ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 2, No 1 (2019)

Special Issue Articles from the 1st Greek Student Conference on Research and Science

Διδάσκοντας την κίνηση μέσα από την εξέλιξη της Φυσικής

Μιχάλης Ανδρεαδέλλης, Αναστασία Κατηφόρη, Γεώργιος Κομινάτος-Γεννατάς, Εμμανουήλ Μελέτης, Χαρίκλεια-Ειρήνη Μπάρτζη, Μιχαήλ Ανδρεαδέλλης, Παύλος Αρβανίτης

doi: 10.12681/osj.19586

To cite this article:

Ανδρεαδέλλης Μ., Κατηφόρη Α., Κομινάτος-Γεννατάς Γ., Μελέτης Ε., Μπάρτζη Χ.-Ε., Ανδρεαδέλλης Μ., & Αρβανίτης Π. (2019). Διδάσκοντας την κίνηση μέσα από την εξέλιξη της Φυσικής. *Open Schools Journal for Open Science*, *2*(1), 460–472. https://doi.org/10.12681/osj.19586

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 21/02/2026 07:51:49

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 21/02/2026 07:51:49

Open Schools Journal for Open Science

Volume 1

Διδάσκοντας την κίνηση μέσα από την εξέλιξη της Φυσικής

Κατηφόρη Αναστασία[1], Κομινάτος-Γεννατάς Γεώργιος[1], Μελέτης Εμμανουήλ[1], Μπάρτζη Χαρίκλεια-Ειρήνη[1], Αλεβίζος Αναστάσιος[1], Ανδρεαδέλλης Μιχαήλ[1], Αρβανίτης Παύλος[1]

[1]2ο ΓΕ.Λ. Χαλανδρίου

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία θα μελετήσουμε από τη βιβλιογραφία την εξέλιξη των εννοιών που περιγράφουν και των θεωριών που ερμηνεύουν την κίνηση των σωμάτων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα πλαισιωμένη με την αντίστοιχη πειραματική διαδικασία. Θα προσεγγίσουμε το επιστημονικό αντικείμενο ολιστικά ακολουθώντας όχι μόνο τη δια-χρονική εξέλιξή του αλλά και διερευνώντας παράλληλα τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την καθημερινότητα των επιστημόνων και διαμορφώνουν τις διανοητικές διεργασίες που απαιτούνται για τις επιστημονικές κατακτήσεις της κάθε εποχής. Επίσης θα προσεγγίσουμε τις αντίστοιχες έννοιες μέσα από το πείραμα, κατασκευάζοντας οι ίδιοι τις πειραματικές διατάξεις δίνοντάς μας την ευκαιρία να αναπτύξουμε δεξιότητες στις κατασκευές και να διατυπώσουμε ιδέες και προτάσεις προσομοίωσης.

Λέξεις κλειδιά

Διδακτική, Φυσική, εξέλιξη, κίνηση, πείραμα

Η φιλοσοφία της Φυσικής στην Ελληνική αρχαιότητα

Η Κοσμολογία στον Αριστοτέλη

Στην κοσμολογία του ο Αριστοτέλης θεωρεί ότι το σύμπαν είναι γεωκεντρικό, πεπερασμένο χωρικά και άπειρο χρονικά, ως μια τεράστια σφαίρα χωρισμένη σε μίαν ανώτερη και μια κατώτερη περιοχή από το σφαιρικό κέλυφος στο οποίο είναι τοποθετημένη η Σελήνη.

Πάνω από τη Σελήνη είναι η ουράνια ή υπερσελήνια περιοχή. Κάτω από τη Σελήνη είναι η γήινη ή υποσελήνια περιοχή. Η Σελήνη, χωρικά ενδιάμεση, έχει επίσης εν-διάμεση φύση. Η γήινη ή υποσελήνια περιοχή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη γένεσης, φθοράς και μεταβολών κάθε είδους, αντίθετα η υπερσελήνια ή ουράνια περιοχή είναι η περιοχή των αιώνια αμετάβλητων κύκλων

Στην γήινη περιοχή ο Αριστοτέλης, όπως και οι προηγούμενοι φιλόσοφοι, αναζήτησε τα θεμελιώδη στοιχεία στα οποία μπορεί να αναχθεί η πολυμορφία των ουσιών που βρίσκουμε στη εν λόγω περιοχή. Αποδέχθηκε τα τέσσερα στοιχεία που είχε αρχικά προτείνει ο Εμπεδοκλής και κατόπιν υιοθετήσει ο Πλάτων: τη γη, το νερό, τον αέρα και τη φωτιά. Συμφώνησε με τον Πλάτωνα ότι αυτά τα στοιχεία είναι αναγώγιμα σε κάτι ακόμη πιο απλούστερο τις αισθητές ιδιότητες ή ποιότητες. Δύο ζεύγη τέτοιων ιδιοτήτων έχουν αποφασιστική σημασία: το θερμό με το ψυχρό και το υγρό με το ξηρό. Αυτές οι ιδιότητες συνδυάζονται σε τέσσερα ζεύγη και από κάθε τέτοιο ζεύγος προκύπτει ένα από τα στοιχεία. Κάθε στοιχείο, εκτός από θερμό ή ψυχρό και υγρό ή ξηρό, είναι επίσης βαρύ ή ελαφρύ. Η γη και το νερό είναι βαριά, με τη γη βαρύτερη από το νερό. Ο αέρας και η φωτιά είναι ελαφριά, με τη φωτιά ελαφρύτερη από τον αέρα.

