Το παρόν κείμενο βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο σχετικό κεφάλαιο του ηλεκτρονικού βιβλίου «Tracker. Λογισμικό ανάλυσης βίντεο. Πειράματα Φυσικής Α Λυκείου» του Βασίλη Νούση, υπεύθυνου του ΕΚΦΕ Θεσπρωτίας.

# Ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση

**Οδηγίες**

1. Από τη διαδικτυακή διεύθυνση <https://youtu.be/XgimhNmwxU0> μεταφορτώστε και αποθηκεύστε στον υπολογιστή σας με το όνομα «**Ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση.mp4**» το προς ανάλυση βίντεο. Στο βίντεο καταγράφεται η κίνηση ενός ιππέα που εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση πάνω σε έναν αεροδιάδρομο. Η μεταφόρτωση μπορεί να γίνει από εδώ: [https://yt1s.com/en1](https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fyt1s.com%2Fen1%3Ffbclid%3DIwAR3rvou8EcAWYHLT5bkibV_HBSisszvjCdreZdkU92k0Xxd5V7VNSSH7VrE&h=AT2K2aGxlYtwtWZjRiB04WaXEo2FciXzUvsDdXKoaGUZKNeIZoeqsh-vnSzbWj6q-R6Rek7qQ3PmvVKLv4Wm8zSmIw1s7C8OIXAXpBr1IM3gFxZZdZvUgH9YVIdb6gypSVIR8A)

2. Εκτελέστε το λογισμικό Tracker και ανοίξτε το αρχείο «**Ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση.mp4**».

3. Στο παράθυρο «Ρυθμίσεις βίντεο κλιπ» που ενεργοποιείται με κλικ στο κουμπί  της γραμμής εργαλείων, ορίστε:

**Αρχικό καρέ** : 19

**Βήμα** : 1

**Τελικό καρέ** : 44

και πιέστε το κουμπί «Εντάξει». Εννοείται πως τα σημεία έναρξης και λήξης του βίντεο κλιπ μπορούν να οριστούν και με μετακίνηση στις κατάλληλες θέσεις των δεικτών  κάτω από τη γραμμή αναπαραγωγής του video player. Οι ρυθμίσεις αυτές καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο το Tracker υπολογίζει τους χρόνους κατά την ανάλυση του βίντεο κλιπ.

4. Στο μενού «Τροχιές/Νέο» επιλέγουμε «Εργαλεία βαθμονόμησης» και στη συνέχεια «Ράβδος βαθμονόμησης» ή κάνουμε κλικ στο κουμπί  της γραμμής εργαλείων του Tracker και επιλέγουμε «Ράβδος βαθμονόμησης». Δημιουργείται, έτσι, μία μπλε ράβδος με δύο σταυρούς στα άκρα της. Τοποθετήστε τα δύο άκρα της ράβδου σε δύο ευανάγνωστα σημεία της ενσωματωμένης στον αεροδιάδρομο μετροταινίας, τα οποία είναι καλό να απέχουν όσο γίνεται περισσότερο (π.χ. στα 110 cm και στα 190 cm). Στο πλαίσιο κειμένου της ράβδου βαθμονόμησης γράψτε την τιμή που αντιστοιχεί στην απόσταση ανάμεσα στα δύο σημεία εκφρασμένη σε μέτρα (π.χ. στην περίπτωση που υιοθετήσετε την πρότασή μας, γράψτε 0,80).

