

Διερευνώντας τις μορφές των Γαλαξιών: Μια διδακτική πρόταση με τη μορφή διαθεματικού Project

Σεραφείμ Σπανός, Πρώην Υπεύθυνος ΕΚΦΕ Μαγνησίας – μέλος ΕΑΔ, email: seraf@sch.gr
Απόστολος Ξενάκης, Π.Δ. 407/80, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, μέλος ΕΑΔ, email: axenakis@uth.gr
Χρίστος Ξενάκης, Επίτιμος Σχολικός Σύμβουλος Φ.Ε., Αντιπρόεδρος ΕΑΔ, email: ch_xenakis@yahoo.com

Περίληψη

Στην παρούσα διδακτική – διερευνητική πρόταση που λαμβάνει τη μορφή διαθεματικού project, οι μαθητές/-τριες καλούνται, μέσω ενός προτύπου ταξινόμησης (ταξινόμηση κατά Hubble), να ταξινομήσουν ένα αριθμό γαλαξιών ως προς τη μορφή τους. Καλούνται, επίσης, με τη βοήθεια μαθηματικών μεθόδων, να κατανοήσουν την έννοια της πλάτυνσης ελλειψοειδούς και να την προσδιορίσουν στην πράξη μετρώντας σχετικές διαστάσεις από εικόνες γαλαξιών, με το χάρακα. Επίσης, μέσω επαναληπτικών διαδικασιών, να σχεδιάσουν πρότυπα σπειροειδών γαλαξιών με τη βοήθεια χάρακα και διαβήτη. Οι επαναληπτικές διαδικασίες σχεδίασης ενός σπειροειδούς γαλαξία πραγματοποιήθηκαν με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια και αυστηρότητα μέσω αλγοριθμικών διαδικασιών σχεδίασης σε προγραμματιστικό περιβάλλον της γλώσσας Logo. Το προγραμματιστικό περιβάλλον της Logo ανήκει στην κατηγορία των εκπαιδευτικών λογισμικών που είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη συνθετικών εργασιών. Στο τελευταίο στάδιο του project, καλούνται να κατανοήσουν τη δημιουργία σπειρών σε ένα γαλαξία με τη βοήθεια του προτύπου διαφορικής περιστροφής καθώς και την διαπίστωση της ίδιας της διαφορικής περιστροφής μέσω του φαινομένου Doppler.

Λέξεις κλειδιά: Τύποι και ταξινόμηση γαλαξιών, γαλαξιακές σπείρες, μαθηματικές και αλγοριθμικές μέθοδοι σχεδισμού γαλαξιών, διαφορική περιστροφή γαλαξιών, φαινόμενο Doppler.

Abstract

In our paper which is focused on an interdisciplinary didactic approach, students are firstly asked, through a sorting pattern (in particular the Hubble sorting pattern), to classify a number of galaxies given according to their shape and form. They are also asked to apply mathematical methods in order to understand the concept of galaxy ellipticity and via the use of ruler and diabetes, to iteratively design spiral galaxy patterns. Following, students designed an algorithmic approach to iteratively carry out the process of designing a spiral galaxy with greater precision, using Logo programming commands. In particular Logo's programming environment belongs to the class of educational software that is suited for developing composite and interdisciplinary didactic projects. In the final stage of this proposal, students are asked to apply differential rotation patterns in order to understand the formation of spiral galaxies, as well as the differential rotation itself through the Doppler phenomenon.

Keywords: Galaxy types and classification, galactic spirals, mathematical and algorithmic methods of galaxy design, differential galaxy rotation, Doppler effect.

1. Εισαγωγή

Η πρόταση των διερευνητικών εργασιών στην εκπαίδευση βασίζεται σε μια σειρά παιδαγωγικών και διδακτικών αρχών (π.χ. Μασσαγγούρας 2012; Spanos and Xenakis, 2013) οι οποίες αναφέρονται επιγραμματικά στη συνέχεια. Η πρώτη αρχή είναι η αρχή της ανακαλυπτικής μάθησης. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, πρόκειται για καθοδηγούμενη ανακαλυπτική μάθηση (scaffolding) όπου τα ερωτήματα τίθενται σταδιακά με τη βοήθεια και την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. Η διαθεματικότητα (Μασσαγγούρας, 2004) είναι η δεύτερη αρχή. Στην τρέχουσα εργασία αναδεικνύονται γνωστικά πεδία από το χώρο της φυσικής, της γεωμετρίας, της αστρονομίας, της πληροφορικής και των εικαστικών. Στη συνέχεια αναφέρεται η αρχή της διαφοροποίησης του περιεχομένου. Σύμφωνα με την αρχή της διαφοροποίησης του περιεχομένου (Spanos and Xenakis, 2013) η διαδικασία πρέπει να μπορεί να προσαρμοσθεί σε διάφορα γνωστικά επίπεδα και σε διάφορες ηλικιακές ομάδες. Η ομαδοσυνεργατικότητα αποτελεί μια ακόμη αρχή

στην οποία οφείλει να βασίζεται κάθε πρόταση διερευνητικής εργασίας. Ωστόσο για τις ανάγκες της εύκολης ατομικής βαθμολόγησης πολλές φορές παραμελείται στο Ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα. Οι γενικοί διδακτικοί στόχοι που κλήθηκε να εξυπηρετήσει η εργασία συνοψίζονται στην επιστημονική προσέγγιση, την κατανόηση και ερμηνεία του φυσικού κόσμου μέσα από την ακουλουθία παρατηρήσεις-μετρήσεις-επεξεργασία μετρήσεων-κατασκευή προτύπου-εφαρμογή και έλεγχος του προτύπου.

Στην τρέχουσα εργασία το πρότυπο που ελέγχεται αρχικά και υιοθετείται κατόπιν είναι ένα πρότυπο ταξινόμησης. Η ταξινόμηση αποτέλεσε και αποτελεί ακόμη την πρωταρχική προσέγγιση στη μελέτη ενός πληθυσμού φυσικών οντοτήτων ή φαινομένων με αξιοσημείωτη ποικιλομορφία. Αποτελεί αναντικατάστατη επιστημονική δεξιότητα που εδράζεται στην λεπτομερειακή παρατήρηση και την αναγνώριση ομοιοτήτων και διαφορών. Ως κλασσικό παράδειγμα ιστορικής πλέον αξίας για την επιστήμη αποτελεί η βιολογική ταξινόμηση. Ωστόσο η βιολογία δεν είναι η μόνη επιστήμη που τη χρησιμοποιεί. Σε

επιστήμες με τεράστιο αριθμό οντοτήτων όπως η αστρονομία, η ταξινόμηση κατέχει κεντρική θέση.

