στην ερμηνεία φυσικών φαινομένων και στην επίλυση προβλημάτων^{6,7,8,9,10}. Η εργασία αυτή είναι μία μελέτη περίπτωσης (case study) και αποτελεί συνέχεια προηγούμενης μελέτης μας σχετικά με τη συμβολή των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της έννοιας της στιγμιαίας ταχύτητας¹¹. Οι προσομοιώσεις πειραμάτων βρίσκονται στο επίκεντρο του εκπαιδευτικού ενδιαφέροντος ως μέσω διδασκαλίας και έρευνας^{12,13}. Η συνεισφορά των προσομοιώσεων στην άρση των παρανοήσεων για την έννοια της στιγμιαίας ταχύτητας έχει αξιολογηθεί θετικά¹¹. Για το λόγο αυτό η έρευνά μας επεκτάθηκε και στην έννοια της στιγμιαίας επιτάχυνσης, δηλαδή του ρυθμού μεταβολής της ταχύτητας.

Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 43 πτυχιούχους Παιδαγωγικών Τμημάτων εξωτερικού, επανεκπαιδευόμενους στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά το ακαδημαϊκό έτος 1997-98. Η μελέτη και καταγραφή των

αντιλήψεων των πτυχιούχων του δείγματος έγινε με τη βοήθεια τεσσάρων πειραμάτων-έργων που αναπτύξαμε με τη βοήθεια του πακέτου προσομοιώσεων Interactive Physics. Τα έργα αυτά αποτελούν επέκταση των κινηματικών έργων του Piaget¹⁴ και σε άλλες παραλλαγές έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των αντιλήψεων φοιτητών σχετικά με τις έννοιες της ταχύτητας⁷ και της επιτάχυνσης⁸.

Η μεθοδολογία της έρευνας περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη εργασία μας¹¹. Οι ερευνητικές υποθέσεις είναι

1. Πολλοί φοιτητές και πτυχιούχοι Παιδαγωγικών Τμημάτων έχουν δυσκολίες να κατανοήσουν την έννοια της επιτάχυνσης και να εφαρμόσουν τους βασικούς νόμους της κινηματικής σε απλές κινήσεις.
2. Οι προσομοιώσεις συνεισφέρουν στην απομάκρυνση των παρανοήσεων και στη λειτουργική εφαρμογή των βασικών κινηματικών εννοιών (ταχύτητα και επιτάχυνση) σε διάφορα φαινόμενα.

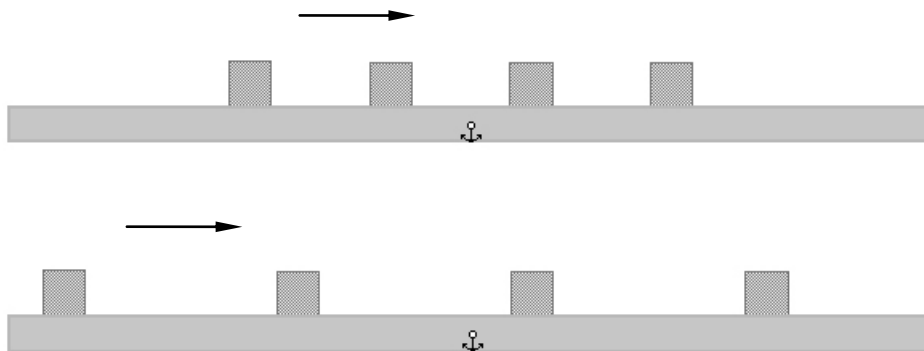
Η παρούσα εργασία στοχεύει αφενός στην επιβεβαίωση ή την απόρριψη των παραπάνω υποθέσεων και αφετέρου στον προσδιορισμό προσεγγιστικά των ορίων ισχύος τους. Τα αποτελέσματά μας αποτελούν, από όσο γνωρίζουμε, τα πρώτα ερευνητικά δεδομένα στην Ελληνική βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις για την έννοια της επιτάχυνσης.

2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

2.1 Συγκριτική μελέτη δύο ευθύγραμμων ομαλών κινήσεων

1^ο ΕΡΓΟ-ΠΕΙΡΑΜΑ

Στο παρακάτω σχήμα δείχνονται τα διαδοχικά στιγμιότυπα της ευθύγραμμης κίνησης δύο όμοιων κινητών. Τα κινητά ξεκινούν την ίδια χρονική στιγμή και διανύουν τις αποστάσεις κατά τη φορά του σχήματος, στον ίδιο χρόνο. Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ όλων των στιγμιότυπων είναι ίσα. Πόση είναι η επιτάχυνση των δύο κινητών; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.



Με το έργο αυτό διερευνάται η κατανόηση και εφαρμογή της έννοιας της επιτάχυνσης συγκρίνοντας τις κινήσεις δύο όμοιων κινητών, που κινούνται με διαφορετική σταθερή ταχύτητα. Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες.

1. Ανεπαρκείς χαρακτηρίζονται οι προσεγγίσεις που δεν δίνουν καμμία απάντηση, δίνουν απάντηση χωρίς αιτιολόγηση ή δίνουν απαντήσεις που δεν σχετίζονται με τα κινηματικά χαρακτηριστικά του φαινομένου. Τέτοιες είναι οι απαντήσεις του τύπου

«τα κινητά έχουν επιτάχυνση ανάλογη της ταχύτητας».

2. Θεωρούμε ότι υπάρχει σύγχυση ταχύτητας και επιτάχυνσης του κινητού, όταν παίρνουμε απαντήσεις της μορφής

«το δεύτερο κινητό έχει μεγαλύτερη επιτάχυνση, γιατί διανύει μεγαλύτερες αποστάσεις στον ίδιο χρόνο».