Η ουράνια περιοχή αποτελείται από ένα άλλο στοιχείο διαφορετικό από τα άλλα τέσσερα στοιχεία που την καθιστά αμετάβλητη και αναλλοίωτη. Αυτό το πέμπτο στοιχείο είναι ο αιθέρας (πεμπτουσία).

Συνολικά οι διάφορες ουσίες που αποτελούν τον κόσμο τον γεμίζουν πλήρως, χωρίς να αφήνουν καθόλου κενό χώρο. Το σύμπαν λοιπόν είναι πλήρες (plenum) και δεν περιέχει κενούς χώρους ή η φύση απεχθάνεται το κενό. (David C. Lindberg, 1992).

Η Ερμηνεία της Κίνησης στο Αριστοτέλη

Η αριστοτελική θεωρία της κίνησης, που είναι απότοκος της αισθητηριακής εμπειρίας, στηρίζεται στην αρχή ότι δεν υπάρχει κίνηση χωρίς την ύπαρξη Κινούντος, δηλαδή η κίνηση δεν είναι ποτέ αυθόρμητη. Το Κινούν δίνει ώθηση στο Κινούμενο κατά Λογική Αναγκαιότητα.

Α. Η Κίνηση στην Υποσελήνια Περιοχή.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ, Φυσικά 215a: Πρῶτον μὲν οὖν, ὅτι πᾶσα κίνησις ἢ βία ἢ φύσιν. Δηλαδή: Αρχικά, κάθε κίνηση είναι ή απότοκος βίας ή φυσική.

Στην γήινη ή υποσελήνια περιοχή συναντάμε δύο τύπους κίνησης:

Α1. Η φυσική κίνηση

Η «φυσική κίνηση» που είναι η κίνηση του κινουμένου σώματος προς το φυσικό του τόπο, όπως αυτός καθορίζεται από την ιδανική σφαιρική διευθέτηση των στοιχεί-ων. Η φυσική κίνηση είναι ευθύγραμμη και η διεύθυνσή της είναι πάντοτε κατακόρυφη. Το κινούν, στην περίπτωση της φυσικής κίνησης, είναι η φύση του σώματος εξ αιτίας της οποίας το κάθε σώμα έχει, κατά τον Αριστοτέλη, την τάση να κινείται προς το φυσικό τόπο του, μέχρι να φτάσει σ' αυτόν και να παραμείνει σε ηρεμία.

Ο Αριστοτέλης παρατηρώντας το φαινόμενο της ελεύθερης πτώσης και θεωρώ-ντας ότι σε ένα σώμα που πέφτει υπερτερεί το στοιχείο «γη» άρα θα έχει μια βαρύτητα που εκφράζεται με την έννοια βάρος, διατύπωσε δύο κανόνες που εξηγούν τη συμπεριφορά του.

1. Όταν δύο σώματα διαφορετικού βάρους πέφτουν ελεύθερα, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να καλυφθεί μια δεδομένη απόσταση είναι αντιστρόφως ανάλογα των βαρών τους. Με σημερινή προσέγγιση, η ταχύτητα τους είναι ανάλογη των βαρών τους (Β).

2. Αν σώματα του ίδιου βάρους κινούνται με φυσική κίνηση σε μέσα με διαφορετικές πυκνότητες, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να διανύσουν μια δεδομένη απόσταση είναι ανάλογα προς τις πυκνότητες των αντίστοιχων μέσων. Με σημερινή προσέγγιση, η ταχύτητα τους είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης (R) του μέσου μέσα στο οποίο κινούνται.(Αραμπατζής Θ., κ.ά. 1999).

Χρησιμοποιώντας για τα παραπάνω σημερινά σύμβολα και εισάγοντας την έννοια της ταχύτητας (v), ο «Νόμος της Πτώσης» σύμφωνα με τη θεωρία του Αριστοτέλη διατυπώνεται με τη σχέση:

$V \propto B/R$

Έτσι εύκολα συνάγεται ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πιο γρήγορα:

Έστω ότι έχουμε δύο σώματα ίδιου μεγέθους και σχήματος (Σ1& Σ2) που αφήνονται να πέσουν ταυτόχρονα στον αέρα.

Για το Σ1, θα ισχύει: $v1 \propto B1/R$ (1)

Για το Σ2, θα ισχύει: $v2 \propto B2/R$ (2)

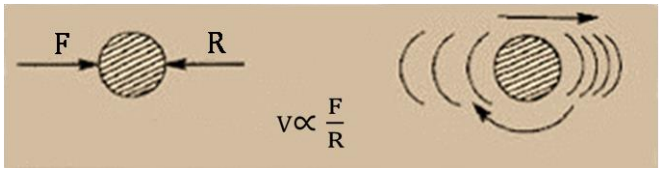
Αν διαιρέσουμε τις (1) και (2) κατά μέλη, προκύπτει: $v1 / v2= B1/B2$, που υποδηλώνει ότι οι ταχύτητες πτώσεις των σωμάτων προς το φυσικό τους τόπο, είναι ανάλογη των βαρών τους.

Α2. Η εξαναγκασμένη κίνηση

Την «εξαναγκασμένη ή βίαιη κίνηση» που είναι η κίνηση του κινούμενου σώματος προς οποιαδήποτε κατεύθυνση εκτός αυτής της ελεύθερης κίνησης προς το φυσικό του τόπο. Αυτού του είδους η κίνηση σταματά, όταν η εξωτερική δύναμη σταματήσει να ενεργεί. Η εξαναγκασμένη ή βίαιη κίνηση, μπορεί να είναι και αυτή ευθύγραμμη, η διεύθυνσή της όμως δεν είναι απαραίτητο να είναι πάντοτε κατακόρυφη. Το κινούν, στην περίπτωση της εξαναγκασμένης κίνησης, είναι μια εξωτερική δύναμη η οποία υποχρεώνει το σώμα να κινηθεί.