Οι βασικές αρχές που στηρίζεται κάθε επιστημονική ταξινόμηση περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων : α) τη μορφοποίηση ενός συνόλου κανόνων ταξινόμησης που δεν αλληλοαναιρούνται β) τη δημιουργία σαφών και διακριτών ομάδων και υποομάδων κατά την εφαρμογή τους, γ) την σύνδεση ομάδων και υποομάδων με λογική σχέση (συνήθως δένδροειδή δομή), δ) τη συμβατότητα του τελικού αποτελέσματος με τις φυσικές θεωρίες σχηματισμού των ταξινομούμενων ε) την ευκολία στη ταξινόμηση. Στην εργασία αυτή εξετάζεται ο πληθυσμός των γαλαξιών του σύμπαντος και προτείνεται η ταξινόμηση του σύμφωνα με τη μορφή τους με τη βοήθεια της μεθόδου Hubble (Γαβρίλη κ.α. 1999; Μαυρομμάτης 2011).

Αφού δόθηκε η ταυτότητα της διερευνητικής εργασίας, παρουσιάστηκε η διαδικασία καθοδήγησης των μαθητών σε μια σειρά προκαταρκτικών ερωτημάτων. Στη συνέχεια οργανώθηκε και αξιολογήθηκε το υλικό που προσκομίστηκε ως απάντηση στα προκαταρκτικά ερωτήματα. Ακολούθησε η παρουσίαση της μεθόδου ταξινόμησης του Hubble και η πρακτική εφαρμογή της σε συγκεκριμένα παραδείγματα ελλειπτικών και σπειροειδών γαλαξιών. Η απλοποίηση των μαθηματικών μεθόδων σχεδίασης και η απλοποιημένη εφαρμογή τους στη σχεδίαση υποδειγμάτων – προτύπων με χάρακα και διαβήτη αποτέλεσε το επόμενο βήμα. Επέκταση του βήματος αυτού αποτέλεσε και ο προγραμματισμός της σχεδίασης σπειροειδών γαλαξιών με επαναληπτικές διαδικασίες μέσω εντολών και εργαλείων σχεδίασης της γλώσσας Logo (Papert, 1992). Τέλος η εργασία ολοκληρώθηκε με την προσπάθεια ερμηνείας παρατηρούμενων φυσικών μεγεθών (μετατόπιση Doppler) με την εφαρμογή ενός προτύπου διαφορικής περιστροφής σπειροειδούς γαλαξία.

2. Ταυτότητα της διερευνητικής εργασίας

Πρόκειται για μια διερευνητική δραστηριότητα που δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να εργαστούν ατομικά ή σε ομάδες προκειμένου να κατανοήσουν τη σημασία της αξιόπιστης ταξινόμησης στη δημιουργία προτύπων και κατά συνέπεια στην ερμηνεία του φυσικού κόσμου.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα σενάριο το οποίο εμπλέκει τις αρχές της Διερευνητικής Μάθησης (Inquiry Based Science Education – ISBE) και της Διαθεματικής προσέγγισης της γνώσης. Η ISBE είναι μια παιδαγωγική στρατηγική βασισμένη στη φυσική περιέργεια του μαθητή/ -τριας, η οποία αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την κατανόηση της νέας γνώσης. Οι μαθητές/-τριες προσλαμβάνουν τη νέα γνώση μέσω ερωτήσεων, υποθέσεων, πειραμάτων, μετρήσεων, κατασκευών, παρατηρήσεων, ταξινομήσεων, αναλύσεων, κλπ., παρά μέσω της έκθεσης της γνώσης από το δάσκαλο και της απομνημόνευσής της. Δηλαδή, η μάθηση οργανώνεται σε ένα καθαρά μαθητοκεντρικό περιβάλλον (The Pathway project, 2013).

Η Διαθεματική διδασκαλία, περιγράφεται ως μια σειρά από εκπαιδευτικές προσεγγίσεις που επιχειρούν την «ενιαιοποίηση» της σχολικής γνώσης. Η Διαθεματική προσέγγιση της γνώσης υποστηρίζει την «αρχή της συμπληρωματικότητας» στην εκπαίδευση, σύμφωνα με την οποία, οι οπτικές γωνίες θέασης που κάθε διδακτικό αντικείμενο (μάθημα) βλέπει το ίδιο προς μελέτη και διερεύνηση σύστημα, δεν είναι εξ ολοκλήρου ούτε ανεξάρτητες, ούτε συμβατές μεταξύ τους. Επιπλέον, όλες μαζί αποκαλύπτουν περισσότερες αλήθειες για το σύστημα, απ’ ό,τι η κάθε μία χωριστά (Ψυχάρης και Γιαβρής, 2003).

- **Λεξιλόγιο:** Γαλαξίας, Ελλειπτικοί γαλαξίες, Σπειροειδείς γαλαξίες, Ταξινόμηση, Edwin Hubble, γλώσσα Logo, φαινόμενο Doppler, μετατόπιση μήκους κύματος.

- **Κοινό που απευθύνεται:** Μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου ηλικίας 13-17 με κατάλληλες προσαρμογές.
- **Περιβάλλον:** Σχολική τάξη, σπίτι.
- Χρονική διάρκεια: 10-12 διδακτικές ώρες
- **Τεχνικές απαιτήσεις:** Πρόσβαση στο διαδίκτυο, Βαθμονομημένος χάρακας, διαβήτη, βασικές αρχές προγραμματισμού και χρήσης εντολών στη γλώσσα Logo.
- **Σύνδεση με τη διδακτέα ύλη:** Μαθηματικά Λυκείου, Φυσική Λυκείου (φαινόμενο Doppler κλπ.), Πληροφορική Γυμνασίου – Λυκείου.
- **Διδακτικοί στόχοι:** Η επιστημονική προσέγγιση στην κατανόηση και ερμηνεία του φυσικού κόσμου μέσα από την ακολουθία: παρατήρηση- μέτρηση-επεξεργασία μετρήσεων- κατασκευή προτύπου-εφαρμογή και έλεγχός του. Στους ειδικότερους στόχους εντάξαμε την ικανότητα κωδικοποίησης ενός αλγορίθμου σε προγραμματιστικό περιβάλλον καθώς και τη δυνατότητα διάκρισης εκ μέρους των μαθητών/-τριών της αναγκαιότητας χρήσης μιας δομής επανάληψης.
- **Πορεία της εργασίας:** Οι μαθητές αφού αναζητήσουν πληροφορίες για τον «κόσμο των σπειρών», ενημερώνονται για τη μέθοδο ταξινόμησης γαλαξιών κατά Hubble, χωρίζονται σε ομάδες και καλούνται να ταξινομήσουν μια σειρά ελλειπτικών και σπειροειδών γαλαξιών. Στη συνέχεια σχεδιάζουν μια σειρά σπειροειδών γαλαξιών βασιζόμενοι σε σχήματα οδηγούς, με τη βοήθεια κανόνα και διαβήτη ενώ για τους πιο προχωρημένους μαθητές, η σχεδιαστική διαδικασία επαναλαμβάνεται με μεγαλύτερη αυστηρότητα και ακρίβεια σε προγραμματιστικό περιβάλλον με τη χρήση εντολών της γλώσσας Logo. Τέλος προσεγγίζουν με τη βοήθεια ενός «προτύπου περιστροφής» την παρατηρούμενη μετατόπιση Doppler στο φως που προέρχεται από τα διάφορα μέρη ενός γαλαξία.
- **Αξιολόγηση της εργασίας:** Η αξιολόγηση σε ομαδικό επίπεδο, θα γίνει από τα συμπληρωμένα φύλλα εργασίας και τα σχέδια που οι ομάδες καλούνται να παραδώσουν μετά την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων. Σε ατομικό επίπεδο, η αξιολόγηση θα προκύψει από την παρατήρηση και τη συμμετοχή του μαθητή καθ’ όλη τη διάρκεια του project. Στο τέλος του project, οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν ατομικά σε ένα ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις κλειστού και ανοιχτού τύπου πάνω στα κύρια σημεία του σεναρίου και να επισημάνουν τις τυχόν δυσκολίες που συνάντησαν. Τα ερωτηματολόγια θα χρησιμοποιηθούν και θα αξιοποιηθούν για την ανατροφοδότηση και τη βελτίωση της όλης διαδικασίας (Παχούλη Αγνή, 2016).