«τα κινητά έχουν σταθερή επιτάχυνση, γιατί διανύουν ίσα διαστήματα στον ίδιο χρόνο».

3. Θεωρούμε σωστές απαντήσεις αυτές που συνοδεύονται από ορθή αιτιολόγηση, σύμφωνα με την επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου. Τέτοιες είναι οι απαντήσεις της μορφής «τα κινητά έχουν μηδενική επιτάχυνση, γιατί κινούνται με σταθερή ταχύτητα» ή «τα κινητά έχουν μηδενική επιτάχυνση, γιατί διανύουν ίσες αποστάσεις σε ίσα χρονικά διαστήματα».

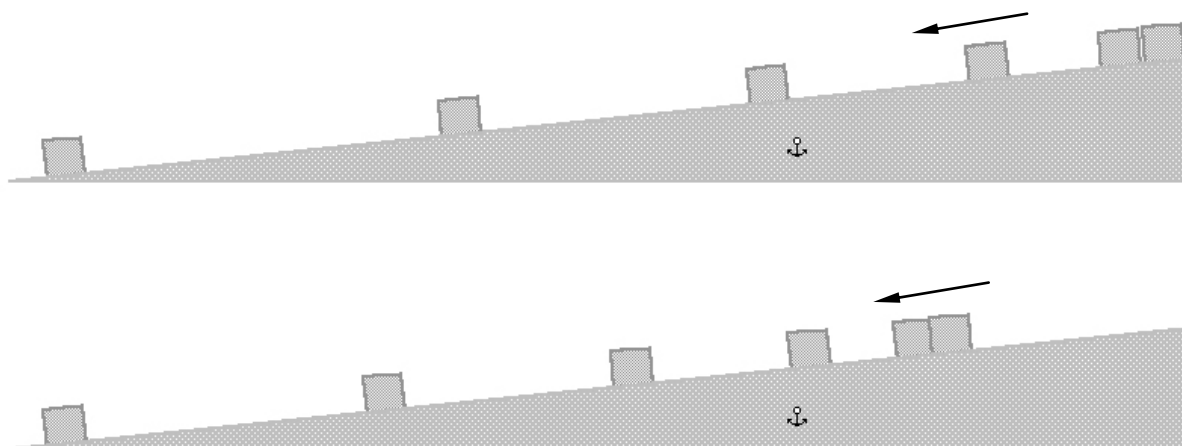
Τα αποτελέσματα για το πρώτο έργο δίνονται στον Πίνακα 1. Όπως φαίνεται, η χρήση των προσομοιώσεων μείωσε δραματικά το ποσοστό ανεπαρκών προσεγγίσεων του έργου (από 44% σε 14%) και αύξησε αυτό των ολοκληρωμένων απαντήσεων (από 16% σε 26%). Σχετικά με τη σύγκυση των εννοιών της ταχύτητας και επιτάχυνσης οι προσομοιώσεις φαίνεται ότι δεν συνεισφέρουν. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από τη δυναμική των προσομοιώσεων, η οποία απαιτεί την εξοικείωση με τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης, ώστε να γίνει η διάκριση και η συγκριτική εφαρμογή τους σε δύο ταυτόχρονα εξελισσόμενα φαινόμενα.

Πίνακας 1. Κατηγορίες απαντήσεων στο έργο 1

α/α	Διαδικασία	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων		Με χρήση προσομοιώσεων	
		Συχνότητα N=43	Ποσοστό %	Συχνότητα N=43	Ποσοστό %
1	Ανεπαρκής προσέγγιση	19	44	6	14
2	Σύγκυση ταχύτητας-επιτάχυνσης	17	40	26	60
3	Σωστή απάντηση με επαρκή αιτιολόγηση	7	16	11	26

2.2 Συγκριτική μελέτη δύο ευθύγραμμων ομαλά επιταχυνόμενων κινήσεων 2^ο ΕΡΓΟ-ΠΕΙΡΑΜΑ

Στο παρακάτω σχήμα δείχνονται τα διαδοχικά στιγμιότυπα της ευθύγραμμης κίνησης δύο όμοιων κινητών, τα οποία αφήνονται ελεύθερα την ίδια χρονική στιγμή κατά μήκος δύο κεκλιμένων επιπέδων της ίδιας γωνίας κλίσης. Τα κινητά ξεκινούν την ίδια χρονική στιγμή και διανύουν τις αποστάσεις κατά τη φορά του σχήματος, στον ίδιο χρόνο. Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ όλων των στιγμιότυπων είναι ίσα. **α)** Τα δύο κινητά έχουν την ίδια ή διαφορετική επιτάχυνση; **β)** Ποιο από τα δύο κινητά φτάνει στο έδαφος με τη μεγαλύτερη ταχύτητα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.



Με το δεύτερο έργο ζητείται η εφαρμογή των εννοιών της στιγμιαίας ταχύτητας και επιτάχυνσης σε δύο παρόμοιες ευθύγραμμες ομαλά επιταχυνόμενες κινήσεις χωρίς αρχική ταχύτητα. Τα κινητά κινούνται με διαφορετική επιτάχυνση, η οποία οφείλεται στη διαφορετική τριβή μεταξύ των επιφανειών του κεκλιμένου επιπέδου και του κάθε σώματος. Οι απαντήσεις που δόθηκαν στο πρώτο ερώτημα ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες.