Σε ό,τι αφορά την αρχική υπόθεση της ύπαρξης κινούντος για να υπάρξει κίνηση ο Αριστοτέλης είχε να αντιμετωπίσει μια προφανή δυσκολία. Έπρεπε να εξηγήσει γιατί η κίνηση συνεχίζεται ακόμη και όταν το κινούμενο σώμα χάσει την επαφή του με το κινούν. Η απάντηση για τον Αριστοτέλη βρίσκεται στη θεωρία της «αντιπερίστασης», σύμφωνα με την οποία το μέσον εντός του οποίου διενεργείται η κίνηση αναλαμβάνει το ρόλο του κινούντος, αντικαθιστώντας την αρχική δύναμη.

Η εξήγηση κατά τον Αριστοτέλη είναι ότι, όταν παράδειγμα, εκτοξεύεται η σφαίρα από το χέρι του σφαιροβόλου διεγείρεται ταυτόχρονα το περιβάλλον μέσο, εδώ ο αέρας, μεταδίδοντάς της δύναμη που συνεχίζει να δρα επί της σφαίρας, κινώντας τη. Αυτό γιατί ο αέρας που συμπιέζεται στο μπροστινό μέρος του σώματος, επιστρέφει προς τα πίσω, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία κενού, κάτι ανεπίτρεπτο για τον Αριστοτέλη και σπρώχνει με αυτό τον τρόπο τη σφαίρα προς τα εμπρός (Σχήμα).



Σχήμα: Η θεωρία της αντιπερίστασης

Πρόκειται για μια απάντηση απολύτως συνεπή με την αρχή ότι δεν υπάρχει κίνηση χωρίς τη συνεχή επενέργεια του κινούντος. (Νίκος Δαπόντες, 2011).

Β. Η Κίνηση στην Υπερσελήνια Περιοχή.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ, Φυσικά 260a – 260b: ὅτι τὸ πρῶτον κινοῦν κινεῖ ταύτην τὴν κίνησιν, ἣν ἀναγκαῖον μίαν καὶ τὴν αὐτὴν εἶναι καὶ συνεχῆ καὶ πρώτην. Δηλαδή: επειδή το πρώτο κινούν κινεί την κίνηση είναι αναγκαίο να είναι ίδια συνεχής και πρώτη.

Η δεύτερη περιοχή του σύμπαντος κατά τον Αριστοτέλη, είναι η υπερσελήνια που βρίσκεται πάνω από την τροχιά της σελήνης με όριο την εξώτατη σφαίρα των απλανών αστέρων. Σ' αυτήν την περιοχή, απαντάται μόνο το αναλλοίωτο πέμπτο στοιχείο η πεμπτουσία (πέμπτη ουσία) ή αιθέρας. Η έλλειψη αντίθετου στοιχείου από τον αιθέρα συνεπάγεται την απουσία

ποιοτικών αλλαγών, με αποτέλεσμα στην περιοχή να λαμβάνει χώρα η τελειότερη μορφή κίνησης, η οποία είναι η αέναη, ομαλή κυκλική. Έτσι ο κάθε πλανήτης και οι απλανείς αστέρες εκτελούν ομαλή κυκλική κίνηση σφαιρικά γύρω από τη Γη. Συνεπής στη θεωρία του ο Αριστοτέλης, απέδωσε το αίτιο της κίνησης στην ύπαρξη κάποιου «Ακίνητου Κινούντος», ξεχωριστού για κάθε σφαίρα. (Δ. Κωνσταντίνου, 2013).

Η εξέλιξη της φιλοσοφικής φυσικής

Η αριστοτελική θεωρία της κίνησης δέχτηκε ισχυρή κριτική. Αρκετοί μελετητές, από πολύ παλιά, αμφισβήτησαν την αριστοτελική ερμηνεία της κίνησης. Αντιπαρέρχοντας την αριστοτελική θεωρία της «αντιπερίστασης», θεώρησαν ως αίτιο υπεύθυνο της κίνησης κάτι που μεταδίδεται στο κινητό, μια «εσωτερική δύναμη» που αργότερα ορίστηκε ως «όρμηση» μια έννοια προοίμιο της «ορμής» και της «κινητικής ενέργειας».

Τα πρόσωπα που πρωταγωνιστούν στην εξέλιξη της έννοιας της «εσωτερικής δύναμης» είναι κατά χρονολογική σειρά:

- ο Ίππαρχος (2ος αιώνας π.Χ.),
- ο Φιλόπονος (6ος αιώνας μ.Χ.),
- ο Αβικέννας (11ος αιώνας),
- ο Μπουριντάν (14ος αιώνας)

Τον 2ο αιώνα π.Χ. ο μεγάλος Έλληνας Αστρονόμος και Μαθηματικός Ίππαρχος (190π.Χ. – 120π.Χ.) διατύπωσε μια δική του θεωρία για την κατακόρυφη βολή προς τα πάνω, διαφορετική από αυτήν του Αριστοτέλη. Σύμφωνα μ’ αυτόν, μεταδίδεται «κάτι» στο σώμα που αρχικά υπερτερεί του βάρους, έτσι ώστε να ανέρχεται. Στη συνέχεια, αυτό το «κάτι» μειώνεται και σε κάποια στιγμή γίνεται τόσο μικρό, ώστε το σώμα τελικά να κατέρχεται.