3. Προεργασία και καθοδήγηση ερωτημάτων

Ακολουθώντας την τυπική ακολουθία διαδοχής των διδακτικών φάσεων στη διερευνητική μάθηση, επιχειρήθηκε αρχικά η διέγερση ερωτημάτων με αφορμή μια συλλογή φωτογραφιών γαλαξιών που παρουσιάστηκαν στους μαθητές μέσω του διαδικτύου. Μεταξύ άλλων τέθηκαν και τα εξής δύο θεμελιώδη **ερωτήματα:**

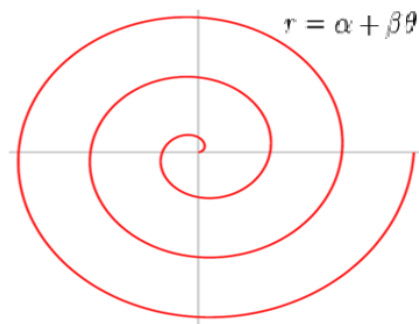
1. *Μπορεί ο γαλαξιακός «πληθυσμός» να ταξινομηθεί με λεπτομέρεια ως προς τη μορφή ώστε να μελετηθεί καλύτερα;*
2. *Πώς δημιουργήθηκαν οι σπείρες που παρατηρούνται σε πολλούς από αυτούς;*

Η εμφάνιση σπειροειδών μορφών δεν αποτελεί πρόνομο των γαλαξιών. Η γενική εξέταση του φαινομένου στη φύση ενδεχομένως καθιστά τις απαντήσεις στα πιο πάνω ερωτήματα ευκολότερες. Με αυτό το σκεπτικό οι μαθη-

τές οδηγήθηκαν με την μορφή ερωτημάτων στις εξής κατευθύνσεις:

- A. Πού αλλού η φύση δημιουργεί σπείρες;
- B. Γιατί «προτιμά» αυτές τις διαμορφώσεις;
- Γ. Πώς μελέτησε ο άνθρωπος από την άποψη δ. των μαθηματικών, αυτές τις περίτεχνες διαμορφώσεις;
- Δ. Πού τις χρησιμοποίησε ο ίδιος;
- E. Μπορούμε να κατασκευάσουμε με γεωμετρικά όργανα ή σε προγραμματιστικό περιβάλλον μια διαμόρφωση ενός σπειροειδούς γαλαξία και πώς;

Οι απαντήσεις που δόθηκαν στα προκαταρκτικά αυτά ερωτήματα περιελάμβαναν για το (A) ερώτημα, περιγραφές και εικόνες από κοχύλια (Εικόνες 3 και 4), άνθη, φυτά και επίσης κυκλώνες και ατμοσφαιρικά συστήματα καιρού. Στο (B) κατατέθηκαν απαντήσεις και υλικό που σχετιζόταν με την μαθηματική ακολουθία Fibonacci και τη βελτιστοποίηση κατανομής μάζας σε ορισμένο χώρο, ενώ στο (Γ) παρουσιάστηκαν μαθηματικές περιγραφές διαφόρων τύπων σπειρών αρχίζοντας από την σπείρα του Αρχιμήδη (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Η σπείρα του Αρχιμήδη με την εξίσωση περιγραφής της σε πολικές συντεταγμένες (r:απόσταση σημείου από το κέντρο, θ: γωνία ως προς τον θετικό άξονα των x, α και β σταθερές

Τέλος, στο (Δ) παρουσιάστηκε υλικό από έργα τέχνης όπως Ιωνικά κιονόκρανα (Εικόνα 2) , διακοσμήσεις εκκλησιών κτλ που αναπαριστούν σπείρες.



Εικόνα 2: Το Ιωνικό Κιονόκρανο



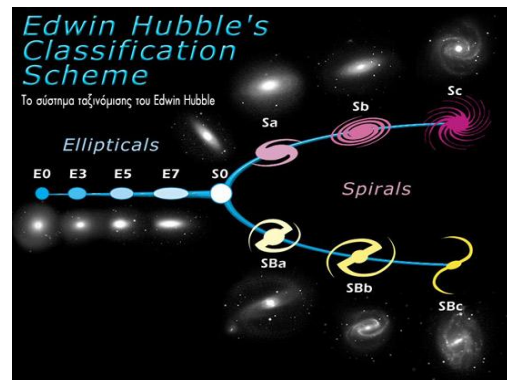
Εικόνα 3: Ο Ναυτίλος



Εικόνα 4: Η έλλικα του αμμωνίτη

4. Η μέθοδος ταξινόμησης Hubble

Στη συνέχεια παρουσιάστηκε με την κατάλληλη λεπτομέρεια στο σχολείο η μέθοδος ταξινόμησης γαλαξιών κατά Hubble (Εικόνα 5) με τις διάφορες τροποποιήσεις και προσθήκες της.