1. Ως ανεπαρκείς χαρακτηρίζονται οι προσεγγίσεις που δεν δίνουν καμμία απάντηση ή δίνουν απάντηση (λανθασμένη ή σωστή) χωρίς αιτιολόγηση ή δίνουν απαντήσεις που δεν βασίζονται στα κινηματικά χαρακτηριστικά του φαινομένου. Οι απαντήσεις αυτές είναι του τύπου «τα κινητά έχουν ίση επιτάχυνση, γιατί τα κεκλιμένα επίπεδα είναι τα ίδια» ή «τα κινητά έχουν διαφορετική επιτάχυνση, γιατί το πρώτο ξεκινάει από μεγαλύτερο ύψος».

2. Θεωρούμε ότι υπάρχει σύγχυση ταχύτητας και επιτάχυνσης του κινητού, όταν παίρνουμε απαντήσεις της μορφής «τα κινητά έχουν διαφορετική επιτάχυνση γιατί διανύουν διαφορετικές αποστάσεις στον ίδιο χρόνο».

3. Θεωρούμε σωστές απαντήσεις αυτές που συνοδεύονται από ορθή αιτιολόγηση, της μορφής «το πρώτο κινητό έχει μεγαλύτερη επιτάχυνση, γιατί διανύει μεγαλύτερη απόσταση στον ίδιο χρόνο».

Οι απαντήσεις δεν τόνιζαν στην πλειονότητά τους το γεγονός ότι η αρχική ταχύτητα των κινητών είναι μηδέν. Παρόλα αυτά θεωρήσαμε σωστές όλες τις παραπάνω απαντήσεις.

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα για το δεύτερο έργο. Αρχικά το 12% του δείγματος έδωσε σωστή και αιτιολογημένη απάντηση χωρίς χρήση προσομοιώσεων. Μετά τη χρήση των προσομοιώσεων, οι σωστές απαντήσεις αυξάνονται σε 30%. Παράλληλα, διαπιστώνεται μετά τη χρήση της προσομοίωσης σημαντική μετατόπιση των απαντήσεων από την ανεπαρκή προσέγγιση προς τις προσεγγίσεις της δεύτερης και τρίτης κατηγορίας. Η σύγχυση μεταξύ των εννοιών της ταχύτητας και της επιτάχυνσης διατηρείται σε μικρότερο βαθμό ακόμη και μετά τη χρήση της προσομοίωσης.

Πίνακας 2. Κατηγορίες απαντήσεων στο έργο 2α

α/α	Διαδικασία	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων		Με χρήση προσομοιώσεων	
		Συχνότητα N=43	Ποσοστό %	Συχνότητα N=43	Ποσοστό %
1	Ανεπαρκής προσέγγιση	29	67	23	54
2	Σύγχυση ταχύτητας-επιτάχυνσης	9	21	7	16
3	Σωστή απάντηση με επαρκή αιτιολόγηση	5	12	13	30

Οι απαντήσεις που δόθηκαν στο δεύτερο ερώτημα του έργου ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες.

1. Ανεπαρκείς χαρακτηρίζονται οι προσεγγίσεις, οι οποίες δίνουν απάντηση (σωστή ή λάθος) χωρίς αιτιολόγηση ή δίνουν αιτιολογήσεις που δεν βασίζονται στα κινηματικά χαρακτηριστικά του φαινομένου. Οι απαντήσεις αυτές είναι του τύπου

«το πρώτο κινητό φθάνει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, γιατί ξεκίνησε από μεγαλύτερο ύψος» ή «το πρώτο κινητό φθάνει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, γιατί κινείται σε κεκλιμένο επίπεδο με μεγαλύτερη κλίση».

2. Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσουμε τις απαντήσεις, στις οποίες διαπιστώνεται ότι υπάρχει σύγχυση ταχύτητας και θέσης του κινητού. Οι αντίστοιχες απαντήσεις είναι της μορφής

«τα κινητά έχουν την ίδια ταχύτητα, γιατί φθάνουν μαζί στο έδαφος».

3. Στην τρίτη κατηγορία κατατάσσουμε τις απαντήσεις, στις οποίες διαπιστώνεται ότι υπάρχει σύγχυση στιγμιαίας και μέσης ταχύτητας του κινητού. Οι αντίστοιχες απαντήσεις είναι της μορφής

«το πρώτο κινητό φθάνει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, γιατί στον ίδιο χρόνο διανύει μεγαλύτερη απόσταση».

4. Θεωρούμε σωστές απαντήσεις αυτές που συνοδεύονται από ορθή αιτιολόγηση, της μορφής *«το πρώτο κινητό φθάνει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, γιατί στον ίδιο χρόνο διανύει μεγαλύτερη απόσταση με επιταχυνόμενη κίνηση και συνεπώς αποκτά μεγαλύτερη ταχύτητα»* ή *«το πρώτο κινητό φθάνει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, γιατί στον ίδιο χρόνο κινείται με μεγαλύτερη επιτάχυνση».*

Είναι χαρακτηριστικό ότι μετά τη χρήση των προσομοιώσεων τρεις πτυχιούχοι επέλεξαν ενεργειακή προσέγγιση του φαινομένου, δίνοντας απαντήσεις της μορφής

«το πρώτο κινητό φθάνει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, γιατί αρχικά είχε μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια λόγω θέσης».