Στις αρχές του Μεσαίωνα, ο Ιωάννης Φιλόπονος (~490 – ~570) από την Αλεξάνδρεια, σχολιαστής του έργου του Αριστοτέλη, επεσήμανε τις πολλές αντιφάσεις της Αριστοτελικής Φυσικής, έτσι να αναγνωρίζεται σήμερα ως ο πρώτος φιλόσοφος που αμφισβήτησε με επιχειρήματα τις ερμηνείες του Αριστοτέλη για την κίνηση των βλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο Φιλόπονος θεώρησε ότι δεν είναι το μέσον (ο αέρας) υπεύθυνο για την κίνηση μιας πέτρας που πετιέται αλλά μια δύναμη που μεταβιβάζεται από το χέρι στην πέτρα τη στιγμή που εκτοξεύεται. Κατ’ αναλογία ο Φιλόπονος υποστήριξε ότι τα ουράνια σώματα δεν κινούνται από την ώθηση που προέχεται από τα «ακίνητα κινούντα» της αριστοτελικής θεωρίας, αλλά

από την κινητική δύναμη την οποία έθεσε μέσα τους ο Θεός τη στιγμή της δημιουργίας του κόσμου.

Μερικούς αιώνες αργότερα (11ος αιώνας μ.Χ.), ένας Άραβας φιλόσοφος, ο Αβικέννας (Avicenna, 980 – 1037), φέρνει ξανά στην επιφάνεια τα προβλήματα και τις αντιφάσεις της αριστοτελικής θεωρίας για την κίνηση. Για παράδειγμα, ο Αβικέννας υποστήριζε ότι, κατά την οριζόντια βολή, το βλήμα περνάει από δύο φάσεις: αρχικά κινείται ευθύγραμμα μέχρι να εξαντληθεί η δύναμη που του μεταβιβάζεται, οπότε κάποια στιγμή ενεργεί το βάρος του και έχουμε την κατακόρυφη πτώση του.

Ο Γάλλος κοσμικός κληρικός Ιωάννης Μπουριντάν (Jean Buridan, 1292 – 1363) διδάκτορας στο Πανεπιστήμιο του Παρισιού, ακολουθώντας τη σκέψη του Φιλόπονου, πρώτος έδωσε το όνομα Impetus (όρμηση) στο αίτιο της κίνησης των βλημάτων και συνόψισε μια νέα θεωρία που αντικατέστησε την αριστοτελική τουλάχιστον για δύο αιώνες:

«Όταν ένας άνθρωπος θέτει σε κίνηση ένα σώμα, του μεταβιβάζει μια ορισμένη όρμηση (impetus), δηλαδή μια ορισμένη δύναμη που επιτρέπει στο σώμα να μετακινείται κατά την κατεύθυνση που του επιβάλλεται: προς τα πάνω, προς τα κάτω, προς τα πλάγια ή ακόμα σε κύκλο. Χάρη σ' αυτήν την όρμηση, μια πέτρα που εκτοξεύεται συνεχίζει να κινείται και μετά την απομάκρυνση της από το χέρι αυτού που την πέταξε».

Επιπλέον, οι υποστηρικτές της θεωρίας για να εξηγήσουν το γεγονός ότι ένα σώμα που κινείται καταλήγει στην ηρεμία, οδηγήθηκαν στην ιδέα ότι η όρμηση σιγά - σιγά εξαντλείται. (Νίκος Δαπόντες, 2011).

Οι πιο ολοκληρωμένες τοποθετήσεις, σχετικά με το ζήτημα της κίνησης της Γης, τον Μεσαίωνα, έγιναν από τους Μπουριτάν και Ορέμ (Nicolas Oresme, 1325 - 1382).

Ο Μπουριτάν αναγνώριζε ότι το πρόβλημα ήταν κατά βάση πρόβλημα σχετικής κίνησης, δηλαδή ή η Γη θα κινούνταν ή οι ουράνιες σφαίρες. Η κοινώς αποδεκτή αριστοτελική αρχή, ότι η ακινησία είναι ευγενέστερη κατάσταση από την κίνηση, θα συνηγορούσε υπέρ μιας ημερήσιας αξονικής περιστροφής της Γης παρά των ουρανίων σωμάτων και ιδιαίτερα η εξώτατη και ευγενέστατη σφαίρα των απλανών αστέρων. Ο Μπουριντάν υπογράμμισε επίσης ότι ήταν επιθυμητό να σωθούν τα φαινόμενα με τα απλούστερα δυνατά μέσα. Υπ' αυτήν την έννοια, φαινόταν καλύτερο να υποτεθεί ότι η σχετικά μικρή γη στρέφεται με συγκριτικά μεγαλύτερη ταχύτητα, ενώ οι εξώτατες και μέγιστες σε έκταση σφαίρες παραμένουν ακίνητες. Ο Μπουριντάν όμως επέλεξε τελικά την παραδοσιακή γνώμη - αριστοτελική άποψη. Κατά την κρίση του, η περιστροφή της γης δεν μπορούσε να εξηγήσει γιατί ένα βέλος που ρίχνεται κατακόρυφα προς τα πάνω πέφτει πάντα στο ίδιο μέρος από το οποίο ρίχτηκε. Γιατί αν η Γη περιστρεφόταν πράγματι από δυσμάς προς ανατολάς, θα έπρεπε να περιστραφεί προς

ανατολάς όσο το βέλος θα ήταν στον αέρα. Κατά συνέπεια, το βέλος θα έπρεπε να πέσει στο έδαφος δυτικά της αρχικής του θέσης.