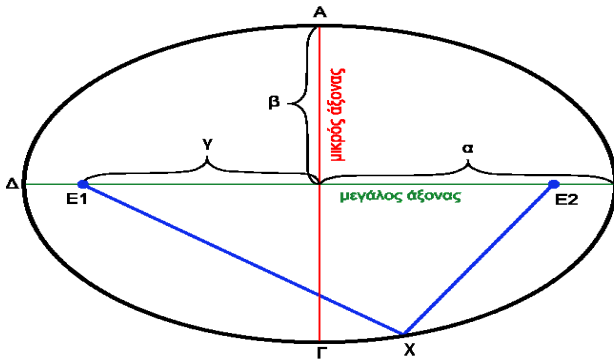
Εικόνα 5: Φωτογραφίες Γαλαξιών στη μέθοδο ταξινόμησης του Edwin Hubble.

Στην ταξινόμηση αυτή οι γαλαξίες διακρίνονται σε δύο βασικές ομάδες : Οι *ελλειπτικοί γαλαξίες*, οι *σπειροειδείς γαλαξίες*. Σε κάθε ομάδα διακρίνονται διάφορες υποομάδες σύμφωνα με αντικειμενικά ή περισσότερο έως λιγότερο υποκειμενικά κριτήρια. Οι σπειροειδείς γαλαξίες χωρίζονται σε *σπειροειδείς με ελλειπτικό πυρήνα* και σε *σπειροειδείς με πυρήνα ράβδο* (ραβδόμορφοι σπειροειδείς). Σε κάθε μια από τις δύο αυτές ομάδες διακρίνονται τρεις υποομάδες (a, b, c) ανάλογα με το βαθμό περιέλιξης των σπειρών γύρω από τον πυρήνα ή τη ράβδο. Ο βαθμός περιέλιξης έχει εκφραστεί από τους αστρονόμους ως καθαρά αριθμητική παράμετρος. Για τις ανάγκες όμως της διερευνητικής εργασίας παρέμεινε ως ποιοτικό χαρακτηριστικό.Στους ελλειπτικούς γαλαξίες διακρίνουμε οκτώ (8) υποομάδες σύμφωνα με το μέγεθος της πλάτυνσής τους (e).

$$e = 1 - \beta/a$$

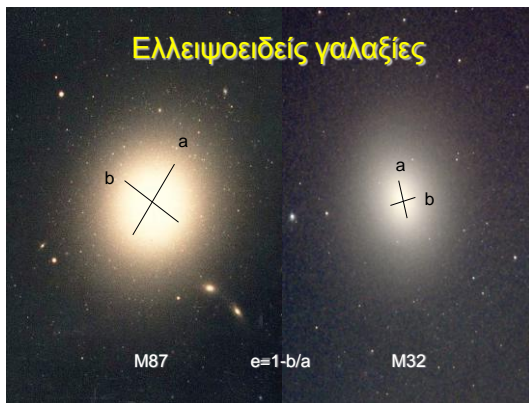
Για $\beta = a \Leftrightarrow e = 0$, δηλαδή πρόκειται για κύκλο(Εικόνα 6).

Όπως είναι αναμενόμενο η πλάτυνση μεταβάλλεται από 0 έως 1. Για τις ανάγκες της ταξινόμησης, η πλάτυνση στρογγυλεύεται στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο και στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με το 10. Ο αριθμός που προκύπτει συνοδεύει το γράμμα E (Εικόνα 5) στην ονομασία της υποομάδας. Έχει βρεθεί ότι η διαδικασία δεν αποδίδει τιμές μεγαλύτερες του 7. Μεγαλύτερες τιμές δεν μπορούν να εμφανισθούν προφανώς λόγω ασταθούς δομής και διάσπασης των γαλαξιών.



Εικόνα 6: Παράμετροι a και b μιας έλλειψης που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό της πλάτυνσης.

Στους μαθητές δόθηκαν φωτογραφίες ελλειπτικών γαλαξιών για ταξινόμηση βασισμένη στα προηγούμενα. Η μέτρηση με το χάρακα των μηκών των a και b στο 50% της φωτεινής περιοχής του γαλαξία, αποτελεί προϋπόθεση (Εικόνα 7)



Εικόνα 7: Εύρεση της πλάτυνσης σε ελλειψοειδείς γαλαξίες

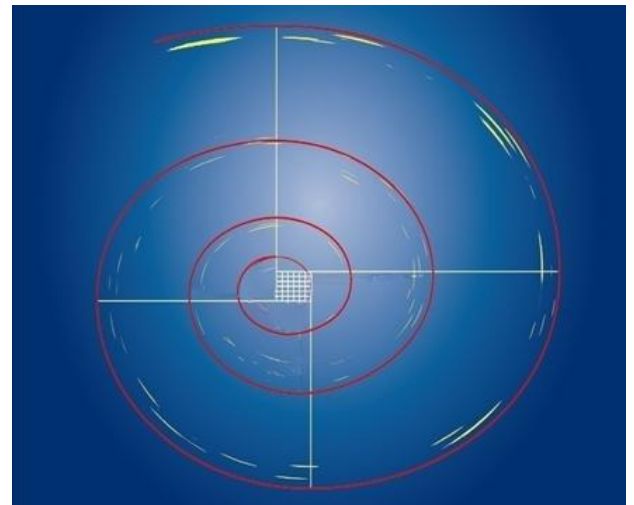
5. Σχεδιάζοντας άλλα πρότυπα σπειροειδών γαλαξιών με χάρακα και διαβήτη

Ερμηνεύοντας τον τύπο που δίνει την σπείρα του Αρχιμήδη οι μαθητές διαπίστωσαν ότι για να σχεδιασθεί μια σπείρα απαιτείται μια επαναληπτική διαδικασία όπου καθώς αυξάνεται η μειώνεται, η γωνία περιστροφής θ , να αυξάνεται ή να μειώνεται ανάλογα και η απόσταση r από το γαλαξιακό κέντρο (πυρήνα). Στην τάξη πραγματοποιήθηκαν επιδείξεις μιας τέτοιας επαναληπτικής διαδικασίας όπου γίνονταν χρήση ενός κανονικού πολυγώνου-οδηγού, ενός χάρακα και ενός διαβήτη. Η μίμηση της διαδικασίας γρήγορα έφερε επιτυχία στο σχεδιασμό. Τελικά η σύνθεση των διαφόρων περιγραφών της προσέφερε τις πιο κάτω οδηγίες σχεδίασης με χάρακα και διαβήτη:

Οδηγίες σχεδίασης:

1. Ανοίγουμε το διαβήτη τόσο ώστε να περικλείει το κανονικό πολύγωνο οδηγό αρκετές φορές.
2. Με κέντρο μια από τις κορυφές του πολυγώνου χαράσσουμε τόξο μέχρι την προέκταση μιας πλευράς του.
3. Με κέντρο την επόμενη κορυφή (στην προέκταση της πλευράς) και ακτίνα ίση με τη διαφορά της προηγούμενης ακτίνας από το μήκος της πλευράς του πολυγώνου χαράσσουμε τμήμα περιφέρειας που αρχίζει από το τέλος της προηγούμενης περιφέρειας μέχρι την προέκταση της επόμενης πλευράς.