Στον Πίνακα 3 δίνονται τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με το δεύτερο ερώτημα του έργου. Και στην περίπτωση αυτή η γενική στάση του δείγματος είναι παρόμοια με αυτή των έργων σχετικά με την μελέτη της στιγμιαίας ταχύτητας¹¹. Δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στη διάκριση μεταξύ των εννοιών της μέσης και της στιγμιαίας ταχύτητας. Αντίθετα καταγράφεται σημαντική μείωση της σύγχυσης μεταξύ θέσης και ταχύτητας (από 19% σε 9%). Τέλος, το περιβάλλον της προσομοίωσης ενισχύει τις σωστές και επαρκώς αιτιολογημένες απαντήσεις, καθώς το αντίστοιχο ποσοστό αυξάνεται από 16% σε 33%.

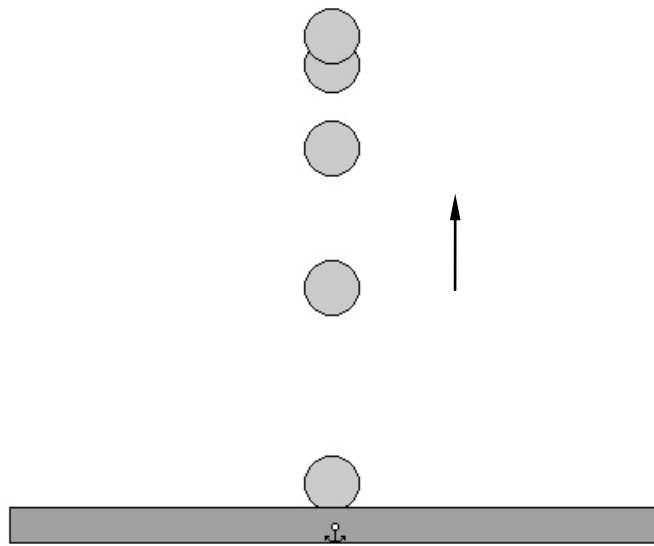
Πίνακας 3. Κατηγορίες απαντήσεων στο έργο 2β

α/α	Διαδικασία	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων		Με χρήση προσομοιώσεων	
		Συχνότητα N=43	Ποσοστό %	Συχνότητα N=43	Ποσοστό %
1	Ανεπαρκής προσέγγιση	18	42	17	40
2	Σύγχυση θέσης-ταχύτητας	8	19	4	9
3	Σύγχυση μέσης-στιγμιαίας ταχύτητας	10	23	8	19
4	Σωστή απάντηση με επαρκή αιτιολόγηση	7	16	14	33

2.3 Μελέτη ελεύθερης πτώσης σώματος

3^ο ΕΡΓΟ-ΠΕΙΡΑΜΑ

Μία μπάλα μπάσκει αφήνεται ελεύθερη από κάποιο ύψος, πέφτει στο έδαφος και αναπηδά προς τα πάνω φτάνοντας ξανά στο αρχικό ύψος. Στο παρακάτω σχήμα δείχνονται τα διαδοχικά στιγμιότυπα της κίνησης της μπάλας μετά την αναπήδηση στο έδαφος. Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ όλων των στιγμιότυπων είναι ίσα. **α)** Πόση είναι η ταχύτητα και η επιτάχυνση της μπάλας όταν φτάνει ξανά στο ανώτατο σημείο; **β)** Πόση είναι η επιτάχυνση της μπάλας στα διάφορα στιγμιότυπα του σχήματος; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.



Με το τρίτο έργο ζητείται να διερευνηθεί η κατανόηση των νόμων της ελεύθερης πτώσης και η εφαρμογή των εννοιών της στιγμιαίας ταχύτητας και επιτάχυνσης σε ομαλά επιταχυνόμενες κινήσεις. Χρησιμοποιείται η προσομοίωση της κίνησης ενός απλού και οικείου αντικειμένου, όπως είναι η μπάλα, που αναπηδά ελαστικά στο έδαφος. Με το πρώτο ερώτημα του έργου διερευνούμε τις αντιλήψεις των πτυχιούχων, σχετικά με τη στιγμιαία ταχύτητα και επιτάχυνση σωμάτων στην οριακή κατάσταση του ανώτατου σημείου της αναπήδησης προς τα πάνω. Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες.

1. Στην πρώτη κατηγορία τοποθετούμε τις ανεπαρκείς προσεγγίσεις του έργου. Τέτοιες είναι οι προσεγγίσεις που δεν δίνουν καμμία απάντηση ή δίνουν εντελώς λανθασμένη απάντηση, όπως για παράδειγμα

«στο ανώτατο σημείο η ταχύτητα και η επιτάχυνση είναι μέγιστη».

2. Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσουμε τις απαντήσεις που υποστηρίζουν ότι

«στο ανώτατο σημείο η ταχύτητα και η επιτάχυνση είναι μηδέν».

3. Τέλος, στην τρίτη κατηγορία κατατάσσουμε τις ορθές απαντήσεις με επαρκή αιτιολόγηση της μορφής

«στο ανώτατο σημείο η ταχύτητα είναι μηδέν και η επιτάχυνση ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας».