Ο Γάλλος κληρικός – φιλόσοφος Ορέμ, όμως, δεν έβλεπε ασυμβίβαστη την επιστροφή του βέλους στο ίδιο σημείο από το οποίο εκτοξεύτηκε, με την περιστροφή της Γης. Έτσι υποστηρίζει, αν υποθέσουμε ότι η Γη, ο περιβάλλον αέρας, και όλη η υποσελήνια ύλη περιστρέφονται ημερήσια από δυσμάς προς ανατολάς, η επιστροφή του βέλους στο μέρος από το οποίο ρίχτηκε μπορεί να εξηγηθεί αν η κίνηση του αναλυθεί στις δυο ταυτόχρονες συνιστώσες κινήσεις συγκεκριμένα: την κατακόρυφη και την οριζόντια κυκλική. Εφ' όσον το βέλος συμμετέχει στην κυκλική κίνηση της γης και στρέφεται μαζί της με την ίδια ταχύτητα είτε κείται πάνω στην επιφάνεια της γης είτε εκτοξεύεται κατακόρυφα στον αέρα, το βέλος θα ανεβεί ακριβώς πάνω από το μέρος από το οποίο ρίχτηκε και θα πέσει πίσω σ' αυτό. Για τον παρατηρητή που συμμετέχει επίσης στην κυκλική κίνηση της γης, το βέλος θα φανεί να έχει μόνο μια κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης. Ο Ορέμ καταλήγει στο συμπέρασμα ότι είναι αδύνατο να εξακριβωθεί από την αισθητηριακή εμπειρία ότι οι ουρανοί έχουν μια ημερήσια κίνηση αλλά η Γη όχι. Παρά το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε με έκπληξη διαπιστώνουμε ότι ο Ορέμ, ο θεολόγος και επιστήμονας, θεωρεί ότι το πρόβλημα είναι επιστημονικά α-προσδιόριστο και κλίνει και αυτός προς την παραδοσιακή γνώμη. Η γη μένει ακίνητη στο κέντρο του σύμπαντος και οι ουρανοί κινούνται γύρω της με ημερήσια κίνηση. Επιχειρεί έτσι να καταδείξει την υπεροχή της πίστης σε ζητήματα που δε συμβαδίζουν με τη λογική. (Adward Grant, 1971, σελ. 101-107).

Η φυσική πειραματική επιστήμη

Ο Simon Stevin (1548 – 1620), περιγράφει στο βιβλίο του, «Αρχές της Στατιστικής», που εκδόθηκε το 1586, ότι: Από τον πύργο της εκκλησίας στην πλατεία αγοράς στο Ντελφτ (De Nieuwe Kerk, Delft) σε ύψος ενενήντα μέτρων, έρριψε, μαζί με τον Jan Cornets de Croot, δύο σφαίρες από μόλυβδο η μια σε δεκαπλάσιο μέγεθος από την άλλη. Παρατήρησαν ότι έπεσαν στο έδαφος συγχρόνως, καταρρίπτοντας την κυρίαρχη άποψη του Αριστοτέλη, ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν ταχύτερα.(Remko Scha, 2011).

Το πιο απλό παράδειγμα πειράματος που θα μπορούσε να γίνει για να δείξει ότι η θεωρία, ότι βαρύτερα σώματα πέφτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα, ήταν εσφαλμένη, ήταν να αφήσει κανείς ελεύθερο να πέσει το ίδιο φύλλο χαρτιού, πρώτα ίσιο και μετά τσαλακωμένο. Το βάρος και στις δύο περιπτώσεις είναι το ίδιο, αλλά το τσαλακωμένο χαρτί πέφτει πιο γρήγορα, επειδή έχει μικρότερη επιφάνεια και άρα συναντάει μικρότερη αντίσταση από τον αέρα. Στη συνέχεια πειραματικά διαπιστώνουμε ότι όλα τα ασώματα στο κενό πέφτουν συγχρόνως.

Ο Γαλιλαίος Γαλιλέι (Galileo Galilei, 1564 – 1642) το 1604, εισάγοντας το πείρα-μα στη Φυσική, στο Πανεπιστήμιο της Πάδοβας, χρησιμοποίησε ένα κεκλιμένο επίπεδο μήκους επτά μέτρων περίπου, με αυλάκι πάχους ενός δακτύλου στο οποίο περιόρισε όσο μπορούσε την τριβή. Άφησε στο αυλάκι να κυλήσει μια ορειχάλκινη μπίλια. Τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων δείχνουν ότι το διάστημα (S) που διανύει η μπίλια είναι ανάλογο του τετραγώνου του χρόνου που έχει περάσει από τη στιγμή που αφήνεται να κυλήσει. Κατέρριψε έτσι τη άποψη του Αριστοτέλη περί σταθερής ταχύτητας πτώσης των σωμάτων και προσέγγισε αρκετά τον νόμο της ελεύθερης πτώσης. (Ανδρέας Κασσέτας, « Η σανίδα του Γαλιλαίου»).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα χρονόμετρα που χρησιμοποίησε ήταν ιδιοκατασκευής του, αφού τα ρολόγια με τη μορφή που τα γνωρίζουμε δεν είχαν ανακαλυφθεί ακόμη!