4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία μέχρι η σπείρα να συναντηθεί με το πολύγωνο οδηγό. Η διαδικασία περιγράφεται στην εικόνα 8 για την περίπτωση που το πολύγωνο οδηγός είναι τετράγωνο.



Εικόνα 8: Σχεδίαση σπειρών με χάρακα και διαβήτη σε οδηγό τετράγωνο

Στους μαθητές δόθηκαν ορισμένα ερωτήματα-προτάσεις προς διερεύνηση. Συγκεκριμένα:

Προτάσεις διερεύνησης:

α. Εάν το μέγεθος του πολυγώνου-οδηγού αυξάνει στον ίδιο χώρο σχεδίασης, τι επιπτώσεις παρουσιάζονται στη μορφή του σχεδιαζόμενου γαλαξιακού προτύπου;

β. Τροποποιήστε τη διαδικασία ώστε να προστεθεί και δεύτερη σπείρα.

γ. Με οδηγούς διάφορα κανονικά πολύγωνα με αύξοντα αριθμό πλευρών (ισόπλευρο τρίγωνο, τετράγωνο, κανονικό εξαγωνο, κ.ο.κ.) σχεδιάστε τις σπείρες. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πλευρών (Εικόνα 10) η κεντρική περιοχή του μοντέλου που σχεδιάζετε πλησιάζει όλο και περισσότερο προς το κύκλο. Περιγράψτε τις επιπτώσεις που η αύξηση των πλευρών προκαλεί στη μορφή των σπειρών.

Στη συνέχεια οι μαθητές κλήθηκαν να επαναλάβουν την διαδικασία, αλλά αυτή τη φορά με οδηγό όχι ένα κανονικό πολύγωνο αλλά ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο (Εικόνα 11) που αντιστοιχεί στην κεντρική ράβδο ορισμένων γαλαξιών. Αυτή τη φορά παρεμβάσεις με τη μορφή επιδείξης στο σχολείο πραγματοποιήθηκαν μόνο όταν εμφανίσθηκαν δυσκολίες. Η περιγραφή της διαδικασίας σχεδίασης παρουσίασε ανάλογες δυσκολίες. Η σύνθεση των διαφόρων απόψεων κατέληξε στις πιο κάτω οδηγίες.

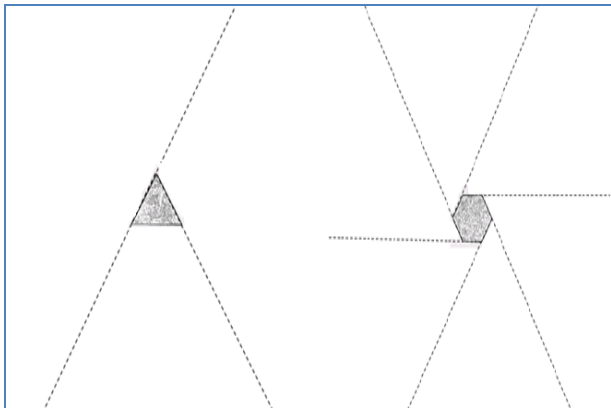
Οδηγίες σχεδίασης ραβδωτού σπειροειδή γαλαξία με δύο σπείρες:

1. Με κέντρο το A και 'αρκετá' μεγάλη ακτίνα, γράφουμε τόξο που τέμνει την προέκταση της AB στο σημείο B' ($S1$).
2. Με κέντρο το B και ακτίνα BB' , γράφουμε νέο τόξο που τέμνει την προέκταση της BC στο C' .
3. Με κέντρο το C και ακτίνα την CC' , γράφουμε τόξο που τέμνει την προέκταση της CD σ' ένα σημείο D' .
4. Με κέντρο το D και ακτίνα την DD' , γράφουμε τόξο που τέμνει την προέκταση της DA στο A' .

- Τέλος, με κέντρο το A και ακτίνα AA', γράφουμε τόξο που τέμνει την AB.

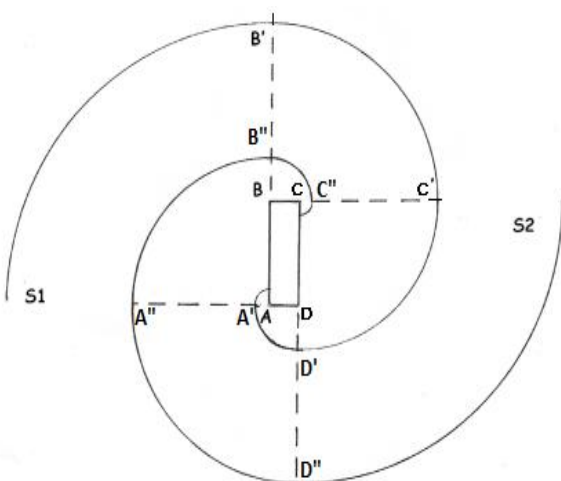


Εικόνα 9: Παράλληλόγραμμο ως οδηγός για την κατασκευή ραβδωτού σπειροειδή γαλαξία



Εικόνα 10: Προτάσεις διερεύνησης με οδηγούς κανονικά πολύγωνα διαφορετικού αριθμού πλευρών.

Εδώ τελειώνει η διαδικασία για την σπείρα S1. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αντίστροφα για τη σπείρα S2. Συγκεκριμένα, ξεκινάμε από το σημείο C (διαγώνιο του A) και με κέντρο αυτό και μια ακτίνα αρκετά μεγάλη, γράφουμε τόξο που τέμνει την προέκταση της CD στο σημείο D'' (S2). Στη συνέχεια, με κέντρο το D και ακτίνα DD'', γράφουμε τόξο που τέμνει την προέκταση της DA στο σημείο A'', κλπ. (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Σχεδίαση σπειροειδή ραβδωτού γαλαξία με δύο σπείρες χρησιμοποιώντας χάρακα και διαβήτη.

6. Αλγοριθμική σχεδίαση σπειροειδούς γαλαξία με ραβδόμορφο πυρήνα

Όταν ολοκληρώθηκε με επιτυχία η σχεδίαση με χάρακα και διαβήτη ενός σπειροειδούς γαλαξία με ραβδόμορφο πυρήνα, συζητήθηκε η επανάληψη της διαδικασίας με την κωδικοποίησή της με στη μορφή αλγορίθμου και ο περαιτέρω προγραμματισμός της διαδικασίας με τη βοήθεια ενός πακέτου εντολών της γλώσσας προγραμματισμού Logo. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το πακέτο «MSWLogo» που δεν περιέχει γραφικά.