Στον Πίνακα 4 δίνονται τα αποτελέσματα του πρώτου ερωτήματος του έργου. Χωρίς χρήση προσομοιώσεων το 30% έχει ανεπαρκή προσέγγιση του έργου. Μετά τη χρήση προσομοιώσεων το ποσοστό μειώνεται στο 16%. Αρχικά το 63% θεωρεί ότι στο ανώτατο σημείο η ταχύτητα και η επιτάχυνση της μπάλας είναι μηδέν, ενώ το ποσοστό αυτό γίνεται 77% μετά τη χρήση προσομοιώσεων. Τέλος, η συνεισφορά του λογισμικού αποδεικνύεται φτωχή στο συγκεκριμένο έργο, καθώς 7% των επανεκπαιδευόμενων πτυχιούχων έδωσε σωστή απάντηση τόσο χωρίς χρήση προσομοιώσεων όσο και μετά τη χρήση τους. Σημειώνεται ότι, η μελέτη της ταχύτητας και της επιτάχυνσης στο ανώτατο σημείο της τροχιάς ενός σώματος, που βάλλεται κατακόρυφα προς τα πάνω, αναφέρεται από τον Α. Αργός ως αντικείμενο ιδιαίτερης δυσκολίας¹⁵. Τα αποτελέσματα του έργου αυτού επιβεβαιώνουν την παραπάνω θέση.

Πίνακας 4. Κατηγορίες απαντήσεων στο έργο 3α

α/α	Διαδικασία	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων		Με χρήση προσομοιώσεων	
		Συχνότητα N=43	Ποσοστό %	Συχνότητα N=43	Ποσοστό %
1	Ανεπαρκής προσέγγιση	13	30	7	16
2	Σύγχυση ταχύτητας-επιτάχυνσης	27	63	33	77
3	Σωστή απάντηση με επαρκή αιτιολόγηση	3	7	3	7

Οι απαντήσεις που δόθηκαν στο δεύτερο ερώτημα του έργου σχετικά με την επιτάχυνση της μπάλας στην ελεύθερη πτώση ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες.

1. Στην πρώτη κατηγορία τοποθετούμε τις ανεπαρκείς προσεγγίσεις του έργου, δηλαδή αυτές που δεν δίνουν καμμία απάντηση ή δίνουν εντελώς λανθασμένη απάντηση, η οποία δεν βασίζεται στα κινηματικά χαρακτηριστικά του φαινομένου. Τέτοιες προσεγγίσεις αποτελούν για παράδειγμα οι απαντήσεις

«η επιτάχυνση είναι ανάλογη της μάζας και του ύψους της μπάλας» ή

«η επιτάχυνση είναι ανάλογη της ταχύτητας και του βάρους της μπάλας».

2. Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσουμε τις απαντήσεις στις οποίες υπάρχει σύγχυση ταχύτητας-επιτάχυνσης, καθώς υποστηρίζουν ότι

«η επιτάχυνση μεταβάλλεται και είναι μηδέν στο ανώτατο σημείο και μέγιστη στο σημείο αναπήδησης».

3. Τέλος, στην τρίτη κατηγορία κατατάσσουμε τις ορθές απαντήσεις της μορφής

«η επιτάχυνση είναι σταθερή και ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας».

Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 5. Αρχικά το 47% των πτυχιούχων του δείγματος έχει ανεπαρκή προσέγγιση του έργου, ενώ μετά τη χρήση προσομοιώσεων ποσοστό 30% συνεχίζει να έχει την ίδια προσέγγιση. Χωρίς χρήση προσομοιώσεων, το 49% θεωρεί ότι η επιτάχυνση είναι μηδέν στο ανώτατο σημείο και γίνεται μέγιστη στο σημείο αναπήδησης στο έδαφος, συγχέοντας τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Το ποσοστό αυτό γίνεται 56% μετά τη χρήση της προσομοίωσης. Τέλος, η συνεισφορά του λογισμικού προσομοίωσης στο συγκεκριμένο έργο είναι σημαντική, καθώς αρχικά 5% των πτυχιούχων έδωσε σωστή και επαρκώς αιτιολογημένη απάντηση, ενώ μετά τη χρήση της προσομοίωσης το ποσοστό αυτό γίνεται 14%.

Πίνακας 5. Κατηγορίες απαντήσεων στο έργο 3β

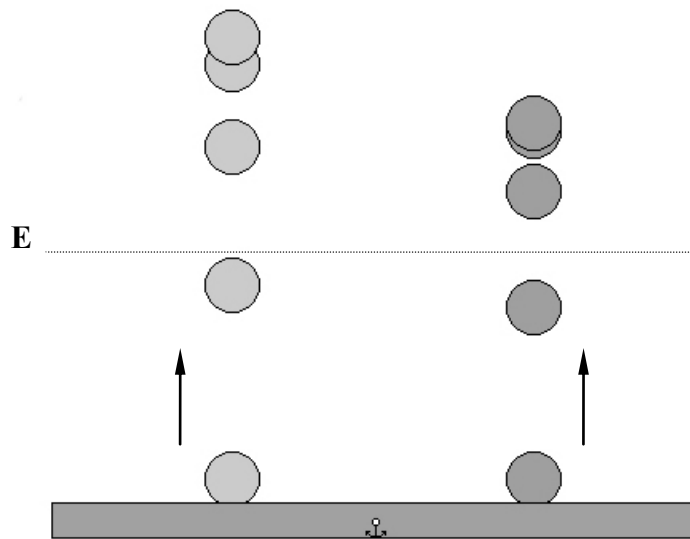
α/α	Διαδικασία	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων		Με χρήση προσομοιώσεων	
		Συχνότητα N=43	Ποσοστό %	Συχνότητα N=43	Ποσοστό %
1	Ανεπαρκής προσέγγιση	20	47	13	30
2	Σύγχυση ταχύτητας-επιτάχυνσης	21	49	24	56
3	Σωστή απάντηση με επαρκή αιτιολόγηση	2	5	6	14