Ο Γαλιλαίος, στρέφοντας το τηλεσκόπιό του προς τον ουρανό, παρατήρησε, περί τα τέλη του 1609, την επιφάνεια της Σελήνης και διαπίστωσε ότι η μορφολογία της δεν απέχει ιδιαίτερα από αυτή της γης! Στις αρχές του 1610, εκπλήσσεται από κόσμο του Δία με τους δορυφόρους του. Συνεχίζει με τον εντοπισμό των ηλιακών κηλίδων και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα ουράνια σώματα δεν είναι τέλεια - λεία στη μορφή, η δε κίνηση των κηλίδων κατά μήκος της επιφάνειας του Ήλιου επιβεβαίωναν κατά την άποψη του Γαλιλαίου την ηλιοκεντρική θεωρία. Εντοπίζει την περιφοράς της Αφροδίτης γύρω από τον ήλιο και τους δακτυλίους του Κρόνου. Είναι πια πεπεισμένος ότι οι γαλαξίες είναι συνάθροιση αστεριών, δηλαδή το σύμπαν παρουσιάζει την ίδια μορφολογία παντού και δεν διαιρείται σε διαφορετικές περιοχές – σφαίρες. Έτσι αντιλαμβάνεται την ορθότητα του ηλιοκεντρικού Κοπέρνικου (Mikolaj Kopernik, 1473 – 1543) και αισθάνθηκε την ανάγκη να επικοινωνήσει με τον Κέπλερ (Johannes Kepler, 1571 – 1630). Ο Γαλιλαίος, αργότερα του δώρισε στον Κέπλερ ένα τηλεσκόπιο και συνέχισαν την επικοινωνία τους, χωρίς να συναντηθούν ποτέ, κάνοντας κοινές διαπιστώσεις. Ο Κέπλερ διατύπωσε τους νόμους κίνησης των πλανητών, αξιοποιώντας τις εικοσάχρονες παρατηρήσεις του Τύχο Μπράχε (Tycho Brahe, 1546 – 1601) του οποί-ου υπήρξε βοηθός. Γαλιλαίος.(ebook Ίδρυμα Ευγενίδου, 2013).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο καθολικισμός, μέσα στην επικράτεια του οποίου έζησαν οι παραπάνω ερευνητές, έβαλε εμπόδια στις μελέτες τους και τους οδήγησε σε διάφορες προσωπικές περιπέτειες, αφού οι ιδέες τους ήταν σε διάσταση με τον «χριστιανικό αριστοτελισμό» του Θωμά Ακινάτη (Thomas Aquinas, 1225 – 1274).

Η φυσική πειραματική – μαθηματική επιστήμη

Ο Ισαάκ Νεύτωνα (Isaac Newton, 4 Ιανουαρίου 1643 – 31 Μαρτίου 1727), ήταν ένας από τους μεγαλύτερους επιστήμονες όλων των εποχών. Ο Νεύτων θεώρησε τη δύναμη ως μια αφηρημένη ποσότητα που μπορούσε να μετρηθεί με τη μεταβολή της κίνησης ενός κινουμένου σώματος, χωρίς να είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την πραγματική της

υπόσταση! Στο θρυλικό βιβλίο του «Οι μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας» ή Principia που εκδόθηκε το 1687,αφού μαθηματικοποιεί τις βασικές έννοιες: της δύναμης όπως αναφέρθηκε, της ορμής, της μάζας, της αδράνειας και εισάγει το απόλυτο και σχετικό χρόνο, παρουσιάζει τους τρεις νόμους κίνησης που αποτ-λεσαν τη βάση της Κλασικής Μηχανικής, ένα κλάδο ικανό να εξηγήσει την κίνηση κάθε μακροσκοπικού αντικειμένου. (Αραμπατζής Θ., κ.ά. ΟΕΔΒ 1999).

Σήμερα, μετά τη διατύπωση των νόμων της κίνησης καταλήγουμε στα συμπεράσματα του Γαλιλαίου θεωρητικά και γνωρίζουμε ότι ο συντελεστής αναλογίας του τετραγώνου του χρόνου, του Γαλιλαίου, είναι το μισό της επιτάχυνσης (a) του σώματος που έχει μάζα (m), δηλαδή: S = 1/2 a.t2&v = a.tμεa = F/m

Ο Νεύτων στη συνέχεια αφού ενοποίησε τους τρεις νόμους της κίνησης, με το νόμο της παγκόσμιας έλξης εξηγεί την κίνηση των ουρανίων σωμάτων υπό την επίδρασης της βαρυτικής έλξης και ενοποιεί τις επίγειες με τις ουράνιες δυνάμεις.

Η ιδέα ήταν: Ότι τη δύναμη - βάρος - που επιταχύνει το κάθε σώμα, κατά την πτώση του, την ασκεί ο πλανήτης Γη. Μια παρόμοια ελκτική δύναμη της Γης φθάνει μέχρι τη σελήνη και της προσφέρει την αναγκαία κεντρομόλο επιτάχυνση ώστε να περιφέρεται γύρω από τη Γη. Μια ελκτική δύναμη, σαν αυτή, «συγκρατεί» και τη σελήνη σε τροχιά. Επίσης την ίδια ελκτική δύναμη βαρύτητας ασκεί ο Ήλιος στη Γη, στη σελήνη αλλά και σε κάθε πλανήτη που περιφέρεται γύρω του.

Ο Νεύτων διατύπωσε τον περίφημο Νόμο της παγκόσμιας έλξης ο οποίος εκφράζεται με τη μαθηματική σχέση:

$$\mathbf{F = G\,\frac{m_1 . m_2}{r^2}}$$

Όπου: F είναι η ελκτική δύναμη σε νιούτον (N), G η σταθερά της παγκόσμιας έλξης, m1 και m2 οι μάζες αδράνειας των δύο σωμάτων σε χιλιόγραμμα (Kg), και r η μεταξύ τους απόσταση σε μέτρα. (Ανδρέας Κασσέτας, «Βαρύτητα»).