Θεωρήσαμε ότι το βήμα αυτό θα ήταν χρήσιμο, αφού, όπως έχει προκύψει από έρευνες, οι μαθητευόμενοι οικοδομούν πιο αποτελεσματικά τη γνώση όταν συμμετέχουν σε δραστηριότητες κατά τις οποίες σχεδιάζουν και υλοποιούν πραγματικά ή ψηφιακά αντικείμενα (Papert, 1992). Η περιγραφή και κατανόηση των περίπλοκων διαδικασιών σχεδίασης με τη μορφή αλγορίθμων, εισάγει τους μαθητές/-τριες στην αυστηρότητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου και μηχανής που είναι προϋπόθεση στις δεξιότητες προγραμματισμού Η/Υ.

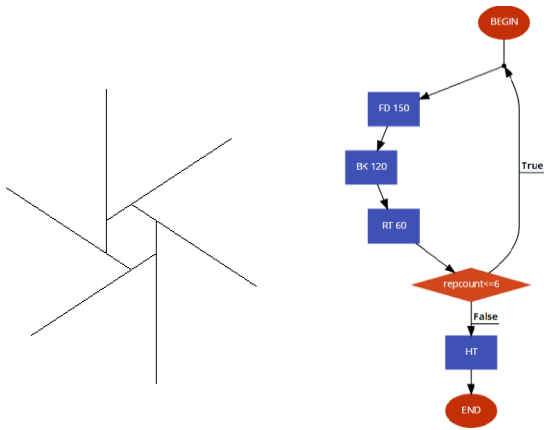
Εξάλλου, ο προγραμματισμός δημιουργεί ένα νέο περιβάλλον εργασίας για τους μαθητές, ευνοεί τη στρατηγική «δοκιμής - πλάνης», αναδεικνύει διάφορες παραδεκτές προσεγγίσεις και λύσεις και όχι μία και μοναδική σωστή λύση ενώ υποστηρίζει μεταγνωστικές διεργασίες μάθησης, αφού μας αναγκάζει να σκεφτούμε πάνω στον τρόπο που σκεφτόμαστε και ενεργούμε (Τσοβόλας - Κόμης, 2008). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) κάνουμε μία αναφορά των βασικών εντολών που οι μαθητές έχουν διαθέσιμες για την αλγοριθμική τους προσέγγιση.

Πίνακας 1: Εντολές Logo

Εντολή	Επεξήγηση	Παράδειγμα
FD	Forward: Ο δείκτης της «χελώνας» πηγαίνει μπροστά κατά X βήματα.	FD 100
BK	Backward: Ο δείκτης της «χελώνας» πηγαίνει πίσω κατά X βήματα.	BK 100
RT	Right Turn: Ο δείκτης της χελώνας στρίβει δεξιά (right) κατά X μοίρες της γωνίας	RT 90
LT	Left Turn: Ο δείκτης της «χελώνας» στρίβει αριστερά (left) κατά X μοίρες της γωνίας	LT 90
HT	Hide Turtle: Εντολή που «εξαφανίζει» τον δείκτη από την οθόνη	HT
PU	Pen Up: Εντολή απενεργοποίησης του δείκτη. Συνδυάζεται με μία FD εντολή	FD 100 PU FD 100
PD	Pen Down: Εντολή ενεργοποίησης του δείκτη.	PD
REPEAT	Repeat – Επαναληπτική δομή, εκτελούνται X φορές οι εντολές εντός της αγκύλης	repeat 360[fd 1 lt 1]
Setx/Sety	Εντολή που θέτει τιμές στις συντεταγμένες x,y	Setx 0,Sety 0

Ο πρώτος στόχος για τους μαθητές είναι να εξοικειωθούν με τις εντολές και να αναπαράγουν αλγοριθμικά το σχήμα της Εικόνας 10, χρησιμοποιώντας ένα εξάγωνο ως οδηγό. Η επαναληπτική εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η:

REPEAT 6 [FD 150 BK 120 RT 60] HT



Εικόνα 12: Αλγοριθμική διερεύνηση με οδηγό εξαγώνο.

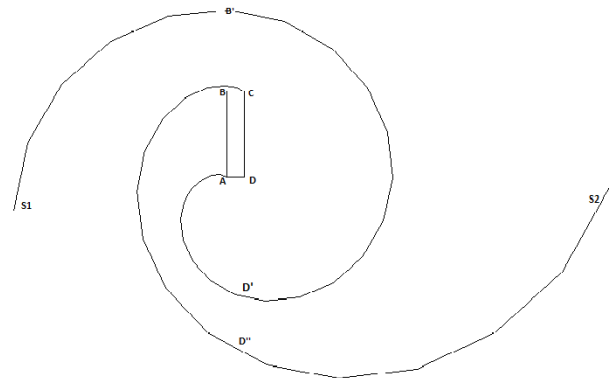
Στην εικόνα 12 επίσης φαίνεται το διάγραμμα ροής, όπου η επαναληπτική διαδικασία **repeat** δίνει true όταν η συνθήκη `repcount <= 6` είναι αληθής. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός. Μόλις όμως η συνθήκη γίνει ψευδής (`repcount > 6`) τότε τερματίζεται η διαδικασία. Ο στόχος εδώ είναι οι μαθητές να αναγνωρίσουν τα επαναληπτικά βήματα και να τα κωδικοποιήσουν κατάλληλα μέσω των εντολών της Logo, σχεδιάζοντας το σχήμα. Ο δεύτερος στόχος είναι κωδικοποιήσουν αλγοριθμικά τα βήματα όπως περιγράφονται στην ενότητα 5 για τη σχεδίαση ενός ραβδωτού σπειρωειδούς γαλαξία με δύο σπείρες. Το πρώτο βήμα είναι οι μαθητές να σχεδιάσουν το παραλληλόγραμμο - οδηγό της εικόνας 9 μέσω μιας έτοιμης συνάρτησης που δίνεται από τον παρακάτω κώδικα:

```
to shape
repeat 2[fd 100 rt 90 fd 20 rt 90]
end
```

Έπειτα δημιουργείται η κύρια ρουτίνα η οποία βασίζεται στις οδηγίες σχεδίασης του ραβδωτού γαλαξία. Ο κώδικας δίνεται στο ακόλουθο πλαίσιο:

```
1 to testing
2 shape
3 lt 60
4 REPEAT 27 [ FORWARD REPCOUNT * 3 lt 18 ]
5 pu
6 setx 0
7 sety 0
8 rt 90
9 rt 90
10 rt 5
11 fd 100
12 rt 90
13 fd 20
14 lt 90
15 lt 60
16 pd
17 REPEAT 16 [ FORWARD REPCOUNT * 7 lt 18 ]
18 end
```