2.4 Συγκριτική μελέτη της ελεύθερης πτώσης δύο σωμάτων διαφορετικού υλικού

4^ο ΕΡΓΟ-ΠΕΙΡΑΜΑ

Δύο μπάλες από διαφορετικό υλικό αφήνονται ελεύθερες από το ίδιο ύψος, πέφτουν στο έδαφος και αναπηδούν προς τα πάνω. Η πρώτη μπάλα φτάνει ξανά στο αρχικό ύψος ενώ η δεύτερη φτάνει σε ένα χαμηλότερο ύψος. Στο παρακάτω σχήμα δείχνονται τα διαδοχικά στιγμιότυπα της κίνησης κάθε μπάλας μετά την αναπήδηση στο έδαφος. Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ όλων

των στιγμιότυπων είναι ίσα. Να συγκρίνετε την ταχύτητα και την επιτάχυνση που έχουν οι δύο μπάλες, όταν επιστρέφουν στο ανώτατο σημείο. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.



Με το τέταρτο έργο ζητείται να διερευνηθεί η κατανόηση των νόμων της ελεύθερης πτώσης και η εφαρμογή των εννοιών της στιγμιαίας ταχύτητας και επιτάχυνσης. Χρησιμοποιείται η προσομοίωση της κίνησης δύο όμοιων σφαιρών από διαφορετικό υλικό και ζητείται να γίνει συγκριτική μελέτη της ελεύθερης πτώσης και αναπήδησής τους από την επίπεδη οριζόντια επιφάνεια. Οι σφαίρες αναπηδούν με διαφορετική ταχύτητα, λόγω της απώλειας ενέργειας που υφίσταται η δεξιά μπάλα κατά την αναπήδησή της. Στον Πίνακα 6 ταξινομούνται οι απαντήσεις που δόθηκαν στο έργο και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες.

1. Στην πρώτη κατηγορία τοποθετούμε τις ανεπαρκείς προσεγγίσεις του έργου. Τέτοιες θεωρούμε τις προσεγγίσεις που δεν δίνουν καμμία απάντηση ή δίνουν λανθασμένη απάντηση χρησιμοποιώντας επιχειρήματα που δεν είναι κινηματικής υφής ή συγχέουν τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Τέτοιου είδους απαντήσεις είναι για παράδειγμα οι εξής:

«στο ανώτατο σημείο οι δύο μπάλες έχουν διαφορετική ταχύτητα και επιτάχυνση, λόγω υλικού ή/και βάρους της καθεμιάς» ή

«στο ανώτατο σημείο η αριστερή μπάλα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα και επιτάχυνση, γιατί διανύει μεγαλύτερη απόσταση στον ίδιο χρόνο».

2. Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσουμε τις απαντήσεις που θεωρούν ότι

«στο ανώτατο σημείο οι δύο μπάλες έχουν ταχύτητα και επιτάχυνση μηδέν».

3. Τέλος, στην τρίτη κατηγορία κατατάσσουμε τις ορθές απαντήσεις με επαρκή αιτιολόγηση της μορφής

«η ταχύτητα στο ανώτατο σημείο είναι μηδέν και η επιτάχυνση ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας».

Χωρίς χρήση προσομοιώσεων το 58% έχει εντελώς ανεπαρκή προσέγγιση του έργου. Μετά τη χρήση προσομοιώσεων ποσοστό 33% συνεχίζει να έχει την ίδια προσέγγιση. Χωρίς χρήση προσομοιώσεων το 35% θεωρεί ότι στο ανώτατο σημείο η ταχύτητα και η επιτάχυνση είναι μηδέν, ενώ το ποσοστό αυτό γίνεται 60% μετά τη χρήση προσομοιώσεων. Τέλος, η συνεισφορά του λογισμικού προσομοίωσης αποδεικνύεται φτωχή στο έργο αυτό, καθώς μόλις

το 7% των πτυχιούχων έδωσε σωστή και επαρκώς αιτιολογημένη απάντηση, τόσο πριν όσο και μετά τη χρήση προσομοιώσεων.

Πίνακας 6. Κατηγορίες απαντήσεων στο έργο 4

α/α	Διαδικασία	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων		Με χρήση προσομοιώσεων	
		Συχνότητα N=43	Ποσοστό %	Συχνότητα N=43	Ποσοστό %
1	Ανεπαρκής προσέγγιση	25	58	14	33
2	Ταχύτητα και επιτάχυνση μηδέν	15	35	26	60
3	Σωστή απάντηση με επαρκή αιτιολόγηση	3	7	3	7

3. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται το πακέτο προσομοιώσεων Interactive Physics για την καταγραφή των αντιλήψεων επανεκπαιδευόμενων πτυχιούχων Παιδαγωγικών Τμημάτων εξωτερικού σχετικά με την έννοια της επιτάχυνσης. Παράλληλα, αξιολογείται η συνεισφορά του στην υποστήριξη της δημιουργίας αναπαραστάσεων απλών κινηματικών φαινομένων και στην εφαρμογή των βασικών φυσικών μεγεθών για την ποιοτική μελέτη τους.

Από τα αποτελέσματά μας, διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα των επανεκπαιδευόμενων πτυχιούχων έχει σοβαρές αδυναμίες στην κατανόηση της έννοιας της επιτάχυνσης και στην εφαρμογή της σε απλές κινήσεις. Οι αντιλήψεις αυτές είναι σε μεγάλο βαθμό διαισθητικές, μη ευέλικτες για εφαρμογή, επικεντρωμένες στα αντικείμενα και όχι στα φυσικά μεγέθη και τους αντίστοιχους νόμους. Κατά μέσο όρο, ένας στους δύο σπουδαστές (48%) έχει αρχικά εντελώς ανεπαρκή προσέγγιση των διαφόρων έργων, η οποία δεν βασίζεται στα αντίστοιχα κινηματικά χαρακτηριστικά.