Η θεωρία του Νεύτωνα έδινε άριστα αποτελέσματα κατά την περιγραφή όσων συνέβαιναν στο γήινο περιβάλλον με την ασθενή βαρύτητα, αλλά διαφαινόνταν ότι σε ακραίες συνθήκες βαρύτητας ήταν πέρα από τις δυνατότητες της.

Σύμφωνα με τον Άλμπερτ Αϊνστάιν (Albert Einstein, 14 Μαρτίου 1879 – 18 Απριλίου 1955) η νευτώνεια θεωρία για τη βαρύτητα έπρεπε να είναι λανθασμένη, λόγω του ότι στη νευτώνεια θεώρηση η βαρυτική δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης

μεταξύ των δύο σωμάτων, αλλά σύμφωνα με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, 1905, η απόσταση αλλάζει ανάλογα με το σύστημα αναφοράς.

Στη Γενικής Θεωρία της Σχετικότητας, 1915, ο Αϊνστάιν παρουσίασε μια θεωρία που αντικαθιστούσε την εξήγηση του Νεύτωνα για τη βαρύτητα. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η βαρύτητα δεν θεωρείται ως το αποτέλεσμα μιας δύναμης, αλλά οφείλεται στην καμπύλωση του χωροχρόνου, η οποία προκαλείται από την περιεχόμενη στον χωρόχρονο μάζα και ενέργεια. (physics4u.gr/blog, 2011).

Ολοκληρώνοντας για την κίνηση, πρέπει να αναφερθεί ότι η Κβαντομηχανική είναι η θεωρία της Φυσικής που εξηγεί τα φυσικά φαινόμενα του μικρόκοσμου. Τα κβαντικά χαρακτηριστικά της ύλης γίνονται εντονότερα όσο μικρότερος είναι ο χώρος μέσα στον οποίο είναι εγκλωβισμένο το σωματίδιο και όσο μικρότερη είναι η μάζα του.

Η Κλασική Μηχανική είναι μια αιτιοκρατική θεωρία: Αν γνωρίζουμε τις αρχικές συνθήκες ενός συστήματος (θέση και ταχύτητα) μπορούμε να γνωρίζουμε ποια τροχιά θα διαγράψει το σώμα. με όση ακρίβεια θέλουμε χωρίς να διαταράξουμε το σύστημα.

Αντίθετα στην Κβαντομηχανική δεν γνωρίζουμε τις αρχικές συνθήκες, σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας, 1927, του Χάιζενμπεργκ (Werner Heisenberg, 5 Δεκεμβρίου 1901 – 1 Φεβρουαρίου 1976) που διατυπώνεται:

Εάν μετράμε τη θέση ενός σωματιδίου με αβεβαιότητα Δx και ταυτόχρονα μετρά-με την ορμή του με αβεβαιότητα Δp, τότε το γινόμενο των δύο μεγεθών δεν μπορεί να είναι μικρότερο από έναν αριθμό της τάξης του $\hbar = 1{,}054\,572\,66 \times 10\text{-}34 \pm 66$ J·s (ό-που: $\hbar = h/2\pi$ & h η σταθερά του Planck). Δηλαδή: $\Delta x \,.\Delta p \geq \hbar/2$

Με απλά λόγια: Όσο πιο ακριβής είναι η μέτρηση της θέσης ενός σωματιδίου τόσο λιγότερο ακριβής είναι η μέτρηση της ταχύτητάς του και αντιστρόφως. Επομένως: δεν έχει έννοια να μιλάμε για τροχιά του σωματιδίου, δεν μπορούμε να το προσδιορίσου-με, παρά μόνο να περιοριστούμε στην πιθανότητα της παρουσίας του! (Στυλιανός Η. Μάσεν, « Μια Ματιά στην Κβαντομηχανική»)

Εφαρμογή

Προκειμένου να συνδέσουμε το πείραμα με την παραπάνω εξέλιξη των ιδεών στη κίνηση με τη βοήθεια και καθοδήγηση του καθηγητή μας χωριστήκαμε σε ομάδες με κριτήριο την ελεύθερη επιλογή, από πλευράς μας, της αντίστοιχης ιστορικής περιόδου και σχεδιάσαμε και

αναπτύξαμε τα πειράματα παράλληλα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών, καθ' όλη τη διάρκεια του σχολικού έτους, στο τέλος του οποίου θα γίνει και η παρουσίασή της.

Η 1η ομάδα ασχολείται με τις θεωρίες του Αριστοτέλη για τη σύσταση και τις κινήσεις των σωμάτων, γήινων και ουράνιων.

Η 2η ομάδα ασχολείται με το Γαλιλαίο σαν πρωτοπόρο της επιστημονικής επανάστασης. Στόχος είναι να δειχτεί η συμβολή του Γαλιλαίου στη Φυσική με τη πειραματική μέθοδο.

Η 3η ομάδα ασχολείται με τους τρεις νόμους της κίνησης του Νεύτωνα και την ενοποίησή τους με το νόμο της παγκόσμιας έλξης.

Η 4η ομάδα ασχολείται με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που αντικαθιστά την εξήγηση του Νεύτωνα για τη βαρύτητα. Επίσης ασχολήθηκαν και με την Κβαντομηχανική προσέγγιση της κίνησης στο μικρόκοσμο.