Όλος ο κώδικας εμπεριέχεται στην ρουτίνα `testing`, όπου παρατηρούμε στη γραμμή 2 καλείται η ρουτίνα `shape` όπου δημιουργείται το σχήμα - οδηγός. Έπειτα στη γραμμή 4 δημιουργείται η πρώτη σπείρα (S1) και στις γραμμές 5 - 16 τοποθετούμε τον δείκτη της «χελώνας» στο σημείο C όπου και εκτελείται η γραμμή 17 η οποία σχεδιάζει την δεύτερη σπείρα (S2). Το αποτέλεσμα δίνεται στην παρακάτω εικόνα:

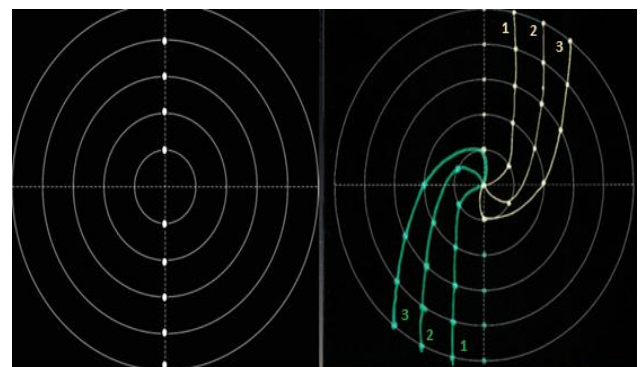


Εικόνα 13: Αλγοριθμική σχεδίαση ραβδωτού γαλαξία με δύο σπείρες.

7. Κατασκευή σπειρών με τη βοήθεια προτύπου διαφορικής περιστροφής και προσομοίωση του φαινομένου Doppler στις Γαλαξιακές σπείρες

Η δημιουργία σπειρών σε ένα πληθυσμό αστεριών έχει επαρκώς ερμηνευθεί με τη βοήθεια της θεωρίας των κυμάτων πυκνότητας (Καρανικόλας, 1993). Τα κύματα αυτά που η διέγερση τους προϋποθέτει συνήθως την αλληλεπίδραση μεταξύ γαλαξιών, θέτουν τον πληθυσμό σε διαφορική περιστροφή. Η διαφορική περιστροφή ορίζεται ως η περιστροφή εκείνη όπου η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής των άστρων δεν είναι η ίδια κατά μήκος της ίδιας ακτινικής διεύθυνσης. Η ταχύτητα αυτή μειώνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια. Προκειμένου να προσεγγίσουν οι μαθητές το θέμα αυτό καλούνται να ερευνήσουν τη γνωστή σχέση $v = \omega r$ που εφαρμόζεται στην κυκλική κίνηση υλικού σημείου και στερεού σώματος. Η σχέση τροποποιείται σε $\omega = v/r$ και αν η ταχύτητα v διατηρηθεί σταθερή τότε η γωνιακή ταχύτητα γίνεται αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης από το κέντρο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διαφορική περιστροφή που μετατρέπει ακτινικές διατάξεις αστερών σε σπείρες.

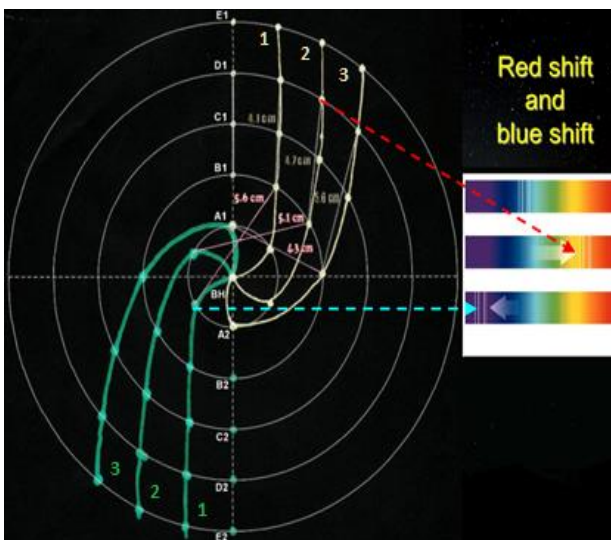
Οι μαθητές κατασκεύασαν διάταξη με ομόκεντρους κύκλους στους οποίους τοποθέτησαν κατά μήκος μιας διαμέτρου σειρά υποθετικών ‘αστεριών’ στην κατακόρυφη διεύθυνση (Εικόνα 14 αριστερά). Στη συνέχεια με τη βοήθεια διαβήτη, κλήθηκαν να μετατοπίσουν κάθε ‘άστρο’ κατά μήκος της περιφέρειας του κατά την ίδια απόσταση. Η μετατόπιση πραγματοποιήθηκε κατά τη φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού. Στη συνέχεια ένωσαν τις νέες θέσεις των ‘αστεριών’ μεταξύ τους για να διαπιστώσουν την μετεξέλιξη των ακτινικών κατανομών, σε σπείρες. Την ίδια διαδικασία επανέλαβαν για δύο ακόμη βήματα (2, 3) προσομοιώνοντας την εξέλιξη των σπειρών στην πορεία του χρόνου. Η διαδικασία αυτή φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 14 δεξιά.



Εικόνα 14: Σχεδίαση σπειρών σε γραμμική διάνομή άστρων με ομόρροπη ισόποση μετατόπιση

επί ομόκεντρων περιφερειών διαφορετικής ακτίνας. Αρχική κατανομή 'άστρων' στην αριστερή εικόνα και δημιουργία σπειρών μετά από μία έως τρεις μετατοπίσεις στη δεξιά.

Στους μαθητές προτάθηκαν προς διερεύνηση: α) Η επανάληψη των χρονικών βημάτων στη συνέχεια (5, 6, 7) με πειρατισμό ως προς τις επιπτώσεις της στη μορφή των σπειρών, β) Η αλλαγή του μεγέθους της κοινής μετατόπισης με πειρατισμό ως προς τις επιπτώσεις της στη μορφή των σπειρών. Τέλος προτάθηκε από τους ίδιους μαθητές η διαφοροποίηση της μετατόπισης των άστρων κατά μήκος μιας ακτινικής διεύθυνσης και η διερεύνηση της επίπτωσής της ως προς τη μορφή των σπειρών. Στο τελευταίο στάδιο της διερευνητικής εργασίας κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο πρότυπο για να απαντήσουν στο ερώτημα πώς ένας παρατηρητής που βρίσκεται σε πλανητικό σύστημα του 'άστρου' B1 (Εικόνα 15) θα μπορούσε να συμπεράνει την διαφορετική περιστροφή του ίδιου του γαλαξία και κατά συνέπεια τη σπειροειδή δομή του.