Η έρευνα έχει δείξει ότι ακόμη και φοιτητές αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στο να διακρίνουν μεταξύ τους τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης και να τις εφαρμόσουν σε απλές κινήσεις⁸. Τα αποτελέσματά μας καταγράφουν σε μεγάλο βαθμό δυσκολίες τις ίδιας μορφής. Οι πτυχιούχοι του δείγματος συναντούν αυξημένες δυσκολίες στην κατανόηση και εφαρμογή της επιτάχυνσης σε απλά κινηματικά φαινόμενα, καθώς αρχικά μόλις το 10.5% έχει κατά μέσο όρο επιστημονικά ορθή προσέγγιση των διαφόρων έργων. Το ποσοστό σωστών απαντήσεων μετά τη χρήση των προσομοιώσεων αυξάνεται σε 19.5%.

Σχετικά με δεύτερο ερώτημα, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η συνεισφορά των προσομοιώσεων στη δημιουργία αναπαραστάσεων για τις βασικές κινηματικές έννοιες είναι σημαντική. Καταγράφεται μία σημαντική μετατόπιση των πτυχιούχων από εμπειρικές ή διαισθητικές αντιλήψεις σε αντιλήψεις που είναι πιο κοντά στην επιστημονική προσέγγιση. Κατά μέσο όρο περίπου ένας στους πέντε (19.5%) έχει επιστημονικά σωστή προσέγγιση μετά τη χρήση προσομοιώσεων. Στον Πίνακα 7 δίνονται τα ποσοστά σωστών απαντήσεων για κάθε έργο-πείραμα χωρίς χρήση και μετά τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης.

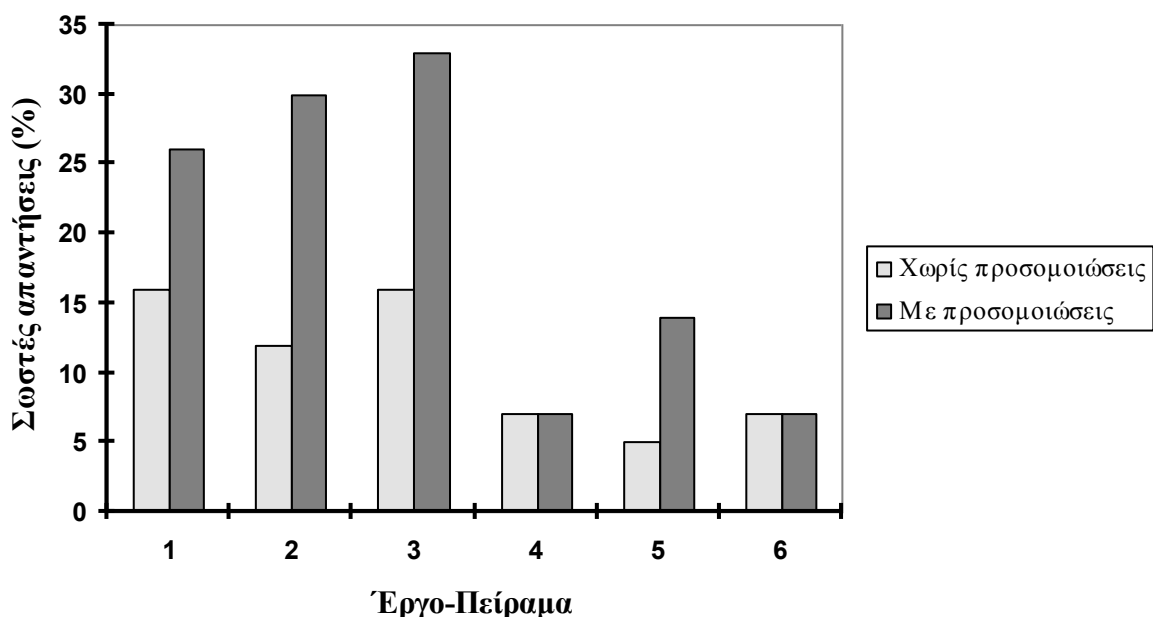
Στο Σχήμα 1 δίνεται το διάγραμμα μεταβολής του ποσοστού των σωστών προσεγγίσεων των πειραμάτων-έργων της έρευνας προ και μετά τη χρήση των προσομοιώσεων. Φαίνεται ότι, η συνεισφορά των προσομοιώσεων στην κατανόηση και εφαρμογή της έννοιας της επιτάχυνσης είναι σημαντική, με εξαίρεση τα έργα 3α και 4 που αφορούν την έννοια της επιτάχυνσης στην ελεύθερη πτώση. Το γεγονός αυτό μπορεί σε μεγάλο βαθμό να αποδοθεί στο χαμηλό υπόβαθρο γνώσεων Φυσικής που είχαν οι πτυχιούχοι του δείγματος. Είναι χαρακτηριστικό ότι το πρόγραμμα σπουδών που παρακολούθησαν δεν

περιλάμβανε κανένα μάθημα Φυσικής. Επιπλέον, στην πλειονότητά τους παρακολούθησαν το πρόγραμμα λυκείου της 3^{ης} και 4^{ης} δέσμης, γεγονός που εξηγεί το ότι οι πτυχιούχοι είχαν αρχικά μεγάλη απόσταση από τις επιστημονικές προσεγγίσεις των έργων της έρευνας.