5. Με κλικ στο εικονίδιο  της γραμμής εργαλείων εμφανίζουμε το εξ ορισμού σύστημα αξόνων του Tracker. Με κλικ στην αρχή των αξόνων, εμφανίζουμε την αντίστοιχη λαβή συγκράτησης με σύρσιμο της οποίας μεταφέρουμε την αρχή των αξόνων στο ίχνος του υλικού σημείου στο καρέ 19 (εκεί όπου το σώμα ξεκινάει την κίνηση). Στη συνέχεια κάνουμε κλικ σε ένα σημείο του ημιάξονα Οx, εμφανίζεται μια δεύτερη λαβή συγκράτησης με σύρσιμο της οποίας περιστρέφουμε το σύστημα αξόνων, ώστε ο θετικός προσανατολισμός του άξονα x΄x να είναι προς τα δεξιά και ο άξονα x’x να είναι παράλληλος με τον αεροδιάδρομο. Αν το επιθυμούμε, νέο κλικ στο εικονίδιο της γραμμής εργαλείων αποκρύπτει το σύστημα αξόνων. Σημειώνεται πως αν στο τέλος του βήματος 7 παρατηρήσουμε πως οι διαδοχικές τιμές της συντεταγμένης y του σώματος μεταβάλλονται αυτό σημαίνει πως ο άξονας x’x δεν είναι απολύτως παράλληλος με τον αεροδιάδρομο και χρειάζεται επαναρύθμιση.

6. Στο μενού «Τροχιές/Νέο» επιλέγουμε «Υλικό σημείο» ή κάνουμε κλικ στο κουμπί  της γραμμής εργαλείων του Tracker και επιλέγουμε «Υλικό σημείο». Το «Παράθυρο ελέγχου τροχιών» ανοίγει εμφανίζοντας το κουμπί ελέγχου του υλικού σημείου (με τίτλο «Σώμα Α») που μόλις δημιουργήσαμε. Κάνοντας κλικ στο κουμπί ελέγχου μπορούμε να αλλάξουμε τις ιδιότητες του υλικού σημείου, π.χ. ας του δώσουμε το όνομα «Ιππέας».

7. Η ιχνηλασία των διαδοχικών θέσεων του αντικειμένου μπορεί να γίνει είτε αυτόματα, είτε χειροκίνητα.

**Αυτόματη ιχνηλασία.** Μεταφερόμαστε στο καρέ 19. Με περιστροφή της ροδέλας του ποντικιού μεγεθύνουμε την εικόνα γύρω από το μπαλάκι. Στη δεύτερη ζώνη της γραμμής εργαλείων (γραμμή ενεργού αντικειμένου) κάνουμε κλικ στο κουμπί «Επιλογή μιας υπάρχουσας τροχιάς» (που έχει τη μορφή του προς τα κάτω βέλους) και επιλέγουμε το αντικείμενο («τροχιά» στην ορολογία του Tracker) «Ιππέας». Στη συνέχεια με το συνδυασμό «Ctrl + Shift» και ενώ ο δρομέας έχει μετατραπεί σε κύκλο με σταυρόνημα, κάνουμε κλικ σε κάποιο σημείο του ιππέα που να ξεχωρίζει εύκολα από το περιβάλλον, π.χ. την άνω δεξιά γωνία του. Η θέση του υλικού σημείου σημειώνεται («μαρκάρεται») με σταυρό που περιβάλλεται από κύκλο ιδίου χρώματος και αυτός με τη σειρά του από ίδιου χρώματος στικτό τετράγωνο (Εικόνα 1), ενώ ταυτόχρονα ανοίγει το παράθυρο με τίτλο «Αυτόματο μαρκάρισμα». Ο κύκλος που περιβάλλει το υλικό σημείο καθορίζει το πρότυπο με βάση το οποίο θα γίνεται η ταύτιση της θέσης του υλικού σημείου στα επόμενα καρέ. Με τη συμπαγούς χρώματος λαβή συγκράτησης κάτω δεξιά του κύκλου μπορούμε να μεταβάλλουμε τις διαστάσεις του. Το στικτό τετράγωνο που περιβάλλει το ίχνος του υλικού σημείου σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό ταυτοποιεί το πρότυπο στα επόμενα καρέ και σ’ αυτή την περίπτωση του δίνουμε σχήμα παραλληλογράμμου με τη μεγάλη πλευρά κατά μήκος της κίνησης.



Εικόνα 1. Το μαρκάρισμα του υλικού σημείου στην αυτόματη ιχνηλασία.