Τα πειράματα που πλαισιώνουν την εν λόγω διδακτική πρόταση είναι της:

- Ελεύθερης πτώσης στο αέρα

Ένα απλό πείραμα που καταδεικνύει ότι η αριστοτελική άποψη, σύμφωνα με την οποία τα βαρύτερα σώματα πέφτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα, ήταν εσφαλμένη, είναι να αφήσει κανείς ελεύθερο να πέσει το ίδιο φύλλο χαρτιού, πρώτα ίσιο και μετά τσαλακωμένο. Το βάρος και στις δύο περιπτώσεις είναι το ίδιο, αλλά το τσαλακωμένο χαρτί πέφτει πιο γρήγορα, επειδή έχει μικρότερη επιφάνεια και άρα συναντάει μικρότερη αντίσταση από τον αέρα.

- Ελεύθερης πτώσης στο κενό.

Η ελεύθερη πτώση στο κενό είναι ένα πείραμα που απαιτεί όργανα του εργαστηρίου: γυάλινο σωλήνα που περιέχει ένα μικρό τμήμα φτερού και τεμάχιο μετάλλου στο εσωτερικό του οποίου δημιουργούμε κενό με την βοήθεια αντλίας κενού. Μηδενίζοντας έτσι περίπου την αντίσταση του αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα, διαπιστώνουμε την σύγχρονη πτώση των δύο τόσο πολύ διαφορετικών σε βάρος υλικών. Έτσι αποδεικνύεται ότι η θεωρία του Αριστοτέλη σίγουρα δεν είναι σωστή.

- Της σανίδας του Γαλιλαίου.

Κατασκευάζοντας την σανίδα του Γαλιλαίου και πειραματιζόμενοι με αυτή, προσομοιάζοντας την ελεύθερη πτώση, αντιλαμβανόμαστε, από τα πειραματικά αποτελέσματα, ότι το διάστημα (S) που διανύει η μπίλια είναι ανάλογο του τετραγώνου του χρόνου που έχει περάσει από τη στιγμή που αφήνεται να κυλήσει. Άρα η ελεύθερη πτώση είναι κίνηση επιταχυνόμενη και όχι σταθερής ταχύτητας όπως πίστευε ο Αριστοτέλης. Η δε μαθηματικοποίηση των φυσικών εννοιών από τον Νεύτωνα προσδιορίζει ότι ο συντελεστής αναλογίας του τετραγώνου του χρόνου, του Γαλιλαίου, είναι το μισό της επιτάχυνσης (a) του σώματος που έχει μάζα (m), δηλαδή: S = 1/2 a.t2&v = a.t με a = F/m.

- Προσομοίωσης του χωροχρόνου.

Κατασκευάζοντας την διάταξη της προσομοίωσης του χωροχρόνου του Αϊνστάιν και πειραματιζόμενοι με αυτή διαπιστώνουμε ότι η βαρύτητα δεν είναι το αποτέλεσμα μιας δύναμης, αλλά οφείλεται στην καμπύλωση του χωροχρόνου, η οποία προκαλείται από την περιεχόμενη στον χωροχρόνο μάζα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1] Αραμπατζής Θ. - Γαβρόγλου Κ. - Διαλέτης Δ. - Χριστιανίδης Γ. - Κανδεράκης Ν. - Βερνίκος Σ..Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας Γ΄ τάξη Γενικού, σελ. 49 & 162,Έκδοση ΟΕΔΒ Αθήνα 1999.
[2] Adward Grant, 1971.Οι Φυσικές Επιστήμες τον Μεσαίωνα, σελ. 101-107, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, μτφρ. Ζήσης Σαρίκας, Επιστημονική Επιμέλεια: Βασίλης Κάλφας - Πέτρος Δήτσας.
[3] David C. Lindberg, 1992.Οι Απαρχές της Δυτικής Επιστήμης,Κεφάλαιο: «Η φυσική φιλοσοφία του Αριστοτέλη»,
http://www.ekivolos.gr/Hfysikhfilosofiatou Aristotelh.htm
[4] Νίκος Δαπόντες, 2011. Η Αριστοτελική Θεωρία της Κίνησης, η Διδασκαλία της Φυσικής και οι Παρανοήσεις των Μαθητών,
http://makolas.blogspot.gr/2011/11/blog-post.html

[5] ebook Ίδρυμα Ευγενίδου, 2013. Ο Γαλιλαίος: Η Μάχη στην Αυγή της Σύγχρονης Επιστήμης, σελ. 26-29, Εκδόσεις Ίδρυμα Ευγενίδου, 2013,
http://www.slideshare.net/wnikdim/galileo-28456090
[6] Ανδρέας Κασσέτας, «Βαρύτητα»,
http://users.sch.gr/kassetas/yPhysicsALyceum10.htm
[7] Ανδρέας Κασσέτας, « Η σανίδα του Γαλιλαίου»,
http://users.sch.gr/kassetas/xGalileo's Experiment.htm
[8] Δ.Κωνσταντίνου, 2013.Παρουσίαση, Ανάλυση κ΄ Περιγραφή των Απόψεων του Αριστοτέλη, Περί Κίνησης σε Υποσελήνια κ΄ Υπερσελήνια Περιοχή , Καθώς κ΄Εκείνωντων Μεσαιωνικών Σχολιαστών,
https://istoriatexnespolitismos.wordpress.com/2013/06/27/παρουσιαση-αναλυση-κ-περιγραφη-των-απ/
[9] Στυλιανός Η. Μάσεν, Μια Ματιά στην Κβαντομηχανική, σελ. 4,
http://users.auth.gr/massen/
(physics4u.gr/blog, 2011).
[10] Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν ανατρέπει το νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα.
http://physics4u.gr/blog/2011/04/18/h-%CE%AF-%CE%AE-%CE%AF-eps/
[11] Remko Scha, 2011.to drop [to release an object in a gravitational field]: scientific demonstrations and experiments,
http://radicalart.info/kinetics/gravity/Drop/MotionLawExperiments.html