Εικόνα 15: Πρότυπο παρατηρούμενης μετατόπισης στο ερυθρό για άστρα της ίδιας σπείρας και μετατόπισης στο γαλάζιο για άστρα της άλλης σπείρας.

Για την απάντηση στο ερώτημα αυτό πραγματοποιήθηκε προεργασία με επανάληψη του φαινομένου Doppler στην τάξη, διερευνώντας τη μη σχετικιστική σχέση: $[(\lambda - \lambda_0)/\lambda] = (v/c)$, όπου $v =$ ακτινική ταχύτητα άστρου, $c =$ ταχύτητα φωτός, $\lambda =$ παρατηρούμενο μ.κ., $\lambda_0 =$ μ.κ. φασματικής γραμμής στο εργαστήριο. Προτάθηκε η ποσοτική διερεύνηση της μεταβολής της απόστασης μεταξύ του 'άστρου' B1 και του 'άστρου' D1 στην ίδια σπείρα (1) καθώς και η αντίστοιχη μεταβολή στην απόσταση μεταξύ του 'άστρου' B1 και του 'άστρου' A2 της δεύτερης (2) σπείρας. Στην Εικόνα 15 φαίνεται ότι στην μεν πρώτη περίπτωση η απόσταση B1D1 βαίνει αυξανόμενη, γεγονός που οι μαθητές εύκολα αντιστοίχησαν σε μετατόπιση προς το ερυθρό (red shift), ενώ στη δεύτερη περίπτωση η απόσταση B1A2 βαίνει μειούμενη γεγονός που αντιστοιχεί σε μετατόπιση προς το γαλάζιο (blue shift). Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώθηκε μια επιτυχημένη προσομοίωση του πώς οι αστρονόμοι διαπίστωσαν την σπειροειδή δομή του Γαλαξία μας.

8. Συμπεράσματα

Ένα τμήμα της διερευνητικής εργασίας που προτείνεται πραγματοποιήθηκε με αρκετή επιτυχία στα πλαίσια του χειμερινού σχολείου αστρονομίας που υλοποιεί η Εταιρεία Αστρονομίας και Διαστήματος (ΕΑΔ). Εκτός

από την εμπέδωση γνώσεων από το πεδίο της κλασικής αστρονομίας, προτρέπει τους μαθητές/-τριες στη μαθηματική διερεύνηση και περιγραφική μορφών όπως οι σπείρες ή οι έλικες. Καλλιεργεί επιστημονικές δεξιότητες απαραίτητες στο σύνολο των φυσικών επιστημών όπως η παρατήρηση, η ταξινόμηση, η ποσοτικοποίηση της παρατήρησης, η δημιουργία προτύπων και ο έλεγχος και επαλήθευση τους στην προσπάθεια ερμηνείας του φυσικού κόσμου. Επιπλέον καλλιεργεί πρακτικές δεξιότητες που είναι η σχεδίαση περίπλοκων μορφών όπως οι σπείρες με χάρακα και διαβήτη. Η προσθήκη συγκεκριμένων εντολών σε προγραμματισμού περιβάλλον ώστε να μπορούν να υλοποιηθούν με μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια, οι επαναληπτικές διαδικασίες σχεδιασμού ενός προτύπου σε ψηφιακό περιβάλλον προβλέπεται να ενισχύσει τη διαθεματική διάσταση και να καταστήσει ελκυστικότερο το προϊόν για τους μαθητές Λυκείου. Τέλος δεν πρέπει να υποτιμηθεί η καλλιτεχνική διάσταση που είναι παρούσα σε κάθε προϊόν σχεδίασης είτε πάνω σε χαρτί είτε σε οποιοδήποτε άλλο μέσο.

Βιβλιογραφία

- Γαβρίλη, Κ., Μεταξά, Μ., Νιάρχος, Π., Παπαμιχάλης, Κ., 1999: Στοιχεία Αστρονομίας και Διαστημικής, Β' ΓΕΛ, Εκδ. ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Καρανικόλας, Ν.Δ. 1993: Εισαγωγή στη Φυσική των Αστρικών Συστημάτων, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη. Σελ. 197
- Μαυρομμάτης, Κ. 2011: Στοιχεία Αστρονομίας, Αστροφυσικής και Διαστημικής, βιβλία του μαθητή, τεύχη 1, 2, Εκδ. Εταιρεία Αστρονομίας και Διαστήματος, Βόλος, 2011.
- Ματσαγγούρας Η., 2004: Η Διαθεματικότητα στη Σχολική γνώση. Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα
- Ματσαγγούρας Η., 2012 (Επιστημονικός Υπεύθυνος): Η καινοτομία της ανακαλυπτικής μάθησης στο νέο Γυμνάσιο, Εκδόσεις ΥΠΕΠΘ.
- Ξενάκης, Χ., και Σπανός Σ., 2012: Στοιχεία Αστρονομίας Αστροφυσικής και Διαστημικής, τεύχος 4ο, Διερευνητικές Εργασίες (Projects), Πειραματικές Δραστηριότητες και Πρακτικές Εφαρμογές. Εκδόσεις Εταιρείας Αστρονομίας και Διαστήματος, Βόλος σελ. 127.
- Παχούλη, Α., 2016: Πλαίσιο Σχεδιασμού και Αναφοράς Σεναρίου στο σχολείο. Πρακτική Άσκηση Εκπαιδευομένων στα ΠΑΚΕ Αττικής.
- Τσοβόλας, Σπ. και Κόμης, Β., 2008: Προγραμματισμός ρομποτικών κατασκευών: μελέτη περίπτωσης σε μαθητές δημοτικού. Στο Β. Κόμης (επιμ.) . Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου « Διδακτική της Πληροφορικής », Πάτρα , εκδ. Νέων Τεχνολογιών.
- Ψυχάρης, Σ. και Γιαβρής, Α., 2003: Η εκπαίδευση ως σύστημα. Στο Κ. Αγγελάκος (επιμ.), Διαθεματικές προσεγγίσεις της γνώσης στο Ελληνικό Σχολείο (σ. 40-54), Αθήνα, Μεταίχμιο.
- Papert, S., 1992: The Children's Machine. New York.
- The Pathway project, 2013: Science education through inquiry in schools, museums and informal learning settings. Retrieved from: <http://www.pathwayuk.org.uk>.
- Spanos, S. and Xenakis, C., 2013: Learning Astronomy through Inquiry and by means of Self-Constructions. Published by Astronomy and Space Society and Ellinogermaniki Agogi, Athens.

Ιστοαναφορές

- <http://www.educa.fmf.uni-lj.si/logo/doc/Apr.96/chpt6.pdf>
- http://abz.inf.ethz.ch/wp-content/uploads/unterrichtsmaterialien/primarschulen/logo_heft_en.pdf