Στη συνέχεια στο παράθυρο αυτόματου μαρκαρίσματος κάνουμε κλικ στο κουμπί «Έρευνα» και το λογισμικό αυτόματα δημιουργεί το ίχνος του υλικού σημείου «Ιππέας» σε όλα τα καρέ του βίντεο κλιπ. Αν σε κάποιο καρέ το ποσοστό ταυτοποίησης του επιλεγμένου προτύπου δεν είναι ικανοποιητικό το λογισμικό θα ζητήσει τη χειροκίνητη ταυτοποίηση (με «Shift + κλικ»), και μετά θα συνεχίσει στα υπόλοιπα καρέ. Με το τέλος της ιχνηλασίας επιλέγουμε «Κλείσιμο» για να κλείσει το παράθυρο αυτόματου μαρκαρίσματος και επιστρέφουμε στο βασικό παράθυρο του Tracker με συμπληρωμένο τον πίνακα τιμών με τα δεδομένα της ιχνηλασίας. Επίσης αυτόματα το Tracker έχει σχεδιάσει -στο επάνω δεξιά μέρος του κεντρικού του παραθύρου- τη γραφική παράσταση θέσης - χρόνου για τον ιππέα.

**Χειροκίνητη ιχνηλασία.** Μεταφερόμαστε στο καρέ 19. Με περιστροφή της ροδέλας του ποντικιού μεγεθύνουμε την εικόνα γύρω από τη άνω δεξιά γωνία του ιππέα. Στη δεύτερη ζώνη της γραμμής εργαλείων (γραμμή ενεργού αντικειμένου) κάνουμε κλικ στο κουμπί «Επιλογή μιας υπάρχουσας τροχιάς» (που έχει τη μορφή του προς τα κάτω βέλους) και επιλέγουμε το αντικείμενο («τροχιά» στην ορολογία του Tracker) «Ιππέας».

Στη συνέχεια κρατώντας πατημένο το πλήκτρο Shift και ενώ ο δρομέας έχει μετατραπεί σε τετράγωνο με σταυρόνημα, κάνουμε κλικ σε σημείο επιλογής μας. Προτιμούμε να επιλέγουμε κάποιο ακραίο σημείο του αντικειμένου και όχι το «μέσο» του καθώς έτσι εξασφαλίζεται πως αντιστοιχούμε σωστά θέση και χρόνο όταν το σώμα έχει παραμορφωθεί λόγω μεγάλης ταχύτητας. Η θέση του υλικού σημείου σημειώνεται («μαρκάρεται») στο πρώτο καρέ και αυτόματα προωθούμαστε στο επόμενο καρέ του βίντεο κλιπ. Η χειροκίνητη ιχνηλασία δίνει πολύ καλά αποτελέσματα αλλά είναι πιο χρονοβόρα από την αυτόματη. Με το τέλος της ιχνηλασίας στο βασικό παράθυρο του Tracker έχει συμπληρωθεί ο πίνακας τιμών με τα δεδομένα θέσης-χρόνου για τον ιππέα (Εικόνα 2).

Εικόνα 2. Η εικόνα που αντικρίζουμε μετά το τέλος της χειροκίνητης ιχνηλασίας.

8. Στην περιοχή προβολής του βίντεο κλιπ, εμφανίζονται ως μικροί αριθμημένοι ρόμβοι τα ίχνη του υλικού σημείου «Ιππέας» στα τελευταία καρέ. Κάνουμε κλικ στο κουμπί  της γραμμής εργαλείων και επιλέγουμε «Όλα τα ίχνη», ώστε να εμφανιστούν όλα τα ίχνη του υλικού σημείου.

9. Με κλικ στο εικονίδιο  της γραμμής εργαλείων εμφανίζουμε το εξ ορισμού σύστημα αξόνων του Tracker. Με κλικ στην αρχή των αξόνων, εμφανίζουμε την αντίστοιχη λαβή συγκράτησης με σύρσιμο της οποίας μεταφέρουμε την αρχή των αξόνων στο ίχνος του υλικού σημείου στο καρέ 19 (εκεί όπου το σώμα ξεκινάει την κίνηση). Στη συνέχεια κάνουμε κλικ σε ένα σημείο του ημιάξονα Οx, εμφανίζεται μια δεύτερη λαβή συγκράτησης με σύρσιμο της οποίας περιστρέφουμε το σύστημα αξόνων, ώστε ο θετικός προσανατολισμός του άξονα x΄x να είναι προς τα δεξιά και ο άξονα x’x να είναι παράλληλος με τον αεροδιάδρομο. Αν το επιθυμούμε, νέο κλικ στο εικονίδιο της γραμμής εργαλείων αποκρύπτει το σύστημα αξόνων..