Πίνακας 7. Ποσοστό σωστών απαντήσεων

Έργο	Χωρίς χρήση προσομοιώσεων (%)	Με χρήση προσομοιώσεων (%)
1	16	26
2	12	30
3	16	33
4	7	7
5	5	14
6	7	7

Στη βιβλιογραφία είναι γνωστές οι ιδιαίτερες δυσκολίες που συναντώνται σε οριακές κινηματικές καταστάσεις¹⁵, όπου η στιγμιαία ταχύτητα είναι μηδέν και η επιτάχυνση μη μηδενική (π.χ. ανώτατο σημείο της τροχιάς στην κατακόρυφη βολή σώματος προς τα πάνω, ακρότατο σημείο της κίνησης απλού εκκρεμούς κ.λ.π.). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η αισθητοποίηση της έννοιας της επιτάχυνσης, δηλαδή του ρυθμού μεταβολής της ταχύτητας, απαιτεί ευρύτερο γνωστικό υπόβαθρο και αφαιρετική ικανότητα. Το δυναμικό στοιχείο της κίνησης, που είναι εγγενές στις προσομοιώσεις, σε συνδυασμό με τις αναφερόμενες δυσκολίες που έχει η εφαρμογή της επιτάχυνσης στο παράδειγμα της κατακόρυφης αναπήδησης, έχει ως άμεση συνέπεια να μην καταγράφεται μεταβολή των αντιλήψεων των πτυχιούχων για την έννοια της στιγμιαίας επιτάχυνσης στα αντίστοιχα έργα. Παρόλα αυτά, ακόμη και στις περιπτώσεις αυτές διαπιστώνεται μία σημαντική μετατόπιση από εντελώς ανεπαρκείς προσεγγίσεις σε προσεγγίσεις όπου, έστω και ελλιπώς, αξιολογούνται τα κινηματικά στοιχεία του φαινομένου.



Σχήμα 1. Μεταβολή του ποσοστού των σωστών προσεγγίσεων των πειραμάτων προ και μετά τη χρήση των προσομοιώσεων.

Στους άμεσους στόχους μας είναι η αξιολόγηση της συνεισφοράς του πακέτου στην απομάκρυνση των παρανοήσεων και στη δημιουργία νοητικών μοντέλων σε δείγματα περισσότερο αντιπροσωπευτικά του μέσου επιπέδου γνώσης φοιτητών ή πτυχιούχων Παιδαγωγικών Τμημάτων, εν ενεργεία εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης και μαθητών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

4. Αναφορές

1. McDermott L. C., 1993, *How we teach and how students learn-a mismatch?*, American Journal of Physics 61(4), 295-298.
2. Ραβάνης Κ., 1988, *Μεταβολές καταστάσεων και θερμική ισορροπία: προβλήματα κατανόησης και γνωστικά εμπόδια παιδιών 11-12 ετών*, Σύγχρονη Εκπαίδευση 39, 83-89.
3. Φασουλόπουλος Γ., Καριώτογλου Π., Κουμαράς Π, και Ψύλλος Δ., 1997, *Δυσκολίες μαθητών στην κατανόηση της πυκνότητας*, Παιδαγωγική Επιθεώρηση 25,161-176.
4. Κουμαράς Π, Ψύλλος Δ., Βαλασιάδης Ο., και Ευαγγελινός Δ., 1994, *Επισκόπηση των απόψεων Ελλήνων μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων*, Παιδαγωγική Επιθεώρηση 22,125-154.
5. Καρανίκας Γ., Κόκκοτας Π. και Καριώτογλου Π., 1996, *Συγκριτική μελέτη των αντιλήψεων 4ετών φοιτητών του Π.Τ.Δ.Ε. και μαθητών Ε' και ΣΤ' τάξης του Δημοτικού σχετικά με την έννοια της Άνωσης στα υγρά*, Παιδαγωγική Επιθεώρηση 24, 239-259.
6. Driver R., Guesne E. and Tiberghien A., 1993, *Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες*, Εκδόσεις Τροχαλία, Ελληνική Μετάφραση.
7. Trowbridge D. E. and McDermott L. C., 1980, *Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension*, American Journal of Physics 48(12), 1020-1028.
8. Trowbridge D. E. and McDermott L. C., 1981, *Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension*, American Journal of Physics 49(3), 242-253.
9. McDermott L.C., Rosenquist M. L. and van Zee E. H., 1987, *Students' difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics*, American Journal of Physics 55(6), 503-513.
10. Whitaker R. J., 1983, *Aristotle is not dead: Student understanding of trajectory motion*, American Journal of Physics 51(4), 352-357.
11. Τζιμογιάννης Α. και Μικρόπουλος Τ. Α., 1998, *Η συμβολή των προσομοιώσεων στη διδασκαλία της έννοιας της ταχύτητας. Μία μελέτη περίπτωσης*, (εστάλη για δημοσίευση)
12. McDermott L.C., 1990, *Research and computer-based instruction: Opportunity for interaction*, American Journal of Physics 58(5), 452-462.
13. Τζιμογιάννης Α., 1999, *Διδασκαλία Φυσικής και υπολογιστές. Μία εναλλακτική διδακτική προσέγγιση*, Σύγχρονη Εκπαίδευση 106 (2^ο Μέρος)
14. Piaget J., 1970, *The Child's Conception of Movement and Speed*, Ballantine, New York
15. Arons A. B., 1981, *Thinking, reasoning and understanding in introductory physics courses*, The Physics Teacher Mar, 166-172.