10. **Επεξεργασία δεδομένων:** O ιππέας αρχίζει την κίνησή του από τη θέση x**o** = 0 και με αρχική ταχύτητα υ**o** = 0. Μια μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων που μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε μία διερευνητικού τύπου διδακτική μέθοδο, συνίσταται στη δημιουργία της γραφικής παράστασης ταχύτητας - χρόνου για τον ιππέα, μέσω της οποίας οι μαθητές οδηγούνται -κατάλληλα κατευθυνόμενοι- σε διαπιστώσεις σε σχέση με το είδος της κίνησης του αυτοκινήτου, τη φυσική σημασία και τελικά τον υπολογισμό της επιτάχυνσης.

Αρχικά στον πίνακα δεδομένων κάνουμε κλικ στο κουμπί «Πίνακας» και στο παράθυρο «Ορατές στήλες πίνακα» που ανοίγει τσεκάρουμε την επιλογή «vx». Στον πίνακα δεδομένων εμφανίζεται συμπληρωμένη η στήλη με την ταχύτητα του ιππέα τις διάφορες χρονικές στιγμές. Το Tracker υπολογίζει τις τιμές της ταχύτητας με μεθόδους αριθμητικής παραγώγισης. Κάνουμε κλικ στην ετικέτα «x» στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης στην περιοχή γραφικών παραστάσεων του κεντρικού παραθύρου του Tracker και επιλέγουμε «vx». Αυτόματα το λογισμικό σχεδιάζει τη γραφική παράσταση ταχύτητας - χρόνου για τον ιππέα. Με διπλό κλικ στη γραφική παράσταση, ανοίγουμε το παράθυρο «Εργαλείο δεδομένων» με τη βοήθεια του οποίου θα δημιουργήσουμε το μαθηματικό μοντέλο για τη γραφική παράσταση υ**x** = f(t). Γνωρίζουμε πως η αρχική ταχύτητα του ιππέα είναι μηδέν και από την κατανομή των σημείων στη γραφική παράσταση διαπιστώνουμε τη μεγάλη πιθανότητα για ικανοποιητική γραμμική προσέγγιση των δεδομένων. Αλλά εξ ορισμού το Tracker δεν έχει δυνατότητα προσέγγισης με συνάρτηση της μορφής «y = ax», δηλ. με μηδενικό το σταθερό όρο. Μπορούμε, όμως, να επιλέξουμε ευθεία, να θέσουμε B=0 και εν συνεχεία να επιλέξουμε «Αυτόματη προσέγγιση» (Εικόνα 3).

 Εικόνα 3. Η γραφική παράσταση v=f(t)

Από τη μελέτη της συγκεκριμένης γραφικής παράστασης φαίνεται πως:

α. Η κίνηση δεν είναι ομαλή, αφού η ταχύτητα αυξάνεται με το χρόνο. Πρόκειται δηλ. για μια ευθύγραμμη επιταχυνόμενη κίνηση.

β. Η αύξηση της ταχύτητας γίνεται με σταθερό ρυθμό, αφού τα πειραματικά δεδομένα προσεγγίζονται ικανοποιητικά με ευθεία γραμμή. Είναι δηλ. μια ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.

γ. Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας είναι ένα σημαντικό μέγεθος για τη μελέτη των κινήσεων, αφού υπάρχουν κάποιες κινήσεις, όπως η συγκεκριμένη, στις οποίες διατηρείται σταθερός.

δ. Η σταθερή αυτή επιτάχυνση έχει τιμή που ισούται με την κλίση της ευθείας της γραφικής παράστασης και είναι **α = 1,56 m/s2**.